

KAJIAN KRITIS PEMBANGUNAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

Editor

Wimpy Santosa

Danang Parikesit

Yuki M.A. Wardhana

Dewanti

Amelia Makmur

Safilah

Dwi Ardianta Kurniawan



SERI BUKU
KAJIAN KRITIS PEMBANGUNAN
JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

Editor:

Wimpy Santosa
Danang Parikesit
Yuki M.A Wardhana
Dewanti
Amelia Makmur
Safriah
Dwi Ardianta Kurniawan



**PENJAMINAN &
INFRASTRUKTUR**
Guarantee & Infrastructure

SERI BUKU
KAJIAN KRITIS PEMBANGUNAN
JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

Pertama kali diterbitkan dalam bahasa Indonesia oleh:

PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero)
Capital Place, 7-8 Floor Jl. Gatot Subroto No. Kav 18, RT. 6/RW. 1, Kuningan Barat, Kec. Mampang Prapatan,
Kota Jakarta Selatan, Telp./Fax: +62 21 5795 0550/ +62 21 5795 0040
www.ptpii.co.id | info@iigf.co.id

bekerjasama dengan

Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral), Universitas Gadjah Mada
Jl. Kemuning Blok M-3, Sekip, Mlati, Sleman, D.I Yogyakarta 55284
Telp./Fax: +62-274-556928/ +62-274-552229
www.pustral.ugm.ac.id | pustral@ugm.ac.id

Perancang Sampul : **Muhammad Fadri Syarief**
Sumber Foto : **Humas Badan Pengatur Jalan Tol, Kementerian PUPR**

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Ukuran : **15,5 × 23 cm; x + 285 hlm**
ISBN : **978-623-92614-3-6**
Cetakan pertama : **Juni 2023**
Hak Penerbitan : **PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero) dan Pusat Studi Transportasi Logistik (Pustral) UGM**

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Sambutan



M. Basuki Hadimuljono Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR)

Kementerian PUPR melaksanakan pembangunan jalan tol yang bertujuan untuk meningkatkan konektivitas multimoda bagi pelayanan sistem logistik nasional yang lebih efisien untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan daya saing. Untuk itu pembangunan jalan tol dikaitkan dengan pengembangan kawasan-kawasan produktif, seperti kawasan industri, pariwisata, bandara, pelabuhan untuk meningkatkan kelancaran logistik.

Hingga tahun 2014 sepanjang 790 km jalan tol telah beroperasi. Pada periode 2015-2019 telah berhasil diselesaikan sepanjang 1.298 km termasuk tersambunginya Tol Trans Jawa dan dimulainya pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera sebagai tulang punggung perekonomian nasional. Selanjutnya, pada periode 2020-2024, ditargetkan penambahan jalan tol beroperasi sepanjang 1.567 km, hingga Mei 2023, telah selesai sepanjang 535,5 km.

Capaian tersebut menunjukkan tingginya minat investor baik dari dalam maupun luar negeri seiring dengan membaiknya iklim investasi di Indonesia. Selain upaya untuk menarik investor menanamkan modalnya dalam pembangunan infrastruktur jalan tol, Kementerian PUPR terus memberikan perhatian pada peningkatan kualitas jalan serta pelayanan di tempat istirahat dan pelayanan. Saya juga telah meminta Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) untuk meningkatkan estetika desain dan mengadopsi prinsip keberlanjutan lingkungan.

Implementasi teknologi digital untuk sistem transaksi dan sistem operasi jalan tol telah kita mulai dengan suksesnya migrasi dari transaksi tunai menjadi non-tunai di tahun 2017 dan akan dilanjutkan dengan penerapan *Multi Lane Free Flow* (MLFF) atau transaksi nirsentuh yang akan dimulai pada akhir 2023. Kami menyambut baik inisiatif dari PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia dan Universitas Gadjah Mada dalam menyusun dan melakukan sintesis atas berbagai pengalaman pembangunan jalan tol yang terangkum dalam buku "Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia" ini. Saya sangat menghargai upaya para pakar berbagai perguruan tinggi Indonesia yang terlibat dalam penulisan buku ini. Untuk itu, saya menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya untuk pemrakarsa, penulis, dan editor buku ini.

Saya meyakini buku ini akan dapat menambah khazanah pengetahuan tentang pembangunan jalan tol di Indonesia. Besar harapan saya, semoga buku ini menjadi sumber inspirasi dan menambah literatur bagi para *engineer*, akademisi, dan masyarakat umum dalam pembangunan infrastruktur jalan tol saat ini dan di masa yang akan datang.

Selamat membaca.

Dr. Ir. M. Basuki Hadimuljono, M.Sc

Menteri

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR)

Sambutan



M. Wahid Sutopo
Direktur Utama
PT Penjaminan Infrastruktur
Indonesia (Persero)

PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero)/ PT PII senantiasa berkomitmen mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan dengan skema pembiayaan inovatif, salah satunya melalui skema kerja sama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU). Sebagai salah satu *Special Mission Vehicle* (SMV) Kementerian Keuangan RI, PT PII memiliki mandat dukungan terhadap pengembangan proyek KPBU melalui Penjaminan Pemerintah. Dukungan ini terus kami upayakan untuk memberikan kepastian serta kenyamanan bagi pihak swasta dalam berinvestasi pada sektor proyek KPBU termasuk proyek Jalan Tol.

Sampai dengan Mei 2023, PT PII telah memberikan penjaminan pada 15 proyek Jalan Tol dengan nilai investasi sebesar Rp197,3 triliun. Adapun 15 proyek Jalan Tol tersebut adalah Jalan Tol Batang – Semarang, Balikpapan – Samarinda, Pandaan – Malang, Manado – Bitung, Jalan tol layang MBZ Sheikh Mohamed Bin Zayed, Krian – Legundi – Bunder – Manyar, Cileunyi – Sumedang – Dawuan, Serang – Panimbang, Probolinggo – Banyuwangi, Jakarta – Cikampek II Sisi Selatan, Semarang – Demak, Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo, Yogyakarta – Bawen, Gilimanuk – Mengwi dan Jalan Tol Akses Patimban.

Buku Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia ini disusun dengan harapan dapat menjadi referensi yang tepat dalam membahas isu-isu pengelolaan risiko pada tarif secara komprehensif serta tata kelola yang baik. Bagi PT PII, buku ini merupakan langkah nyata manajemen pengetahuan yang kami lakukan, dan merupakan bentuk kontribusi dalam berbagi pengalaman praktis. Buku ini diharapkan dapat memperluas wawasan para pemangku kepentingan, serta menjadi referensi penting dalam pengambilan keputusan, khususnya yang terkait penyediaan infrastruktur jalan tol di Indonesia.

Kami berterima kasih kepada berbagai pihak yang telah berkolaborasi dalam penyusunan buku ini, yaitu Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral) UGM sebagai institusi mitra, para penulis, tim *review* dan editor, serta BPJT yang telah menyediakan data-data riset dan informasi pendukung dalam penulisan buku ini. Kami harapkan kerjasama seluruh pihak dalam penyusunan buku ini terus berkesinambungan, sebagai bentuk kolaborasi produktif antara dunia akademis maupun praktis.

M. Wahid Sutopo
Direktur Utama
PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero)

Sambutan



Ova Emilia
Rektor
Universitas Gadjah Mada

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sejak diperkenalkan pertama kali di Indonesia, jalan tol atau jalan bebas hambatan dirancang untuk mendukung cita-cita pembangunan, pertumbuhan ekonomi, serta perluasan pemerataan pembangunan di berbagai wilayah. Keberadaan jalan tol juga berpotensi untuk membuka dan memperluas perputaran roda ekonomi agar semakin terdesentralisasi secara lebih cepat. Hal ini tentu selaras dengan kepentingan untuk menjawab peningkatan pertumbuhan ekonomi dan perluasan pasar termasuk pemerataan serta keadilan pembangunan. Semakin luas keterhubungan antar daerah dengan penyediaan jalur akses daerah yang memadai, maka percepatan pembangunan daerah yang selama ini tertutup akan semakin terbuka.

Data menunjukkan bahwa pada periode 2014–2022 jalan tol di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan, dengan pertumbuhan rata-rata 13,44% per tahun atau hampir dua kali lipat dibandingkan dengan periode sebelumnya. Setiap pembangunan jalan tol ini selalu mempertimbangkan pola tata ruang terutama rencana jalan yang tidak terlepas dari aspek ekonomi, sosial budaya, maupun lingkungan sebagai satu kesatuan proses berkelanjutan. Pengembangan jalan tol juga terkait dengan berbagai isu yang cukup kompleks, seperti mekanisme pendanaan, penjaminan risiko, regulasi, pengembangan teknologi, hingga keanekaragaman hayati. Melihat kompleksitas permasalahannya, maka berbagai isu pengembangan infrastruktur jalan tol ini bisa menjadi sebuah topik menarik untuk dikaji dan didokumentasikan sebagai bagian dari upaya pengembangan pengetahuan.

Universitas Gadjah Mada selalu mendorong segenap *civitas academica* untuk menghasilkan karya yang bermanfaat bagi masyarakat luas. Oleh karenanya, Saya atas nama Universitas Gadjah Mada sangat mengapresiasi penerbitan buku “Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia” yang berhasil meramu narasi para penulis dari dari berbagai Perguruan Tinggi maupun instansi terkait mengenai tematik jalan tol dalam rentang tahun 1978-2022 dari berbagai perspektif keilmuan.

Buku yang diinisiasi oleh Prof. Dr. Techn. Ir. Danang Parikesit, M.Sc., IPU., ASEAN.Eng., dosen Fakultas Teknik UGM ini merupakan buku pertama yang membahas jalan tol secara komprehensif. Kerja keras dan dedikasi dari para penulis maupun semua pihak yang mendukung penyusunan buku ini layak untuk diapresiasi. Melalui buku kajian kritis yang tersaji secara komprehensif dalam 3 volume ini, para penulis telah berupaya untuk menarasikan tentang kebijakan pembangunan jalan tol: dulu, kini, dan masa yang akan datang, pengelolaan aspek teknis dalam perancangan dan pembangunan, serta pelaksanaan operasi dan pemeliharaan jalan tol.

Saya mengucapkan selamat dan memberikan penghargaan setinggi-tingginya kepada Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral) UGM dan PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (PT PII) yang telah berkolaborasi mengawal proses penulisan buku ini sejak inisiasi gagasan hingga diterbitkan. Semoga buku ini bermanfaat dan mampu menjadi bahan bacaan serta rujukan ilmiah dalam pengembangan infrastruktur, khususnya pembangunan jalan tol di Indonesia.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Prof. dr. Ova Emilia, M.Med., Ed., Sp. OG(K), Ph.D.
Rektor
Universitas Gadjah Mada

Kata Pengantar

Pembangunan jalan tol merupakan hal krusial dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia. Namun, operasi dan pemeliharaan jalan tol juga sangat penting dalam memastikan bahwa jalan tol tersebut dapat digunakan dengan aman, nyaman, dan *sustain*. Buku mengenai “Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol” merupakan karya yang sangat penting bagi beragam pemangku kepentingan di industri jalan tol. Buku ini memberikan pemahaman yang kontemporer dan komprehensif mengenai bagaimana praktek manajemen operasi yang efektif dan efisien dalam operasi dan pemeliharaan jalan tol.

Dalam beberapa tahun terakhir ini Pemerintah Indonesia telah secara masif dan intensif mengimplementasikan pembangunan jalan tol guna mengakselerasi pembangunan ekonomi Indonesia. Telah banyak praktek dan kajian yang dapat dijadikan *lesson learned* bagi pengembangan jalan tol ke depan. Hal ini disajikan melalui penulisan Seri Buku mengenai jalan tol yang berjudul “Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia”, yang terdiri dari tiga volume buku.

Buku ini adalah buku Volume 3 yang berjudul “Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol”. Buku Volume 3 ini merupakan rangkaian dari Volume 1 yang terlebih dahulu membahas mengenai perspektif kebijakan dalam pembangunan jalan tol di Indonesia dan Volume 2 mengenai pengelolaan aspek teknis dalam perancangan dan pembangunan jalan tol. Buku Volume 3 ini membahas mengenai upaya dalam menjaga dan meningkatkan pelayanan prima bagi para pengguna jalan tol dan menyajikan kajian mengenai modernisasi sistem pengoperasian jalan tol.

Sebagai bagian implementasi manajemen operasi guna meningkatkan pelayanan prima bagi pengguna jalan tol, buku Volume 3 ini memberikan evaluasi kritis mengenai standar pelayanan minimal jalan tol yang perlu diperhatikan seiring perubahan ekspektasi masyarakat. Dalam buku ini juga diberikan gambaran mengenai bagaimana upaya untuk meningkatkan keselamatan para pengguna jalan tol dengan melakukan kajian dan analisis mendalam mengenai kecelakaan pada jalan tol. Selain itu buku ini juga membahas mengenai analisis dan peran media mengenai pemberitaan infrastruktur jalan tol di Indonesia.

Dalam upaya menjaga pelayanan prima tentunya pemeliharaan dan modernisasi sistem pengoperasian jalan tol perlu dipahami dan dapat dijaga serta diimplementasikan secara periodik dan sistematis. Salah satu tantangan pemeliharaan jalan tol adalah integrasi tarif seiring dengan adanya pembangunan jalan tol baru secara bertahap dan berkesinambungan. Salah satu pembelajaran yang disajikan dalam buku ini yaitu kasus *Jakarta Outer Ring Road (JORR)* dan koridor Jakarta Cikampek guna menjawab tantangan integrasi tarif tol pada jaringan tol di wilayah perkotaan. Selain itu, dalam buku ini juga disajikan konsep integrasi tarif jalan tol dengan mengambil kasus jaringan tol Jabodetabek. Dalam konteks modernisasi juga dibahas aspek implementasi teknologi digitalisasi sistem transaksi pembayaran jalan tol.

Aspek lain yang dibahas meliputi pemanfaatan teknologi sistem transportasi cerdas dalam pengelolaan kendaraan dengan dimensi dan muatan lebih atau dikenal dengan istilah ODOL: *Over Dimension Over Load*. Aspek survillans kondisi permukaan jalan tol juga dibahas dan dikaitkan dengan kebijakan pemeliharaan berbasis *Decision Support System (DSS)* serta kecerdasan buatan. Selain itu disajikan juga kajian mengenai profil emisi gas rumah kaca pada ruas jalan tol sebagai salah satu aspek penting dalam operasi dan pemeliharaan jalan tol, *lesson learned* dari *case* jalan tol di DKI Jakarta.

Para penulis buku ini memiliki pengalaman dan kompetensi yang sangat tinggi dalam bidang jalan tol. Buku ini merupakan kumpulan keilmuan dan dedikasi dalam upaya meningkatkan kualitas dan sustainabilitas infrastruktur jalan tol di Indonesia. Buku ini sangat direkomendasikan bagi praktisi, akademisi, peneliti, mahasiswa dan siapa saja yang ingin memperdalam pemahaman tentang operasi dan pemeliharaan jalan tol. Oleh karena itu, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang sangat bermanfaat bagi para *stakeholder* yang terlibat dalam operasi dan pemeliharaan jalan tol.

Sebagai penutup, saya ucapkan selamat dan sukses kepada Pusat Studi Transportasi dan Logistik Universitas Gajah Mada dan PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia yang telah berhasil menerbitkan dan mempersembahkan buku berharga ini. Ucapan selamat dan terima kasih saya sampaikan juga kepada Prof. Dr. Techn. Ir. Danang Parikesit, MSc., IPU, ASEAN.Eng dan tim editor yang telah bekerja keras merampungkan buku ini. Serta penghargaan yang tinggi kepada para penulis yang telah menghasilkan artikel dan karya yang luar biasa berharga ini. Semoga buku ini dapat menjadi sumber inspirasi bagi para pembaca dalam membangun kompetensi dan memperkuat pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia. Selamat membaca!

Prof. Yudi Azis, SE, S.Si, S.Sos, MT, Ph.D

Guru Besar Manajemen Operasi dan Inovasi FEB Universitas Padjadjaran
Coordinator University Network for Indonesia Infrastructure Development (UNIID) 2019-2023

Ucapan Terima Kasih

Assalamualaikum, Wr, Wb.

Menyusun buku merupakan kerja yang memerlukan konsentrasi serta pemikiran yang mendalam. Oleh karena itu, terbitnya sebuah buku harus selalu diapresiasi, apalagi ketika buku tersebut melibatkan begitu banyak pihak dalam proses produksinya. Buku Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia ini patut diapresiasi lebih, karena merupakan hasil kolaborasi dari berbagai pihak, yaitu perguruan tinggi, BUMN, serta instansi pemerintah. Saya selaku Kepala Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral) UGM yang diberi amanah untuk mengoordinasikan penerbitan buku ini patut menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak atas peran penting yang diberikan.

Ucapan terima kasih pertama-tama saya sampaikan kepada PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (PII) yang telah mendukung penuh penerbitan buku ini dari awal hingga akhir. Terima kasih disampaikan kepada Bapak M. Wahid Sutopo selaku Dirut PT PII, Bapak Andre Permana selaku Direktur Bisnis dan Ibu Ratna Widianingrum selaku Kepala Divisi IIGF Institute. Terima kasih juga disampaikan kepada tim pendukung yaitu Ibu Ayum Andar, Saudara Roihans Muhammad Iqbal dan seluruh staf atas segala dukungannya.

Terima kasih dan selamat tentu saya sampaikan kepada para penulis yang telah mencurahkan pengetahuan, pengalaman, dan pemikirannya untuk dituliskan dalam buku ini. Dalam catatan saya, terdapat lebih dari 75 penulis dalam buku yang terdiri dari 3 volume ini. Para penulis bukan hanya berasal dari perguruan tinggi, namun juga kalangan birokrat dan pelaku usaha. Kolaborasi ini tentu sangat membesarkan hati, yang diharapkan akan terus berlanjut di masa mendatang.

Secara khusus, terima kasih saya sampaikan kepada Prof Danang Parikesit selaku inisiator dan koordinator penulisan, sehingga mampu mengangkat beragam tema dengan beragam perspektif dari beragam pakar di bidangnya. Hal ini tentu tidak terlepas dari pengalaman panjang Beliau selama menjabat Kepala Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) Kementerian PUPR. Terima kasih sudah melibatkan Pustral UGM dalam penyusunan buku yang berharga ini.

Karya yang baik tentu tidak terlepas dari adanya *review* yang mumpuni. Oleh karena itu, saya menyampaikan terima kasih kepada Tim Mitra Bestari, baik dari kalangan internal maupun eksternal. Tim Mitra Bestari internal terdiri atas Prof Suyono Dikun, Prof Bambang Sugeng Subagio, dan Prof Yudi Aziz yang berasal dari kalangan akademisi. Adapun Tim Mitra Bestari eksternal berasal dari birokrat di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Kementerian Keuangan, dan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) serta akademisi. Beliau-beliau adalah Bapak Herry Trisaputra Zuna, Bapak Eka Pria Anas, Bapak Koentjahjo Pambudi, Bapak Brahmantio Isdijoso, Prof. Priyo Suprobo, Bapak Sri Bagus Guritno, Bapak Farid Arif Wibowo, Ibu Reni Ahiantini, dan Bapak Sudiro Roi Santoso.

Finalisasi tulisan tentu memerlukan ketelitian dan ketelatenan untuk memeriksa kualitas tulisan, serta kesesuaian format penulisan. Oleh karena itu, terima kasih juga disampaikan kepada Tim Editor yang telah memfinalisasi naskah tulisan sehingga siap untuk diterbitkan. Tim Editor berasal dari berbagai perguruan tinggi serta IIGF Institute, diketuai oleh Prof Wimpy Santosa, dengan anggota antara lain Bapak Yuki M.A Wardhana, Ibu Amelia Makmur dan Ibu Safrilah, serta didukung editor dari Pustral UGM.

Terakhir, saya menyampaikan terima kasih kepada manajemen dan staf di Pustral UGM yang telah menjalankan tugas dengan baik untuk mendukung penerbitan buku ini. Terima kasih disampaikan kepada Ibu Dewanti selaku Sekretaris Pustral, Bapak Dwi Ardianta Kurniawan selaku penanggungjawab, serta para pendukung, yaitu Bapak Sa'duddin, Bapak Hafid Lastito, Ibu Tri Listiati, Saudari Nafianty Fitria Mayasari dan Saudari Triana Pungkasari.

Saya berharap buku ini menjadi referensi yang bermanfaat untuk pengembangan jalan tol di masa mendatang. Terima kasih.

Wassalamualaikum Wr, Wb.

Ir. Ikaputra, M.Eng., Ph.D.

**Kepala Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral),
Universitas Gadjah Mada**

Daftar Isi

SERI BUKU KAJIAN KRITIS PEMBANGUNAN
JALAN TOL DI INDONESIA

KEBERLANJUTAN DALAM PELAKSANAAN OPERASI DAN PEMELIHARAAN JALAN TOL

III

Sambutan

Menteri
Kementerian Pekerjaan Umum
dan Perumahan Rakyat

IV

Sambutan

Direktur Utama
PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia

V

Sambutan

Rektor
Universitas Gadjah Mada

VI

Kata Pengantar

Yudi Azis, Universitas Padjadjaran

VIII

Ucapan Terima Kasih

Kepala Pusat Studi Transportasi dan Logistik
Universitas Gadjah Mada

1

Evolusi Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol

Rudy Hermawan Karsaman dan Taufiq Suryo Nugroho

37

Upaya Peningkatan Keselamatan Jalan Tol di Indonesia

Tri Tjahjono

71

Analisis Wacana terhadap Pemberitaan Jalan Tol pada Media Online Indonesia

Ratna Widianingrum

93

Tantangan Integrasi Tarif pada Jaringan Tol di Wilayah Perkotaan

Andyka Kusuma, Jachrizal Sumabrata, dan R. Ivan Adwitiya

119

Digitalisasi Sistem Transaksi Pembayaran Jalan Tol

Resdiansyah dan Ilham Malik

Daftar Isi

SERI BUKU KAJIAN KRITIS PEMBANGUNAN
JALAN TOL DI INDONESIA

KEBERLANJUTAN DALAM PELAKSANAAN OPERASI DAN PEMELIHARAAN JALAN TOL

149

**Konsep Integrasi Tarif pada Jaringan Jalan Tol
di Wilayah Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi**
Alvinsyah dan Edy Hadian

185

**Teknologi Sistem Transportasi Cerdas dalam
Pengelolaan Kendaraan dengan Dimensi dan Muatan Lebih**
Resdiansyah, Ilham Malik, Ade Asmi, dan Budi Yulianto

213

**Surveilans Kondisi Permukaan Jalan Tol
dan Kebijakan Pemeliharaan Berbasis
Decision Support System serta Kecerdasan Buatan**
Imam Muthohar, Akhmad Aminullah, Teguh Bharata Adji,
Syukron Abu Ishaq Alfarozi, dan Latif Budi Suparma

253

**Emisi Gas Rumah Kaca pada Jalan Tol
di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta**
Puji Lestari, Brigita Raissa Sekarputri,
dan Maulana Khafid Arrohman



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

EVOLUSI STANDAR PELAYANAN MINIMAL JALAN TOL

Rudy Hermawan Karsaman, Taufiq Suryo Nugroho
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

PENDAHULUAN

Perkembangan jaringan jalan tol di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Di lain pihak Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) juga dituntut untuk meningkatkan terus pelayanannya kepada pengguna jalan tol. Pertumbuhan jalan tol di Indonesia juga diiringi dengan penerapan teknologi yang semakin berkembang. Selain itu operasional jalan tol ditingkatkan pelayanannya dengan penerapan teknologi *chip based* pada transaksi tol non tunai sejak tahun 2017 dan selanjutnya akan ditingkatkan lagi dengan penerapan transaksi nontunai nirsentuh pada akhir tahun 2022 secara bertahap. Dalam rangka mengurangi kerusakan jalan akibat adanya kendaraan *Over Dimension Over Load* (ODOL) melintas di jalan tol, Pemerintah bersama BUJT memiliki program *Zero ODOL 2023* dalam upaya pengendalian kendaraan ODOL dengan menggunakan teknologi deteksi *over dimensi* dan *over load* yang akan dipasang di jalan tol.

Penetapan Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol bertujuan untuk menyeragamkan pelayanan dasar jalan tol yang dioperasikan oleh para Badan Usaha Jalan Tol untuk menciptakan keselamatan, keamanan, dan kenyamanan bagi para pengguna jalan tol. Untuk itu, selalu diperlukan adanya evaluasi Standar Pelayanan Minimal Jalan

Tol tersebut sehingga dapat mengakomodasi kemajuan teknologi yang diimplementasikan di jalan tol di Indonesia. Hal ini dapat meningkatkan tingkat pelayanan kepada pengguna jalan tol dari segi kenyamanan, keamanan, dan keselamatan berkendara di jalan tol.

KAJIAN HUKUM DAN PUSTAKA

Aspek Hukum Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol

Terdapat beberapa peraturan yang menjadi dasar hukum bagi penyusunan standar pelayanan minimum jalan tol. Beberapa peraturan tersebut antara lain Undang-undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan dan Undang-undang No. 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, Peraturan Pemerintah No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol dan perubahan-perubahannya (PP No. 44 Tahun 2009, PP No. 43 Tahun 2013, PP No. 30 Tahun 2017 dan PP No. 17 Tahun 2021 tentang Perubahan PP No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol), serta Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 392/PRT/M/2005 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol.

Review Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan

Pada UU No. 2 Tahun 2022 dilakukan penyempurnaan pengaturan tentang Jalan Tol. Salah satunya antara lain restrukturisasi ketentuan umum dan tambahan pengertian SPM dalam pengelolaan jalan, termasuk jalan tol. Dalam UU ini SPM didefinisikan sebagai:

“Standar Pelayanan Minimal yang selanjutnya disingkat SPM adalah ketentuan mengenai jenis dan mutu pelayanan dasar

yang berhak diperoleh setiap warga negara secara minimal atas penyelenggaraan jalan”

Pada UU ini terdapat pasal yang menjadikan SPM sebagai salah satu aspek penting dalam penyelenggaraan jalan tol termasuk pemenuhannya dan menjadi bagian yang terintegrasi dalam penentuan/penyesuaian tarif jalan tol. Adapun evaluasi dan penyesuaian tarif Tol dilakukan setiap 2 (dua) tahun sekali berdasarkan pengaruh laju inflasi dan evaluasi terhadap pemenuhan SPM Jalan Tol. Dalam kondisi tertentu, Pemerintah dapat melakukan penyesuaian tarif di luar 2 (dua) tahun sekali.

Kewajiban badan usaha untuk memenuhi SPM jalan Tol dan melakukan evaluasi SPM paling tidak 6 bulan sekali dan melaporkan hasilnya kepada Menteri PUPR melalui Badan Pengelola Jalan Tol (BPJT) Kementerian PUPR/unit terkait yang selanjutnya wajib melakukan evaluasi/pengecekan. SPM jalan tol dimuat dalam perjanjian pengusahaan jalan tol dan hasil pengecekan/evaluasi nya merupakan dokumen publik. Sanksi administratif apabila badan usaha tidak memenuhi SPM jalan tol berupa (1) teguran tertulis (2) penundaan penyesuaian tarif (3) denda administratif (4) pembatalan perjanjian pengusahaan jalan tol.

Dalam peraturan ini SPM didefinisikan sebagai ukuran tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang harus selalu dipenuhi dan melingkupi kondisi jalan tol yaitu kondisi pada perkerasan jalur utama, drainase, median, bahu jalan, dan ketentuan lain yang terkait dengan persyaratan teknis jalan tol, prasarana keselamatan dan keamanan yaitu petunjuk jalan, penerangan jalan umum, anti silau, pagar Ruang Milik Jalan, pagar pengaman, fasilitas penanganan kecelakaan, fasilitas pengamanan dan penegakan hukum, dan segala

sesuatu yang menunjang keselamatan dan keamanan, prasarana pendukung layanan bagi pengguna jalan tol yaitu unit pertolongan/penyelamatan dan bantuan pelayanan, tempat istirahat dan pelayanan, dan segala sesuatu yang mendukung layanan jalan tol, termasuk waktu tanggap dalam penanganan hambatan lalu lintas.

Review Peraturan Pemerintah tentang Jalan Tol

Peraturan pemerintah tentang tol yaitu PP No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol sudah 4 kali mengalami perubahan. Beberapa materi terkait dengan aspek SPM jalan tol adalah bahwa pada setiap jalan tol harus terdapat tempat istirahat dan pelayanan dimana disediakan paling sedikit setiap jarak 50 km. Tempat istirahat dimaksud sekurang-kurangnya terdiri dari sarana tempat parkir, jamban, dan peturasan. Pelayanan yang dimaksud adalah tersedianya antara lain stasiun pengisian bahan bakar, restoran, toko kecil, dan bengkel di tempat istirahat tersebut. Tempat istirahat dan pelayanan di jalan tol digunakan untuk keperluan berhenti sementara bagi pengguna jalan tol dan/atau perbaikan kendaraan.

Terkait aspek keselamatan pengemudi, maka setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagarangan, dan dilengkapi dengan fasilitas penyeberangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan. Teknis pengumpulan tarif tol dilakukan dengan sistem tertutup dan sistem terbuka. Sistem tertutup adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunaanya diwajibkan mengambil tanda masuk pada gerbang masuk dan membayar tol pada gerbang keluar. Sedangkan, sistem terbuka adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunaanya diwajibkan membayar tol pada saat melewati gerbang masuk atau gerbang keluar. Pembayaran dilakukan dengan membayar langsung atau berlangganan. Terkait aspek pelaksanaan

terdapat point standar kinerja pelayanan serta prosedur penanganan keluhan masyarakat namun tidak ada materi terkait SPM yang harus dimasukkan dalam perjanjian perusahaan jalan tol.

Review Peraturan Menteri Pekerjaan Umum terkait SPM Sebelumnya

Dalam Permen PU No. 392/PRT/M/2005 tentang SPM Jalan Tol substansi pelayanannya meliputi kondisi jalan tol, kecepatan perjalanan rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan, dan unit pertolongan/penyelamatan dan bantuan pelayanan. Sementara dalam Permen PU No. 16/PRT/M/2014 tentang SPM Jalan Tol substansinya bertambah dua parameter yaitu lingkungan, dan Tempat Istirahat (TI), dan Tempat Istirahat dan Pelayanan (TIP).

Tinjauan Teori Standar Pelayanan Minimum

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 65 Tahun 2004 tentang Pedoman Penyusunan dan Penerapan Standar Pelayanan Minimal, Standar Pelayanan Minimal atau disingkat dengan SPM didefinisikan sebagai suatu ketentuan tentang jenis dan mutu pelayanan dasar yang merupakan urusan wajib yang diperoleh oleh setiap warga secara minimal. SPM terdiri atas indikator-indikator yang merupakan tolok ukur prestasi kuantitatif dan kualitatif yang digunakan untuk menggambarkan besaran sasaran yang akan dipenuhi dalam pencapaian suatu SPM tertentu, berupa masukan, proses, hasil/atau manfaat pelayanan. Pelayanan dasar yang dimaksudkan dalam dasar hukum ini adalah jenis pelayanan publik yang mendasar dan mutlak harus dipenuhi untuk kebutuhan masyarakat dalam kehidupan sosial, ekonomi dan pemerintahan. SPM disusun sebagai sarana bagi Pemerintah untuk menjamin akses

dan mutu pelayanan dasar yang diberikan kepada masyarakat dapat terpenuhi. SPM yang disusun harus bersifat sederhana, konkrit, mudah diukur, terbuka, terjangkau dan dapat dipertanggungjawabkan, serta mempunyai batas waktu pencapaian. SPM dikembangkan sesuai dengan perkembangan kebutuhan, prioritas dan kemampuan keuangan nasional serta kemampuan kelembagaan dan personil dalam bidang bersangkutan (Kementerian Dalam Negeri, 2011).

Tinjauan SPM negara lain

NCHRP W97

NCHRP *Project*, mendefinisikan kinerja pelayanan sebagai: Penggunaan dari bukti statistik untuk menentukan kemajuan dari tujuan spesifik suatu organisasi. Hal ini mencakup dua bukti yakni, fakta aktual, seperti pengukuran dari kerataan permukaan perkerasan dan pengukuran persepsi pengguna/ pelanggan, seperti survei kepuasan pelanggan. Di dalam pelayanan industri sebagai contoh dalam hal transportasi. Proses pengukuran kinerja dimulai dari mendefinisikan secara presisi apa yang sudah dijanjikan oleh badan organisasi terkait untuk disediakan, termasuk juga pemenuhan kualitas atau *level of service* (LOS).

Seringkali terdapat banyak kesempatan untuk mengumpulkan masukan/ input dari pengguna sistem dalam waktu sebenarnya, hal ini dikarenakan pelayanan transportasi sering “dikonsumsi” pada saat yang sama saat hal tersebut “diproduksi.” Pengukuran kinerja menyediakan informasi bagi manajer untuk mengetahui bagaimana pelayanan tersebut disediakan. Pengukuran kinerja harus merefleksikan kepuasan dari pelanggan sebagai masukan bagi yang terkait yakni pemilik dan operator.

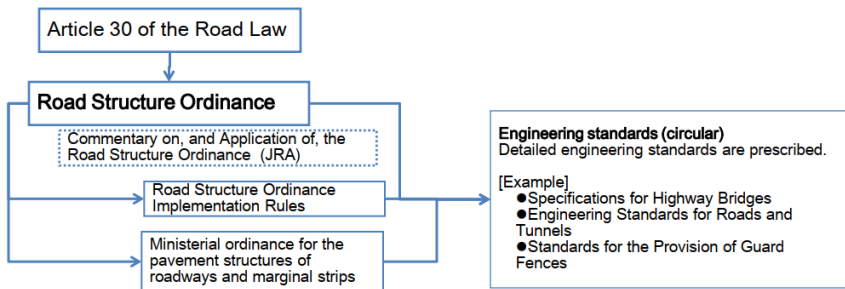
Vermont Highway

Metode ini melingkupi pemberian rating terhadap beberapa elemen jalan bebas hambatan berdasarkan kondisi, dimensi, dan pelayanan dari jalan bebas hambatan dan kemampuan untuk melewati lalu lintas secara efisien. Suatu jalan bebas hambatan yang memenuhi persyaratan di setiap aspeknya mendapat 100 poin. Komponen dari rating dibagi menjadi tiga kategori utama yakni Kondisi Struktural (50 poin), Keselamatan (25 poin), dan Pelayanan (25 poin).

Panjang dari tiap seksi yang dinilai berdasarkan dari observasi lapangan dan data sekunder, seperti *database*, *log route*, dan data *videolog*. Tiap seksi penilaian harus mempunyai karakter yang homogen. Suatu seksi berakhir jika ada karakteristik baru yang muncul, contohnya saat ada perubahan signifikan dalam volume lalu lintas, tipe permukaan atau lebar jalan, kondisi struktural, tipe medan, atau *alinyemen* dari jalan. Oleh karena itu, seksi dapat bervariasi mulai dari satu mil sampai beberapa mil.

Japan Road Association

Di Jepang, standard desain terkait jalan diatur oleh pemerintah melalui Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Asosiasi pengelola jalan seperti Japan Road Association juga menyiapkan detail standar operasional jalan dengan mengacu pada *Article 30* pada *road law*. Berikut adalah gambaran desain standar dan operasional infrastruktur jalan di Jepang:



Gambar 1 Bagan Standar Desain dan Operasi Infrastruktur Jalan di Jepang

Dalam aktivitas operasional dan manajemen, terdapat 4 aktivitas utama yang menjadi pelayanan pengelola jalan kepada pengguna jalan yaitu kontrol terhadap lalu lintas yang melingkupi kegiatan: (1) monitoring lalulintas, (2) menyediakan informasi terkait kondisi lalu lintas, (3) menyediakan sumber daya patrol jalan raya, dan (4) memonitor dan mengevaluasi fasilitas jalan. Di samping itu, terdapat operasi/manajemen lalu lintas yang melingkupi kegiatan: (1) patroli rutin, (2) pengumpulan data-data lalu lintas, serta (3) manajemen lalu lintas jika diperlukan dalam merespon kecelakaan atau aktivitas khusus.

Selanjutnya adalah penarikan tarif tol yang melingkupi aktivitas: (1) mengambil tarif tol di gerbang tol yang dipastikan berfungsi dan (2) merespon kecelakaan yang ada di jalan. Terakhir adalah operasi dan perbaikan infrastruktur jalan yang melingkupi aktivitas: (1) inspeksi terhadap infrastruktur utama yaitu perkerasan jalan, jembatan, terowongan, dinding penahan tanah, (2) merawat tanaman yang ada di sepanjang jalan, (3) melakukan perbaikan insidental, serta (4) menyingkirkan salju.

Standard for Highways-UK

Di Inggris tidak dikenal sistem jalan tol berbayar, namun terdapat beberapa standar terkait desain, operasi, dan pemeliharaan jalan. Terdapat dua standar yang saling melengkapi terkait operasi dan pemeliharaan jalan, yaitu *Design Manual For Roads and Bridges/DMRB* dan *Network Management Manual/NMM*.

Dalam DMRB terdapat 9 aspek yang dikaji meliputi: (1) aturan umum, (2) sustainabilitas dan lingkungan, (3) *layout* jalan, (4) perkerasan, (5) struktur jalan dan jembatan, (6) drainase, (7) geoteknik, (8) kontrol dan teknologi Informasi, dan (9) lampu jalan. Selain itu terdapat 7 kegiatan yang mencakup aspek *lifecycle* dari suatu infrastruktur jalan yaitu: (1) Pengadaan, (2) Desain, (3) Konstruksi, (4) Operasi dan Pemeliharaan, (5) Inspeksi dan Penilaian, dan (6) Pembuangan. Dalam konteks SPM, maka sangat menarik untuk melihat standar yang ada untuk aktivitas inspeksi dan penilaian terhadap kondisi infrastruktur yang ada.

Sementara itu dalam NMM terdapat 10 bagian yang meliputi: (1) Manajemen kesehatan dan keselamatan, (2) Arsip *asset management*, (3) Servis rutin, (4) *Traffic management*, (5) Servis musim dingin, (6) Manajemen okupansi jaringan (7) Perencanaan manajemen kecelakaan lalu lintas, (8) Informasi untuk pengguna jalan, (9) Perencanaan program dan pengembangan infrastruktur jalan, dan (10) Administrasi.

Tinjauan SPM Jalan Tol dari Pustaka

Studi yang dilaksanakan oleh Makmur & Rajagukguk (2015) memberikan gambaran terhadap evaluasi Standar Pelayanan

Minimal Jalan Tol yang dilakukan. Hasil pengambilan dan pengolahan data monitoring dan evaluasi SPM Jalan Tol pada tahun 2012 hingga 2014 memperlihatkan beberapa indikator yang tidak dipenuhi pada beberapa ruas jalan tol dan selalu berulang tidak dapat dipenuhi. Sebagai contoh adalah tidak terpenuhinya “tidak adanya lobang” yang disebabkan kurang cepatnya penanganan penambalan, sehingga selalu ditemukan adanya lobang pada setiap kegiatan monitoring SPM. Sedangkan tidak terpenuhinya indikator-indikator substansi pelayanan terkait keselamatan umumnya disebabkan karena faktor eksternal di luar operator, misalnya rusaknya pagar Ruang Milik Jalan atau Rumija oleh warga sekitar dan hilangnya elemen reflektor yang dilakukan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Tidak terpenuhinya indikator Penerangan Jalan Umum (PJU) di beberapa tempat disebabkan karena hilang dan rusaknya beberapa komponen sehingga PJU tidak berfungsi baik.

Berdasarkan persentase pemenuhan kriteria SPM Jalan Tol yang dilakukan, terdapat 2 substansi pelayanan dan 6 indikator yang selalu tidak dapat dipenuhi, yaitu substansi pelayanan kondisi jalan tol dengan 1 (satu) indikator, yaitu tidak adanya lobang, dan substansi Pelayanan Keselamatan dengan 5 (lima) indikator, yaitu kelengkapan rambu, marka jalan, *guide post* atau reflektor, pagar Rumija, dan penerangan jalan umum (PJU).

Faktor utama yang menentukan pemenuhan Substansi Pelayanan Kondisi Jalan Tol yang terkait dengan indikator tidak adanya lubang adalah manajemen operasional dan pemeliharaan yang dilakukan oleh operator. Sedangkan tidak terpenuhinya substansi pelayanan keselamatan dan indikator-indikator yang termuat di dalamnya banyak pengaruh faktor eksternal. Dari hasil monitoring diketahui

bahwa banyak pagar Rumija rusak karena digunakan sebagai akses oleh warga di sekitar jalan tol. Hilangnya beberapa komponen PJU dan reflektor dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Kenyataan itu seharusnya dapat ditindaklanjuti dengan penegakan hukum yang baik karena pada dasarnya tidak lengkapnya sarana tersebut dapat memberikan dampak bagi keselamatan pengguna jalan tol dan masyarakat itu sendiri.

Studi selanjutnya dari Makmur et al (2019) mengidentifikasi *gap* dari SPM yang sudah ada, dan membandingkannya dengan literatur dan praktek dari 8 negara berbeda. Dari hasil penelitian ini, penulis mengusulkan 20 buah *Key Performance Indicators* dan 11 pelengkap pengukuran performa indikator tersebut. Dapat dilihat bahwa performa kondisi perkerasan jalan tol, diwakili oleh kekesatan, kerataan dan kondisi perkerasan secara umum (tidak ada lubang dan retak). Adapun aspek keamanan dilengkapi oleh ketersediaan infrastruktur pendukung seperti pagar pembatas. Sedangkan aspek kenyamanan melingkupi kebersihan jalan tol, waktu tempuh pelayanan jalan tol, dan ketersediaan informasi jalan tol.

Berdasarkan penerapan operasional dan berlaku umum dan dilihat dari sudut pandang pengguna dan pemangku kepentingan (*stakeholder*) lainnya, terungkap bahwa ada beberapa kelemahan SPM, misalnya indikator yang tidak lengkap dan tidak ada syarat SPM yang tidak terpenuhi. Kajian Karsaman (2009) memberikan usulan awal dan ilustrasi tentang beberapa parameter dan pengukurannya yang bisa dibilang untuk meningkatkan SPM, termasuk rekomendasi untuk tindakan lebih lanjut untuk menerapkannya. Usulan tersebut terdiri dari: (1) kondisi jalan

seharusnya menggunakan pengukuran tersegmentasi/per 100 m dan maksimum kekasaran, serta kerusakan tambahan seperti *rutting*, retak, dan lain-lain, (2) kecepatan lalu lintas, seharusnya menggunakan nilai absolut dari kecepatan minimal 50% dari kecepatan desain, misal 60-40 km/jam, (3) waktu transaksi dan jumlah gerbang tol yang diperlukan, ini harus didasarkan pada panjang antrian maksimum 10-20 kendaraan, (4) keselamatan, harus menggunakan beberapa fasilitas tambahan seperti anti silau, (5) unit kecelakaan bantuan dan layanan dukungan, harus menambahkan beberapa fasilitas seperti memasang *Virtual Message Sign/VMS*, telepon darurat, dan (6) lainnya, harus melakukan survei indeks kepuasan pelanggan setiap tahun.

Penelitian lebih lanjut oleh Weningtyas dan Karsaman (2009) menguraikan isu yang berkembang dan menggunakan survei kepada pengguna serta lembaga yang terlibat sebagai pihak terkait, sehingga menyebabkan beberapa temuan yang akan dijelaskan kemudian. Menurut operator, ada beberapa kesulitan untuk memenuhi beberapa indikator, seperti pagar karena aksi perusakan atau pencurian. Di sisi lain, pengguna tidak sepenuhnya mengerti tentang SPM dan tidak dapat memeriksa apakah sudah terpenuhi. Saran lainnya tentang beberapa indikator yang termasuk waktu respon dan daerah pengamatan tidak memadai serta peralatannya harus diselesaikan, indikator marka jalan dan reflektor yang perlu perbaikan, serta indikator pencahayaan perlu dipelihara. Untuk parameter pagar, terdapat beberapa masalah seperti kurangnya pengawasan dan terbatasnya pilihan kualitas pagar, kurangnya pemeliharaan, kendala anggaran untuk penggantian dan juga masalah dari aspek eksternal seperti perusakan, peningkatan permintaan untuk penyeberangan/persimpangan. Untuk mendukung fasilitas unit, ada keseimbangan

antara permintaan dan penawaran dan peralatan darurat yang tidak memenuhi serta kurang lengkapnya peralatan pertolongan pertama.

Evaluasi aspek teknis kemudian dilaksanakan dengan melihat keterlibatan antar indikator SPM dan teori-teori yang melatar belakangi perlunya indikator-indikator tersebut terjadi. Aspek-aspek teknis yang dimaksud antara lain:

Kondisi Layanan Jalan Tol

Kondisi perkerasan jalan yang diharapkan oleh pengguna adalah tidak basah, terutama di tepi. Kondisi aspal yang tidak licin, tidak terlalu kekasaran, tidak bergelombang dan tidak ada lubang. Parameter SPM yang ada hanya menilai kekasaran kekesatan dan jumlah lubang. Kondisi yang ada saat ini tidak mengukur benturan, karena itu perlu menambahkan kriteria penilaian untuk memenuhinya. Selain itu fasilitas yang diharapkan oleh responden adalah ketersediaan pom bensin, restoran, tempat ibadah, toilet yang baik dan bersih serta mudah digunakan untuk pengguna dan kenyamanan lingkungan.

Kondisi Keamanan dan Keselamatan

Indikator harus dapat memberikan bantuan layanan seperti sistem informasi bantuan dan alat berat yang dibutuhkan untuk kecelakaan kendaraan berat seperti truk. Ada banyak kendala yang dialami untuk lalu lintas tol seperti kendaraan berat mengambil jalur kanan, sistem penerangan yang buruk di malam hari atau kondisi cuaca buruk, kemacetan lalu lintas, kondisi kendaraan buruk, pengemudi tidak disiplin (melewati bahu atau jalur kiri) atau kecepatan kendaraan lebih cepat atau rendah, dan bencana alam seperti tanah longsor dan lain-lain. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa

parameter tambahan untuk menghadapi kondisi yang tidak diinginkan.

Kondisi Kepuasan Pelanggan sebagai Sistem Evaluasi

Survei kepuasan pelanggan dianggap diperlukan untuk alasan tertentu, yaitu bahwa informasi ini baik untuk meningkatkan tingkat layanan, semua pihak (operator dan pengguna) perlu memahami hak dan kewajiban mereka sendiri, sehingga mereka dapat memberikan koreksi jika ada kondisi yang tidak sesuai yang berkaitan dengan tingkat SPM, sebagai masukan kinerja operator dalam memberikan pelayanan, faktor utama untuk pelayanan yang nyaman, mudah, lancar dan selamat, dan SPM seharusnya mengakomodasi kepuasan pengguna jalan tol.

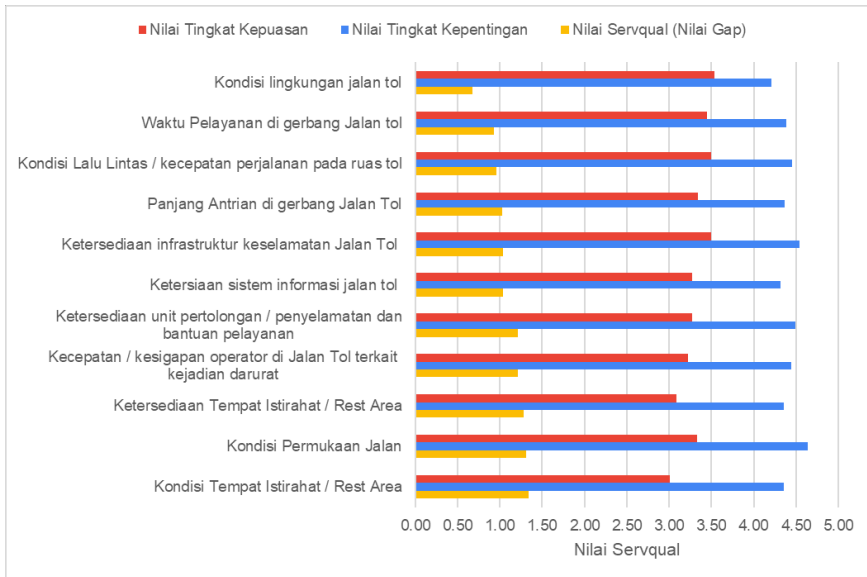
Survei Persepsi Pengguna Tol

Dalam evaluasi SPM jalan tol, dilakukan survei kepada pengguna jalan tol di seluruh Indonesia yang dilakukan pada Januari 2022. Ada dua persepsi yang ditanyakan yaitu persepsi terhadap tingkat kepentingan pelayanan dan persepsi terhadap tingkat kepuasan terhadap layanan yang diberikan. Metode analisis yang digunakan adalah metode *SERVQUAL* dan metode IPA.

Metode SERVQUAL

Analisis dengan menggunakan metode *SERVQUAL* akan memperlihatkan besarnya jarak (*gap*) untuk indikator-indikator yang terdapat di dalam SPM dan hasilnya dirangkum dalam bentuk grafik yang dapat dilihat di bawah ini. Dari gambar tersebut terlihat selisih antara harapan dan pelayanan yang diterima oleh pengguna jalan tol. Grafik disusun dengan selisih pelayanan lebih rendah pada sisi atas

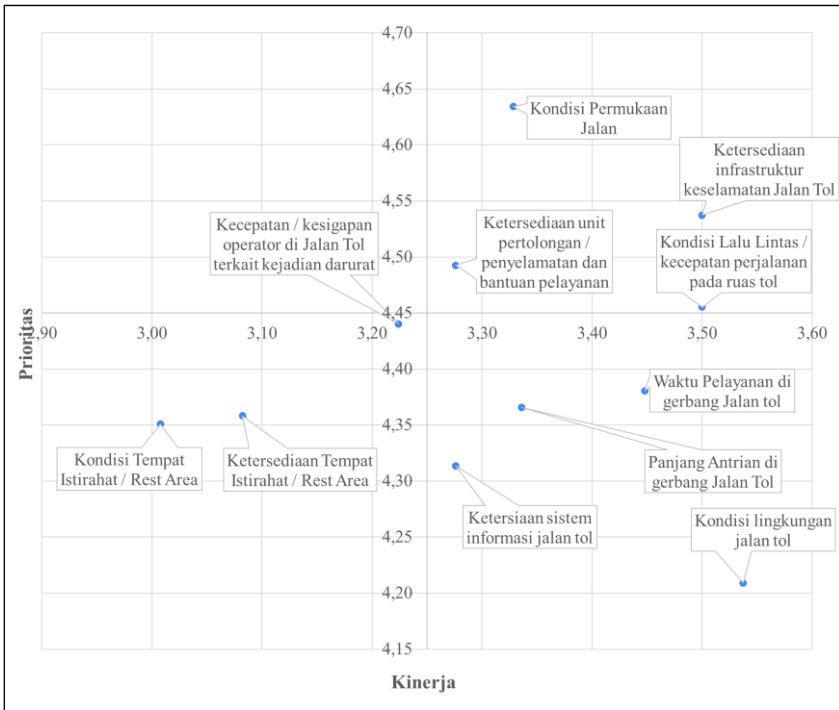
dan selisih pelayanan yang lebih tinggi pada sisi bawah. Terlihat bahwa indikator kondisi tempat istirahat, kondisi permukaan jalan, dan ketersediaan tempat istirahat adalah 3 aspek dengan *gap* paling besar yang artinya ketiga aspek ini adalah aspek yang paling ingin ditingkatkan kualitas pelayanannya oleh responden.



Gambar 2 *Customer Gap* Indikator dalam SPM

Metode IPA (Importance Performance Analysis)

Analisis poin pelayanan yang menjadi prioritas disampaikan pada grafik analisis dengan metode IPA. Hasil tersebut diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 3 Analisis IPA Kinerja Tol

Dari gambar di atas, terlihat aspek-aspek pelayanan yang menjadi prioritas bagi pengguna jalan tol dan aspek-aspek yang pelayanannya masih dinilai rendah. Dapat dilihat bahwa tidak ada poin pelayanan yang berada di kuadran prioritas utama (sangat penting tetapi pelayanan cenderung tidak memuaskan). Namun beberapa aspek dengan kinerja kurang memuaskan diantaranya ketersediaan tempat istirahat dan kondisi tempat istirahat serta kecepatan/kesigapan operator jalan tol dalam kondisi darurat. Kondisi lalu lintas/kecepatan jalan tol, serta ketersediaan infrastruktur pengamanan jalan tol poin pelayanan utama yang perlu dipertahankan karena berada di kuadran grafik prioritas yang perlu dipertahankan (sangat penting dan pelayanan memuaskan). Dalam

kaitan dengan evaluasi SPM, poin-poin pelayanan utama tersebut perlu menjadi fokus utama dalam SPM dan diperinci aspek teknisnya.

ANALISIS KEBUTUHAN SPM JALAN TOL

Dari kajian yang sudah dilakukan termasuk aturan terkait operasional jalan tol yang terbaru serta usulan pada kajian terdahulu, terdapat 8 aspek utama yang diusulkan sebaiknya ditinjau dalam revisi Permen PU No. 16 Tahun 2014 sebagai berikut.

Aspek Kondisi Jalan dan Metode Monitoring yang dilakukan

Salah satu aspek penting dalam penyusunan SPM ini adalah kondisi jalan di tol sehingga diperlukan adanya metode monitoring jalan tol yang efektif. Oleh karena itu ketersediaan alat monitoring yang efektif diusulkan untuk dapat menjadi bagian dari SPM jalan tol. Saat ini terdapat dua tipe perkerasan yang umum digunakan pada jalan tol di Indonesia yaitu perkerasan lentur dan kaku. Sehingga dalam penentuan SPM diusulkan dua nilai kondisi yang berbeda untuk tipe perkerasan yang berbeda. Penentuan kondisi perkerasan yang dilakukan oleh operator mengikuti didasarkan kepada kekesatan (*skid resistance*), kekasaran (*roughness*), dan jumlah lubang (*number of potholes*).

Kekesatan (skid resistance)

Pembacaan dilakukan untuk setiap 20 meter dan dirata-ratakan untuk interval 100 meter. Nilai kekesatan ditentukan dari keseluruhan segmen yang ditinjau. Pelaporan dilakukan dengan grafik atau

dengan menunjukkan titik dimana terdapat nilai yang melebihi batas ukur. Sebaiknya dilakukan setiap tahun yang sebelumnya diusulkan hanya sekali dua tahun. Alat ukur yang dapat digunakan diantaranya adalah *Mu meter*, *British Pendulum Test*, atau *SCRIM*.

Ketidakrataan jalan

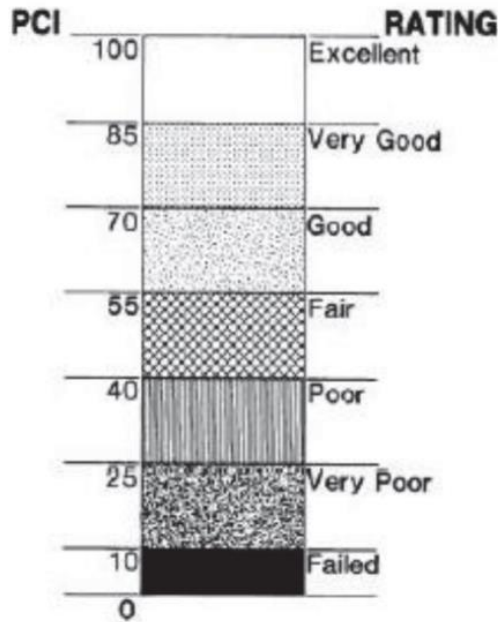
Ketidakrataan jalan merupakan istilah untuk menjelaskan tingkat kenyamanan yang dirasakan pengguna jalan ketika berkendara yang merupakan suatu parameter kondisi yang mencerminkan perbedaan profil memanjang suatu jalan yang dipengaruhi oleh proses hasil konstruksi, beban lalu lintas dan lingkungan dan akan berpengaruh terhadap biaya pengguna jalan, kenyamanan berkendara dan beban dinamis pada perkerasan.

Ketidakrataan jalan bisa diukur dengan menggunakan skala *International Roughness Index (IRI)*. IRI adalah suatu skala yang didasarkan pada simulasi respon suatu kendaraan standard terhadap ketidakrataan dalam satu jejak roda dari permukaan jalan. Pengujian sebaiknya dilakukan dua kali dalam setahun sesuai dengan jadwal inspeksi pemenuhan SPM kepada BUJT.

Kondisi kerusakan jalan

Kondisi kerusakan jalan pada SPM sebelumnya terkait jumlah lubang (*potholes*). Indikator ini diusulkan diganti menjadi *Pavement Condition Index (PCI)* yang juga dipakai untuk menilai kerusakan jalan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (DJBK KemenPUPR). PCI adalah salah satu sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan yang terjadi dan dapat digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan. PCI mempunyai rentang dari nilai

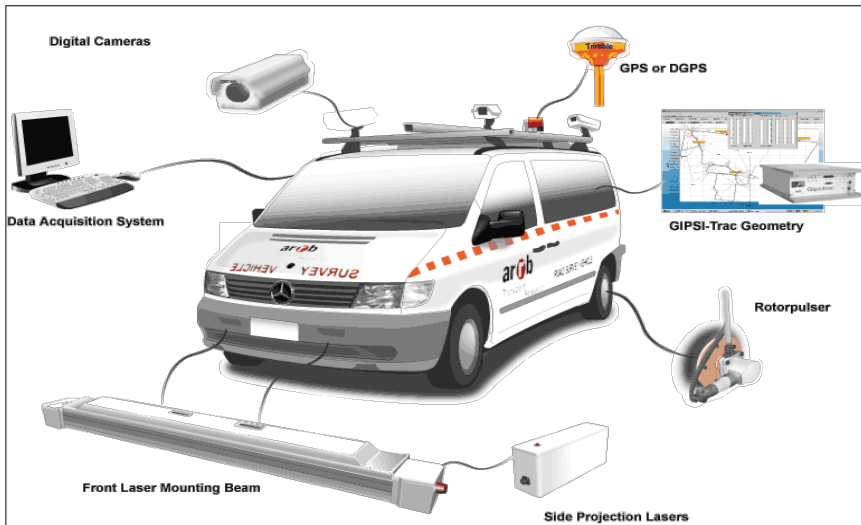
0 (nol) hingga 100 (seratus), dengan kriteria sebagaimana disajikan Gambar 4.



Sumber: Mohammed, Bubaker M.B (2017)

Gambar 4 Penilaian *Pavement Condition Index* (PCI)

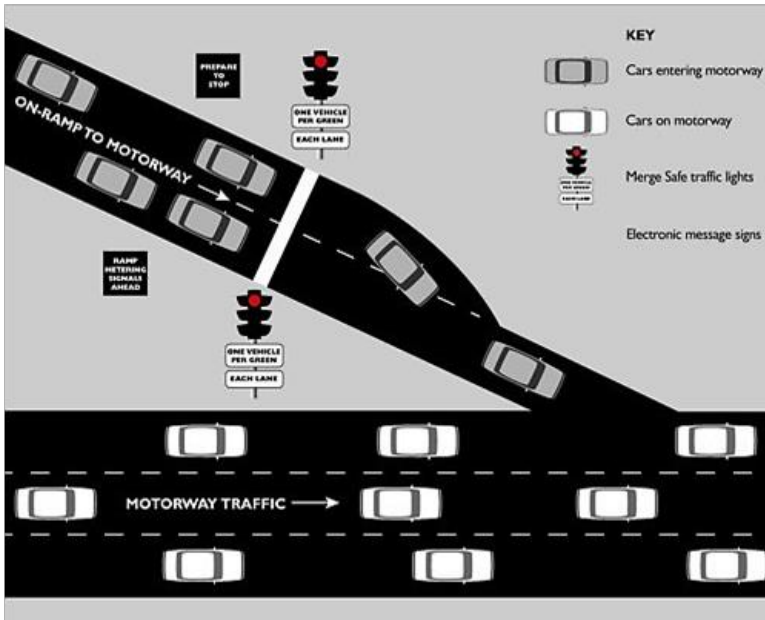
Terkait pengukuran kerataan jalan, diusulkan agar SPM mewajibkan penggunaan alat bantu survey *laser profilometer* (contoh: *Hawkeye*) yang dapat meningkatkan efisiensi pengambilan data kondisi jalan. Alat survey dengan teknologi laser profilometer seperti *Hawkeye* terbukti cepat dan akurat dalam mengumpulkan data kondisi jalan. Beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan penggunaan alat ini adalah keterbatasan ketersediaan ini di Indonesia serta proses pengolahan data hasil survei yang belum praktis. Untuk memberi gambaran tentang alat *hawkeye* dan komponennya, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hawkeye dan Komponennya

Aspek Kondisi Lalu Lintas

Evaluasi tingkat pelayanan jalan tol dapat berupa kecepatan lalu lintas/waktu tempuh, derajat kejenuhan, dan kepadatan lalu lintas. Untuk menjaga kecepatan rata-rata agar tidak dibawah 60 km / jam dan derajat kejenuhan jalan tol tidak melewati ambang batas SPM ($\leq 0,8$) maka pengguna jalan tol akan dibatasi jika kondisi lalu lintas sudah mulai padat. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *ramp meter*, yaitu alat biasanya lampu sinyal dua bagian (hanya merah dan hijau) bersama dengan pengendali sinyal yang dapat mengatur arus lalu lintas yang memasuki jalan tol. Di beberapa negara, sistem ini terbukti berhasil mengurangi kemacetan di dalam tol dan meningkatkan keselamatan pengemudi. *Ramp meter* biasanya hanya akan dioperasikan pada saat permintaan perjalanan puncak di jalan tol atau saat-saat lalulintas padat lainnya. Gambar 6 memberikan ilustrasi aplikasi *ramp metering* dalam jalan tol.



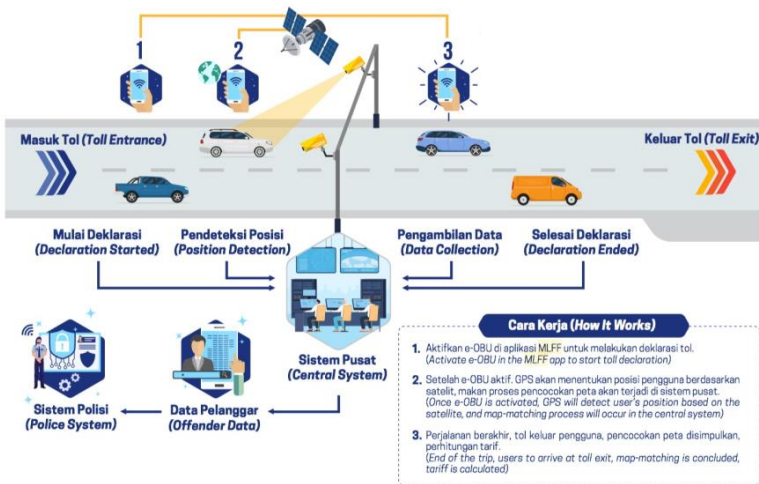
Sumber: BRAUMS Pty Ltd (2023)

Gambar 6 Ilustrasi Aplikasi Ramp Metering

Aspek Aksesibilitas Jalan Tol / Pelayanan Pembayaran Tarif Tol

Aksesibilitas jalan tol melingkupi dua aspek utama yaitu kecepatan transaksi dan antrian kendaraan pada gerbang tol. Namun dengan berkembangnya teknologi dan rencana pengembangan teknologi *multi lane free flow* (MLFF) maka perlu dipikirkan cara pengukuran kinerja aksesibilitas jalan tol ini. MLFF adalah suatu metode pembayaran jalan tol dimana kendaraan tidak perlu berhenti di gerbang tol. Diusulkan terdapat dua aspek SPM yang meliputi SPM terhadap operator jalan tol dan SPM terhadap operator teknologi MLFF. Pertama adalah persentase dari gerbang jalan tol yang menerapkan teknologi MLFF. Dimana semakin banyak gerbang yang menerapkan teknologi ini, maka akan mengurangi tundaan yang diakibatkan oleh waktu transaksi di jalan tol. Kedua adalah

kehandalan/reliabilitas teknologi MLFF terkait penarikan tarif jalan tol yang dapat direpresentasikan oleh MLFF *key performance indicator (KPI)* yang terdiri dari (1) reliabilitas penarikan tarif tol sesuai dengan tarif yang diatur, (2) identifikasi kendaraan dan data kendaraan (golongan kendaraan, warna, tipe/merk kendaraan, plat nomor) yang masuk jalan tol, (3) sarana/mobil patroli jalan tol untuk penegakan hukum, (4) pembagian pendapatan tol kepada operator jalan tol sesuai dengan aturan/kesepakatan yang berlaku, dan (5) adaptasi MLFF pada segmen jalan tol baru.



Sumber: BPJT (2023)

Gambar 7 Ilustrasi Teknologi Gerbang Tol MLFF

Aspek Keberadaan Tempat Istirahat dan Pelayanan (TIP) di Jalan Tol

Rest area atau Tempat Istirahat dan Pelayanan (TIP) adalah tempat di sebelah jalan dengan area parkir dan fasilitas yang dapat digunakan oleh pengendara untuk beristirahat dalam perjalanan. Dalam perjalanan jarak jauh, pengemudi disarankan untuk berhenti

sejenak setiap 4 jam mengemudi atau setiap 150-200 km untuk mengurangi resiko terjadinya kecelakaan karena kelelahan. Oleh karena itu diusulkan TIP memiliki beberapa fungsi dalam konteks perjalanan dengan menggunakan jalan tol di Indonesia diantaranya adalah sebagai tempat istirahat pengemudi kendaraan, pemenuhan kebutuhan pengguna jalan selama perjalanan, antara lain makan, minum, dan menggunakan toilet, serta *rest area* sebagai upaya pengembangan ekonomi komoditas dan budaya lokal. Dalam hal ini Kementerian PUPR sudah mengeluarkan Permen PUPR No. 28 Tahun 2021 tentang Tempat Istirahat dan Pelayanan pada Jalan Tol. SPM jalan tol perlu memperhatikan aturan terbaru ini agar dapat sesuai dengan SPM yang nantinya akan menjadi layanan minimum yang akan disediakan oleh BUJT.

Penyediaan Alat Timbang untuk Inspeksi Kendaraan ODOL

Salah satu isu sentral dalam pengelolaan jalan tol adalah kontrol truk/kendaraan barang dengan muatan dan dimensi berlebih/*Over Dimension Over Load (ODOL)*. Terdapat dua aspek penting mengapa fenomena ODOL menjadi perhatian pengelola jalan tol yaitu truk/kendaraan barang ODOL jauh mempunyai potensi lebih besar untuk terlibat dalam kecelakaan lalu lintas terutama kecelakaan lalu lintas dengan tingkat fatalitas yang tinggi, dan truk / kendaraan barang ODOL mempunyai pengaruh yang signifikan dalam konteks pemeliharaan kondisi perkerasan jalan di jalan tol, dimana beban kendaraan yang berlebih membuat perkerasan jalan menjadi lebih cepat rusak.

Disamping itu untuk mencegah atau menindak kendaraan ODOL memasuki jalan tol, maka diperlukan penyediaan alat *weigh in*

motion (WIM) di setiap akses masuk jalan tol. Dengan demikian kendaraan pelanggar ODOL dapat ditindak ketika kendaraan mulai memasuki jalan tol berupa denda tilang atau penurunan muatan.

Aspek Pengembangan Sistem Teknologi Informasi Jalan Tol

Rencana pengembangan sistem teknologi informasi disusun dengan maksud sebagai pedoman BUJT dalam menerapkan sistem teknologi informasi yang akan dikelola. Tujuan pengembangan sistem teknologi informasi adalah agar tercipta pelayanan jalan tol yang efektif, efisien, aman dan nyaman serta berkeselamatan dengan berbasis *intelligent transport system* (ITS). Dalam penerapannya teknologi sistem informasi ini harus berdasar pada prinsip-prinsip (1) efektif, yaitu ITS mampu memberikan kontribusi nyata terhadap pelayanan jalan tol, (2) efisien, yaitu penggunaan biaya minimal dalam pencapaian tujuan penerapan ITS, (3) interoperabilitas, yaitu kemudahan integrasi pengolahan data secara elektronik, (4) perhatian terhadap karakteristik setiap ruas jalan tol yaitu penyesuaian penerapan ITS terhadap karakteristik setiap ruas jalan tol, khususnya volume lalu lintas, (5) aksesibilitas, yaitu kemudahan akses terhadap aplikasi ITS bagi seluruh pengguna, (6) teknologi, yaitu penggunaan teknologi terbaru yang relevan dalam penerapan ITS, (7) aktual, yaitu penyediaan informasi terkait jalan tol dan ITS secara aktual dan terkini, dan (8) keterpaduan, yaitu keterpaduan antara peraturan dan kebijakan yang ada.

Sarana yang penting untuk diperhatikan di sini seperti VMS, *Closed Circuit Television/CCTV*, dan alat-alat pemantau kecepatan kendaraan, serta penyediaan kendaraan atau moda pemantau khusus seperti sepeda motor, dan helikopter.

Penambahan SPM untuk Pelayanan dan Lingkungan

Diantara penambahan SPM untuk pelayanan lingkungan adalah survei kepuasan pelanggan yang dilakukan minimal dilakukan setahun sekali, serta pemasangan alat pengurang dampak lingkungan seperti *noise barrier*, dan *anti-glare*.

Penambahan SPM untuk Konstruksi Khusus (Jalan Layang, Terowongan, dan Jalur Khusus Sepeda Motor)

Pada bagian konstruksi khusus, perlu dijabarkan lagi indikator-indikator mengenai integritas struktur, penerangan, pemantauan terhadap bahaya angin atau gempa, serta pemantauan terhadap genangan air di sisi jalan. Hal ini mengingat banyak jalan tol yang menggunakan jalan layang atau terowongan sebagai bagian dalam satu ruasnya.

Resume usulan pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol disajikan dalam Tabel 1.

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis yang dilakukan di muka memperlihatkan bahwa perlu adanya evaluasi terhadap Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol dengan tujuan untuk melakukan kajian teknis terhadap pelaksanaan pemenuhan masing-masing substansi pelayanan, kemudian melakukan evaluasi dan merevisi untuk menyusun suatu rekomendasi perbaikan terhadap SPM yang ada.

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol

No	SUBSTANSI PELAYANAN	STANDAR PELAYANAN MINIMAL			KETERANGAN
		INDIKATOR	CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	
1	2	3	4	5	6
1.	Kondisi Jalan Tol	Perkerasan Jalur Utama			
		- Kekerasan	Seluruh ruas jalan tol	> 0,33 mm	- Hasil pengukuran dilakukan untuk tiap lajur
		- Ketidakterataan	Seluruh ruas jalan tol	Perkerasan Kaku atau Perkerasan Lentur: IRI ≤ 4 mm/km	- Pengukuran dilakukan per 100 m pada tiap ruas
		- Kondisi Perkerasan	Seluruh ruas jalan tol	Nilai PCI (<i>Pavement Condition Index</i>) ≥ 90	- Pengukuran dilakukan tiap 6 bulan
		Drainase (tidak ada endapan dan penampang saluran berfungsi)	Seluruh ruas jalan tol	Fungsi dan manfaat 100%	Waktu toleransi pemenuhan 1 minggu
		Median	Kerb, <i>Median Concrete Barrier</i> , <i>Guard Rail</i> dan <i>Wire Rope</i>	Fungsi dan manfaat 100%	Waktu toleransi pemenuhan 1 minggu
		Bahu Jalan	Seluruh ruas jalan tol	Fungsi dan manfaat 100%	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam
2	Kecepatan Perjalanan Rata-rata	Kecepatan Perjalanan Rata-rata Kondisi Normal	Jalan tol dalam kota Jalan tol luar kota	40 km/jam 60 km/jam	Waktu pemenuhan setiap saat (dalam kondisi normal) dan untuk memenuhi nilai kecepatan ini dapat dilakukan ramp metering ketika kondisi kecepatan sudah lebih rendah dari nilai tolok ukur
3	Pelayanan Transaksi	Penetrasi teknologi MLFF pada gerbangtol Performa MLFF	Seluruh gerbang tol	100 % gerbang tol menerapkan teknologi MLFF 99%	Setelah masa periode 2 tahun SPM terkait kelendahan teknologi MLFF dievaluasi kepada operator teknologi MLFF

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol (lanjutan)

No	SUBSTANSI PELAYANAN	INDIKATOR	CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	KETERANGAN
4	Penanganan gangguan pelayanan	Kecepatan penanganan hambatan lalu lintas	Wilayah pengamatan/observasi patroli Mulai informasi diterima sampai ke tempat kejadian Penanganan kendaraan mogok - Jalan tol dalam kota - Jalan tol luar kota	Maksimal 30 menit setiap Unit Layanan yang diperlukan Melakukan penderekan ke bengkel terdekat dengan menggunakan derek resmi dan gratis Melakukan penderekan ke gerbang tol terdekat dengan menggunakan derek resmi dan gratis	Setiap 6 jam pada lokasi yang sama akan dilalui kendaraan yang berpatroli Unit Layanan terdiri dari: <i>Ambulance, Rescue, Patroli</i> , dan <i>Derek</i> Kendaraan mogok akan dikenakan tarif penderekan yang ditetapkan BUUT sejak gerbang keluar menuju lokasi disepakati
		Kecepatan penanganan patroli jalan raya	Seluruh ruas jalan tol	Penanganan dan pendindakan terhadap hambatan lalu lintas	Waktu penanganan dan pendindakan < 15 menit saat terjadi hambatan
		Kecepatan penanganan kendaraan derek	Seluruh ruas jalan tol	Menindak kendaraan yang berjalan tidak sesuai aturan Sampai di tempat kejadian 30 menit	Waktu pemenuhan setiap saat terjadi pelanggaran Durasi 30 menit dihitung sejak informasi diterima oleh sentra komunikasi

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol (lanjutan)

No	SUBSTANSI PELAYANAN	INDIKATOR	STANDAR PELAYANAN MINIMAL CAKUPAN/LINGKUP	TOL OK UKUR	KETERANGAN
1	2	3	4	5	6
5	Keselamatan	Petunjuk jalan :			
	- Perambuan	Kelengkapan dan kejelasan perintah dan larangan serta petunjuk	Jumlah 100% dan reflektivitas \geq 80%	Waktu toleransi pemenuhan 3 hari	
	- Marka Jalan	Seluruh ruas jalan tol	jumlah 100% dan reflektivitas \geq 80%	Waktu toleransi pemenuhan 14 hari	
	- <i>Guide Post</i> /Reflektor sebelah kiri jalan tol (Merah) dan sebelah kanan jalan tol (Kuning)	Seluruh ruas jalan tol	jumlah 100% dengan jarak 25 meter dan reflektivitas \geq 80%	Waktu toleransi pemenuhan 3 hari	
	- Patok Kilometer	Per 1 kilometer	Fungsi dan manfaat 100%	Waktu toleransi pemenuhan 7 hari	
	- Patok Hektometer	Per 200 meter	Fungsi dan manfaat 100%	Waktu toleransi pemenuhan 7 hari	
	Facilities lainnya :				
	- Penerangan Jalan Umum (PJU) Wilayah Perkotaan	Seluruh ruas jalan tol	Lampu menyala 100%	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam	
	- Anti Siliu	Segmen terpasang	Keberadaan 100%	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam	
	- Pagar Rumija	Seluruh ruas jalan tol	Keberadaan 100%	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam	
	- Pagar Pengaman	Seluruh ruas jalan tol	Keberadaan dan fungsi 100%	Waktu toleransi pemenuhan 7 hari	
	Penanganan Kecelakaan	Korban kecelakaan	Dievakuasi gratis ke rumah sakit rujukan	Waktu evakuasi < 20 menit saat terjadi kecelakaan	
		Kendaraan kecelakaan	Melakukan penderekan gratis ke pool derek (masih di dalam jalan tol)	Waktu penanganan dan pendindakan < 15 menit saat terjadi kecelakaan	
	Pengamanan dan Penegakan Hukum	Ruas Jalan Tol	Keberadaan Polisi Patroli Jalan Raya (PIR) siap panggil 24 jam	Waktu pemenuhan setiap saat	

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol (lanjutan)

No	SUBSTANSI PELAYANAN	INDIKATOR	STANDAR PELAYANAN MINIMAL		KETERANGAN
			CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	
1	Unit Penunjang Operasi, dan Bantuan Pelayanan	3	Ruas Jalan Tol	5	6
6	Ambulans		Ruas Jalan Tol	1 Unit per 25 km atau minimal 1 unit jika < 25 km (dilingkupi standar P3K dan Paramedis)	Toleransi 20% panjang ruas tol + panjang ruas tol untuk setiap penambahan unit kendaraan Ambulans
	Kendaraan Dereck		Ruas Jalan Tol : - LHR > 100.000 kend/hari	1 Unit per 5 km atau minimal 1 unit jika < 5 km, jika tersedia lebih dari 1 unit dereck maka harus tersedia dereck dengan kapasitas 25 ton minimal 1 unit	Toleransi 20% panjang ruas tol + panjang ruas tol untuk setiap penambahan unit Kendaraan Dereck
			- LHR 100.000 kend/hari	1 Unit per 10 km atau minimal 1 unit jika < 10 km, jika tersedia lebih dari 1 unit dereck maka harus tersedia dereck dengan kapasitas 25 ton minimal 1 unit	
	Polisi Patroli Jalan Raya (PJR)		Ruas Jalan Tol : - LHR > 100.000 kend/hari - LHR < 100.000 kend/hari	1 Unit per 15 km atau minimal 1 unit jika < 15 km	Toleransi 20% panjang ruas tol + panjang ruas tol untuk setiap penambahan unit Patroli Jalan Raya (PJR)
	Patroli Jalan Tol (Operator)		Ruas Jalan Tol	1 Unit per 15 km atau minimal 2 unit jika < 15 km	Toleransi 20% panjang ruas tol + panjang ruas tol untuk setiap penambahan unit Patroli Jalan Tol (Operator)
	Kendaraan Rescue		Ruas Jalan Tol	1 Unit per 50 km atau minimal 1 unit jika < 50 km (dilingkupi dengan peralatan penyelamatan)	Toleransi 20% panjang ruas tol + panjang ruas tol untuk setiap penambahan unit Kendaraan Rescue
	Alat <i>Weight in Motion</i> (WIM)		Ruas Jalan Tol	Ada di setiap pintu masuk / ramp masuk jalan tol	WIM digunakan untuk mencegah kendaraan <i>Over Dimension Over Load</i> (ODOL) masuk ke dalam Tol

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol (lanjutan)

No	SUBSTANSI PELAYANAN	INDIKATOR	STANDAR PELAYANAN MINIMAL CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	KETERANGAN
6	Unit Pemunggang Operasi, dan Bantuan Pelayanan (lanjutan)	Alat Monitoring Kondisi Jalan Tol	Ruas jalan tol	Operasi alat monitoring sesuai standar untuk mengukur kondisi permukaan jalan tol	Alat pengukur kondisi jalan berupa alat <i>profilometer</i> dengan kamera (contoh: <i>Hawkeye</i>)
		Alat Ramp Metering	Ruas jalan tol	Operasi alat <i>ramp metering</i>	Alat <i>ramp metering</i> adalah alat untuk mengatur jumlah kendaraan yang dapat memasuki jalan tol pada waktu tertentu untuk menjaga kecepatan rata-rata pada ruas jalan tol
		Sistem Informasi Jalan Tol	CCTV	1 per km pada tiap jalan tol	Seluruh fasilitas sistem informasi jalan tol harus tersedia pada setiap ruas jalan tol
			Detektor Kecepatan Kendaraan	Di dalam jalan tol	
			Media sosial	Ada media sosial untuk menginformasikan kondisi jalan tol	
			Informasi dan Komunikasi Kondisi Lahu Lintas (Spanduk, Board, Virtual Message Sign (VMS))	50 meter sebelum akses masuk jalan tol Di dalam jalan tol	Sistem informasi yang dipasang harus bisa terbaca dengan jelas dan tidak menyilaukan
			<i>Traffic Command Centre</i>	Setiap BUJT mengoperasikan minimal satu <i>traffic command centre</i>	
			Nomor telepon info tol	Pada gerbang masuk dan gerbang keluar, di dalam ruas jalan tol dan pada kartu tol/ karcis tol	
7.	Lingkungan	Kebersihan	Ruas jalan tol	Tidak ada sampah	Waktu toleransi pemenuhan 7 hari
		Dalam rumahia tol	Kantor operasi jalan tol	Tidak ada sampah, terawat, bersih	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam
		Tanaman	Dalam Rumahia tol	Tidak mengganggu fungsi jalan tol	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam
		Rumput	Di Rumahia di luar Rumahia	Tinggi rumput < 30 cm	Waktu toleransi pemenuhan 2x24 jam

Tabel 1 Resume Usulan Pembaruan Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol (lanjutan)

No	SUBSTANSI PELAYANAN	INDIKATOR	STANDAR PELAYANAN MINIMAL		KETERANGAN
			CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	
1	Tempat Istirahat dan Pelayanan (TIP)	Lokasi Luas	TIP Perkotaan TIP Antarkota A, B, C TIP Perkotaan	Paling sedikit 10 km Paling sedikit 20, 10, dan 2 km 1 ha dengan lebar muka paling sedikit 100 m	6
8.		Fasilitas Minimal	TIP Antarkota A, B, C TIP Perkotaan TIP Antarkota A, B, C	6, 3, dan 2,5 ha dengan lebar muka paling sedikit 150, 100, dan 50 m Keberadaan fasilitas minimal sesuai permen yang ada. Fasilitas dalam kondisi berfungsi baik 100% dan layak serta aman digunakan.	
		Jalan Keluar Masuk TIP	TIP Perkotaan TIP Antarkota A, B, C	Keberadaan fasilitas minimal sesuai Permen yang ada. Fasilitas dalam kondisi berfungsi baik 100% dan layak serta aman digunakan.	Permen PU no 28 tahun 2021
9.	Kepuasan Pengguna Jalan Tol	Rata-rata nilai <i>SERVQUAL</i>	Seluruh pengguna jalan tol	Nilai <i>SERVQUAL</i> dengan rentang 2-0	Survey dilakukan 12 bulan sekali
10	Kondisi Bagian-bagian Khusus (Jalan Layang/Jembatan/Terowongan/Stabilitas Lereng/Jalur Sepeda Motor, dan lain-lain)	Integritas Struktur Kondisi Fisik (Permukaan) Khusus Kondisi Penerangan dan Rambu Kondisi Fasilitas Khusus (Monitor Angm, dan lain-lain)	Semua elemen-elemen Struktur (Balok, kolom, dll) Seluruh Permukaan Bagian Khusus Fungsi dan Manfaat Fungsi dan Manfaat	Berfungsi 100% Berfungsi Baik (tidak ada kerusakan) Berfungsi 100% Berfungsi 100%	Pengecekan dilakukan setiap 5 tahun sekali Pengecekan berkala 6 bulan Pengecekan berkala 6 bulan Pengecekan berkala 6 bulan

Hasil analisis dari survei yang telah dilakukan pada ruas jalan tol di Indonesia menunjukkan perlu dilakukannya penanganan yang lebih mendalam pada tiga aspek penting dalam SPM, diantaranya Antrian Gardu Tol, Permukaan Jalan dan Kondisi Lalu Lintas. Antrian gardu pada gerbang tol masih menjadi salah satu aspek layanan yang harus diperbaiki. Namun dengan penerapan teknologi MLFF maka diharapkan teknologi ini dapat menghilangkan antrian di gerbang tol.

Selain itu, analisis dengan Metode IPA menunjukkan bahwa Kondisi Permukaan Jalan dan Kondisi Lalu Lintas merupakan indikator yang sangat penting dan menjadi prioritas dalam menjamin pelayanan yang baik kepada pengguna jalan tol. Dari evaluasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa SPM jalan tol perlu terus direvisi dan disempurnakan terkait perkembangan jaringan transportasi, teknologi, dan pelayanan yang harus diberikan kepada pengguna jalan tol. Usulan awal yang diberikan diantaranya adalah penyatuan beberapa indikator yang terdapat di dalam SPM dan penilaian dilakukan secara agregasi, misalkan, Kondisi Perkerasan Jalan meliputi kerusakan di semua bagian lajur lalu lintas dan bahu. Disamping itu usulan yang diberikan BUJT dimana terdapat indikator yang masih belum jelas penilaiannya serta beberapa tambahan penting seperti diadakannya jembatan timbang untuk menjamin kendaraan yang masuk ke dalam jalan tol tidak melebihi batas muatan, sehingga kondisi jalan tol dapat dikontrol lebih baik lagi. Usulan dari pengguna jalan tol yang salah satunya adalah diperlukannya sistem informasi untuk segala aspek pelayanan jalan tol serta patroli dan penegakan hukum yang baik di sepanjang ruas jalan tol. Selain itu beberapa gagasan teknis lain diantaranya adalah penggunaan alat bantu survey *hawkeye*, kebijakan *ramp metering*,

pengembangan sistem ITS.

Beberapa saran yang perlu diperhatikan mengenai hasil evaluasi diantaranya adalah adanya penambahan indikator akan memberikan konsekuensi terhadap pembiayaan operasi dan pemeliharaan. Sehingga pemilihannya harus mempertimbangkan metode yang paling efektif dan dapat digunakan untuk meningkatkan pelayanannya terhadap pengguna jalan tol. Perlu adanya komitmen dari semua pihak yang berkepentingan (*stakeholder*) yang meliputi BPJT, BUJT, dan instansi-instansi lainnya. Untuk itu perlu disepakati usulan tersebut termasuk prioritasnya apabila akan dilaksanakan secara bertahap. Apabila diperlukan, maka dapat dibentuk suatu kepanitian “*ad hoc*” untuk perumusan. Perlu aspek hukum sebagai legalitas pemberlakuan SPM ini. Meliputi penerapan sistem *punishment and reward* dalam penerapan SPM. *Punishment* dapat berupa sanksi denda atau berupa penangguhan penyesuaian tarif BUJT sedangkan *reward* dapat berupa penghargaan (*acknowledgment*) bagi kinerja jalan tol terbaik. Perlu adanya *pilot project* untuk menguji indikator usulan seperti penggunaan *hawkeyes* dan *ramp metering*. BUJT mengusulkan adanya Satuan Penjaminan Mutu internal sehingga monitoring SPM dilakukan secara *Self Assesment* rutin dan BPJT hanya menerima laporan rutin dan sesekali melakukan pengecekan langsung. Bagian/isi laporan SPM tersebut dijadikan sebagai bagian dari Sistem Manajemen Aset dari BUJT.

DAFTAR PUSTAKA

Australian Road Research Board. 2023. *Hawkeye 1000 & 2000*

- Software Suite*. <https://www.arrb.com.au/hawkeye-software>. Diakses 07 Juni 2023.
- Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT). 2023. *Laporan Tahunan Badan Pengatur Jalan Tol Tahun 2022*. Jakarta.
- BRAUMS Pty Ltd. 2023. *Ramp Metering System*. <https://www.braums.com.au/products/signal-controllers/ramp-metering>. Diakses 07 Juni 2023.
- Highway Agency. 2009. *Network Management Manual and Routine and Winter Service Code*. https://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/nmm_rwsc/index.htm.
- Karsaman, R H, dan Widyarini W. 2015. *Enhancing a better operation management of Indonesian toll road*. International Journal of Economics and Financial Issues, 5 (1): 296-303
- Kementerian Dalam Negeri. 2011. *Himpunan Produk Hukum Standar Pelayanan Minimal (SPM)*. Jakarta.
- Makmur, A dan Rajagukguk, R. P. 2015. Evaluasi Pemenuhan Indikator Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol di Indonesia. *Jurnal Transportasi*, 15 (2): 107-114
- Makmur, A., Santosa, W., dan Sutandi, A. C. 2019. *Performance Indicators Development for Toll Road Minimum Services Standards in Indonesia*. International Journal of Integrated Engineering. 11 (8): 292-302.
- Mardiana, T S. 2019. *Evaluasi Kemanfaatan Rest Area Dalam Jaringan Jalan Tol Antar Kota (Studi Kasus Rest Area Cikopo-Palimanan)*. Jurnal Penelitian Transportasi Darat, 21 (1): 47-58.
- Mohammed, Bubaker M. B. 2017. *Application of Pavement Maintenance Management System in Benghazi City Using Micro PAVER Program*. The First Scientific Engineering

Conference on Reconstruction.

National Highways. 2020. *The Design Manual for Roads and Bridges*. Birmingham.

Takahasi, Hideki. 2012. *Expressways in Japan. Traffic Engineering and Traffic Management & ITS in Nexco Central*. https://www.mlit.go.jp/road/road_e/03key_challenges/6-1.pdf. Diakses 7 Juni 2023.

Weningtyas, W, and Karsaman, R. H. 2009. *Evaluasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) untuk Prasarana Jalan Tol*. Prosiding Simposium XII Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTPT), Universitas Kristen Petra Surabaya: 1255-1266.



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

UPAYA PENINGKATAN KESELAMATAN JALAN TOL DI INDONESIA

Tri Tjahjono

Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

PENDAHULUAN

Rencana Umum Nasional Keselamatan Lalu-Lintas Angkutan Jalan (RUNK LLAJ)

Mobilitas yang berkeselamatan memegang peran penting dalam mengembangkan masyarakat yang sehat dan sejahtera. Data dari Kepolisian menunjukkan bahwa pada saat pandemi Covid-19 di tahun 2020 waktu pemerintah memberlakukan *total lockdown* dan di tahun 2021 waktu Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM), jumlah korban meninggal dunia secara kualitatif akibat kecelakaan lalu-lintas di jalan terbilang sangat besar, yaitu 23.539 jiwa dan 25.370 jiwa.

Sebagai respon dan upaya untuk menurunkan jumlah korban kecelakaan, Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden No. 1 Tahun 2022 tentang Rencana Umum Nasional Keselamatan Lalu-Lintas Angkutan Jalan (RUNK LLAJ) tahun 2021-2040. RUNK LLAJ ini untuk sepuluh tahun pertama selaras dengan deklarasi *Global Road Safety* yang diinisiasi oleh Perserikatan Bangsa Bangsa.

Strategi RUNK LLAJ didekati dengan 3 (tiga) strategi, yaitu adopsi

sistem berkeselamatan, program bersama melalui pendekatan 5 (lima) pilar, serta tujuan akhir adalah mengurangi biaya sosial yang tergerus baik dari sisi Pendapatan Nasional Bruto per kapita maupun Indeks Pembangunan Manusia (Gambar 1). Dari konsep ini penyelesaian masalah kecelakaan di jalan tol seyogyanya dilakukan dengan pendekatan yang sama.



Sumber: Presiden RI (2022)

Gambar 1 Strategi RUNK-LLAJ dalam Peraturan Presiden No 1 Tahun 2022

Dalam program RUNK-LLAJ, setiap Kementerian/Lembaga yang terkait wajib membuat program-program kegiatan melalui Rencana Aksi Keselamatan (RAK) lima tahunan, tidak terkecuali untuk Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Direktorat Jenderal Bina Marga sebagai Koordinator Pilar 2 Jalan Berkeselamatan. Yang cukup menarik, pemerintahan mengadopsi juga program *Global Road Safety 2021-2030*, di mana untuk menciptakan jalan berkeselamatan memiliki dua target di akhir tahun 2030, yaitu 75% mobilitas melalui jalan harus melalui jalan setidaknya-tidaknya berbintang tiga dan seluruh pengembangan jalan baru di tahun 2030 sudah mengadopsi minimal berbintang tiga seperti terlihat Target Butir 4 pada Gambar 2.

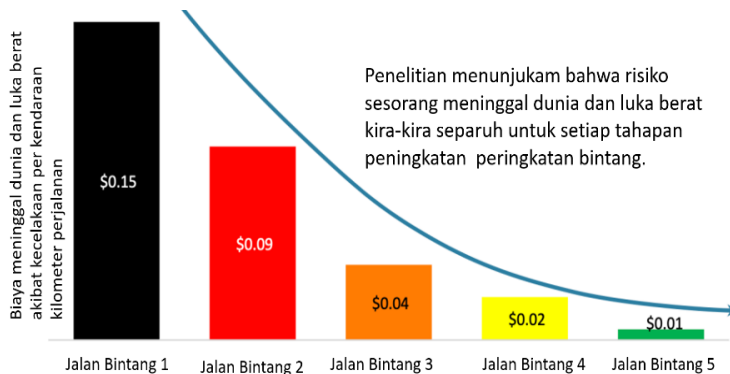


Sumber: Pemerintah RI (2022)

Gambar 2 Target Global Keselamatan Jalan

Hal baru yang diadopsi pada program pengembangan jalan adalah peningkatan jalan dengan menggunakan sistem bintang. Secara global terdapat asesmen peringkat jalan layaknya hotel dari tidak berbintang, bintang satu hingga bintang lima. Peringkat ini mengacu pada *International Road Assessment Program* (iRAP).

Saat ini, Direktorat Jenderal Bina Marga sedang mengembangkan inaRAP untuk pelaksanaan peringkat jalan di Indonesia. Keuntungan dari peringkat bintang jalan adalah biaya kematian dan luka berat akibat kecelakaan per kendaraan kilometer perjalanan (KKP) akan berkurang sekitar 50% setiap upaya peningkatan satu bintang seperti terlihat pada Gambar 3 (McInerney dan Fletcher (2013)).



Sumber: McInerney, R., & Fletcher, M (2013)

Gambar 3 Hubungan antara Peringkatan Bintang dan Risiko Biaya Sosial dari Fatalitas dan Luka Berat

Jalan tol sekurang-kurangnya harus memiliki nilai absolut standar berbintang tiga dan idealnya berbintang empat. Peningkatan bintang tentunya terkait juga dengan peningkatan investasi, selain untuk menjaga kondisi perkerasan jalan yang prima, fitur-fitur perlengkapan jalan berkeselamatan sangat diperlukan dengan skala detail yang memenuhi standar internasional. Peningkatan kualitas keselamatan jalan memang membutuhkan komitmen dan biaya untuk melakukan. Namun demikian, peningkatan peringkat ini membawa dampak pengurangan biaya sosial yang signifikan.

Dalam RUNK LLAJ, sistem berkeselamatan (*Safe System*) perlu mendapatkan penekanan khusus, terutama untuk para pemangku kepentingan jalan. Acapkali mereka menganggap bahwa penekanan utama ada pada pihak pengguna jalan untuk menciptakan penurunan jumlah kecelakaan serta korban meninggal dunia dan luka berat. Pada sistem berkeselamatan setiap komponen sistem, yaitu kecepatan yang berkeselamatan, pengguna jalan yang berkeselamatan, kendaraan yang berkeselamatan dan jalan yang

berkeselamatan harus secara proporsional berperan sehingga kombinasi keempat komponen ini bersinergi menuju ke fatalitas nihil (*zero fatality*) pada suatu waktu ke depan. Yang menarik adalah bahwa penetapan kecepatan yang berkeselamatan bukan menjadi peran pengguna jalan. Sebagai contoh, disaat musim hujan bila jalan banyak yang berlubang, maka sistem berkeselamatan harus memungkinkan merubah batas kecepatan maksimal dan tidak boleh membiarkan kecepatan maksimal tetap tinggi.

Penurunan nilai parameter dalam standar pelayanan minimal merupakan konsekuensi logis yang harus diterima oleh seluruh Badan Usaha Jalan Tol (BUJT). Prinsip dari sistem berkeselamatan dengan kesadaran yang mendalam bahwa manusia memiliki keterbatasan apabila terjadi benturan saat terjadinya kecelakaan lalu-lintas. Empat prinsip dasar sistem berkeselamatan dikaitkan dengan para pengguna jalan tol, yaitu: (1) Manusia pada hakikatnya dapat membuat kesalahan yang berujung pada kecelakaan; (2) Tubuh manusia memiliki batas kemampuan fisik yang mampu menahan gaya akibat benturan sebelum akhirnya terjadi kecederaan (*injury*); (3) Tanggung jawab bersama antara perencana, pendesain, pembangun, pengatur, dan pengguna jalan serta kendaraan dan penanganan pasca kecelakaan untuk menghindari korban meninggal dunia atau luka berat; dan (4) Seluruh bagian dari sistem harus diperkuat agar dampak yang tercipta menjadi semakin baik, sehingga apabila satu komponen gagal, komponen lain dapat tetap bekerja.

Tabel 1 Perbandingan antara Sistem Konvensional dengan Sistem Berkeselamatan

	Pendekatan Konvensional	Pendekatan Sistem Berkeselamatan
Apa yang menjadi masalah?	Jumlah kecelakaan	Korban meninggal dan luka berat
Apa penyebab terjadinya masalah?	Mayoritas terjadi akibat perilaku berkendara yang buruk, speeding, berkendara dalam keadaan mabuk, dan tidak konsentrasi	Kegagalan sistem
Siapa yang bertanggung jawab?	Pengguna jalan secara individual	Perancang dan pengelola sistem
Apa pendekatan utama yang dilakukan?	Pendekatan yang secara bertahap meningkat untuk mengurangi masalah yang berhubungan dengan kecelakaan	Pendekatan sistematis untuk membangun sebuah sistem yang berkeselamatan dan meminimalisasi bahaya kecelakaan
Apa target yang layak?	Jumlah korban meninggal dan luka berat yang optimum sesuai dengan tujuan umum	Menuju penghilangan kematian dan luka berat akibat kecelakaan
Apa timbal balik yang terjadi?	Keseimbangan antara pergerakan dan keselamatan	Memaksimalkan pergerakan yang berkeselamatan
Bagaimana usaha dari koordinasi?	Peningkatan kinerja antar pilar	Optimasi solusi antar pilar
Apa yang menjadi manifestasi kultural?	Penghindaran tanggung jawab hukum dan keengganan menyatakan terdapat besarnya risiko yang terdapat di jalan	Asesmen, inovasi, uji coba, dan melakukan proyek demonstrasi terhadap semua risiko yang hasilnya dipahami masyarakat
Konteks pendekatan yang dilakukan	Bias terhadap kondisi kecelakaan yang sudah ada, memahami penyebab dan peluang kecelakaan, mengoptimasi jaringan untuk kendaraan bermotor	Analisis risiko berbasis desain jaringan yang dilengkapi dengan data kecelakaan, memahami konsekuensi kecelakaan, dan mengoptimasi jaringan untuk seluruh pengguna jalan

Sumber: AustsRoads (2021)

Tabel 1 menunjukkan perubahan paradigma mendasar dari sistem konvensional menuju sistem berkeselamatan. Keselamatan tidak bisa dikompromikan dengan menyatakan strategi pembinaan jalan tol adalah “Keseimbangan antara pergerakan (mobilitas) dan keselamatan”. Strategi yang harus diyakini adalah “Memaksimalkan pergerakan (mobilitas) yang berkeselamatan”.

Peran Jalan Tol dalam Perpres Nomor 1 Tahun 2022 tentang RUNK LLAJ

Mengacu kepada Perpres No. 1 Tahun 2022 tentang RUNK LLAJ terlihat bahwa jalan tol secara langsung maupun tidak langsung harus menjadi pengubah cara pandang tentang konsep jalan berkeselamatan. Target mobilitas perjalanan sebesar 75% di akhir tahun 2030 melalui jalan berbintang tiga sudah pasti akan dikontribusikan sebagian besar oleh sistem jaringan jalan tol. Demikian pula target perencanaan jalan baru harus berbintang tiga juga harus dimulai pada jalan tol, bahkan mungkin harus ditetapkan menjadi satu kelas di atasnya menjadi minimal berbintang empat.

Berbagai masalah yang dapat menyebabkan rendahnya peringkat keselamatan jalan tol dikaitkan dengan infrastruktur jalan sebagai berikut. Pertama adalah ketiadaan zona bebas (*clear zone*) untuk memungkinkan kendaraan yang kehilangan kendali masih memiliki ruang tambahan selain bahu jalan untuk kemungkinan dapat mengendalikan kendaraan atau setidaknya-tidaknya berhenti tanpa kecederaan yang parah atau meninggal dunia. Kedua adalah tingginya dan ketidakpedulian terhadap keberadaan *hazard* sisi jalan sehingga kendaraan yang lepas kendali terbentur objek *hazard* yang meningkatkan risiko kecederaan yang parah. Ketiga adalah

pemasangan perangkat keras keselamatan jalan sebagai sistem perlindungan tidak tepat dan tidak memenuhi kaidah kualitas standar internasional baik dari Amerika Serikat (*Manual Assessment Safety Hardware* atau MASH) dari American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ataupun norma Eropa EN 1317 tentang *Road Restraint System*. Keempat atau yang terakhir adalah fasilitas untuk tempat beristirahat dengan baik masih kurang, khususnya bagi pengemudi profesional (bus dan truk) serta jarak antara satu tempat istirahat dengan berikutnya tidak diatur dengan baik.

Di lain pihak, Direktorat Jenderal Bina Marga telah mengeluarkan 3 pedoman tentang rekayasa keselamatan jalan pada tahun 2012, tetapi tidak sepenuhnya diadopsi oleh BUJT ataupun disyaratkan dengan ketat oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) baik di dalam perencanaan maupun pelaksanaannya bahkan saat dilakukan uji laik fungsi. Bagi jalan tol yang sudah beroperasi wajib dilakukan inspeksi keselamatan jalan tol dan secara serius melakukan perbaikan yang mendasar baik kualitas perkerasan jalan maupun bangunan perlengkapan jalan.

Terciptanya jalan dengan standar yang baik tentunya masih belum cukup karena masih diperlukan kendaraan yang berkeselamatan, pengguna jalan yang berkeselamatan, dan kecepatan yang berkeselamatan. Bagaimana manajemen pengendalian kecepatan harus diterapkan pada jalan tol, permasalahan truk dengan dimensi serta muatan yang berlebihan (masyarakat mengenal sebagai ODOL singkatan dari *over dimension and overload*) yang diijinkan masuk jalan tol serta peran perencanaan tempat istirahat juga menjadi topik pembahasan dalam tulisan ini.

TANTANGAN KESELAMATAN JALAN TOL DI INDONESIA

Dalam pendekatan sistem berkeselamatan indikator utama yang digunakan adalah fatalitas dan korban luka berat. Namun demikian, karena keterbatasan data kecelakaan berdasarkan *Integrated Road Safety Management System* (IRSMS) yang dikembangkan Korps Lalu Lintas (Korlantas) Kepolisian Republik Indonesia (Polri), maka angka yang terbaik hanya jumlah kematian saja di mana keakuratan data luka berat relatif masih belum sebaik korban meninggal dunia. Perlu diketahui bahwa data kecelakaan jalan dari IRSMS tidak dapat berdiri sendiri tanpa ditopang dengan data rumah sakit yang berdasarkan World Health Organization (WHO) dianjurkan secara nasional berupa data surveilans kecederaan (*injury surveillance database*). Terkait hal ini penetapan setidaknya-tidaknya harus dilakukan oleh paramedik dan pengamatan kecederaan dilakukan hingga 30 hari setelah kejadian kecelakaan. Untuk pembatasan materi bahasan, tulisan ini hanya akan membahas mengenai kecelakaan dan fatalitas saja.

Salah satu cara untuk melihat besaran (*magnitude*) kecelakaan adalah dengan penerapan nilai (*rate*) kepadatan kecelakaan (*accident density*) serta kepadatan fatalitas (*fatality density*). Ruas Jalan Tol Japek merupakan ruas dengan *accident* maupun *fatality densities* tertinggi yang pada tahun 2021 sebesar 2 kecelakaan per kilometer dan 0,70 fatalitas per kilometer. Sedangkan Jalan Tol Jakarta-Bogor-Ciawi merupakan ruas terendah pada tahun 2021 dengan kepadatan 0,74 kecelakaan per kilometer dan 0,16 fatalitas per kilometer.

Data pada tahun 2020 memperlihatkan penurunan kecelakaan dan korban meninggal dunia yang besarnya cukup signifikan, yang terkait dengan pelarangan mobilitas masyarakat (*lock-down*) saat pandemic Covid-19.

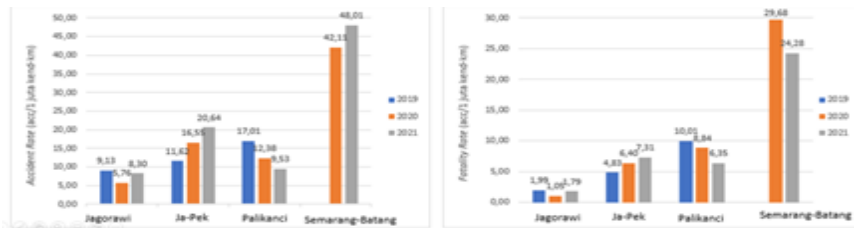
Selain kepadatan kecelakaan dan fatalitas, nilai yang layak untuk perbandingan adalah nilai kecelakaan dan fatalitas (*accident and fatality rates*) dalam jumlah kecelakaan atau fatalitas per satu juta kilometer perjalanan kendaraan (*vehicle kilometer travelled*). Di sini menjadi lebih berimbang untuk melakukan perbandingan antara satu ruas dengan lainnya karena eksposur pergerakan lalu-lintas ikut diperhitungkan sebagai denominator. Untuk memudahkan perbandingan dapat dilihat contoh kajian empat ruas jalan tol yang terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 4 berikut.

Tabel 2 Eksposur Empat Ruas Jalan Tol

Nama ruas	Tahun	Panjang ruas (km)	LHR tertimbang (kendaraan)	Eksposur (km-kendaraan)
Jakarta-Bogor-Ciawi	2019	50,00	100.723	5.036.166
	2020	50,00	76.376	3.818.820
	2021	50,00	89.174	4.458.720
Jakarta-Cikampek	2019	72,50	134.183	9.728.231
	2020	72,50	88.362	6.406.236
	2021	72,50	96.226	6.976.369
Palimanan-Kanci	2019	28,84	34.783	999.264
	2020	28,84	39.234	1.131.151
	2021	28,84	43.682	1.259.798
Semarang-Batang	2019	Belum beroperasi penuh selama satu tahun		
	2020	70,29	20.609	1.448.616
	2021	70,29	26.372	1.853.672

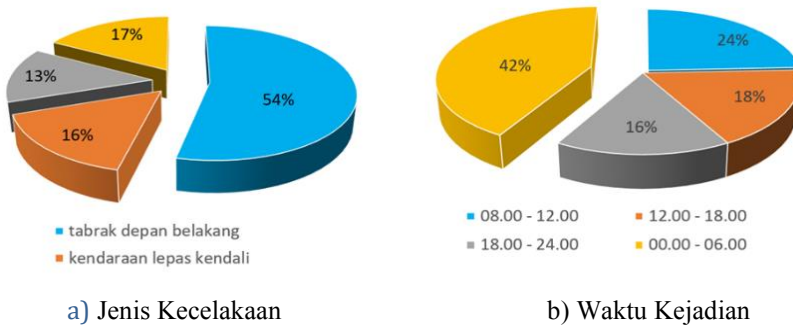
Dari Gambar 4 terlihat bahwa jalan tol baru yang memiliki pergerakan lalu-lintas relatif masih rendah, yaitu Semarang-Batang memiliki *accident rate* dan *fatality rate* tertinggi dibandingkan jalan tol lainnya termasuk Jakarta-Cikampek yang memiliki *accident density* maupun *fatality density* terbesar. Kedua pendekatan ini

seharusnya menjadi ukuran bagi BPJT dalam melihat kinerja keselamatan jalan tol karena keduanya memiliki karakteristik berbeda. Pertama, melihat penyebaran lokasi kecelakaan dan fatalitas, sedangkan kedua melihat aspek mobilitas perjalanan.



Gambar 4 Grafik *Accident Rate* dan *Fatality Rate* pada Empat Ruas Jalan Tol

Lebih lanjut, jenis kecelakaan menjadi informasi yang perlu dimiliki oleh semua BUJT dan BPJT dalam upaya memperbaiki kondisi jalan menuju jalan yang berkeselamatan. Gambar 5 memperlihatkan bahwa jenis kecelakaan dan fatalitas korban terbesar adalah akibat tabrak depan dan belakang, dan kecelakaan tunggal.



Gambar 5 Jenis Kecelakaan dan Waktu Kejadian Kecelakaan Rata-Rata

Disini terlihat bahwa permasalahan tabrak depan-belakang disebabkan perbedaan kecepatan yang tinggi pada kendaraan yang berjalan di muka dengan kecepatan sangat rendah dengan kendaraan yang menabrak dengan kecepatan yang tinggi. Lokasi kejadian pada

umumnya terjadi di lajur kiri atau bahu jalan, namun demikian pada kasus-kasus tertentu juga terjadi pada lajur kanan. Kecelakaan tunggal umumnya disebabkan pengemudi lengah atau tertidur sesaat (*micro sleep*) dan kendaraan keluar jalur jalan. Terjadinya fatalitas pada umumnya dikarenakan terdapatnya *hazard* sisi jalan yang tidak terlindung.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa pada rata-rata tabrakan sebanyak 50%-60% terjadi pada dini hari pukul 00.00-06.00 di mana pada waktu tersebut pada umumnya merupakan jam istirahat dan tidak mudah untuk mengendarai kendaraan walaupun dilakukan juga oleh pengemudi profesional. Data di atas memperlihatkan bahwa sekitar 70-75% merupakan jenis tabrakan depan-belakang.

Terkait hal ini terdapat dua konsep yang harus dipahami perencana dan operator jalan tol, yaitu *self-explaining* dan *forgiving*. Kedua konsep ini sangat diperlukan dalam menciptakan jalan yang berkeselamatan dan upaya mereduksi kecelakaan maupun tingkat keparahan korban sebagai konsekuensi dari terjadinya kecelakaan. *Self-explaining* merupakan kondisi jalan yang tercipta di mana semua pengemudi memahami kecepatan yang ideal dari kondisi geometrik dan lingkungan jalan sedemikian rupa melalui perambuan dan marka, sehingga kejadian kecelakaan dapat diminimalisasi serendah mungkin. Sedangkan *forgiving* merupakan konsep bahwasannya bila terjadi kecelakaan, maka rancangan jalan harus sedemikian rupa melindungi pengemudi dan penumpang kendaraan dari keparahan kecederaan (baik meninggal dunia maupun luka berat) akibat kecelakaan. Singkat kata, *self-explaining* bertujuan untuk menghilangkan kesalahan pengemudi. Sedangkan *forgiving* untuk meminimalkan konsekuensi bila tetap terjadi kecelakaan.

Pada kecelakaan depan-belakang kondisi *self-explaining* pada dini hari dari pukul 00.00-06.00 bisa saja menjadi tidak jelas karena *retroreflective* marka jalan dan rambu yang rendah. Penggunaan *retroreflective* yang memenuhi uji Type 11 dari ASTM perlu menjadi standar bagi jalan tol. Alternatifnya adalah dengan menyediakan lampu penerangan jalan yang tentunya berbiaya sangat mahal untuk jalan antarkota. Penggunaan lampu penerangan jalan sangat dianjurkan pada jalan tol perkotaan serta pada lokasi-lokasi yang terjadi arus *merging* maupun *diverging*. Studi Universitas Indonesia (UI) dengan 3M Indonesia memperlihatkan penggunaan standar *retroreflective* tertinggi memberikan rasa percaya diri pengguna jalan bernegosiasi jalan berkelok di pegunungan seperti terlihat pada Gambar 6.



Sumber: Polar UI (2022)

Gambar 6 *Retroreflective* yang Baik Membantu *Self-explaining* pada Malam Hari

Penggunaan jenis *retroreflective* ini juga sangat dianjurkan pada kendaraan truk sehingga bagian belakang truk akan terlihat lebih jelas bagi pengemudi di belakangnya. Penggunaan *retroreflective* ini tidak membantu banyak bila kecelakaan depan belakang terjadi akibat perbedaan kecepatan ekstrim antara kendaraan berjalan pelan di depan dengan kendaraan yang menabrak dari belakang. Beberapa negara maju memberlakukan manajemen kecepatan jalan tol yang diawasi dengan ketat melalui rangkaian kamera yang terpasang tetap

dan bergerak serta penilangan bagi kendaraan yang di atas batas maksimal kecepatan maupun di bawah batas kecepatan minimal.

Untuk kendaraan yang keluar badan jalan akibat kesalahan pengemudi seperti tertidur sejenak, maka sepanjang jalan tol semua *hazard* yang ada di sisi jalan harus dihilangkan, dipindahkan atau terlindung, dan penerapan zona bebas (*clear zone*) dengan lebar yang memadai tepi jalan sehingga tingkat kecederaan dapat diminimalisir sebesar mungkin sebagaimana konsep *forgiving road*.

MANAJEMEN *HAZARD* SISI JALAN DAN UPAYA PERLINDUNGANNYA

Beberapa definisi sebagai basis awal pemahaman *hazard* sisi jalan sebagai berikut.

Sisi Jalan, adalah area di luar dari garis tepi jalur lalu-lintas. Median dikonsiderasikan sebagai bagian dari sisi jalan karena merupakan area di antara dua jalur lalu-lintas. Akibatnya semua elemen di median termasuk elemen sisi jalan.

Zona Bebas (*Clear Zone*), merupakan daerah di antara ruang manfaat jalan dengan objek yang dapat menyebabkan risiko fatalitas kecederaan yang tinggi bagi pengemudi dan penumpang kendaraan apabila terjadi kecelakaan. *Clear Zone* pada hakekatnya harus berada di dalam ruang milik jalan yang terbebaskan sehingga dapat dikendalikan oleh pembina jalan.

Hazard Sisi Jalan, adalah suatu objek yang bersifat *unforgiving* di sisi jalan yang akan meningkatkan tingkat kecederaan apabila terjadi

kecelakaan. *Hazard* sisi jalan dapat berupa menerus atau objek tunggal tertentu yang untuk memudahkan dapat dilihat beberapa contoh pada Gambar 7.



(a) *Hazard* objek tunggal tiang rambu sekitar 70 centimeter dari tepi bahu



(b) *Hazard* objek tunggal tiang petunjuk arah tepat di tepi bahu jalan. Pagar Keselamatan sama sekali tidak membuat perlindungan terhadap arus jalur utama



(c) *Hazard* objek menerus berupa saluran drainase pasangan batu ataupun beton tepat di tepi bahu jalan.

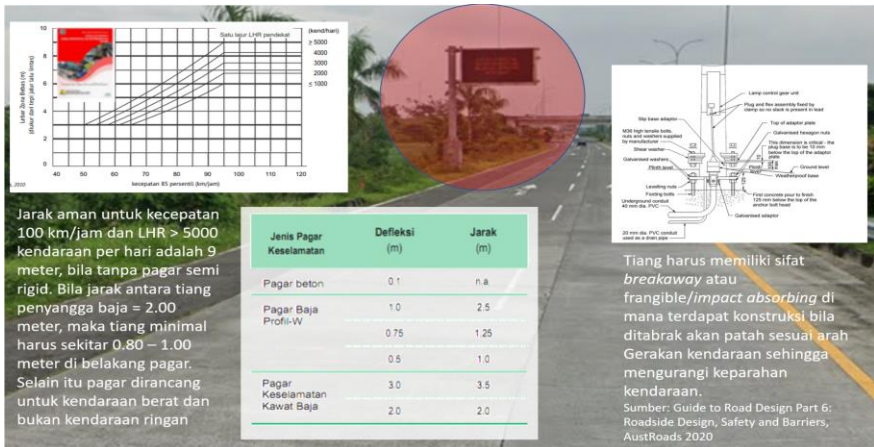


(d) Kolom jembatan di tengah median tanpa pelindungan yang baik

Gambar 7 Contoh *Hazard* Sisi Jalan Tol di Indonesia

Objek tunggal dapat berupa antara lain tiang beton, tiang lampu penerangan jalan, *overhead gantry*. Terlihatnya objek tunggal hanya dianggap sebagai titik sehingga peluang kejadiannya kendaraan menabrak objek tersebut sangat kecil. Tetapi begitu terjadi kecelakaan tunggal yang diakibatkan sopir bus tertidur dan menabrak tiang kokoh *Virtual Message Sign/VMS* pada Senin 16 April 2022 yang menyebabkan 15 orang meninggal dunia dan 14 orang luka berat dirawat di rumah sakit, masyarakat dan regulator baru menyadari konsekuensi kecelakaan tersebut. Seandainya tidak terdapat tiang VMS, maka kemungkinan jumlah korban akan jauh

lebih sedikit karena bus tersebut akan terus melaju ke lahan pertanian. Di sini terjadi suatu hal yang tidak bisa dikompromikan, yaitu bila tetap diperlukan VMS, maka tiang harus diletakan di luar ruang bebas (*clear zone*) atau terlindungi dengan pagar keselamatan dengan rancangan yang tepat. Gambar 8 menggambarkan permasalahan yang ada dan upaya penyelesaiannya.



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012b)

Gambar 8 Contoh Usulan Rekayasa dalam Manajemen *Hazard* Sisi Jalan

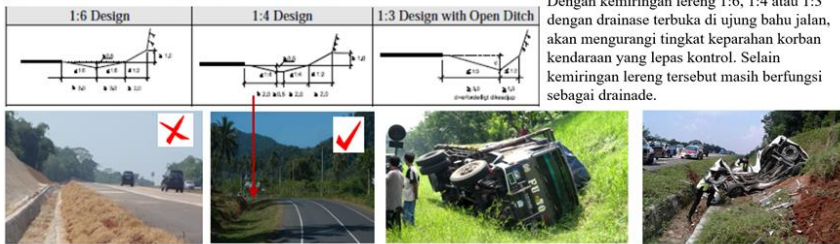
Hazard menerus seperti saluran drainase terbuka (*U-ditch*) dengan pasangan batu atau beton, Kemiringan lereng sisi jalan yang curam (1:3 atau lebih), tebing beton di sisi jalan juga perlu dilindungi dengan pagar keselamatan bila ruang bebas tidak tersedia dengan baik.

Secara ringkas terdapat 5 tahapan strategi dalam manajemen *hazard* sisi jalan baik untuk jalan yang sudah ada maupun untuk perencanaan jalan baru, yaitu mengupayakan kendaraan tetap berada di jalan dengan melengkapi dengan *delineasi*, rambu dan marka, geometrik jalan yang sesuai, dan terdapat bahu jalan yang

diperkeras, menghilangkan *hazard* dari objek objek yang sudah ada dan hindari penempatan suatu objek baru yang berpotensi menjadi *hazard* dalam ruang bebas (*clear zone*) pada ruang milik jalan, apabila objek yang berpotensi *hazard* diperlukan, maka *hazard* tersebut harus dipindahkan sedemikian rupa di luar ruang bebas sehingga dapat mereduksi potensi tertabrak kendaraan yang hilang kendali, melakukan modifikasi objek *hazard* seperti tiang lampu penerangan jalan, tiang rambu agar menghindari korban cedera akibat tabrakan dengan penggunaan tiang yang dapat patah (*breakaway*), dan terakhir apabila *hazard* tersebut tidak bisa dihilangkan dipindahkan atau dimodifikasi, maka perlindungan dengan pagar keselamatan memanjang jalan atau bantalan *crash cushion* perlu dilakukan agar keparahan kecederaan dapat dihindarkan. Perlu diingat bahwa pagar keselamatan membutuhkan biaya yang substansial cukup mahal dan perawatan rutin sehingga tahapan ini merupakan pilihan terakhir.

Sebagai contoh, Gambar 9 memperlihatkan upaya menghilangkan kebutuhan pagar keselamatan untuk melindungi terhadap sistem drainase terbuka dengan konstruksi beton atau pasangan batu. Dengan membuat kelandaian lereng di tepi jalan yang memungkinkan bila kendaraan lepas kendali, maka kecederaan yang parah dapat dihindari dengan tetap memberikan jari-jari hidrolis yang berfungsi sebagai drainase dengan rerumputan (Tahap 4 strategi modifikasi). Contoh ini dapat dilihat pada jalan dari ruas jalan dari Banda Aceh ke Calang sebagai bagian dari program rekonstruksi pasca tsunami bantuan dari Badan Bantuan Amerika Serikat (USAID).

Hazard dikaitkan dengan drainage tepi jalan



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012b)

Gambar 9 Contoh Saluran Drainase yang Berkeselamatan

Pada Gambar 9 terlihat bagaimana dampak drainase terbuka di sisi jalan tanpa zona bebas yang memadai pada Jalan Tol Cipali (Cikopo-Palimanan).

Bila *hazard* tidak dapat dihilangkan ataupun dipindahkan ke tempat yang lebih aman, maka penggunaan *crash barrier* menjadi opsi terakhir. Namun demikian, sebelum lebih lanjut membahas tentang pagar keselamatan, terdapat 3 syarat yang harus dipahami dalam pengembangan jalan tol.

Pertama adalah bangunan perlengkapan keselamatan jalan, khususnya pagar keselamatan tidak dapat memikul beban untuk semua jenis dan tipe kendaraan yang lepas kendali. Terdapat kriteria-kriteria yang membatasinya di mana diharapkan sesuai dengan kondisi lalu-lintas dan mengacu kepada kejadian kecelakaan yang pernah terjadi. Prinsipnya, terdapat tiga kriteria, yaitu penetapan jenis dan tipe kendaraan (*vehicle designation and type*) yang digunakan dalam pengujian (baik oleh MASH AASHTO maupun EN 1317), kecepatan kendaraan dan sudut tabrakan kendaraan. Jelas dari penjelasan ini, bahwa sebagai contoh walaupun desain geometrik ditetapkan untuk kecepatan kendaraan 120 km/jam bila

pagar keselamatan hanya untuk 100 km/jam maka batas kecepatan maksimal harus 100 km/jam.

Kedua, bentuk bangunan (geometrik) yang tepat agar pagar keselamatan dapat berfungsi dengan baik dan tidak menjadi *hazard* sisi jalan. Terdapat banyak contoh pagar keselamatan yang terpasang justru menjadi *hazard* dan telah terjadi beberapa kejadian pada jalan tol di Indonesia yang membawa korban meninggal dunia dan luka berat.

Ketiga, kekuatan pagar keselamatan sangat ditentukan kepada pilihan pengujian berdasarkan matriks yang ditetapkan oleh MASH AASHTO atau EN 1317. Akibatnya tidak semua kendaraan pasti akan terlindungi akibat pagar keselamatan ini. Pada umumnya kekuatan pagar keselamatan yang dipilih berdasarkan *level test* atau *containment level* TL3, yaitu hanya untuk mobil penumpang saja atau TL4 untuk maksimum truk *rigid* saja (MASH AASHTO). Saat ini Indonesia tidak memiliki fasilitas pengujian (*proving ground*), sehingga sangat diharapkan fabrikator/kontraktor menghindari konstruksi yang buruk sehingga dibutuhkan pemahaman pemasangan pagar dengan benar.

Dari penjelasan ini, setidaknya-tidaknya BPJT perlu menekankan setidaknya-tidaknya syarat kedua dibuat sebaik mungkin sesuai dengan bentuk geometrik yang tepat dan persyaratan lainnya sesuai kaidah internasional. Perlu diketahui bahwa efektivitas pagar keselamatan sangat tergantung dari jenis kendaraannya (MASH memiliki 6 tipe kendaraan), sudut tabrakan maksimum ke pagar (maksimum 25 derajat) dan kecepatan kendaraan. Untuk jalan tol di Indonesia tingkat pengujian menggunakan MASH diatur untuk matriks

pengujian TL3 di mana jenis kendaraan adalah truk kecil, dengan sudut tabrakan maksimum 25 derajat serta kecepatan maksimal 100 km/jam. Kriteria ini yang dijadikan standar bagi fabrikator di dalam memberikan jaminan fungsionalitas pagar yang dipasang.

Kesalahan pemahaman dapat menyebabkan kecelakaan fatal yang diperlihatkan pada Gambar 10.



a. *Hazard* Tiang Jembatan di Median



b. *Hazard* Ujung Pagar Keselamatan

Gambar 10 *Hazard* Sisi Jalan akibat Kesalahan Desain Pagar Keselamatan

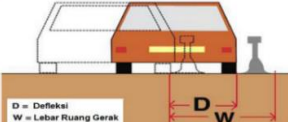
Penjelasan gambar tersebut sebagai berikut. Tiang jembatan pada median jalan tol merupakan objek *hazard* yang sebenarnya dapat ditiadakan sejak awal perencanaan sehingga fungsi pagar keselamatan hanya berfungsi untuk melindungi kendaraan yang lepas kendali untuk tidak menyeberang ke jalur berlawanan arah. Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) telah mengeluarkan arahan agar kolom di median jalan tol yang sempit tidak boleh ada lagi setelah kejadian kecelakaan bus di Jalan Tol Palimanan-Kanci (Palikanci) pada Juli 2015 yang menyebabkan 11

orang meninggal dunia dan 12 orang luka berat. Kesalahan utama adalah sopir kelelahan, tetapi karena terdapat ruang antara ujung pagar dan kolom jembatan yang menyebabkan banyak korban akibat benturan antara bus dan tiang kolom beton. Ujung pagar keselamatan (*end terminal*) berbentuk ekor ikan (*fish tail*) sangat berbahaya karena bila ditabrak kendaraan berkecepatan tinggi dapat menyebabkan tabrakan tusuk sate seperti terjadi pada Mei 2019 di Jalan Tol Solo-Ngawi

Pagar keselamatan termasuk *rigid* harus mampu bergeser apabila tertabrak kendaraan, dan lebar ruang kerja (*working space*) geseran pagar sangat tergantung jenis pagar. Khusus untuk pagar *semi rigid* akan sangat tergantung dari jarak tiang penyangga dan untuk pagar fleksibel pada umumnya juga akan mendapat spesifikasi khusus dari *fabricator* atau pemegang paten produk. Tabel 3 menunjukkan kebutuhan ruang kerja untuk geseran pagar keselamatan berdasarkan AustRoads yang juga termaktub dari Serial Rekayasa Keselamatan Jalan, Panduan Teknis 1 Rekayasa Keselamatan Jalan tahun 2012.

Tabel 3 Lebar Ruang Kerja untuk Pagar Keselamatan

Jenis Pagar Keselamatan	Defleksi (m)	Jarak (m)
Pagar beton	0.1	n.a.
Pagar Baja Profil-W	1.0	2.5
	0.75	1.25
	0.5	1.0
Pagar Keselamatan Kawat Baja	3.0	3.5
	2.0	2.0



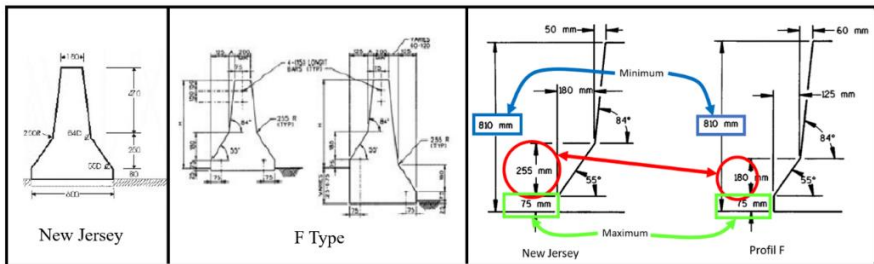
Pagar keselamatan membutuhkan ruang gerak (*working area*) dan ruang defleksi agar dapat berfungsi sebagai *road restraint system*. Ruang ini sangat tergantung dari jenis pagar, jenis kendaraan yang menabrak sudut dan kecepatan tabrakan dengan pagar keselamatan.

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012a)

Terdapat 2 jenis pagar keselamatan yang dielaborasi dalam tulisan ini, yaitu pagar keselamatan *rigid* dan *non-rigid* yang pada umumnya merupakan *non patent* yang dapat dibuat oleh *fabricator* ataupun Kontraktor di Indonesia.

Pagar Keselamatan Rigid

Pada umumnya pagar keselamatan *rigid* menggunakan tipe New Jersey atau Profil F. Perlu diperhatikan bahwa ketinggian kaki beton rigid maksimum adalah 75 mm, dan ketinggian minimum pagar adalah 810 mm dan sudut kemiringan bawah adalah 55° untuk memungkinkan menjadi miring sehingga benturan dengan pagar dapat diminimalkan sehingga tingkat keparahan korban dapat diminimalkan seperti terlihat pada Gambar 11.



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012a)

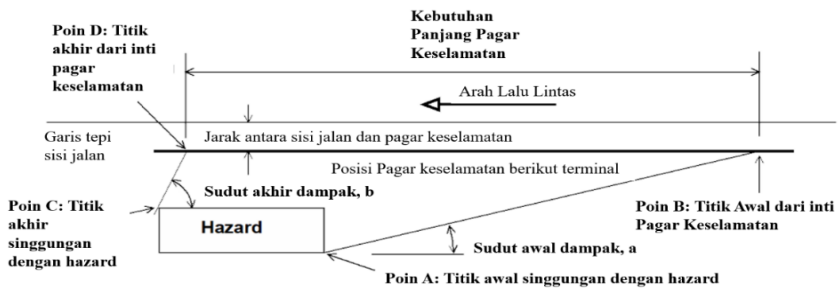
Gambar 11 Bentuk Geometri Pagar *Rigid* Beton

Kesalahan paling umum pada jalan tol adalah tinggi kaki lebih dari 750 mm sehingga pagar kurang efektif berfungsi. Panjang minimum pagar *rigid* adalah berkisar antara 20-30 meter. Di awal pagar *rigid* direkomendasikan untuk disediakan bantalan tabrakan (*crash cushion*) yang mampu menyerap energi tabrakan sedemikian sehingga waktu benturan *frontal* dengan pagar keselamatan kecepatan kendaraan sudah menurun signifikan.

Pagar Keselamatan Semi Rigid

Pagar *semi rigid* atau baja W memiliki pagar inti dan di kedua ujung berupa terminal dan bila menyambung pagar *rigid* atau beton tepi jembatan (parapet) harus menggunakan pagar transisi.

Panjang inti dari pagar keselamatan harus disediakan sedemikian rupa sehingga kendaraan yang menabrak akan dijaga sehingga defleksi yang terjadi memungkinkan kendaraan yang ke luar badan jalan dapat dikembalikan lagi akibat defleksi pagar. Gambar 12 memberi ilustrasi bila titik dampak *Hazard* awal A dan akhir C, maka panjang dari pagar keselamatan adalah dari Poin B ke Poin D. Panjang ini belum termasuk terminal awal dan akhir.

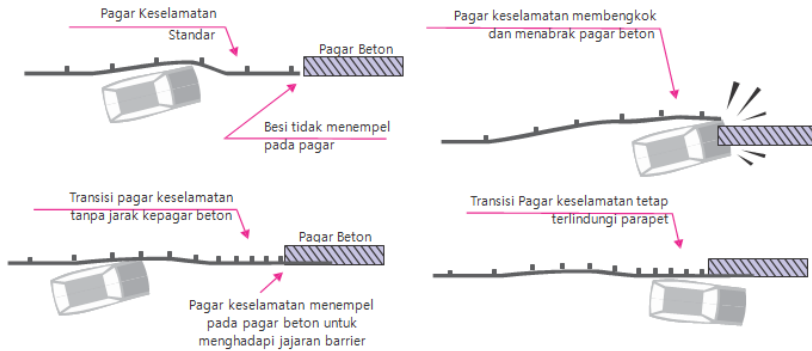


Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012a)

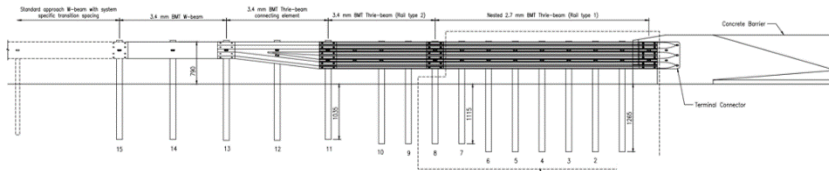
Gambar 12 Penetapan Panjang Pagar Keselamatan *Semi Rigid*

Dari penjelasan ini banyak pagar keselamatan di jalan tol Indonesia terkesan terlalu pendek karena terdapat minimal panjang pagar keselamatan disesuaikan dengan kecepatan rencana, tipe kendaraan uji, dan sudut benturan maksimum ke pagar.

Selain terminal di kedua ujung pagar keselamatan, terdapat juga terminal peralihan (transisi). Rancangan yang baik pada terminal transisi terjadi perubahan dari baja profil W menjadi *tri-beam* kemudian *tri-beam* tersebut menyatu dengan beton parapet. Gambar 13 memperlihatkan mengapa diperlukan terminal transisi dan bentuk terminal transisi yang baik. Hingga saat ini kemungkinan belum terdapat bentuk terminal transisi *tri-beam* seperti terlihat pada Gambar 13.



a. Konsep dari Transisi dari *semi rigid* ke *rigid*



b. Transisi *Tri-Beam*

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2012a)

Gambar 13 Transisi *Tri-Beam*

STRATEGI PENGENDALIAN KECEPATAN KENDARAAN

Sudah dipahami bersama bahwa terdapat hubungan antara kecepatan berkendara dan keselamatan jalan. Peningkatan kecepatan perjalanan sudah dipastikan akan meningkatnya keparahan korban bila terjadi tabrakan. Masalah kecepatan bukan masalah sekedar batas kecepatan di suatu titik (*spot speed*), tetapi harus dilihat sebagai kecepatan rata-rata pada suatu segmen jalan (*average speed*), persentase kecepatan kendaraan di atas batas maksimal ataupun batas minimal serta senjang waktu (*time headway*) antar dua kendaraan yang berkeselamatan. Ketiga hal ini akan menyebabkan

kendaraan kehilangan kendali pada saat pengemudi lengah atau hilang konsentrasi sehingga terjadinya kecelakaan tunggal, tabrak depan-belakang diakibatkan perbedaan kecepatan yang sangat besar antara kendaraan yang menabrak dengan serta tabrakan beruntun.

Terdapat tiga hipotesis dapat digunakan untuk dasar manajemen pengendalian kecepatan sebagai berikut. Hipotesis pertama, kita sudah memahami dengan semakin tinggi kecepatan kendaraan maka semakin tinggi risiko pengemudi kendaraan tersebut terlibat dalam kecelakaan lalu-lintas. Nilsson (2004), sebagai peneliti yang merumuskan pertama kali hal ini secara matematis hubungan antara kecepatan rata-rata dengan probabilitas risiko terjadinya kecelakaan dengan hubungan fungsi pangkat (*power function*) yang diperkenalkan oleh Nilsson. Rumus Nilsson dapat diadopsi pada jalan tol di Indonesia sebagai *Crash Modification Factor* (CMF) bila manajemen kecepatan diberlakukan pada jalan tol di Indonesia, seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perubahan Jumlah Kecelakaan (Y_1) akibat Perubahan Kecepatan Rata-rata $\frac{V_1}{V_0}$

Probabilitas Perubahan Jumlah	Nilsson¹
1 Jumlah Kecelakaan Fatal	$Y_1 = \left\{ \frac{V_1}{V_0} \right\}^4$
2 Jumlah Kecelakaan dengan korban Fatal dan Luka Berat	$Y_1 = \left\{ \frac{V_1}{V_0} \right\}^3$
3 Jumlah Kecelakaan dengan korban Luka	$Y_1 = \left\{ \frac{V_1}{V_0} \right\}^2$

Sumber: Nilsson, G. (2004)

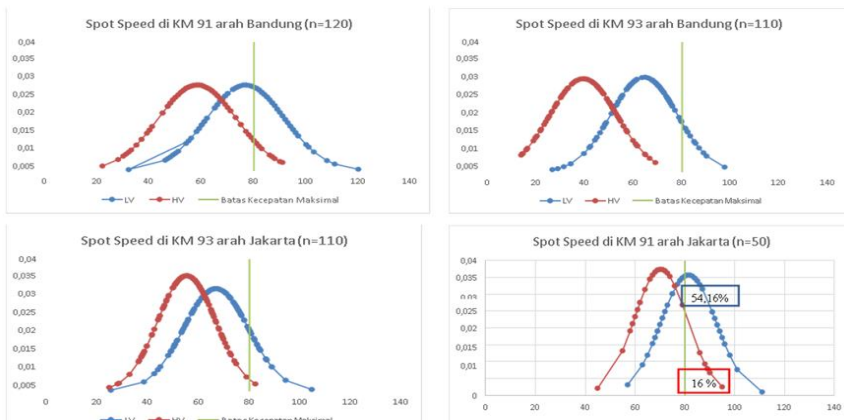
Hipotesis kedua, masalah perbedaan kecepatan yang sangat besar antara kendaraan yang berkecepatan rendah dan tinggi juga sebagai penyebab kecelakaan.

Untuk itu distribusi normal kecepatan harus modifikasi berbentuk lonceng dimana perbedaan antara kecepatan terendah dan tertinggi tidak terlalu besar, serta hipotesis ketiga walaupun tidak secara langsung berhubungan dengan kecepatan adalah senjang waktu (*headway* atau *time headway*) yang sangat singkat di bawah batas waktu reaksi normal seseorang sangat berbahaya. Pengemudi menjalankan kendaraan menempel kendaraan di depannya dengan kecepatan tinggi (*tail-gating*). Untuk ini pengendalian jarak antar kendaraan saat arus stabil (tidak macet) setidaknya-tidaknnya sekitar 3 detik sehingga memungkinkan pengemudi dapat bereaksi dan bertindak dengan baik.

Ketiga masalah tersebut di muka dapat dianalisis dari kejadian kecelakaan berat (menonjol) di Jalan Tol Cikampek-Purwakarta-Padalarang (Cipularang) pada tanggal 2 September 2019 yang menyebabkan jumlah korban meninggal dunia 6 orang dan melibatkan 21 kendaraan. Studi dilakukan satu minggu setelah kejadian. Kondisi lapangan pada saat survei dilakukan masih terdapat beberapa kendaraan polisi yang sedang melakukan olah tempat kejadian perkara (TKP). Dari pengamatan subjektif di lapangan terlihat bahwa kendaraan pada saat melalui lokasi survei relatif berjalan lebih perlahan dikarenakan keberadaan beberapa kendaraan polisi. Observasi kecepatan dilakukan di dua tempat KM 91.00 dan KM 93.00.

Walaupun jarak hanya 2 km namun memperlihatkan perubahan kecepatan yang substansial akibat jalan menurun maupun mendaki. Pada ruas jalan tol tersebut, kecelakaan fatal lebih banyak terjadi pada arah menurun ke Jakarta akibat kecepatan rata-rata yang lebih tinggi. Pencatatan data volume, kecepatan dan senjang waktu

dilakukan di dua titik tersebut yang kebetulan terdapat jembatan lintasan jalan lokal. Hasil distribusi kecepatan yang dibagi berdasarkan kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV) dapat dilihat pada Gambar 14.



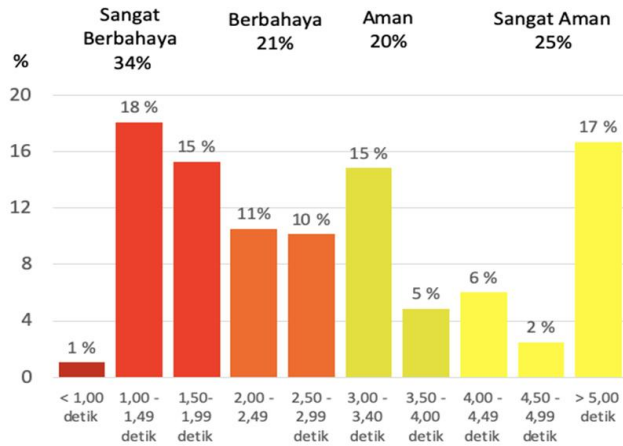
Sumber: Korlantas Polri (2019)

Gambar 14 Distribusi Kecepatan Kendaraan pada KM 91 dan KM 93 Jalan Tol Cipularang

Dari Gambar 14 tersebut, dan dengan membandingkan pasangan gambar atas dengan gambar bawah terlihat dengan jarak 2 km terjadi penambahan kecepatan akibat gradien curam pada jalur menuju Jakarta yang menyebabkan terjadinya kenaikan kendaraan yang melewati batas kecepatan maksimal 80 km/jam sebesar 54,16% untuk kendaraan kecil dan 16% untuk kendaraan berat. Sedangkan sebaliknya pada Jalur arah ke Bandung terjadi penurunan kecepatan yang cukup substansial, tetapi masih cukup banyak kendaraan kecil yang melewati batas kecepatan maksimal 80 km/jam.

Selanjutnya, Gambar 15 menunjukkan histogram senjang waktu antar kendaraan di KM 91.00 arah ke Jakarta. Terlihat bahwa 56% kendaraan melaju dengan senjang waktu yang sangat pendek di

bawah senjang jarak aman sebesar 3 detik untuk bereaksi dengan baik bila kendaraan di depan melakukan pengereman mendadak.



Sumber: Korlantas Polri (2019)

Gambar 15 Histogram Distribusi Senjang Waktu antar Kendaraan

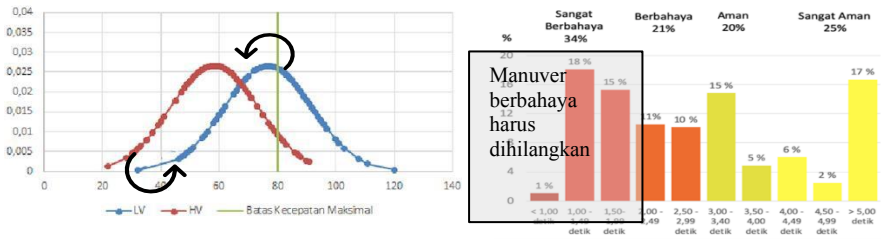
Bahkan 34% kendaraan senjang jarak di bawah 2 detik artinya sudah sangat berdekatan dengan kecepatan tinggi (*tail-gating*). Hal ini tidak mengejutkan bila terjadi kecelakaan beruntun seperti itu kembali terjadi pada tanggal 26 Juni 2022 yang melibatkan 17 kendaraan namun tidak terdapat korban yang tewas.

Dari contoh kejadian ini dapat disimpulkan bahwa pada jalan tol, strategi pengendalian kecepatan harus dilakukan secara holistik, bukan saja memberikan bukti pelanggaran (*tilang*) pada batas kecepatan maksimal di titik di mana terdapat kamera pengawasan mendeteksi, tetapi akan lebih baik juga dilakukan *tilang* untuk melanggar batas kecepatan rata-rata dari pengamatan beberapa kamera pengawasan berdasarkan perhitungan waktu tempuh dibagi dengan jarak. Selain itu perlu dilakukan upaya mengurangi perbedaan kecepatan yang sangat besar antara kendaraan yang

berjalan pelan (pada umumnya truk ODOL) dan kendaraan yang melaju dengan kecepatan sangat tinggi.

Untuk itu harus dilakukan pemberian tilang dan/atau mewajibkan kendaraan ODOL yang kecepatan jauh di bawah batas kecepatan minimal 60 km per jam yang disyaratkan pada jalan tol serta wajib segera keluar di gerbang berikutnya atau akan terkena tilang kembali. Cara ini sangat sukses dilakukan di jalan bebas hambatan di Belanda dan telah menjadi norma di beberapa negara termasuk Inggris di mana tilang untuk pelanggaran batas kecepatan maksimal dengan pendekatan kecepatan rata-rata. Kamera kecepatan juga dapat melakukan perhitungan senjang jarak antara kendaraan dan tilang dapat diberikan kepada kendaraan yang bermanuver membahayakan di jalan tol. Catatan, khusus untuk gradien curam dan panjang seperti Jalan Tol Cipularang dapat dipertimbangkan menurunkan batas kecepatan untuk kendaraan berat ke 50 km/jam atau 40 km/jam.

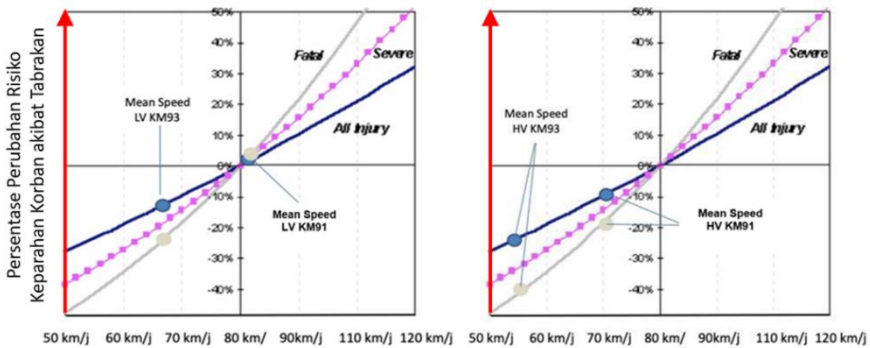
Dalam strategi *smart toll road* perlu dilakukan deteksi dan penindakan terhadap pengemudi di atas kecepatan 80 km/jam dan mengupayakan kendaraan yang berjalan pelan dapat lebih cepat agar variabilitas kecepatan tidak besar seperti terlihat pada Gambar 18 (kiri) dan meniadakan senjang jarak yang berbahaya seperti terlihat pada Gambar 16 (kanan). Dengan cara ini diharapkan keselamatan jalan pada Jalan Tol Cipularang dapat ditingkatkan.



Sumber: Korlantas Polri (2019)

Gambar 16 Strategi Tilang pada KM 91 Tol Cipularang

Kembali pada kasus di Jalan Tol Cipularang, terlihat pada Gambar 17 bahwa perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang terjadi dari KM 93 (hulu) ke KM 91 (hilir) gradien menurun sepanjang 2-kilometer didapat risiko kecelakaan yang membawa korban rata-rata meningkat sekitar 12% dan risiko fatal 22% untuk kendaraan ringan (mobil penumpang) dan 14% untuk risiko fatal dan 23% untuk kendaraan berat (truk dan bus) apabila mengacu kepada persamaan Nilsson (lihat Tabel 4).



Sumber: Korlantas Polri (2019)

Gambar 17 Probabilitas Perubahan Jumlah Kecelakaan dan Kecelakaan Akibat Penambahan Kecepatan pada KM 93-KM 91 Jalur Arah Jakarta pada Jalan Tol Cipularang

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dengan mempelajari kejadian tabrakan di Jalan Tol Cipularang adalah sebagai berikut, beberapa rekomendasi yang bisa diadopsi oleh pemerintah diantaranya adalah mengintroduksi *smart toll system*. Uji coba dapat dilakukan di Jalan Tol Cipularang antara Simpang Sadang dan Simpang Padalarang dan penekanan sistem pada KM 90-KM 100 yang merupakan lokasi rawan kecelakaan yang harus segera ditanggulangi. Sistem ini membantu pihak Kepolisian untuk melakukan penegakan hukum batas kecepatan pada jalan tol, termasuk kendaraan yang melakukan manuver berbahaya seperti penggunaan bahu jalan dan *tail gating*.

Selain itu *smart toll system* dapat melakukan tindakan yang tepat bila terjadi suatu insiden terjadi seperti penutupan satu lajur jalan bahkan seluruh jalur dengan mengharuskan kendaraan keluar di ramp keluar di hulu tempat kejadian kecelakaan untuk menghindari pengguna terjebak tidak bergerak di jalan tol.

Apabila terjadi kecelakaan seperti kasus tanggal 2 September 2019 (kecelakaan beruntun), maka VMS secara otomatis bekerja memberitahukan dan mengarahkan kendaraan, bahkan di *ramp* keluar Cikamuning dan Padalarang (hulu tempat kejadian) seluruh kendaraan dapat segera dialihkan ke luar jalan tol. Perlengkapan berupa *Overhead Variable Message Signs* (OVMS) dan kamera yang dipasang dengan senjang jarak 5-10 km dan detektor dengan teknologi otomatisasi, serta terhubung ke ruang kontrol.

Selanjutnya rekomendasi untuk meningkatkan keselamatan jalan tol sebagai berikut. BPJT seyogyanya menetapkan kinerja

keselamatan jalan tol berupa perhitungan *accident density* dan *fatality density* serta *accident rate* dan *fatality rate* dengan denominator kendaraan kilometer perjalanan. Prioritas kunci adalah untuk mereduksi semaksimal mungkin tipe tabrakan depan-belakan dan lepas kendali dengan menerapkan jalan tol yang memiliki tingkat *self-explaining* dan *forgiving* yang prima.

Perlunya inspeksi jalan dilakukan secara periodik pada semua jalan tol yang sudah beroperasi dengan target menghilangkan semua *hazard* sisi jalan yang terbuka dan pada ruang bebas (*clear zone*) serta memperbaiki semua pagar keselamatan yang tidak memenuhi persyaratan. Apabila InaRAP atau *Indonesia Road Assessment Program* diterapkan, prioritas pertama mutlak diberikan pada semua ruas jalan tol yang sudah beroperasi. Perlu dilakukan audit di level perencanaan dan sebelum jalan tol dibuka agar sejak dini untuk jalan tol baru sudah memiliki standar yang baik sehingga mampu mendapatkan sertifikat jalan berbintang 4 dari InaRAP.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2016. *Manual for assessing safety hardware, 2nd edition*. AASHTO. Washington DC, USA
- AustsRoads. 2021. *Guide to Road Safety Part 1: Introduction and The Safe System*. Sydney.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2022a. *Seri Rekayasa Keselamatan Jalan. Panduan Teknis 1. Rekayasa Keselamatan Jalan*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2022b. *Seri Rekayasa Keselamatan*

- Jalan. Panduan Teknis 2. Manajemen Hazard Sisi Jalan.* Jakarta.
- International Transport Forum. 2016. *Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading A Paradigm Shift to a Safe System.* ITF. Paris, France.
- Korps Lalulintas Kepolisian Republik Indonesia (Korlantas Polri). 2019. *Laporan Kecelakaan Menonjol 2 September 2019.* Traffic Accident Research Center-Korlantas Polri (tidak dipublikasi). Jakarta.
- McInerney, R., & Fletcher, M. 2013. *Relationship between Star Ratings and Crash Cost per Kilometre Travelled: the Bruce Highway, Australia.* <http://www.irap.net/en/about-irap-3/research-andtechnical-papers>. Diakses: 22 November 2022.
- Nilsson, G. 2004. *Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe. Bulletin 221.* Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering. Lund.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2022. *Peraturan Presiden Nomor 1 Tahun 2022 tentang Rencana Umum Nasional Keselamatan Lalulintas Angkutan Jalan.* Jakarta.
- Polar UI. 2022. *Laporan Studi Retro Reflektivitas untuk 3M* (tidak dipublikasikan). UP2M Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Jakarta.



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

ANALISIS WACANA TERHADAP PEMBERITAAN JALAN TOL PADA MEDIA ONLINE INDONESIA

Ratna Widianingrum
IIGF Institute

PENDAHULUAN

Infrastruktur merupakan salah satu aspek penting dalam pembangunan nasional, dan pembangunan jalan tol menjadi salah satu unsur penyediaan infrastruktur penting didalamnya. Infrastruktur sebagai sarana vital yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi perindustrian dan perekonomian, jalan tol melibatkan berbagai *stakeholders* dalam penyelenggaraannya, baik pihak yang mempunyai kepentingan langsung (*stakeholder* primer/kunci) serta pihak yang kepentingan secara tidak langsung (*stakeholder* sekunder). Media salah satu pemain kunci (*key player*) yang memiliki tingkat pengaruh (*power*) dan kepentingan yang juga tinggi terhadap proyek jalan tol. Peran penting media massa sebagai penopang pembangunan menjadi kekuatan yang sangat diperhitungkan. Keberadaannya membuat berbagai pihak terbangun pemahamannya, sehingga mereka akan cepat menyadari persoalan yang dihadapi dan bersiap menggunakan strategi komunikasi dalam penyelesaiannya. Peran penting media massa juga terfleksikan dalam pemberitaan dengan topik infrastruktur jalan tol.

Hadirnya wacana tentang jalan tol dapat meningkatkan pemahaman

masyarakat dan secara positif dapat membentuk opini publik yang meningkatkan dukungan masyarakat pada pembangunan di sektor ini. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui bagaimana wacana tentang sektor jalan tol ini ditampilkan pada media massa, khususnya media *online* Indonesia. Tulisan ini akan memberikan jawabannya dengan melakukan analisis atas wacana tentang jalan tol Indonesia, khususnya selama periode tahun 2016-2022. Temuannya akan menjadi refleksi bagi *key stakeholders* atas wacana pemberitaan jalan tol melalui media online. Hasil analisis juga akan menjadi penguatan terhadap optimalisasi komunikasi dalam pembangunan jalan tol, khususnya melalui penyusunan strategi komunikasi yang efektif.

Selain studi literatur yang mendasari penelitian tentang wacana di ranah ilmu komunikasi, terdapat beberapa hasil kajian tentang jalan tol yang bisa menjadi referensi pada tema-tema kajian yang telah dilakukan sebelumnya. Jumlah penelitian tentang komunikasi pembangunan di Indonesia pada *Google Scholar* saat ini telah mencapai jumlah 120.000 selama kurun waktu 2016-2022, dan jika dikerucutkan lagi menjadi ‘komunikasi dalam pembangunan jalan tol’ maka akan ditemukan sebanyak 9.230 artikel. Sebagian besar penelitian yang menghubungkan antara perspektif komunikasi dengan pembangunan infrastruktur jalan tol mengangkat studi kasus dengan isu proyek jalan tol tertentu, seperti halnya penelitian tentang ruas Jalan Tol Padang-Sicincin (Harza, 2021) yang bertujuan untuk menemukan konfigurasi dan tipe pergerakan wacana, serta mendeskripsikan relasi antar wacana.

Perspektif komunikasi lain dalam penelitian komunikasi pembangunan mengangkat aspek strategi komunikasi seperti halnya

penelitian dengan judul “Strategi Komunikasi Bisnis PT Jasa Marga (Persero) Tbk Cabang Palikanci Kota Cirebon dalam *Penggunaan E-Toll Card* di Kota Cirebon” yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana strategi komunikasi bisnis yang dilakukan dalam penggunaan *E-Toll Card* (Juliyana, 2019). Kajian terkait efektivitas strategi komunikasi banyak digunakan dalam komunikasi pembangunan, dan sebagian besar pada topik jalan tol hal ini akan bersinggungan dengan tema penggunaan produk yang berkaitan dengan pengguna jalan tol (*e-toll*/system pembayaran elektronik) serta pembebasan lahan.

Penelitian lain pada topik jalan tol berkaitan dengan manajemen isu, khususnya terhadap sentimen pemberitaan yang muncul di media seputar proyek jalan tol. Beberapa topik pada aspek ini ditulis oleh Jannah dkk (2021) yang mengangkat tentang manajemen isu yang dilakukan oleh *Corporate Communications* PT Hutama Karya (Persero) serta Wibowo dkk (2018) yang bertujuan untuk mengukur *sentiment analysis* terkait pembangunan Jalan Tol Pemalang-Batang dengan data yang digunakan merupakan komentar dari unggahan di group facebook. Selain itu Lalan (2022) membahas tentang penyelesaian sengketa yang melibatkan *stakeholder* pada Jalan Tol Padang-Sicincin. Pengelolaan *stakeholder* merupakan salah satu indikator dari keberhasilan proyek sehingga cukup banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui model interaksi *stakeholder*.

Meskipun sebagian besar penelitian dari aspek komunikasi ini menggunakan metode kualitatif deskriptif, penelitian dengan metodologi kuantitatif juga digunakan, terutama pada penelitian-penelitian yang bertujuan untuk mengukur tingkat capaian tertentu seperti halnya persepsi, *engagement* dan sentimen.

TINJAUAN PUSTAKA

Secara masif pembangunan infrastruktur dilakukan di seluruh pelosok tanah air selama satu dekade terakhir, dengan fokus utama pada pembangunan infrastruktur di bidang konektivitas bebas hambatan di Indonesia. Peningkatan konektivitas untuk memangkas biaya logistik tersebut, dilakukan melalui pembangunan lebih dari 2.500 km jalan tol baru (Badan Pengatur Jalan Tol/BPJT, 2022). Karakter mega proyek yang melibatkan *multi stakeholder* menyebabkan nuansa komunikasi dalam sistem pembangunan infrastruktur sangatlah kental. Komunikasi memegang peranan penting dalam pembangunan sebagaimana dikatakan Melkote (2002) bahwa *the theory and practice of development communication cannot be meaningfully discussed without defining development as well as communication*. Komunikasi dan pembangunan kemudian menjadi dua hal yang saling berhubungan erat sehingga kemudian lahirlah studi komunikasi pembangunan yang secara dinamis terus berkembang dari waktu ke waktu. Tantangan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional/RPJPN 2025-2045 dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional RPJMN (2025-2029) di bidang komunikasi bahkan menjadi isu strategis yang dominan dengan kemampuannya mendorong perubahan sosial yang terjadi dalam masyarakat.

Berdasarkan perspektif komunikasi, penelitian terhadap analisis wacana (*discourse analysis*) merupakan salah satu bentuk pengayaan dalam pengembangan teori-teori komunikasi. Berger (1982) menyediakan teknik- teknik analisis media (*media analysis techniques*) yang sama sekali beda dari analisis isi yang membahas empat teknik analisis media: *semiological analysis, marxist analysis,*

psychoanalytic criticism, dan *sociological* (Berger dalam Hamad, 2006). Dengan menggunakan berbagai teknik analisis media, kita akan mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana teks media dikonstruksi dan dipahami serta ditafsirkan. Pemahaman tersebut akan bergantung pada bagaimana pesan-pesan dikemas, bagaimana pesan disampaikan kepada audiens dengan menggunakan metode dan strategi yang tepat dalam rangka membangun suatu wacana tertentu. Adanya kesadaran akan sebuah wacana melalui penyampaian pesan kepada khalayak juga akan memudahkan pencapaian obyektif dari program, khususnya program pembangunan infrastruktur.

Pada komunikasi bermedia, kajian atas wacana terkait infrastruktur penting untuk melihat apa yang terjadi dalam dunia media sebagai *observer* atau peneliti dalam masyarakat. Pertanyaan penelitian dalam tulisan ini adalah bagaimana analisis wacana terhadap pemberitaan jalan tol pada media *online* Indonesia? Tujuannya untuk memetakan serta menganalisis kualitas wacana tentang jalan tol yang ada dalam periode tertentu dengan metode kualitatif.

Analisis ini penting karena pemberitaan infrastruktur pada sektor jalan tol memiliki beberapa manfaat dalam pembangunan infrastruktur antara lain adalah meningkatkan pemahaman tentang skema pembiayaan dalam pembangunan jalan tol. Wacana pada media dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan adanya opsi dari pendanaan swasta untuk pembangunan jalan tol. Pemahaman yang benar sekaligus akan mengoreksi kesalahan persepsi di bidang pembiayaan yang terjadi di khalayak. Misalnya saja konsep Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU), yang seringkali disalahartikan sebagai privatisasi. Skema KPBU diyakini

dapat menciptakan penganggaran yang lebih baik sekaligus meningkatkan akuntabilitas dan kualitas layanan publik (Surachman, 2021).

Manfaat selanjutnya adalah membantu calon investor di bidang transportasi jalan tol, khususnya dalam membuat penilaian yang lebih baik khususnya dari aspek analisis manfaat biaya yang menyeluruh (Coley, 2012), juga dari aspek dampak ekonomi dan sosial. Sejalan dengan hal ini, manfaat ketiga adalah untuk menginformasikan kepada masyarakat mengenai keuntungan finansial dari jalan tol, yang antara lain dapat mengurangi kemacetan, konsumsi bahan bakar, dan meningkatkan nilai properti (Texas A&M, 2023). Berbagai manfaat di atas, diharapkan hal ini akan memberikan manfaat positif bagi upaya-upaya perbaikan di masa yang akan datang baik dalam hal perbaikan kebijakan maupun komunikasi dan koordinasi dalam ekosistem infrastruktur sektor jalan tol.

PEMBAHASAN

Analisis Media atas Pemberitaan Mengenai Jalan Tol

Definisi jalan tol sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah No. 15 Tahun 2005 (yang diubah dengan PP No. 17 Tahun 2021) adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol, dimana pembayaran tol ini digunakan untuk mendanai pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan infrastruktur. Tujuan penyelenggaraan jalan tol sebagaimana

disebutkan pada Pasal 2 adalah untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya, serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah dan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya.

Pada level internasional, referensi tentang jalan tol diberikan oleh *National Cooperative Highway Research Programme* yang menyebutkan bahwa jalan tol memiliki beberapa manfaat ekonomi, termasuk peningkatan kecepatan perjalanan, mengurangi kemacetan, meningkatkan keselamatan, dan meningkatkan pendapatan bagi pemerintah (Forkenbrock dan Weisbrod, 2001). Definisi pada referensi tentang jalan tol kemudian dideskripsikan sebagai informasi bahwa jalan tol adalah untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya, untuk keseimbangan dalam pengembangan wilayah, untuk efisiensi pelayanan jasa distribusi, dan untuk menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi (terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya). Disamping itu jalan tol memiliki manfaat ekonomi, meningkatkan kecepatan perjalanan, mengurangi kemacetan, meningkatkan keselamatan, serta meningkatkan pendapatan bagi pemerintah.

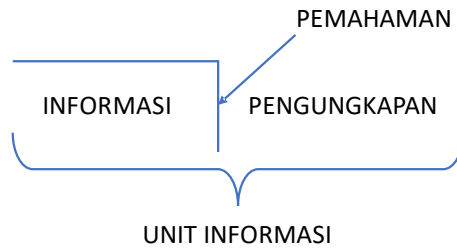
Informasi-informasi tersebut idealnya menjadi topik pembahasan dalam isu jalan tol yang dibahas dalam masyarakat luas, dan untuk menyampaikan informasi dan pengetahuan tentang wacana jalan tol kepada masyarakat ini tentunya memerlukan komunikasi melalui media. Media akan memberikan informasi serta wawasan baru, mempersuasi pola pikir serta tindakan masyarakat ke arah wacana tentang bagaimana jalan tol memberikan dampak positif dalam kehidupan bermasyarakat. Informasi ini diharapkan akan

memberikan dukungan positif bagi upaya-upaya pengembangan jalan tol di Indonesia.

Adapun dalam kehidupan bermasyarakat, jaringan komunikasi tumbuh membentuk sistem komunikasi yang meliputi sistem komunikasi nonmedia dan komunikasi bermedia (Prajarto, 2013). Salah satu parameter untuk melihat sistem komunikasi tersebut adalah keragaman opini publik yang berkembang melalui media. Pada sistem komunikasi bermedia disebutkan bahwa komponen-komponen komunikasinya ditujukan untuk kalangan luas yang memiliki tingkat perhatian yang besar juga. Misalnya media massa seperti halnya media penyiaran televisi dan radio, media cetak. Hadirnya era digital yang ditandai dengan kelahiran teknologi digital serta jaringan internet kemudian membuat perubahan dalam kemampuan mengolah dan menyebarkan informasi. Pada era digital inilah kemudian lahir media *online* yang menyediakan berbagai informasi di dalamnya, termasuk berita. Media *online* dimanfaatkan sebagai saluran untuk menyampaikan informasi dengan jangkauan dan kapasitas yang bersifat masif.

Perspektif komunikasi dalam wacana pembangunan infrastruktur jalan tol juga dapat dilihat dari sistem komunikasi yang dipopulerkan oleh Niklas Luhmann (1992). Menurut Luhmann, komunikasi adalah realitas yang muncul melalui sintesis 3 (tiga) pilihan yang berbeda, yaitu pemilihan informasi, pemilihan ucapan (atas) informasi ini, dan pemahaman selektif atau kesalahpahaman ucapan ini dan informasinya. Tak satu pun dari komponen ini dapat hadir dengan sendirinya. Hanya bersama-sama mereka dapat menciptakan komunikasi dan komunikasi hanya terjadi ketika perbedaan ucapan dan informasi dipahami, sehingga poin penting adalah ketika

perbedaan ucapan dan informasi tersebut dipahami. Poin penting lainnya dalam konsep komunikasi Luhmann adalah bahwa ketiga pilihan tersebut membentuk sebuah "unit yang tidak dapat dipisahkan". Hubungan antara ketiganya dapat diilustrasikan sebagaimana Gambar 1 berikut ini.



Sumber: Seidl dan Becker (2006)

Gambar 1 Komunikasi sebagai Sintesis dari Informasi, Pengungkapan dan Pemahaman

Konteks wacana pemberitaan jalan tol ini, maka informasi diartikan sebagai hal-hal yang terkait dengan deskripsi ideal tentang jalan tol yang ada dalam literatur maupun kebijakan dasar jalan tol sebagaimana disebutkan di muka. Hal-hal tersebut merupakan topik yang idealnya ada dalam agenda wacana ketika komunikasi tentang infrastruktur jalan tol terjadi.

Analisis wacana dalam penelitian ini dilakukan melalui hasil monitoring media *online* yang dilakukan selama periode tahun 2016-2022. Hasilnya akan merepresentasikan ungkapan atau *utterance* atas apa yang sudah dinyatakan oleh media *online* pada informasi jalan tol. Jika informasi adalah apa yang digambarkan dalam berbagai literatur dan regulasi tentang infrastruktur jalan tol, maka *utterance* adalah wacana yang muncul melalui media *online* terkait jalan tol. *Understanding* kemudian didapat dari *gap* antara eksposur yang terjadi pada wacana dan informasi yang seharusnya

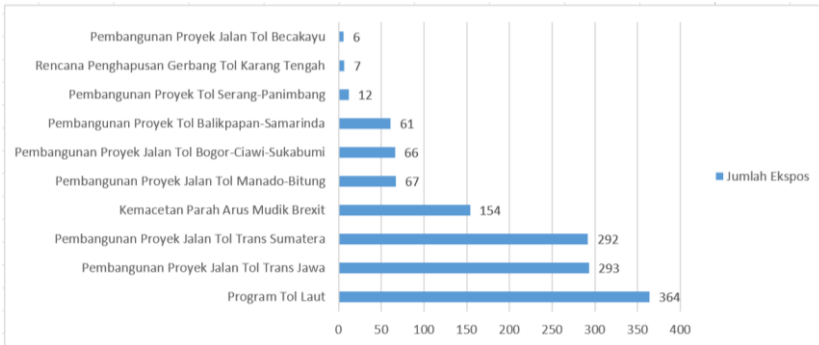
ada atau muncul di media. Adapun pemilihan periode ini diharapkan bisa merepresentasikan gambaran dari wacana yang terjadi, khususnya sejak Visi Indonesia 2045 yang disusun oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) ditetapkan. Hasil analisis wacana yang dilakukan oleh mesin *big data media monitoring* IMM (*Intelligent Media Analytics*) adalah sebagai berikut.

Wacana Tahun 2016

Pada tahun 2016 wacana jalan tol dengan jumlah eksposur terbesar adalah pada Program Tol Laut, disusul dengan wacana tentang pembangunan Proyek Jalan Tol Trans Jawa dan Tol Trans Sumatera. Dari aspek politis, tahun 2016 merupakan periode pertama di bawah pimpinan Presiden Joko Widodo (2014-2019) dengan program unggulan infrastruktur yang menjadi andalan pemerintah. Selain jalur darat, pemerintah juga membangun jalur kereta api. Sedangkan di luar Jawa, pembangunan tol, jalur kereta, dan pelabuhan juga digencarkan, seperti di Kota Makassar dengan adanya jalur yang menghubungkan Makassar dan Parepare.

Pembangunan Jalan Tol Trans Jawa menjadi salah satu *pipeline project* yang dibangun pada periode ini dan menjadi salah satu hasil riil dari pemerintah yang kemudian diresmikan pada akhir tahun 2018. Eksposur yang tinggi pada proyek ini seiring dengan pembangunan yang sedang dilakukan pada periode ini. Adapun untuk pemberitaan tentang Jalan Tol Trans Sumatera juga cukup tinggi, terkait dengan adanya target untuk penyelesaian proyek ini pada pertengahan 2019.

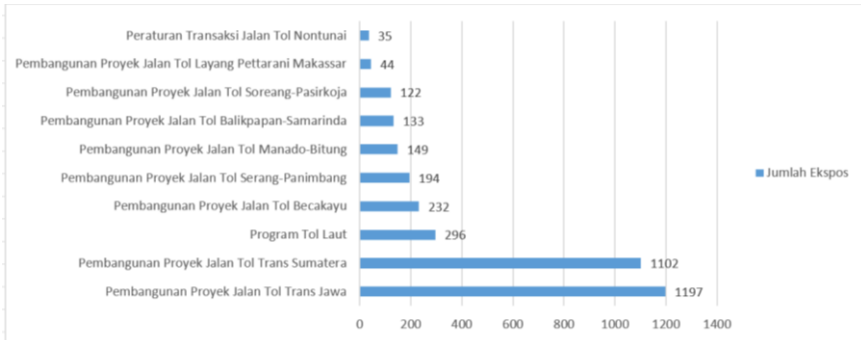
Program Tol Laut dengan jumlah eksposur tertinggi merupakan program nasional Presiden Republik Indonesia dan merupakan prioritas utama pembangunan yang dituangkan dalam Peraturan Presiden (Perpres) No. 106 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Kewajiban Pelayanan Publik untuk Angkutan Barang di Laut (Perpres Tol Laut) pada tanggal 1 Oktober 2015. Wacana yang cukup intens dikorelasikan dengan janji kampanye tol laut yang disampaikan sebelumnya oleh Presiden Joko Widodo dan Wakil Presiden Jusuf Kalla dan mendapatkan tanggapan masyarakat Indonesia yang cukup antusias sebagai sebuah konsep yang dianggap baru.



Gambar 2 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2016

Wacana Tahun 2017

Wacana pada tahun 2017 secara garis besar masih melanjutkan wacana pada tahun 2016 secara berurutan yaitu Proyek Jalan Tol Trans Jawa sebanyak 1.197 eksposur, pembangunan Proyek Jalan Tol Trans Sumatera sebesar 1.102 eksposur dan Program Tol Laut sebesar 296 eksposur. Diantara 10 wacana tentang pembangunan proyek jalan tol, hanya terdapat 1 buah wacana yang bertemakan diluar pembangunan proyek jalan tol, yaitu tentang peraturan transaksi jalan non tunai sebanyak 35 eksposur.



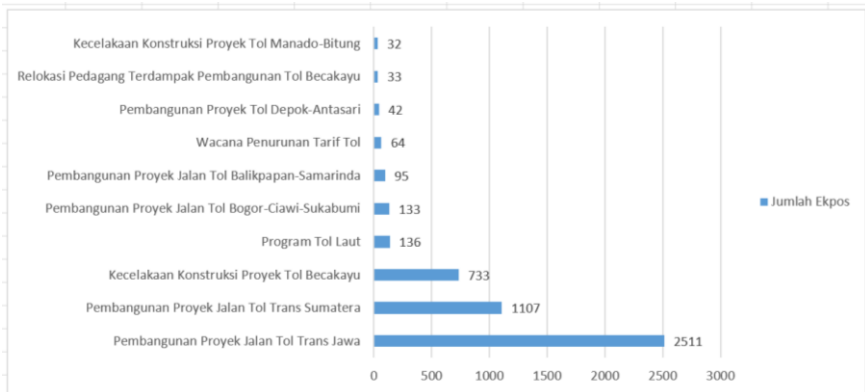
Gambar 3 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2017

Wacana Tahun 2018

Variasi wacana jalan tol pada tahun 2018 diwarnai dengan tema-tema baru seperti halnya wacana penurunan tarif tol sebanyak 64 wacana, relokasi pedagang yang terdampak pembangunan Jalan Tol Becakayu sebanyak 33 wacana dan kecelakaan konstruksi Proyek Jalan Tol Manado Bitung sebanyak 32 wacana. Paradigma "*bad news is good news*", berita buruk adalah berita baik yang mengindikasikan bahwa berita negatif lebih mungkin menarik pembaca daripada berita positif menjadi alasan dari wacana-wacana sejenis. Namun meskipun hal ini berlaku untuk organisasi media, hal ini tidak dapat digeneralisasikan pada wacana terkait inisiatif pembangunan infrastruktur. Seringkali sentimen negatif yang terdapat dalam berita buruk dapat menghambat pembangunan infrastruktur akibat timbulnya ketidakpercayaan dan perbedaan pendapat di kalangan masyarakat.

Sebuah studi tahun yang berjudul "*Economics, Entitlements, and Social Issues: Voter Learning and Policy Change in an Election Year*" yang ditulis oleh Alvarez dan Nagler (2004) menyebutkan bahwasanya pemberitaan mengenai kandidat yang tidak

menguntungkan mereka memiliki dampak yang lebih besar pada opini pemilih terhadap mereka dibandingkan dengan media yang menguntungkan mereka. Hal ini menunjukkan bagaimana berita yang tidak menguntungkan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap opini publik dan pengambilan keputusan. Dalam konteks pembangunan infrastruktur, wacana dengan sentimen negatif dapat menghambat pembangunan karena timbulnya pertentangan dari masyarakat baik dalam bentuk penundaan ataupun penghentian sebuah proyek. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan komunikasi secara efektif untuk mengurangi dampak negatif yang terjadi.

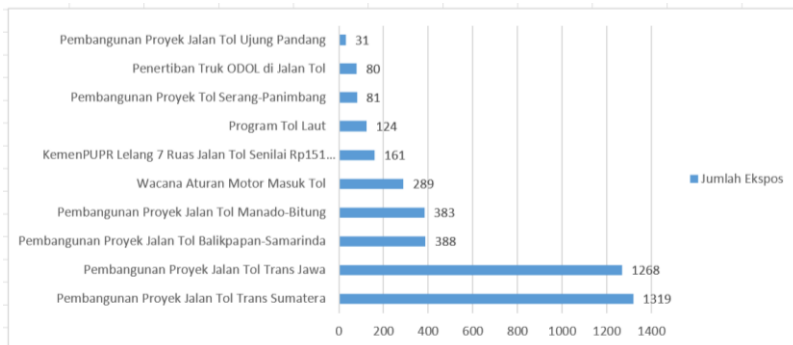


Gambar 4 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2018

Wacana Tahun 2019

Wacana jalan tol pada tahun 2019 masih dinominasi oleh pembangunan proyek Jalan Tol Trans Sumatera dan Jalan Tol Trans Jawa. Ada wacana yang mengangkat tema investasi, yaitu lelang 7 ruas jalan tol senilai Rp151 triliun yang dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) sebanyak 161 eksposur, serta 80 eksposur wacana terkait penertiban truk yang

bermuatan dan berdimensi lebih (ODOL, *over load over dimension*) di jalan tol. Tahun 2019 merupakan tahun politik, dimana pemilihan umum Indonesia kembali menetapkan Presiden Joko Widodo sebagai Presiden Republik Indonesia tersebut untuk periode kedua dengan masa jabatan dimulai tahun 2019 sampai dengan tahun 2024. Pada periode kedua, Pemerintah melanjutkan pembangunan infrastruktur dengan fokus terhadap upaya-upaya untuk menghubungkan kawasan produksi dengan kawasan distribusi dan mempermudah akses ke kawasan wisata. Konektivitas tersebut diwujudkan dengan pembangunan ruas-ruas jalan tol dan direfleksikan melalui wacana pembangunan proyek jalan tol pada periode tahun 2019, antara lain Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Manado-Bitung, Serang-Panimbang serta Akses Makassar New Port.

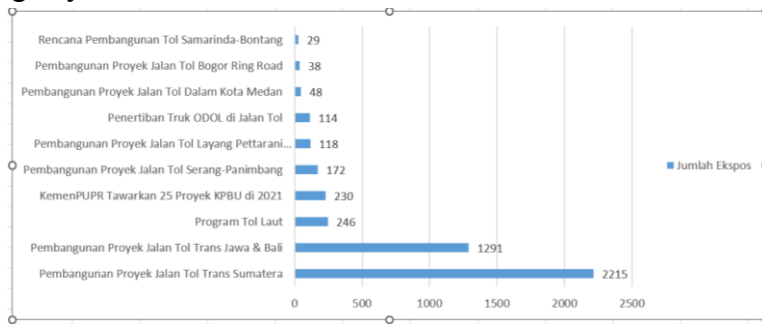


Gambar 5 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2019

Wacana Tahun 2020

Pada tahun 2021, terdapat 5 *utterance soft infrastructure* yang mengungkapkan tentang kasus korupsi infrastruktur, penyiapan SDM infrastruktur, partisipasi masyarakat dalam infrastruktur, dukungan BUMN dan swasta sebagai mitra pembangunan nasional di Kamboja serta klarifikasi atas dana proyek infrastruktur yang

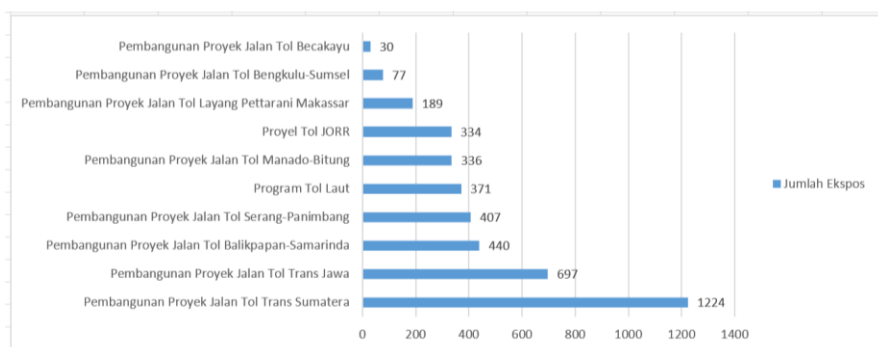
bermasalah. Sebanyak 15 wacana sisanya adalah pengungkapan *hard infrastructure* yaitu pembangunan BTS, infrastruktur 5G, Kawasan Industri Terpadu Batang, Jalan Tol Kayu Agung-Palembang, Ambon New Port, Bakauheni Harbour City dan lain sebagainya.



Gambar 6 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media Online 2020

Wacana Tahun 2021

Pada 10 (sepuluh) wacana terbanyak di sektor jalan tol pada tahun 2021 didominasi oleh wacana tentang pembangunan proyek jalan dari berbagai wilayah Indonesia yaitu Jalan Tol Trans Jawa, Trans Sumatera, Balikpapan-Samarinda, Serang-Panimbang, Manado-Bitung, Pettarani Makassar, Bengkulu-Taba Penanjung hingga Bekasi-Cawang-Kampung Melayu. Hal ini seiring dengan prioritas pembangunan pemerintah pada periode kedua Presiden Joko Widodo yang fokus pada integrasi untuk membuka daerah terisolir. Pada periode ini pemerintah terus mempercepat ketersediaan infrastruktur konektivitas untuk menurunkan biaya logistik dan memberikan kemudahan bagi masyarakat. Prioritas nasional pemerintah disebutkan dalam RPJMN adalah memperkuat infrastruktur untuk mendukung pengembangan ekonomi dan pelayanan dasar.

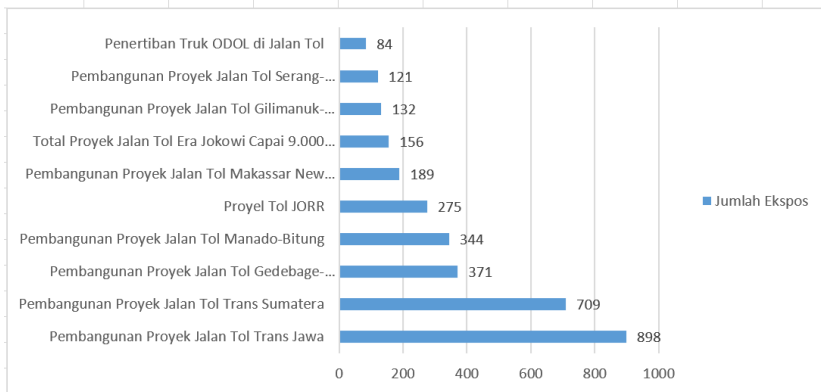


Gambar 7 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2021

Wacana Tahun 2022

Pada tahun 2022 terdapat satu wacana baru tentang penertiban truk ODOL di jalan tol di luar pembangunan proyek jalan tol dengan jumlah wacana sebesar 84 eksposur. Topik ini merupakan program yang disosialisasikan oleh Badan Kebijakan Transportasi Kementerian Pehubungan RI yang bertujuan untuk mendorong pemberatasan kendaraan odol yang berdampak pada kerusakan infrastruktur jalan. Selebihnya wacana didominasi oleh pembangunan proyek jalan tol dengan lokasi baru yang berbeda dengan tahun sebelumnya seperti halnya Jalan Tol Gedebage-Tasikmalaya-Cilacap, Akses Makassar New Port, dan Gilimanuk-Mengwi.

Merujuk pada data-data media *online* selama periode 2016-2022 tersebut di atas, kemudian dilakukan ranking berdasarkan jumlah total eksposur berita pada peringkat teratas di setiap tahunnya.



Gambar 8 Wacana Infrastruktur Jalan Tol-Media *Online* 2022

Melalui pemeringkatan yang dilakukan didapatkan daftar dari jumlah eksposur wacana tentang jalan tol yang tertinggi dalam rentang waktu periode 2016-2022 sebanyak 10 berita yaitu 1) Proyek Jalan Tol Trans Sumatera, 2) Proyek Jalan Tol Trans Jawa, 3) Program Tol Laut, 4) Proyek Jalan Tol Trans Jawa dan Bali, 5) Pembangunan Proyek Jalan Tol Manado-Bitung, 6) Pembangunan Proyek Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, 7) Kecelakaan Konstruksi Proyek Tol Becakayu, 8) Pembangunan Proyek Jalan Tol Serang-Panimbang, 9) Pembangunan Proyek Jalan Tol Gedebage-Tasikmalaya-Cilacap dan 10) Proyek Tol JORR.

Secara garis besar data wacana infrastruktur jalan tol tersebut adalah pemberitaan terkait pembangunan proyek jalan tol di berbagai lokasi di Indonesia, dan program infrastruktur pemerintah terkait Program Tol Laut dan satu berita yang terkait dengan kecelakaan konstruksi di jalan tol. Wacana yang tampil secara konsisten adalah Program Tol Laut sebagai program unggulan pembangunan infrastruktur Presiden Joko Widodo.

Berita tentang pembangunan jalan tol yang mendominasi wacana sebagaimana disebutkan diatas dapat dimasukkan ke dalam kategori wacana *hard infrastructure*. Rocco (2015) menyebutkan bahwa “*hard infrastructure is easily understandable as the physical environments and places where life occurs*”. Contohnya adalah sistem transportasi (jalan, jembatan, bandara), sistem air dan pembuangan limbah, infrastruktur energi (pembangkit listrik, saluran transmisi), dan sistem komunikasi (jaringan telekomunikasi, infrastruktur internet). *Hard infrastructure* sangat penting untuk pertumbuhan dan pembangunan ekonomi, karena dia menyediakan kerangka kerja yang diperlukan agar bisnis dan individu dapat beroperasi secara efektif.

Di sisi lain ada tema besar dalam pembangunan infrastruktur yang juga perlu wacana yang seimbang dan sama porsinya, yaitu wacana yang terkait *soft infrastructure*. Pemahaman tentang *soft infrastructure* mungkin dapat mencakup budaya, struktur dan institusi politik atau cara hal-hal ini diartikulasikan dan diikat bersama oleh nilai-nilai, aturan, tradisi dan konvensi. Contoh dalam wacana media di atas adalah wacana tentang kecelakaan jalan tol, perubahan tarif tol serta dampak pembangunan jalan tol.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Dari data wacana serta informasi tentang infrastruktur jalan tol pada penelitian dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut: informasi tentang infrastruktur jalan tol terdiri dari 9 (sembilan) poin utama

yang meliputi berbagai aspek manfaat dari keberadaan jalan tol. *Utterance* atau pengungkapan pada wacana media *online* tentang jalan tol meliputi pembangunan proyek jalan tol di berbagai daerah serta aspek-aspek lain seperti halnya kecelakaan, tarif, masyarakat terdampak, skema pembiayaan KPBU dan kemacetan. Dari keduanya didapatkan *understanding* atau pemahaman tentang jalan tol pada beredar saat ini masih pada beberapa fokus saja antara lain pada aspek peningkatan pendapatan (melalui wacana tentang tarif tol), aspek perwujudan pemerataan pembangunan melalui pemutakhiran capaian-capaian fisik pembangunan jalan tol. Celah pada variabel sistem komunikasi berupa informasi lainnya tentang bagaimana jalan tol memiliki peran strategis dengan berbagai manfaat sangatlah diperlukan oleh pemerintah.

Selanjutnya informasi tentang infrastruktur jalan tol masih didominasi wacana-wacana yang bersifat *hard infrastructure*, yaitu wacana yang mengacu pada struktur dan sistem fisik yang diperlukan untuk pengoperasian masyarakat atau bisnis. Hal ini mengacu pada banyaknya pemberitaan tentang proyek dan pembangunan serta informasi-informasi lain yang bersifat memberikan informasi kebaruan/*update* pada satu proyek jalan tol.

Rekomendasi

Atas temuan pada kesimpulan di atas, maka rekomendasi terhadap wacana jalan tol adalah perlunya porsi yang seimbang pada jumlah eksposur dua bentuk wacana, yaitu wacana dengan tema *hard infrastructure* dan wacana dengan tema *soft infrastructure*. Kedua tema ini secara bersama-sama dapat memberikan pemahaman tidak saja pada ruang fisik yang bersifat numerik, namun juga mengangkat

aspek yang bersifat positif yang bersifat *intangible* seperti halnya manfaat bagi pertumbuhan ekonomi, manfaat terhadap peningkatan keselamatan, pendapatan bagi pemerintah dan lain sebagainya. Korelasi antara *hard* dan *soft infrastructure* dalam wacana media adalah bersifat diakronis dan timbal balik, sehingga akan saling melengkapi dan memberikan pemahaman tentang hubungan yang kompleks antara keduanya, sehingga satu sama lain dapat bertindak dan mengintervensi secara efektif dan bertanggung jawab.

Selanjutnya, diperlukan peningkatan pemahaman melalui wacana tema *soft infrastructure* pada sub topik manfaat positif dari pembangunan jalan tol dan upaya-upaya meminimalisir potensi dampak negatif (seperti pembebasan lahan yang terhambat, penolakan dari masyarakat terdampak dan lain sebagainya), antara lain tujuan utama pembangunan jalan tol untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya untuk keseimbangan dalam pengembangan wilayah, serta manfaat positif pembangunan jalan tol dari berbagai aspek non teknis, yaitu ekonomi dan sosial. Peningkatan pemahaman pada aspek *soft infrastructure* ini hendaknya juga dibarengi dengan upaya-upaya peningkatan kapasitas pada pihak-pihak yang terlibat secara langsung dalam pembuatan wacana jalan tol, utamanya adalah media pemangku kepentingan atau wartawan bidang infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

Abrajano, M. A., Michael Alvarez, R., dan Nagler, J. 2008. *The Hispanic Vote in the 2004 Presidential Election: Insecurity and Moral Concerns*. *The Journal of Politics*, 70 (2): 368-382.

- Badan Pengatur Jalan Tol. 2022. *Lebih dari 2.500 km Jalan Tol di Indonesia Telah Beroperasi, Didukung 5 Strategi Kementerian PUPR*. <https://bpjt.pu.go.id/berita/lebih-dari-2500-km-jalan-tol-di-indonesia-telah-beroperasi-didukung-5-strategi-kementerian-pupr>, diakses 25 Mei 2023.
- Berger, Arthur Asa. 1982. *Media Analysis Techniques*. Beverly Hills: Sage Publication.
- Coley, Nathaniel. 2012. Spotlight on Benefit-Cost Analysis. <https://highways.dot.gov/public-roads/marchapril-2012/spotlight-benefit-cost-analysis>, diakses 25 Mei 2023.
- Forkenbrock, D. J., Weisbrod, G. E. 2001. *Guidebook for Assessing the Social and Economic Effects of Transportation Projects* (No. Project B25-19 FY'99).
- Hamad, I. 2006. *Komunikasi sebagai Wacana*. Mediator: Jurnal Komunikasi, 7(2): 259-268.
- Harza, M. F., Oktavianus, O., dan Sawirman, S. 2021. *Pergerakan Wacana Pembangunan Tol Ruas Padang-Sicincin Di Sumatra Barat*. LINGUISTIK: Jurnal Bahasa dan Sastra, 5(1): 210-221.
- Jannah, R., Rahmanto, A. N. 2021. *Manajemen Isu PT Hutama Karya (Persero) dalam Menangani Pemberitaan Negatif Mengenai Keselamatan Berkendara di Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS)*. Jurnal Komunikasi Massa. Program Studi Ilmu Komunikasi Fisip UNS, 1 (2021), ISSN: 1411-268x.
- Juliyana, H., Sutarjo, M., dan Nurfallah, F. 2019. *Strategi Komunikasi Bisnis PT Jasa Marga (Persero) Tbk Cabang Palikanci Kota Cirebon dalam Penggunaan E-Toll Card di Kota Cirebon*. Journal Signal, 7(2): 208-223.
- Lalan, H. 2022. *Model Interaksi Stakeholder pada Pembebasan Lahan Pembangunan Jalan Tol Ruas Padang-Sicincin*. Ensiklopedia of Journal, 4 (2): 159-168.
- Melkote, S.R., Steeves, H.L. 2001. *Communication for*

- Development in the Third World; Theory and practice for Development.* New Delhi. Sage Publication.
- Pemerintah Indonesia. 2005. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol.* Jakarta.
- Prajarto, Nunung. 2013. *Perbandingan Sistem Komunikasi.* Universitas Terbuka, Jakarta.
- Rocco, R. 2015. *Emerging New Roles for Designers and Planners: Articulating Soft and Hard Infrastructures.* Atlantis, Oct 5-8, 2015.
- Surachman, E. N., Suhendra, M., Prabowo, S., dan Handayani, D. 2021. *Dinamika Penyiapan Proyek Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha di Indonesia.* Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Texas A&M Transportation Institute. 2023. *Adding New Lanes or Roads.* <https://policy.tti.tamu.edu/strategy/adding-new-lanes-or-roads/> diakses 25 Mei 2023.
- Wibowo, A. P., Jumiati, E. 2018. *Sentiment Analysis Masyarakat Pekalongan Terhadap Pembangunan Jalan Tol Pemalang-Batang di Media Sosial.* IC-Tech, 13(1): 42-48.

TANTANGAN INTEGRASI TARIF PADA JARINGAN JALAN TOL DI WILAYAH PERKOTAAN

Andyka Kusuma, R Jachrizal Sumabrata, R Ivan Adwitiya
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

PENDAHULUAN

Jalan bebas hambatan di Indonesia merupakan bagian dari konsep jaringan jalan yang menghubungkan pusat-pusat perekonomian. Jaringan jalan ini dikenal sebagai jaringan Jalan Tol dimana pengguna jaringan jalan tol tersebut harus membayar sejumlah tarif yang ditetapkan oleh Pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) setelah mendapatkan usulan dari Badan Usaha Jalan Tol (BUJT). Pengembangan jaringan bebas hambatan di Indonesia pada umumnya melibatkan partisipasi Badan Usaha Milik Negara (BUMN), dan swasta.

Pengembangan jaringan jalan tol di Indonesia dimulai dengan pengoperasian jalan tol Jakarta-Bogor-Ciawi (Jagorawi) pada 1978 dan dilanjutkan Jakarta-Cikampek (Japek) untuk jalan tol antar kota. Sedangkan untuk jalan tol perkotaan terfokus di wilayah aglomerasi Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang dan Bekasi (Jabodetabek), rencana pengembangan jaringan tol perkotaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Pengembangan jalan tol ini tentunya menimbulkan efek jaringan jalan bebas hambatan, pada pergerakan lalu lintas jalan raya. Jalan tol merupakan sebuah sistem yang diharapkan dapat mengintegrasikan ruas jalan secara fisik melalui “*toll-to-toll*

connection”, secara tarif dan secara sistem transaksi.

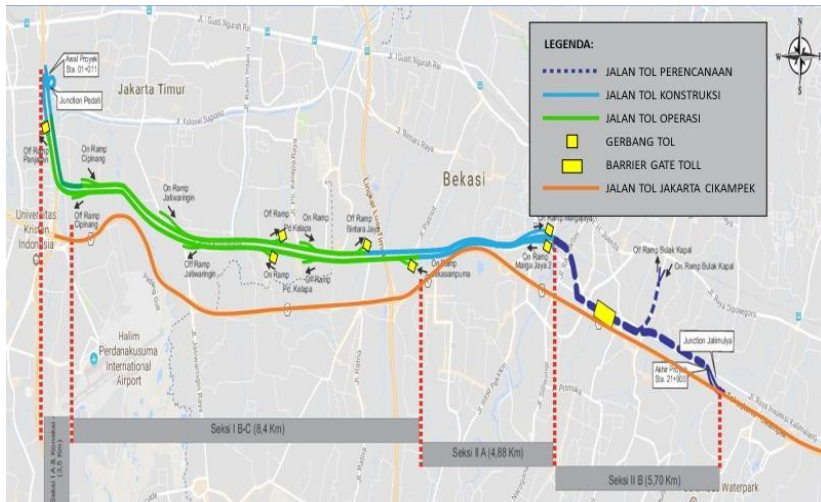
Tabel 1 Pengembangan Jaringan Jalan Tol Perkotaan

Ruas	Tahun Operasi	Panjang Segmen (km)	Tarif 2023 (Rp/km)
Jakarta Inner Ring Road (JIRR)	1988	46	228
Jakarta Outer Ring Road (JORR)	1989	65	246
Jakarta – Bogor – Ciawi	1978	59	118,64
Bekasi – Cawang – Kp Melayu	2017	8,4	1666,66
Cinere - Jagorawi	2012	9,2	978,26
Depok - Antasari	2018	12,1	661,16
Cimanggis - Cibitung	2020	2,75	2000
Cibitung - Cilincing	2021	27,1	1992,62
Serpong - Balaraja	2022	3,97	1385,39
Bogor Ring Road	2009	11,3	1238,94
Cengkareng - Batu Ceper - Kunciran	2021	14,9	1711,409
*6 Ruas Tol Dalam Kota DKI Jakarta	-	69,77	-
Segmen Sunter - Pulogebang		9,44	2118,64
JAPEK I	1988	83	240,93
Serpong - Cinere	2021	6,505	1697
Kunciran - Serpong	2019	11,14	1077,2
*JAPEK II Selatan	2024	66	-

*Belum Beroperasi

Jaringan jalan bebas hambatan berbayar atau yang lebih sering disebut sebagai jalan tol di Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi (Jabodetabek) memiliki tiga jaringan *ring road* and jaringan radial seperti terlihat pada Gambar 1. Lebih lanjut, pengembangan jaringan tol ini dilakukan secara bertahap sebagaimana terlihat pada Tabel 1 di atas. Kondisi ini tentunya menyebabkan perbedaan harga investasi yang begitu signifikan, seperti yang terlihat pada Tabel 1, dimana setelah pengoperasian Jagorawi (1978) dan Jakarta-Cikampek

(1988). Pengembangan jaringan jalan tol di Jabodetabek baru masif kembali pada akhir tahun 2000an hingga saat ini. Terhentinya pengembangan jaringan tol ini membuat perbedaan besaran investasi yang cukup signifikan antara tol konstruksi lama dan baru. Mengacu pada tahun operasional, terlihat bahwa JORR 1 dan 2 serta jaringan radial (MBZ, dan Becakayu) mempunyai nilai investasi per kilometer segmen yang lebih mahal dibandingkan Tol Jagorawi dan Japek. Hal ini tercermin dari tarif yang dikenakan pada saat ini, dimana tarif tol ring road kota lebih murah dibandingkan JORR 1 dan 2.



Gambar 1 Jaringan Tol Jakarta-Cikampek dan Bekasi

Pada umumnya perhitungan usulan tarif jaringan tol menggunakan besaran investasi BUJT sebagai variabel utama dalam usulan yang diajukan. Besaran investasi untuk pengembangan tol baru tentunya akan semakin tinggi dibandingkan jaringan tol lama seperti Jagorawi, Japek ataupun Jakarta *Inner Ring Road*. Fenomena ini tentunya menjadi isu krusial dari sisi transportasi, karena

menimbulkan ketidakseimbangan dalam sisi permintaan. Secara preferensi, pengguna memilih rute perjalanan yang memberikan waktu dan biaya perjalanan yang paling efisien. Dalam konteks ini timbul kecenderungan pengguna untuk menggunakan tol radial untuk berpindah dari satu sisi ke sisi yang lain dibandingkan *ring road* yang secara tarif memang lebih mahal sehingga menjadi hambatan dalam membentuk keseimbangan lalu lintas dalam jaringan jalan.

Dengan pengembangan jaringan tol di Jabodetabek, rasionalisasi penarifan dan integrasi tarif dalam suatu jaringan jalan diperlukan sebagai salah satu cara untuk membantu penyeimbangan arus lalu lintas pada jaringan jalan. Rasionalisasi tarif menjadi faktor penting untuk mendorong terjadinya keseimbangan lalu lintas di dalam jaringan. Tulisan ini akan menjelaskan konsep dan tantangan dalam rasionalisasi tarif sebagai implikasi beserta tantangan dari terbentuknya jaringan jalan tol di wilayah perkotaan, serta mengelaborasi implikasi integrasi jaringan tol, beserta tantangan dalam rasionalisasi tarif tol untuk mendorong keseimbangan lalu lintas di jaringan jalan tol.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Pemodelan Jaringan Jalan Tol

Jaringan transportasi dianggap mewakili komponen kunci dari sisi pasokan pemodelan suatu sistem transportasi. Dimana dalam konteks ini jaringan jalan tol sebagai *supply* kapasitas dari kebutuhan *demand* yang timbul akibat adanya aktivitas masyarakat. Deskripsi

jaringan transportasi dalam model komputer dapat dilakukan pada tingkat yang berbeda detail dan membutuhkan spesifikasi strukturnya, sifat atau atributnya, dan hubungannya antara properti tersebut dan arus lalu lintas.

Pemilihan rute perjalanan direpresentasikan pada tingkat agregasi yang berbeda dalam sebuah model. Pemilihan rute atau jaringan transportasi oleh pengendara direpresentasikan dalam bentuk pemilihan diskrit, dimana mereka akan mengambil keputusan untuk menggunakan jaringan jalan yang memberikan keuntungan dari sisi waktu, biaya, operasionalisasi kendaraan.

Fenomena ini dimodelkan secara matematis, pengendara akan memaksimalkan utilitas dari setiap kondisi pilihan yang dihadapi dalam pemilihan rute. Proses pengambilan keputusan direpresentasikan dalam *stated preference survey*, pendekatan ini meminta pengendara untuk menjawab pilihan diskrit yakin "ya" atau "tidak" dari setiap kondisi hipotesis yang diberikan. Pada konteks tulisan ini, penulis mencoba melihat preferensi dari pengguna terkait skema integrasi tarif di jalan tol. Luaran pada bagian ini nantinya akan digunakan pada bagian pemodelan lalulintas yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

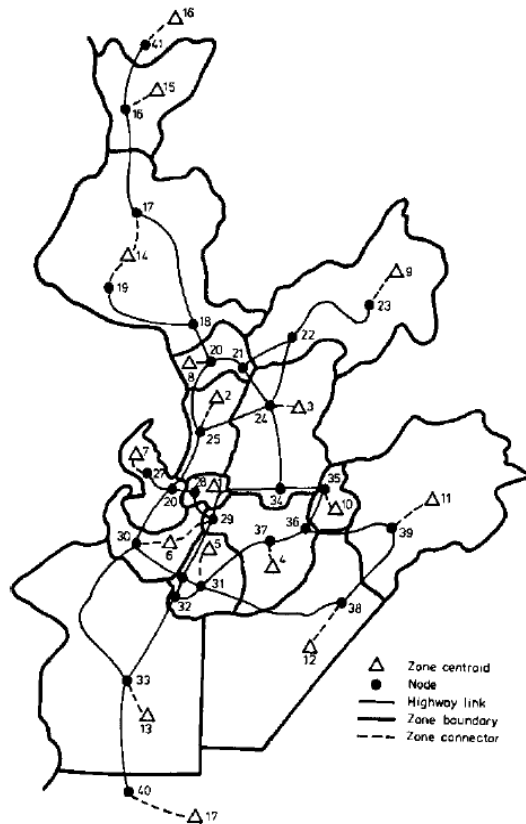
Jaringan transportasi dapat direpresentasikan pada tingkat agregasi yang berbeda dalam sebuah model. Pada satu ekstrim seseorang memiliki model tanpa ruas khusus sama sekali; mereka didasarkan pada representasi transportasi yang berkelanjutan pasokan (Smeed, 1968). Model-model ini dapat memberikan, misalnya, persamaan kontinu rata-rata kapasitas lalu lintas per unit area alih-alih elemen atau ruas diskrit. Pada level yang sedikit lebih tinggi dari disagregasi

seseorang dapat mempertimbangkan jalan individu tetapi mencakup properti kecepatan-aliran yang diambil alih lebih banyak daerah yang lebih besar (Wardrop, 1968). Praktik normal adalah memodelkan jaringan sebagai grafik berarah, yaitu sistem node dan link bergabung dengan mereka (Larson dan Odoni, 1981), dimana sebagian besar node diambil untuk mewakili persimpangan dan ruas-ruas tersebut mewakili bentangan jalan yang homogen di antara persimpangan-persimpangan.

Ruas ditandai oleh beberapa atribut seperti panjang, kecepatan, jumlah lajur dan sebagainya, dan biasanya searah, bahkan jika selama input satu ruas dua arah ditentukan untuk kesederhanaan, itu akan diubah menjadi dua ruas satu arah dalam representasi komputer internal jaringan. *Subset* dari *node* dikaitkan dengan zona *centroid*, dan *subset* dari ruas ke konektor *centroid*. Saat ini, sumber utama jaringan data akan menjadi salah satu dari banyak peta digital yang tersedia untuk sebagian besar kota. Seseorang tidak boleh berasumsi, bagaimanapun, bahwa mereka bebas dari kesalahan. Mereka perlu memeriksa, memperbarui, memangkas (untuk fokus pada jaringan yang diminati) dan melengkapi dengan pengamatan pada item seperti parkir di badan jalan, hambatan samping pejalan kaki, jalur bus dan fitur lain yang dapat mempengaruhi kinerjanya. Konfigurasi yang sangat sederhana dari jenis ini disajikan dalam Gambar 2.

Masalah dengan skema ini adalah bahwa konektivitas 'di-simpul' ditawarkan ke setiap ruas yang bergabung tanpa biaya. Dalam praktiknya, beberapa gerakan berbelok di persimpangan mungkin jauh lebih sulit dilakukan daripada yang lain. Tingkat disagregasi dapat ditingkatkan lebih lanjut ketika model simulasi lalu lintas rinci digunakan. Dalam kasus ini, ruas tambahan digunakan di

persimpangan kompleks untuk memperhitungkan kinerja cadangan jalur, jalur jalan, dan lain-lain.



Sumber: Ortuzar & Willumsen (2011)

Gambar 2 Kode *Nodes* dan *Links* pada Sebuah Jaringan Jalan

Terkadang jaringan adalah bagian dari sistem yang lebih besar; mereka dapat ditutup dari mereka sehingga mendefinisikan akses atau titik penjagaan di mana jaringan yang diminati terhubung ke seluruh dunia. Poin-poin ini kadang-kadang disebut '*gateway*' dan ruas *dummy* dapat digunakan untuk menghubungkannya ke zona eksternal.

Keputusan kunci dalam menyiapkan jaringan adalah berapa banyak tingkat yang harus disertakan dalam hirarki jalan. Jika lebih jalan disertakan, representasi realitas harus lebih baik. Namun demikian, ada lagi masalah ekonomi versus realisme yang memaksa pemodel untuk memilih beberapa ruas untuk dikecualikan. Selain itu, memang tidak masuk akal untuk memasukkan sejumlah besar jalan ke dalam jaringan dan kemudian membuat asumsi kasar tentang gerakan belok dan tundaan di persimpangan. Juga tidak masuk akal untuk menggunakan jaringan yang sangat rinci dengan sistem zonasi kasar sebagai kesalahan agregasi spasial (yaitu dalam hal koneksi *centroid* ke jaringan) akan mengurangi nilai proses pemodelan.

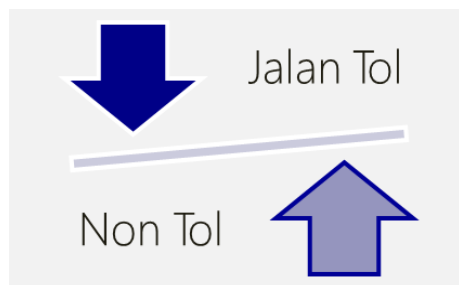
Menurut Jansen dan Bovy (1982), pengaruh definisi dan detail jaringan terhadap pembebanan jalan ketepatan, kesalahan terbesar diperoleh pada tingkat yang lebih rendah di hirarki jalan. Dalam kasus jaringan transportasi umum, tingkat detail tambahan diperlukan.

Pemodel harus menentukan struktur jaringan yang sesuai dengan layanan yang ditawarkan, kemudian akan dikodekan sebagai urutan dari node yang dikunjungi oleh layanan (bus, kereta api), biasanya dengan setiap node mewakili perhentian atau stasiun yang sesuai. Oleh karena itu, persimpangan tanpa halte bus dapat dikeluarkan dari jaringan transportasi umum. Dua jenis ruas tambahan sering ditambahkan ke jaringan transportasi umum. Ini adalah ruas jalan kaki, yang mewakili bagian-bagian dari perjalanan menggunakan transportasi umum yang dilakukan dengan berjalan kaki, dan ruas ke model biaya tambahan yang terkait dengan mentransfer dari satu layanan (atau mode) ke yang lain.

Model Pilihan Diskret

Analisis pilihan diskrit menggunakan prinsip maksimisasi utilitas. Pembuatan keputusan (*decision maker*) dimodelkan memilih alternatif dengan utilitas tertinggi di antara utilitas pilihan yang tersedia lainnya. Model terdiri dari fungsi utilitas parameter variabel bebas yang diamati dan juga yang tidak diketahui, nilai-nilainya diestimasi dari sampel pilihan yang dibuat oleh para *decision maker* saat dihadapkan dengan situasi pilihan. Konsep utilitas acak (*Random Utility*) merupakan konsep dasar dalam mengestimasi model pilihan diskrit dalam memprediksi alternatif yang dipilih oleh semua individu.

Utilitas sesungguhnya dari setiap alternatif dianggap merupakan variabel acak, sehingga probabilitas alternatif yang dipilih didefinisikan sebagai probabilitas yang memiliki nilai utilitas tertinggi di antara alternatif yang tersedia lainnya. Utilitas atau faktor utama sebagai pilihan pada sebuah jaringan ialah biaya tambahan untuk membayar tol dan total penghematan waktu yang didapatkan.



Gambar 3 Model Pilihan Diskret

Utilitas merupakan nilai keseluruhan yang melekat pada barang/jasa yang dirasakan oleh individu. Individu diasumsikan memilih produk

dengan utilitas maksimumnya. Utilitas sebuah produk terdiri dari kombinasi berbagai atribut. Namun, cara dalam mengkombinasikan atribut-atribut tersebut adalah dengan pendugaan. Oleh karena itu, utilitas dapat dimodelkan secara matematis berdasarkan data preferensi yang ada. Kesesuaian model akan ditunjukkan oleh ukuran statistik yang tepat. Ukuran statistik tersebut dapat menjelaskan seberapa baik sebuah model dapat menjelaskan tanggapan responden dari segi variasi atribut produk. Secara umum, utilitas dinyatakan dengan model *linear*, dengan kombinasi atribut dinyatakan dalam persamaan:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- U_{jq} = Utilitas j untuk individual q
- V_{jq} = Fungsi dari atribut
- ε_{jq} = koefisien atribut

Persamaan sederhana dari V :

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{kj} X_{jkq} \dots\dots\dots (2)$$

Stated Preference

Pada survei preferensi, ada 2 (dua) metode pendekatan yang digunakan yaitu *Revealed-Preference* (RP) dan *Stated Preference* (SP). Teknik *Revealed-Preference* (RP) menganalisa pilihan masyarakat berdasarkan laporan yang sudah ada. Teknik *Revealed-Preference* (RP) memiliki kelemahan antara lain dalam hal memperkirakan respon individu terhadap suatu keadaan pelayanan yang pada saat sekarang belum ada dan bisa jadi keadaan tersebut

jauh berbeda dari keadaan yang ada sekarang. Teknik *Stated-Preference* (SP) merupakan pendekatan untuk mengetahui preferensi masyarakat yang dihadapkan pada suatu pilihan. Pada teknik ini peneliti dapat mengontrol secara penuh faktor-faktor yang ada pada situasi yang menjadi hipotesis. Masing-masing individu ditanya tentang tanggapan/responnya jika dihadapkan pada situasi yang diberikan dalam keadaan yang sebenarnya. Analisis *Willingness to Pay* (WTP) yang dipakai dalam kajian ini adalah Teknik *Stated-Preference* (SP). Dalam proses analisa data *Stated Preference* (SP), pendekatan yang paling umum diterapkan antara lain: *Discrete Choice Models*, *Regression Approach*, dan *Monotomic Analysis of Variance*.

Survei persepsi responden terhadap besaran nilai WTP menggunakan teknik pertanyaan terbuka (*open-ended questions*) dimana responden diberi kebebasan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan sesuai dengan persepsinya. *Open-ended questions* sering digunakan dalam penelitian yang bersifat eksploratif. Namun demikian beberapa pertanyaan kuesioner lainnya menggunakan metode pertanyaan tertutup (*close-ended questions*) agar lebih efisien dan memudahkan melakukan analisis. Dalam perancangan *stated preference* terbagi menjadi tiga bagian. Pertama adalah ruang lingkup responden. Kuesioner ruang lingkup responden dirancang untuk menentukan responden yang akan berpartisipasi dalam survei WTP dengan menanyakan rute perjalanan ke dan dari lokasi kegiatan. Hal ini bertujuan memastikan bahwa responden memahami konteks subyek penelitian. Kedua adalah karakteristik responden. Kuesioner ini dirancang untuk mengetahui karakteristik pengguna jaringan transportasi dengan menanyakan usia, jenis kelamin, jenis pekerjaan, jenis dan jumlah penghasilan, lokasi tempat tinggal, lokasi kegiatan/aktivitas, serta waktu dan jarak

tempuh perjalanan saat ini. Ketiga adalah preferensi terhadap kondisi hipotesa. Pendekatan yang digunakan dalam bagian ini menangkap preferensi responden dalam memilih jaringan transportasi yang akan digunakan. Preferensi ini akan dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti: jarak tempuh, waktu tempuh, kecepatan yang diharapkan, jenis kendaraan, dan kenyamanan serta keselamatan.

METODOLOGI

Studi kasus dalam penelitian ini adalah integrasi jaringan jalan tol Jakarta-Cikampek (Japek), dan Becakayu (Bekasi-Cawang-Kampung Melayu). Kedua jaringan tol tersebut berdekatan dan memberikan akses dari arah timur Jakarta (Bekasi-Kalimalang) menuju wilayah Jakarta Timur, Pusat dan Utara. Pada awal tujuan pengembangannya, Jalan Tol Becakayu dapat menjadi rute alternatif dan memecah kepadatan lalu lintas di Japek. Namun penarifan yang berbeda secara signifikan membuat keseimbangan lalulintas diantara kedua tol tersebut tidak tercapai. Pengguna jalan mayoritas masih memilih Japek dikarenakan skema tarif yang lebih murah dibandingkan Becakayu untuk asal dan tujuan yang sama.

Tulisan ini memanfaatkan dua sumber data, yakni data primer dan sekunder untuk mengobservasi perilaku pengguna lalulintas terhadap dampak jaringan jalan tol di kawasan metropolitan seperti Jabotabek. Dimana data primer, yaitu data yang didapatkan langsung dari pengamatan atau observasi di lapangan. Setelah itu adalah data sekunder, dimana data tersebut sudah tersedia dan dapat digunakan langsung untuk menunjang kajian.

Data primer yang dimaksud dalam tulisan erat hubungannya dengan survei, namun dalam penelitian berikut survei yang dilakukan adalah survei *stated preference*. Metodologi ini tentunya mempunyai kelebihan dan kekurangan, sebagaimana berikut; dapat mengetahui alasan terhadap preferensi konsumen, diaplikasikan pada produk yang akan direncanakan atau sudah dioperasikan, dan disparitas antara kemauan konsumen untuk membayar dengan kemauan untuk menerima biaya lebih mahal, adanya potensi bias dari respon yang ditimbulkan setiap individu. Kondisi hipotesa dalam studi adalah memberikan skema penarifan integrasi jaringan jalan bebas hambatan di perkotaan antara Japek dan Becakayu.

$$n = \frac{N}{1+(Ne^2)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

- n : Jumlah sampel
- N : Jumlah populasi
- e : Tingkat kesalahan

Metode pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling method*, yaitu teknik penentuan sampel dengan pertimbangan khusus sehingga layak dijadikan sampel. Jumlah sampel ditentukan berdasarkan ukuran populasi dengan menggunakan rumus Slovin pada Persamaan 3. Sedangkan Survei preferensi ini dilakukan melalui wawancara dengan pengguna jalan tol yang cukup familiar dengan objek studi, dalam hal ini adalah responden mengenal ruas Jalan Tol Japek dan Becakayu. Penjelasan tersebut antara lain bahwa Jalan Tol Becakayu sedang dibangun dan sebagian telah beroperasi, Jalan Tol Becakayu pada jam puncak ditempuh dalam waktu tertentu dengan kecepatan rata-rata sekian menit, melalui Jalan Tol

Becakayu, waktu tempuh akan menjadi lebih cepat, sistem pembayaran menggunakan kartu elektronik yang dijual pada mesin penjual otomatis di stasiun, ATM, dan lain-lain, dan tempat dan waktu kajian untuk Jalan Tol Becakayu, kajian meliputi wilayah sepanjang Jalan Tol Jakarta-Cikampek. Untuk *multilane* tol, survei dilakukan pada setiap *gate* operator yang berbeda.

Data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait yang mendukung penelitian, antara lain BPS, PT Jasa Marga, Kawasan Industri, Pelabuhan, Dinas Perhubungan, Kementerian Perhubungan, dan lain-lain. Data sekunder juga diperoleh dari literatur-literatur yang relevan dengan penelitian ini.

Sampel yang digunakan sebanyak 150 sampel sesuai dengan yang dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Sebaran Responden

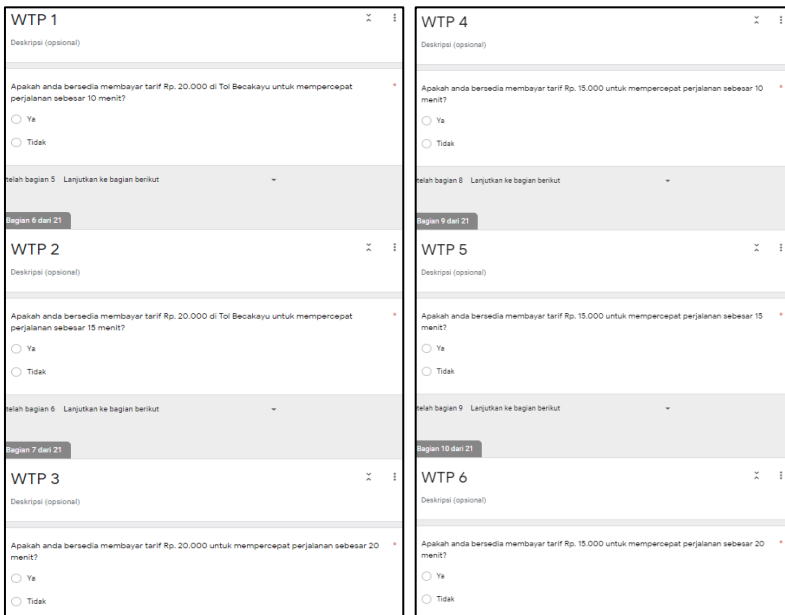
No	Lokasi Survei	Target Responden
1	Perumahan Pondok Kelapa Indah	50
2	Perumahan Taman Galaxy	
3	Perumahan Meutia Kirana	50
4	Perumahan Bulak Kapal Permai	
5	Perumahan Perum Perumnas	50
6	Perumahan Jakapermai Residence	

Dasar perhitungan sampel merujuk pada data lalu lintas di lokasi studi. Data berasal dari data lalu lintas harian kendaraan yang melakukan perjalanan melewati Jalan Tol Becakayu. Banyak populasi kendaraan rata-rata per hari dari lokasi studi sebanyak 11.500 perjalanan per hari. Banyak sampel minimal dengan nilai populasi dan tingkat kesalahan 10% sebanyak 100 responden. Oleh karena itu, pemilihan responden sebanyak 150 responden dianggap

telah memenuhi banyak sampel minimal yang disyaratkan dalam pendekatan Slovin.

Formulir Survei (Kuesioner)

Survei ini adalah survei wawancara dengan menggunakan pendekatan analisis *Ability to Pay* (ATP) dan WTP. Survei wawancara dilakukan di perumahan yang berada tidak jauh dari Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu) dengan mempertimbangkan kriteria responden.



Gambar 4 Tampilan Formulir: WTP

Formulir survei memuat data dasar responden, karakteristik perjalanan, serta pilihan-pilihan yang diberikan pada responden dalam desain orthogonal.

ANALISIS INTEGRASI PADA JARINGAN TOL PERKOTAAN

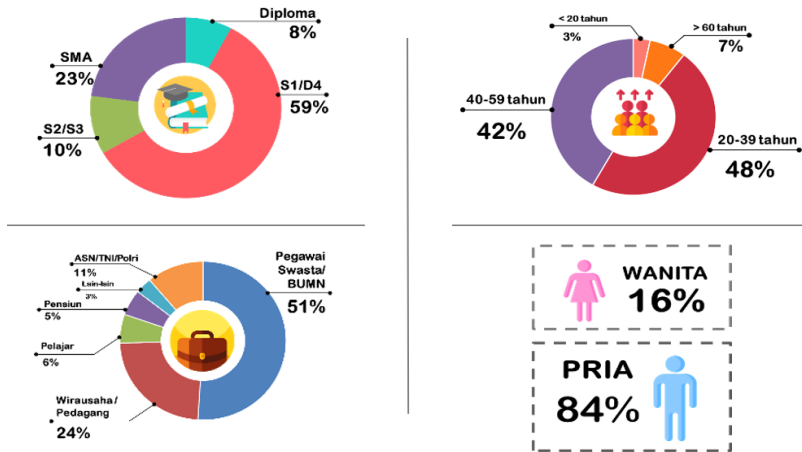
Karakteristik Pengguna Jaringan Tol Japek dan Becakayu

Metodologi survei yang digunakan pada kajian ini untuk mengetahui tarif optimal Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu) berdasarkan kemauan dan kemampuan membayar pengguna jalan tol (WTP & ATP).

Tujuan dari pelaksanaan kajian dan survei pada Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu) adalah untuk mengetahui besaran ATP & WTP Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu) melalui survei primer ATP & WTP dan mengetahui sensitivitas tarif dan tarif optimal Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu) berdasarkan Analisis ATP & WTP. Responden yang didapatkan selama proses pengumpulan data sebanyak 153 orang.

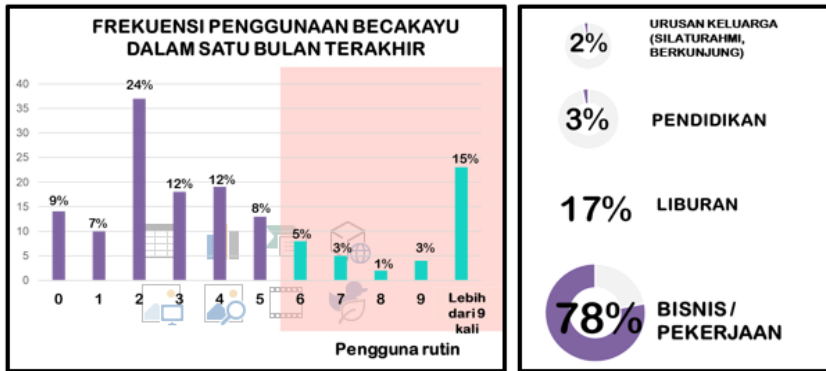
Secara umum, responden memiliki sebaran, jenis kelamin 84% pria dan sisanya adalah wanita. Dari kelompok usia, diketahui 3% responden adalah kelompok umur < 20 tahun, 48% responden adalah kelompok umur 20-39 tahun, 42% responden adalah kelompok umur 40-59 tahun, dan 7% responden adalah kelompok umur > 60 tahun. Selanjutnya tingkat pendidikan responden adalah 23% responden merupakan kelompok dengan tingkat pendidikan SMA/Sederajat, 8% responden untuk kelompok dengan tingkat pendidikan Diploma (D1/D2/D3), dan 69% responden sisanya untuk kelompok dengan tingkat pendidikan Sarjana (S1/S2/ S3). Dari klasifikasi responden berdasar profesi, diketahui bahwa 51% responden adalah karyawan

BUMN/Swasta, 11% responden berprofesi sebagai PNS/Polisi/TNI, 24% responden berprofesi sebagai Wiraswasta/ Pedagang, 5% responden yang berprofesi sebagai Pensiunan, 6% responden berprofesi sebagai Pelajar/Mahasiswa, dan 3% responden berprofesi sebagai Pencari Kerja.



Gambar 5 Data Demografi Responden

Gambar 6 menunjukkan frekuensi perjalanan responden dalam 1 (satu) bulan terakhir dengan 27% > 5. Perjalanan dalam 1 (satu) bulan dianggap sebagai pengguna rutin Jalan Tol Becakayu sedangkan untuk tujuan perjalanan responden yang menggunakan Jalan Tol Becakayu sebesar 78% untuk pekerjaan, 17% liburan, 3% pendidikan, dan 2% urusan keluarga.



Gambar 6 Frekuensi Penggunaan Becakayu dan Tujuan Perjalanan Responden

Analisis *Stated Preference*

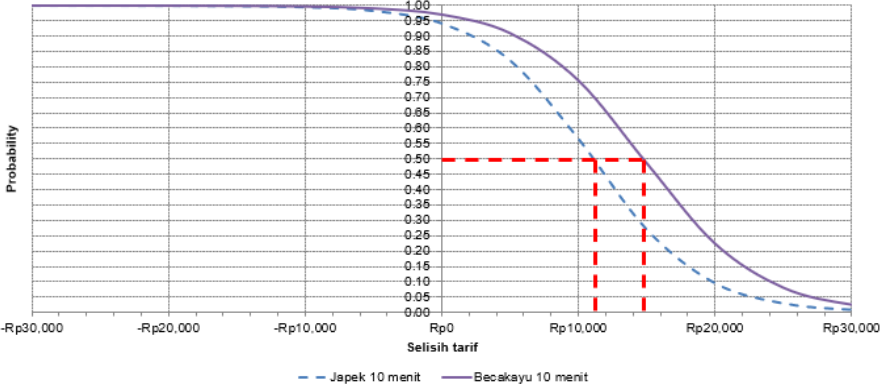
Dalam melakukan analisis preferensi pengguna jalan tol, hasil survei dimasukkan dalam struktur analisa *discrete choice model*. Proses iterasi menggunakan *R-programming* untuk mendapatkan model estimasi terhadap probabilitas perpindahan rute perjalanan akibat adanya alternatif jalan tol baru yang dioperasikan. Studi kasus pada konsep integrasi ini adalah adanya alternatif rute bagi para pengguna jalan tol dari sisi timur Jakarta (koridor Bekasi-Kalimalang-Cawang) untuk dapat mengakses wilayah Jakarta seperti (Jatinegara-Rawamangun-Cempaka Putih-Kelapa Gading) melalui Jalan Tol Becakayu dan Tol dalam Kota. Selama ini para pengguna jalan tol menggunakan Jakarta-Cikampek dan melanjutkan melalui tol dalam kota untuk mengakses tol dalam kota untuk asal dan tujuan yang sama. Perubahan skenario pengoperasian dan tarif, segmentasi Jakarta-Cikampek yang beririsan dengan Becakayu berada di Japek zona 2. Sebagaimana diketahui, alternatif ini memberikan potensi penghematan waktu setara dengan 10, 15, 20 menit.

Meskipun berpotensi memperhemat waktu perjalanan, tidak serta

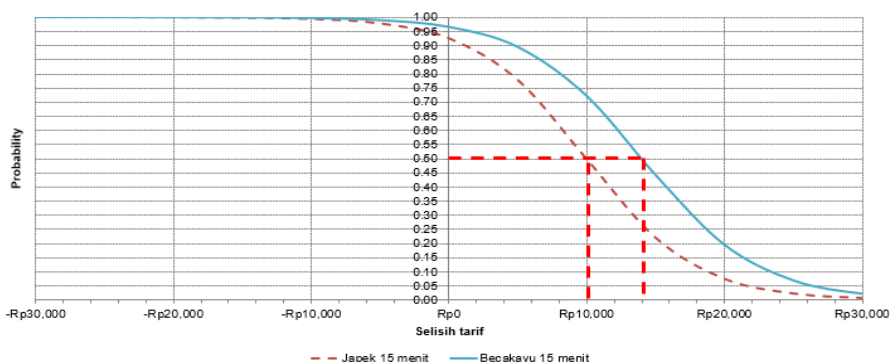
merta perpindahan pengguna jaringan jalan tersebut terjadi. Hal ini dikarenakan perbedaan besaran biaya yang harus dikeluarkan oleh pengguna yang sangat *significant* antara menggunakan Japek atau Becakayu untuk asal dan tujuan yang sama. Tarif saat ini Japek zona 2 adalah sebesar Rp4.500. Berikut adalah model utilitas dari Japek dan Becakayu.

$$U_{BECAKAYU} = 3,677 + 0,000428 (TIME_{BECAKAYU} - TIME_{JAPEK}) - 0,0002398 (COST_{BECAKAYU} - COST_{JAPEK}) \dots\dots\dots (4)$$

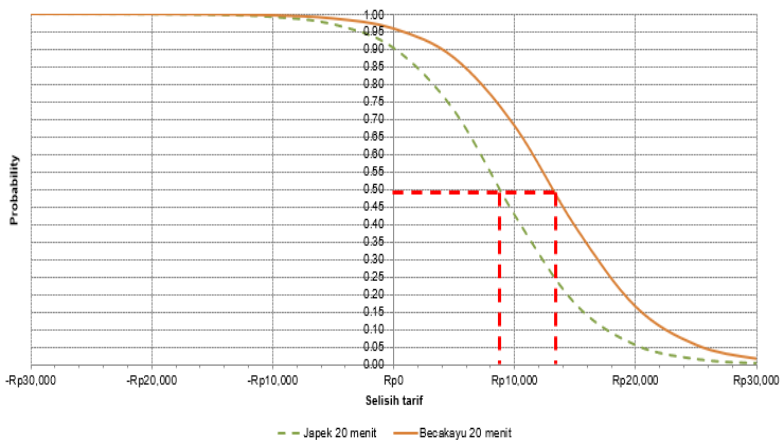
Berdasarkan model tersebut di atas, pengguna akan mencapai kondisi *indifferent* pada saat ketika perjalanan dengan jaringan tol Becakayu ketika perjalanannya dapat dihemat selama 10, 15, dan 20 menit. Dimana agregat pengguna Jalan Tol Japek akan mulai mempertimbangkan untuk beralih menggunakan Jalan Tol Becakayu jika selisih tarif antara Japek (zona 2) dan Becakayu sebesar Rp14.475 (10 min). Jika tarif tol Jakarta-Cikampek zona 2 adalah Rp4.500, maka tarif tol Becakayu adalah Rp19.500. Jika tarif tol Jakarta-Cikampek zona 2 Rp7.500, maka tarif tol Becakayu adalah Rp22.500.



Gambar 7 WTP Mempercepat Waktu Perjalanan 10 Menit

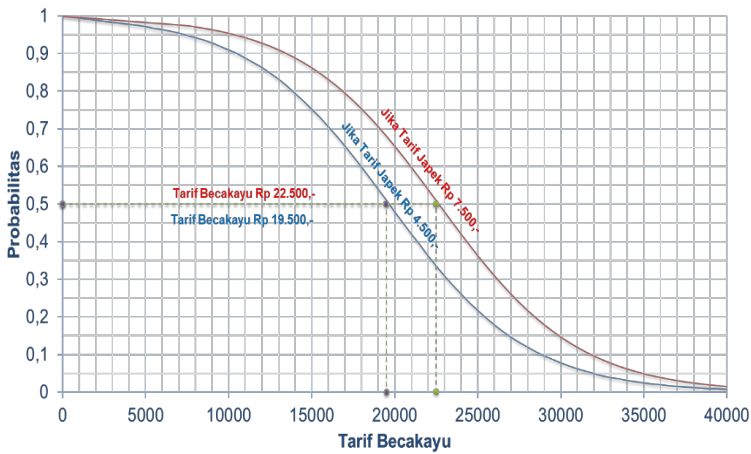


Gambar 8 WTP Mempercepat Waktu Perjalanan 15 Menit



Gambar 9 WTP Mempercepat Waktu Perjalanan 20 Menit

Skenario selisih tarif yang bisa diambil adalah Rp15.000 dengan pembandingan Jalan Tol Jakarta-Cikampek zona 2 dapat lihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Skenario Perbandingan Tarif Tol

Analisis di atas memperlihatkan betapa timpangnya besaran tarif yang akan dikenakan kepada pengguna jikalau ingin menggunakan jalan tol baru (Becakayu). Tentunya ini sangat mempengaruhi preferensi pengguna Jalan Tol Japek (tol lama) zona 2 untuk mempertimbangkan Becakayu sebagai alternatif rute untuk asal dan tujuan yang sama. Dengan kondisi seperti sekarang bisa dipastikan preferensi pengguna jalan tol lebih memilih tetap menggunakan Jalan Tol Japek dibandingkan berpindah menggunakan Jalan Tol Becakayu.

Selain studi kasus seperti Jalan Tol Japek dan Becakayu, contoh kasus lain adalah penarifan jalan tol *ring road* Jakarta. *Jakarta Inner Ring Road* (JIRR, Cawang-Tomang-Cengkareng-Priok) dan *Jakarta Outer Ring Road* (JORR, Penjaringan-Kembangan-Meruya-Pondok Pinang-Pasar Rebo-Jatiasih-Cilincing). Sebagaimana diketahui, JIRR yang dibangun pada tahun 1990-an mempunyai tarif yang jauh lebih murah dibandingkan JORR. Ilustrasi yang dapat disampaikan adalah JIRR mempunyai panjang 46 km (Tarif tol Rp10.500) dan

JORR 65 km (Tarif tol Rp16.000), dengan demikian tarif per km JIRR adalah Rp228/km, sedangkan JORR Rp246/km. Hal ini seharusnya dihindari, karena JIRR seharusnya mempunyai tarif yang lebih mahal mengingat JIRR memberikan akses yang lebih dekat ke pusat kota dibandingkan JORR yang masih harus menggunakan jaringan tol radial seperti Japek, Becakayu, dan Kebon Jeruk. Oleh karena itu, diperlukan suatu konsep integrasi jaringan dan rasionalisasi tarif yang akan dikenakan kepada pengguna jalan tol. Dimana tarif yang dikenakan ke pengguna dimungkinkan tidak sama dengan besaran tarif yang dikonsesikan pada Perjanjian Pengusahaan Jalan Tol (PPJT). Namun dalam perencanaan rasionalisasi tarif, ada beberapa yang perlu diperhatikan.

Penarifan yang Efisien

Pada konsep transportasi yang selalu dalam kondisi *imperfect*, penentuan tarif transportasi saat ini hanya mempertimbangkan biaya investasi, operasional dan investasi. Eksternalitas dari setiap perjalanan yang ditimbulkan tidak diperhitungkan dalam biaya yang harus dikeluarkan oleh pengemudi. Sebagaimana diketahui, setiap perjalanan pasti akan menimbulkan eksternalitas yang seharusnya dikompensasi dalam bentuk nilai uang. Konteks integrasi dan rasionalisasi tarif seharusnya dipertimbangkan dalam tarif yang dikenakan kepada pengguna. Sebagai kasus bagaimana kemudahan atau kenikmatan dari pengguna jalan menggunakan jaringan jalan yang radial menuju pusat kota atau ring road di sekitar pusat kota. Dengan adanya kemudahan dari dan menuju pusat kota ini seharusnya, pengguna *inner ring road* membayar lebih dibandingkan pengguna lain yang harus menggunakan *outer ring road* untuk asal dan tujuan yang sama.

Muncul suatu gagasan bahwa rasionalisasi tarif memungkinkan untuk adanya perubahan struktur penarifan. Tarif yang digunakan oleh pengemudi itu berbeda dengan tarif yang dikerjasamakan dalam PPJT. Pengguna *inner ring road* membayar lebih mahal dibandingkan dengan pengguna *outer ring road*. Selisih antara yang nilai PPJT dan besaran tarif yang dibayarkan oleh pengguna tidak menjadi hak dari BUJT yang dilalui, namun diberikan kepada BUJT yang relatif baru sebagai kompensasi kemahalan investasi pada saat tol baru dibangun dan operasionalisasi.

Aspek Legal

Rasionalisasi yang diusulkan membutuhkan terobosan dalam aspek legal, karena menuntut adanya perubahan dalam PPJT dimana dimungkinkan adanya perbedaan besaran tarif PPJT dan tarif yang dikenakan kepada pengemudi. Komponen yang menjadi hak dari BUJT adalah pendapatan besaran tarif PPJT dikalikan dengan lalu lintas yang lewat pada ruas tol yang dimiliki. Sementara untuk indeks kemahalan dilakukan oleh otoritas yang diberikan tanggung jawab untuk mendistribusikan kepada BUJT.

Perubahan aspek legal ini perlu mendapatkan dukungan politik pada level peraturan yang memungkinkan redistribusi pendapatan BUJT dapat dilaksanakan secara transparan dan efisien. BPJT mempunyai peran untuk memastikan distribusi indeks investasi berkeadilan, transparan dan sesuai dengan PPJT yang disepakati. Dalam kondisi demikian, tidak ada BUJT yang dirugikan dari sisi pendapatan. Setelah isu aspek legal, hal yang perlu dipersiapkan adalah *clearing house* untuk mendistribusikan pendapatan kepada BUJT sesuai perjanjian yang ditetapkan.

Sistem Pengumpul Pembayaran yang Handal – *Clearing House*

Setelah aspek legal disepakati, konsep ini memerlukan dukungan clearing house pembayaran. Mekanisme kliring ini akan merubah sistem pembagian pendapatan, dimana seluruh transaksi akan masuk terlebih dahulu ke *clearing house* dan setelahnya baru didistribusikan kepada BUJT. Sistem pembagian pendapatan ini nantinya dibuat dalam algoritma formula distribusi yang sudah disepakati, dimana distribusinya harus transparan, dan akuntabel.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Kajian ini telah memperlihatkan bahwa untuk hasil nilai *Willingness to Pay* (WTP), skenario waktu perjalanan yang digunakan adalah mempercepat 10, 15, dan 20 menit. Pada kondisi (50%), yaitu seseorang “bimbang” menentukan tarif yang diinginkan untuk berpindah ke Jalan Tol Becakayu. Untuk mempercepat waktu 10 menit, seorang rela membayar dengan selisih Rp14.475 dengan Jalan Tol Jakarta-Cikampek zona 2, untuk berpindah melewati Jalan Tol Becakayu. Dalam skenario skenario selisih tarif yang diambil adalah Rp15.000 dengan pembandingan Jalan Tol Jakarta-Cikampek zona 2. Apabila tarif Jalan Tol Jakarta-Cikampek zona 2 adalah Rp4.500, maka tarif Jalan Tol Becakayu adalah Rp19.500. Apabila tarif Jalan Tol Jakarta-Cikampek zona 2 adalah Rp7.500, maka tarif Jalan Tol Becakayu adalah Rp22.500.

Rekomendasi

Penarifan per kilometer JORR yang lebih mahal dibandingkan dengan JIRR harus dihindari mengingat JIRR memberikan akses ke pusat kota langsung dibanding JORR yang masih harus menggunakan tol radial. Dengan demikian, perlu adanya perencanaan rasionalisasi tarif dengan memperhatikan, *efficient pricing*, aspek legal, dan sistem pengumpul pembayaran yang handal atau mekanisme kliring. Selanjutnya, dalam membentuk *efficient pricing* harus diperhitungkan juga *average trip length* pada setiap ruas sebagai pembagi dalam distribusi dari total biaya tol yang dikeluarkan oleh pengemudi terhadap pendapatan masing-masing BUJT yang dilalui oleh pengemudi dalam suatu jaringan tol.

DAFTAR PUSTAKA

- Jansen, G.R.M. dan Bovy, P.H.L. 1982. *The Effect of Zone Size and Network Detail on All-or-Nothing and Equilibrium Assignment Outcomes*. Traffic Engineering and Control, 23: 311–317.
- Larson, R.C. dan Odoni, A.R. 1981. *Urban Operations Research*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. NJ.
- Ortúzar, J.D. dan Willumsen, L.G. 2011. *Modelling Transport* 4th Edition. Wiley, Hoboken.
- Pusat Pengujian, Pengukuran, Pelatihan, Observasi, dan Layanan Rekayasa (POLAR) Universitas Indonesia & PT Jasa Marga. 2019. *Kajian Jalan Tol Jakarta Cikampek dan Jalan Tol Trans Jawa PT Jasa Marga Tbk (Persero)*. Jakarta.
- Pusat Pengujian, Pengukuran, Pelatihan, Observasi, dan Layanan

- Rekayasa (POLAR) Universitas Indonesia & PT Kresna Kusuma Dyandra Marga (KKDM). 2020. *Kajian Survei Jalan Tol pada Jalan Tol Bekasi-Cawang-Kampung Melayu (Becakayu)*. Jakarta.
- Slovin, E. 1960. Slovin's Formula for Sampling Technique.
- Smeed, R.J. 1968. *Traffic Studies and Urban Congestion*. Journal of Transport Economics and Policy, 2: 2–38.
- Wardman, M. 1988. *A Comparison of Revealed Preference and Stated Preference Models of Travel Behaviour*. Journal of Transport Economics and Policy, 22 (1): 71–91.
- Wardrop, J.G. 1968. *Journey Speed and Flow in Central Urban Areas*. Traffic Engineering and Control: 528–532, 539.

DIGITALISASI SISTEM TRANSAKSI PEMBAYARAN JALAN TOL

Resdiansyah

Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Pembangunan Jaya

IB. Ilham Malik

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota,
Institut Teknologi Sumatera

PENDAHULUAN

Sistem transaksi pembayaran jalan tol di Indonesia terus berevolusi dan berinovasi dari waktu ke waktu seiring dengan pertumbuhan ruas tol, jumlah kendaraan hingga mobilitas penggunaannya serta perkembangan teknologi. Berdasarkan data dari Badan Pengatur Jalan Tol/BPJT (2022), sejak jalan tol hadir pada 9 Maret 1978 yang dimulai dengan dioperasikannya Jalan Tol Jagorawi sepanjang 59 kilometer, sistem transaksi pembayaran jalan tol telah melewati beberapa tahap perubahan yang diawali dengan transaksi tunai. Pada fase pembayaran tunai tersebut, pengguna jalan tol wajib menghentikan laju kendaraan mereka saat mengambil atau menyerahkan kembali kartu tanda masuk dan melakukan pembayaran dengan tunai. Setelah berlangsung hampir 5 dekade, sistem transaksi tunai untuk tol dirasa tidak efektif dan efisien terutama terkait kelancaran lalu lintas di jalan tol. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap transaksi mencapai 10 hingga 15 detik sehingga menyebabkan antrean kendaraan di gerbang tol.

Beralih dari transaksi tunai, Pemerintah mencetuskan sistem transaksi non-tunai pada jalan tol berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) No. 16/PRT/M/2017 tentang Transaksi Tol Non-tunai di Jalan Tol, sebagai upaya menerapkan inovasi sistem transaksi yang cepat dan efisien bagi pengguna jalan tol. Tujuan besar kebijakan elektronifikasi ini adalah transaksi tol menjadi lebih efektif, efisien, aman dan nyaman. Dengan adanya peraturan tersebut, terhitung mulai 31 Oktober 2017 penyelenggaraan transaksi non-tunai resmi diterapkan di seluruh jalan tol di Indonesia. Kepadatan di gerbang tol mulai berkurang, karena dengan transaksi non-tunai waktu yang dibutuhkan hanya maksimal 5 detik. Adapun alat pembayaran dalam transaksi ini yaitu menggunakan teknologi berbasis kartu uang elektronik, yang dikenal dengan sebutan *e-toll*.

Masa transisi pembayaran tol dari tunai ke non-tunai berlangsung tanpa adanya hambatan. Hanya dalam kurun waktu 3 bulan sejak diterapkan, hampir seluruh ruas tol di Indonesia sudah menerapkan sistem pembayaran *e-toll*. Hingga saat ini, transaksi non tunai menggunakan kartu uang elektronik masih tetap digunakan. Pemerintah terus berinovasi untuk menerapkan sistem transaksi di jalan tol yang semakin modern, yaitu melalui transformasi digital.

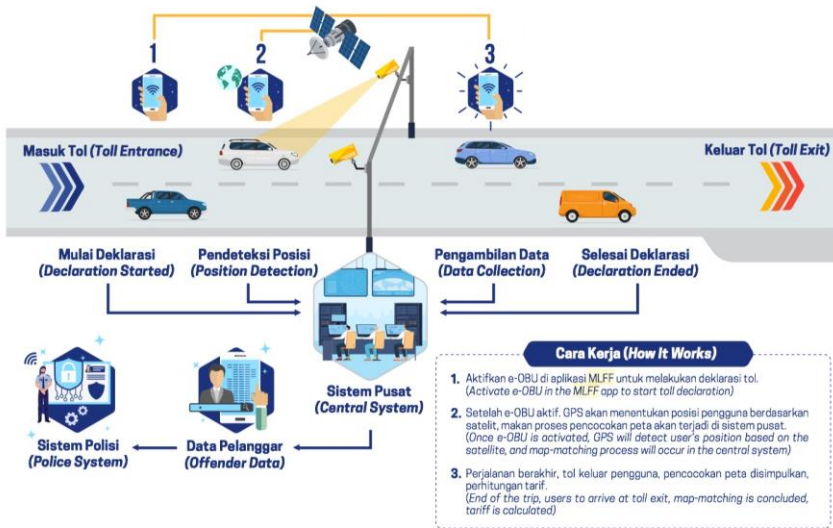
Salah satu inovasi yang dilakukan Pemerintah adalah dengan mengembangkan *Intelligent Transport System* (ITS) sehingga membuat prasarana dan sarana transportasi menjadi lebih informatif, lancar, aman, nyaman serta ramah lingkungan. Sistem ITS, mampu mempermudah para pengguna transportasi massal, termasuk bagi pengguna transportasi berkebutuhan khusus. Sistem ini mempunyai tujuan dasar untuk membuat sistem transportasi yang cerdas

sehingga dapat membantu pengguna transportasi mendapatkan informasi, mempermudah transaksi, meningkatkan kapasitas prasarana dan sarana, mengurangi kemacetan, meningkatkan keamanan dan kenyamanan, serta mengurangi polusi lingkungan.

Selain itu, pemerintah mendukung konsep kota pintar/*smart city* yang dipadukan dengan penerapan ITS di sektor transportasi, seperti contohnya: *Advanced Traffic Signal Control Systems (ATSCS)* yaitu suatu sistem yang mengendalikan sinyal kepadatan lalu lintas secara *real time*, *Electronic Toll Collection System (ETCS)* yaitu implementasi pembayaran tol menggunakan alat khusus baik *Electronic On Board Unit (e-OBU)*, *Bus Rapid Transit (BRT)*, *Bus Information Management System (BIMS)* yaitu penyediaan informasi kedatangan bus secara *real time* melalui internet dan aplikasi *smartphone*, *Automatic Fare Collection (AFC)* baik di angkutan umum maupun di jalan tol melalui penerapan *account based ticketing* yaitu suatu konsep pembayaran angkutan umum terintegrasi berbasis *server*.

Indonesia akan memasuki era baru *Toll Roads Technology 4.0*, seiring penerapan sistem pembayaran tol non-tunai nirsentuh berbasis *Multi-Lane Free Flow (MLFF)* yang menggunakan teknologi *Global Navigation Satellite System (GNSS)* pada tahun 2022. Inovasi tersebut merupakan bagian dari *Electronic Toll Collection (ETC)*, yang merupakan suatu sistem dimana semua pintu tol tanpa palang dan bebas memasuki jalan tol serta terdeteksi secara otomatis melalui teknologi GNSS. Sistem pembayarannya MLFF menggunakan pendekatan pembayaran secara digital nirsentuh (*touchless*) dengan harapan mengurangi waktu transaksi dan memperpendek antrian. Ilustrasi teknologi GNSS dalam Sistem

MLFF dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: BPJT, 2023

Gambar 1 Teknologi GNSS dalam Sistem MLFF

Saat ini, teknologi GNSS saat ini banyak diterapkan di negara-negara Eropa Timur, salah satunya adalah Hungaria. Tidak hanya menjadi sistem transaksi, sistem MLFF berbasis GNSS ini juga akan menjadi *platform* bagi penerapan teknologi *Intelligent Toll Road System* (ITRS). Penerapan ITRS akan memberikan pengalaman bagi pengguna jalan dalam melakukan transaksi tol yang lebih cepat, *seamless*, otomatis dan tanpa henti sehingga waktu transaksi hanya 0 detik. Pada teknologi MLFF, pengguna jalan tol dapat melakukan pembayaran nontunai tanpa tap kartu, yakni hanya dengan mengunduh dan mendaftarkan data pribadi pada aplikasi bernama CANTAS pada smartphone masing-masing yang telah terkoneksi internet. Kemudian setelah kalkulasi tarif terkoneksi pada aplikasi, uang dari masing-masing instrumen pembayaran milik tiap

pengguna juga akan berkurang otomatis. Selain itu pengendara juga dapat menggunakan perangkat *Electronic Route Ticket* dimana pengguna dapat memilih titik masuk dan keluar sesuai rute perjalanan sekali pakai.

Sistem pengenalan dan digitalisasi transaksi pembayaran di jalan tol memerlukan *core engine* sistem pembayaran yang terintegrasi melalui server. Sistem berbasis server *back-end* membutuhkan sebuah sistem yang dinamakan sistem tiket digital berbasis akun (*account-based ticketing*).

Penerapan sebuah sistem tiket berbasis akun (*account-based ticketing*) menjadi keharusan dalam implementasi MLFF di Jalan tol, selain dapat juga secara ekosistem yang sama diterapkan dalam sistem jalan berbayar seperti *Electronic Road Pricing* (ERP), sistem digitalisasi perparkiran dan juga sistem MaaS (*Mobility as a Service*). Pada akhirnya, elektronifikasi jalan tol melalui MLFF akan diterapkan secara bertahap. Sistem canggih tersebut akan mulai diujicobakan pada Juni 2023 dan secara bertahap dilaksanakan di tahun 2023-2024. Tahap awal implementasi dimulai dengan masa transisi pada beberapa ruas jalan tol, dimana sebagian gardu pada setiap gerbang tol masih dapat menggunakan kartu tol elektronik.

Tujuan dari artikel implementasi teknologi digitalisasi dalam transaksi pembayaran jalan tol adalah untuk mendukung anjuran pemerintah terutama Bank Indonesia dalam mewujudkan sistem pembayaran digital nir-sentuh berbasis inovasi teknologi dalam sistem pembayaran digital transportasi di Indonesia, menyediakan platform sistem yang mencakup fitur mobilitas yang mengarah kepada “*end-to-end*” solusi tiket digital yang dapat menangani jutaan

transaksi setiap harinya melalui sistem pembayaran nirsentuh MLLF di jalan tol, dan menjelaskan platform sistem pembayaran digital yang berbasis kepada teknologi *account-based ticketing* untuk ekosistem ITS di jalan tol.

TINJAUAN PUSTAKA

Metode Transaksi Pembayaran

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menargetkan pada tahun 2023, sistem transaksi di gerbang jalan tol secara nirsentuh dan mobil tak perlu berhenti. Teknologi GNSS yang akan diimplementasikan ini memungkinkan alat pembaca tidak harus di setiap tempat dikarenakan ada satelit yang mampu mendeteksi pergerakan di jalan tol. Menurut Roatex (2022), pada sistem MLFF berbasis GNSS terdapat tiga metode sistem transaksi pembayaran yang digunakan bagi pengendara yang mengakses jalan tol seperti berikut.

Electronic On-Board Unit (e-OBU)

Metode *e-OBU* direkomendasikan untuk pengendara dengan *smartphone* dan jarang bertukar kendaraan dengan orang lain. Kendaraan yang akan masuk jalan tol harus sudah terdaftar dalam data kendaraan atau pengguna. Pendaftaran bisa dilakukan di aplikasi MLFF yang disebut CANTAS. Setelah registrasi pengguna menentukan metode pembayaran yang diinginkan. Metode pembayaran akan memanfaatkan *multi source of fund*. Kemudian *smartphone* yang bertindak sebagai *e-OBU* akan mengirim sinyal GPS ke pusat data MLFF dan saldo akan terpotong secara otomatis.

On Board Unit (OBU)

Metode *OBU* direkomendasikan untuk kendaraan pengemudi yang selalu berbeda dan juga untuk angkutan logistik/barang. Perangkat *OBU* (*OBU* Fisik) dapat dibeli secara umum melalui operator penyedia *OBU* MLFF Jalan tol dan kemudian mendaftarkan kendaraan.

Electronic Route Ticket

Metode *Electronic Route Ticket* direkomendasikan untuk pengemudi yang jarang bepergian menggunakan tol. Caranya adalah memilih titik masuk dan keluar, kemudian pengemudi membeli tiket elektronik sekali pakai di situs resmi atau aplikasi MLFF.

Tahapan Penerapan

Menurut BPJT (2022), terdapat empat tahap yang harus dilalui untuk menerapkan sistem transaksi pembayaran jalan tol *non-stop* yang diprakarsai Roatex Ltd Zrt selaku Badan Usaha Pelaksana (BUP) *Electronic Toll Collection* (ETC). Empat tahapan tersebut melibatkan koordinasi antara BPJT, Bank Indonesia, Kementerian Komunikasi dan Informatika, Kepolisian Republik Indonesia, Lembaga Pengadilan, dan Sistem Administrasi Manunggal Satu Atap (Samsat).

Proses registrasi

Proses registrasi dan identifikasi (regiden) yang harus dilalui oleh pengguna (*user*) adalah mendaftarkan kendaraan, nomor kendaraan atau *vehicle registration plates*, sekaligus *in-vehicle equipment*-nya di data kepolisian (Korlantas). Pada tahap registrasi ini, operator MLFF akan mendapatkan akses basis data atau database dari pihak

kepolisian (*Data Electronic Registration Identification* atau ERI). Pada proses registrasi ini, pengguna juga dapat mengurus fasilitas dan fitur pendukung seperti mengunduh aplikasi *Electronic On-Board Unit* (e-OBU) yang tersedia di *Play Store* atau *App Store*, pada gawai pintar masing-masing. Pengguna mengisi data diri mulai dari nama, nomor telepon seluler, alamat email, dan *e-wallet* yang akan digunakan. Setelah itu, akan muncul konfirmasi persetujuan registrasi tersebut.

Setelah teregistrasi, pengguna bisa memilih menu *car registration* dan mengisi data kendaraan seperti nomor pelat depan dan belakang, tipe mobil, mengunggah foto mobil hingga foto dokumen STNK kendaraan. Selanjutnya, pengguna memilih menu *payment details*. Pengguna dapat memilih *e-wallet* (*multi wallet system* atau yang dikenal sebagai *multi source of fund*) yang digunakan. Semua dompet elektronik yang memiliki izin operasional dari Bank Indonesia diperbolehkan terkoneksi dengan sistem transaksi tol MLFF. Bila tidak memiliki dompet elektronik, pengguna bisa mengklik *e-wallet* yang ingin digunakan ke depan.

Selain itu, jika pengguna tidak ingin mengunduh *e-OBU*, bisa memilih opsi memasang perangkat OBU fisik pada kendaraannya yang telah disesuaikan oleh operator MLFF dan tidak perlu melakukan registrasi elektronik untuk e-OBU. Jika pengguna yang hanya sesekali masuk tol maka pengguna bisa memilih opsi *one road ticket* untuk sekali perjalanan yang bisa dibeli di tempat-tempat yang akan ditentukan kemudian oleh BPJT bersama operator MLFF.

Proses transaksi

Pada transaksi, pengguna yang memasuki jalan tol akan terdeteksi

kendaraan dan plat nomornya oleh *signal receiver*. Alat penerima sinyal ini harus sudah mendapat sertifikat dan izin frekuensi dari Kementerian Komunikasi dan Informatika. Begitu melewati gerbang, transaksi terjadi dan saldo dompet elektronik pengguna terpotong secara otomatis. Data transaksi ini kemudian dikirim ke operator MLFF.

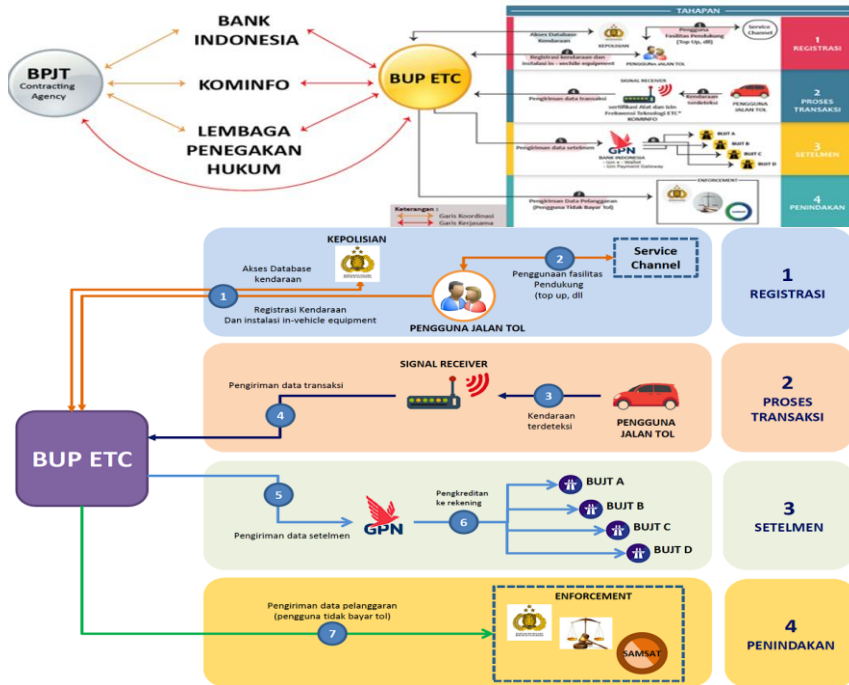
Proses settlement

Pada proses ini, data transaksi yang tersimpan adalah *data settlement* dan dikirimkan ke Gerbang Pembayaran Nasional (GPN) untuk kemudian mendistribusikannya ke badan usaha jalan tol (BUJT). GPN adalah sistem yang mengintegrasikan berbagai kanal pembayaran transaksi elektronik non-tunai seperti *e-wallet*. Dengan demikian, pembayaran berlangsung *fair* sesuai dengan jarak tempuh dan masing-masing jenis atau golongan kendaraan. Kemungkinan terjadinya kebocoran dan transaksi tak terbayarkan tidak akan terjadi.

Proses pengawasan dan penindakan

Proses pengawasan dan penindakan dapat memitigasi jika terdapat atau terjadi pelanggaran maupun kondisi di mana pengguna tidak membayar tol yang ditangkap oleh sistem penegakan hukum elektronik di jalan tol (ETLE), maka akan dikenakan penalti. Data pelanggaran ini secara otomatis terdata oleh pihak Kepolisian (Korlantas) untuk selanjutnya dilakukan penindakan (*enforcement*) sesuai dengan kesalahan dan pelanggaran. Ada tiga lembaga yang terlibat dalam proses pengawasan dan penindakan ini. Selain Kepolisian, Pengadilan, dan Samsat.

Dibutuhkan koordinasi antar instansi dalam proses implementasi Badan Usaha Pelaksana (BUP) Electronic Toll Collection (ETC), seperti Bank Indonesia, Kominfo, Kepolisian, Lembaga Pengadilan & SAMSAT



Sumber: BPTJ (2022)

Gambar 2 Konsep *Flow* Transaksi Tol Nontunai Nirsentuh

Dalam mendukung kelancaran ke empat proses tersebut di atas maka sebuah *core engine* yang dinamakan *Account-Based Ticketing* (ABT) diterapkan sehingga sistem transaksi pembayaran nir-sentuh ini menggunakan basis tiket berbasis akun di *server*. ABT adalah sistem yang dapat membuka peluang dan model bisnis baru, menyediakan akses ke pasar baru yang sebelumnya tidak terjangkau, dan menyediakan platform untuk mengatasi pengurangan biaya berkelanjutan terkait penerbitan kartu, serta sebagai sistem manajemen dan pemeliharaan. Sedangkan secara lebih dalam inovasi sistem digitalisasi transaksi pembayaran masa depan adalah melalui tiket berbasis akun (ABT) adalah cara tanpa tiket yang

memungkinkan orang bepergian dengan transportasi umum. ABT memungkinkan penumpang untuk cukup mengetuk (*tapping*) atau memindai (*scanner*) token yang aman, yang ditautkan ke akun di *back office* untuk melakukan perjalanan (Gooch, 2019).

Menurut Gooch (2019), pada sistem ABT, tarif dihitung secara otomatis berdasarkan sejumlah faktor, seperti lokasi dan jumlah tapping selama jangka waktu tertentu, dan kemudian dibebankan ke penumpang pasca perjalanan. Tiket berbasis akun berarti pengendara tidak perlu lagi membeli tiket terlebih dahulu atau memahami tarif sebelum bepergian, karena cara tarif berbasis akun dihitung setelah melakukan perjalanan, ini juga memberikan opsi kepada agen transit atau operator untuk menerapkan pembatasan tarif atau aturan pencarian tarif terbaik.

Dalam hal ini sistem dalam ABT bukan hanya menagih pelanggan untuk setiap perjalanan yang mereka lakukan, tetapi sistem tiket berbasis akun ini menghitung tarif terbaik yang dapat dibeli sebelumnya oleh pelanggan dan mengalokasikan tarif ini kepada penumpang saat mereka bepergian dan membatasi biaya mereka. Hal ini membuat transportasi umum lebih menarik dengan memungkinkan perilaku perjalanan yang lebih fleksibel, memberikan pelanggan kenyamanan yang tidak akan pernah dikenakan biaya berlebihan untuk perjalanan mereka.

Gambar 3 menunjukkan bahwa perubahan perspektif yang penting dibandingkan dengan sistem Pengumpulan Tarif Otomatis (AFC) tradisional yang digunakan oleh operator angkutan umum saat ini dimana dalam sistem ABT, kecerdasan dan keamanan sistem tiket terkonsentrasi di sistem pusat, bukan di media dan di *reader*. ABT

juga dikenal sebagai tiket berbasis *server* atau keamanan dalam sistem.



Sumber: Resdiansyah (2022)

Gambar 3. Account Based Ticketing Versus Kartu (e-Money)

Penggunaan inovasi pembayaran digital untuk transportasi untuk tiket berbasis akun ini banyak digunakan dalam ekosistem sistem transportasi cerdas (*Intelligent Transport System Ecosystem*) seperti sistem pembayaran tanpa sentuh dan tanpa henti di jalan tol (*Multi Lane Free Flow*) dan juga sistem jalan berbayar (*Electronic Road Pricing*) untuk mengatasi kemacetan di perkotaan, sistem pembayaran digital perparkiran maupun integrasi pembayaran multi moda dan program *mobility as a service* yang mulus dan tanpa batas.

PEMBAHASAN

Sistem Pembayaran dalam Cetak Biru Pembayaran Indonesia

Bank Indonesia di tahun 2019 mengeluarkan standarisasi sistem pembayaran dalam Cetak Biru Sistem Pembayaran Indonesia (BSPI) 2025 untuk mendukung inovasi digital oleh industri termasuk transportasi sehingga mempercepat digitalisasi berbagai transaksi pembayaran termasuk di jalan tol. Selain itu, upaya digitalisasi telah

dipercepat karena kondisi pandemi yang berlaku, yang mengarah pada literasi digital yang lebih besar dengan meningkatnya penggunaan layanan digital di berbagai aspek kehidupan, termasuk transaksi pembayaran di berbagai bidang.

Upaya Bank Indonesia untuk mendorong ekonomi dan keuangan digital saat ini difokuskan pada tiga bidang utama, yaitu digitalisasi program bansos terpadu (G2P 4.0) serta elektronifikasi transaksi pemerintah daerah (melalui P2DD) dan transportasi, dengan memanfaatkan *Mobility as a Service* (MaaS), dan *Account-Based Ticketing* (ABT) untuk sistem transaksi pembayaran jalan berbayar seperti toll dan juga untuk sistem integrasi pembayaran dalam upaya mengintegrasikan moda transportasi yang berbeda.

Sinergi dan percepatan digitalisasi pembayaran di ketiga bidang tersebut diarahkan untuk mendukung upaya pemulihan ekonomi nasional melalui perluasan akses keuangan, peningkatan efektivitas dan efisiensi pelayanan publik, penerapan *good governance*, dan optimalisasi pendapatan asli daerah (PAD) serta pengelolaan pemerintahan. keuangan menuju kesinambungan fiskal. Cetak Biru BPSI yang dirangkum dalam laporan Bank Indonesia (2022) telah merekomendasi rencana aksi dan substansi koordinasi dalam jangka pendek dan menengah di ketiga bidang program, meliputi perluasan digitalisasi pembayaran (G2P 4.0), pusat data terpadu (*central mapper*), pelaksanaan program kerja P2DD (IETPD, Rapat Koordinasi Nasional), integrasi moda transportasi, dan pelaksanaan MLFF.

Cetak biru BPSI (Bank Indonesia, 2019) membuat evolusi sistem pembayaran di sektor transportasi mengalami perkembangan yang

pesat. Digitalisasi sektor transportasi berorientasi pada pemanfaatan berbagai kanal digital dengan mengutamakan sistem pembayaran yang cepat, nyaman, terjangkau, aman, dan andal. Sejalan dengan tren pembayaran digital, Bank Indonesia mendukung evolusi digitalisasi sektor transportasi berbasis kartu *e-money* yang berbasis multi instrumen rekening berbasis chip menuju kepada sistem berbasis *server*. Evolusi sistem pembayaran dimulai di sektor transportasi pada tahun 2017 dengan keberhasilan migrasi menuju pembayaran jalan tol sepenuhnya non tunai. Hal ini kemudian direplikasi di berbagai daerah dengan memperluas elektronifikasi transportasi berbasis kartu di beberapa moda, antara lain Trans Jakarta dan Trans Jawa Tengah.

Evolusi berlanjut dengan diluncurkannya *Quick Response Code Indonesia Standard* (QRIS) pada tahun 2019 sebagai *game-changer* di sektor transportasi, disertai dengan berbagai *showcase* oleh daerah di seluruh Indonesia. Pada tahun yang sama, Bank Indonesia juga menyelesaikan kajian transportasi multimoda terintegrasi untuk memperkuat arah pengembangan dan digitalisasi pembayaran sektor transportasi di Indonesia. Pada tahun 2020, sektor transportasi terus berkembang dengan diluncurkannya dua program unggulan, yaitu *Multi Lane Free Flow* (MLFF) oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) serta Multimoda Terintegrasi Transportasi di Jabodetabek oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, didukung oleh Kementerian Perhubungan dan Kementerian Badan Usaha Milik Negara.

Terdapat dua program unggulan yang digagas pada tahun 2020, MLFF dan transportasi multimoda terintegrasi di Jabodetabek, mencatatkan pencapaian yang signifikan pada tahun 2021. PT

Roatex dan PT Jaklingko ditunjuk masing-masing sebagai Entitas Pelaksana MLFF dan transportasi multimoda terintegrasi. MLFF saat ini sedang dalam proses uji coba penerapan direncanakan di Juni 2023 serta penerapan model bisnis pembayaran dan perumusan strategi implementasi, termasuk kegiatan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat. Penerapan MLFF ke depan akan memudahkan pembayaran jalan tol secara otomatis dan mulus tanpa henti menggunakan berbagai instrumen pembayaran dan sumber dana. Pembayaran akan dilakukan melalui saluran *e-OBU* yang saling terhubung dan dapat dioperasikan setelah mengikat saluran SoF dan *e-OBU* pengguna, baik secara langsung maupun melalui layanan dompet elektronik. Dari sisi MLFF, Bank Indonesia terus bekerja sama dengan semua pihak terkait untuk memfasilitasi dan mempercepat implementasi MLFF serta memberikan arahan mengenai model bisnis pembayaran untuk memastikan keselarasan dengan sistem pembayaran.

Pada tahun 2023, Bank Indonesia akan meluncurkan program *Account Based Ticketing* (ABT) dimana pengguna akan menikmati tarif yang fleksibel berdasarkan profil pengguna untuk sistem transaksi pembayaran di transportasi termasuk MLFF dan MaaS. Secara keseluruhan, Bank Indonesia sudah menetapkan sehingga 2026 bahwa akan menerapkan digitalisasi transportasi dan telah mengidentifikasi tiga elemen koordinasi yaitu percepatan implementasi *Account Based Ticketing* (ABT) dan perluasan sumber dana, penyiapan ekosistem sistem pembayaran untuk pelaksanaan MLFF serta kegiatan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat, serta implementasi pembayaran digital di ekosistem sektor transportasi melalui koordinasi dengan kementerian/lembaga pemerintah dan pemerintah daerah.

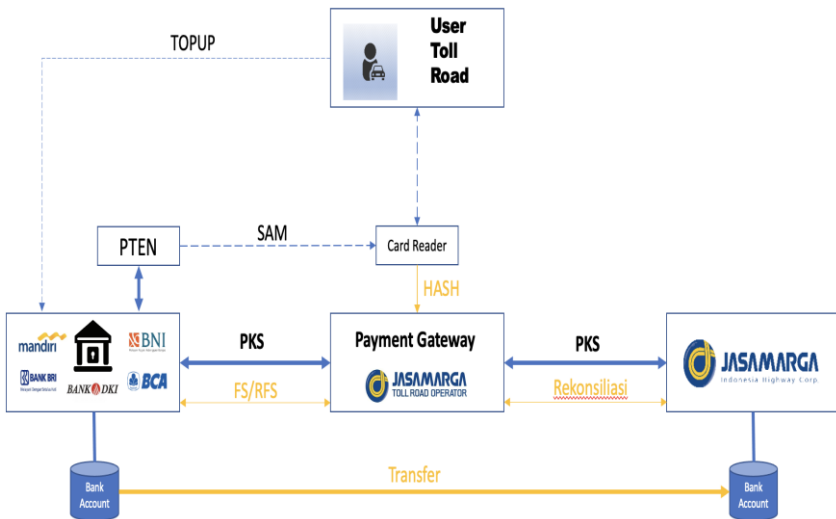
Substansi koordinasi di bawah ketiga pilar digitalisasi tersebut akan didukung oleh lima aspek umum, yaitu optimalisasi forum koordinasi nasional dan daerah, koordinasi dengan pemangku kepentingan terkait untuk penyediaan infrastruktur pendukung, layanan pembayaran penyedia, Asosiasi Sistem Pembayaran Indonesia (ASPI), implementasi bertahap dari proyek percontohan yang direncanakan, pengembangan ekosistem pembayaran digital melalui penerimaan publik yang lebih besar, peningkatan kapasitas, pendidikan dan kegiatan sosialisasi. Melalui sinergi dan kolaborasi antara pemerintah pusat dan daerah, kementerian/lembaga pemerintah dan otoritas terkait lainnya, pelaku industri, dan masyarakat, berbagai upaya percepatan digitalisasi melalui koordinasi masing-masing program tersebut di atas diharapkan dapat mendukung ekonomi dan keuangan digital. serta pemulihan ekonomi nasional.

Kebutuhan Teknologi Digitalisasi Pembayaran di Jalan Tol Berbasis MLFF

Pada prinsipnya, MLFF merupakan bagian dari program elektronifikasi transaksi di bidang transportasi yang didukung oleh lembaga pengelola yang berperan sebagai *Toll Service Provider* (TSP) atau *Electronic Toll Collection* (ETC). Pemerintah berencana menerapkan sistem transaksi pembayaran tol non-tunai nirsentuh berbasis MLFF ini dengan memanfaatkan teknologi teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

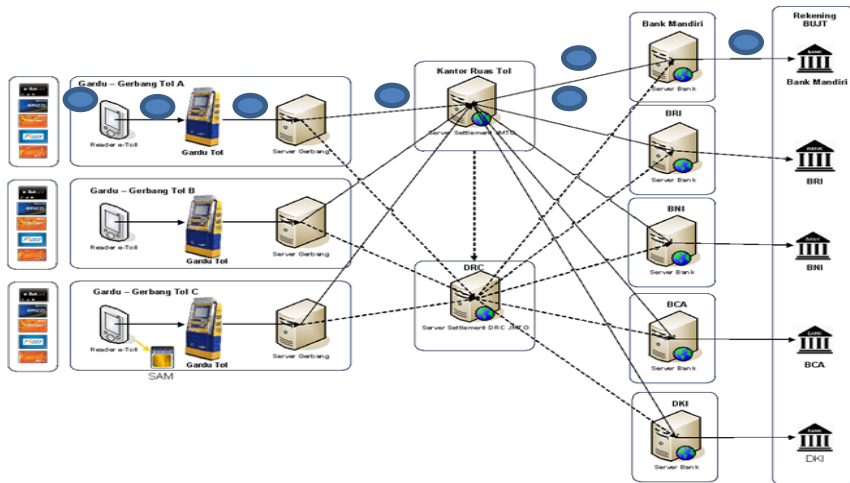
Prinsip Dasar Teknologi Sistem Transaksi Pembayaran Jalan Tol

Sistem transaksi pembayaran jalan tol secara elektronik di jalan tol atau ETC sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 76 Tahun 2021 masuk dalam kategori Sistem Pembayaran Elektronik atau *Electronic Payment System* (EPS). Selain itu, berdasarkan kepada Peraturan Menteri PUPR No. 16/PRT/M/2017 tentang transaksi tol non tunai di jalan tol para operator dalam hal ini Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) mulai beralih dari *human based* ke *technology based* yaitu berupa penyediaan infrastruktur dan peralatan pendukung untuk pengelolaan non tunai di jalan tol (e-Payment). Salah satu BUJT yang sangat aktif dalam pendekatan *technology based* adalah Jasa Marga berupa penyediaan infrastruktur dan peralatan pendukung untuk pengelolaan non tunai di jalan tol (*e-Payment*) pada ruas Jasa Marga Group lebih kurang pada 27 ruas jalan tol (Jasa Marga, 2021).



Sumber: PT Jasa Marga (2021)

Gambar 4 Pengelolaan Layanan Transaksi Pembayaran Elektronik Jasa Marga



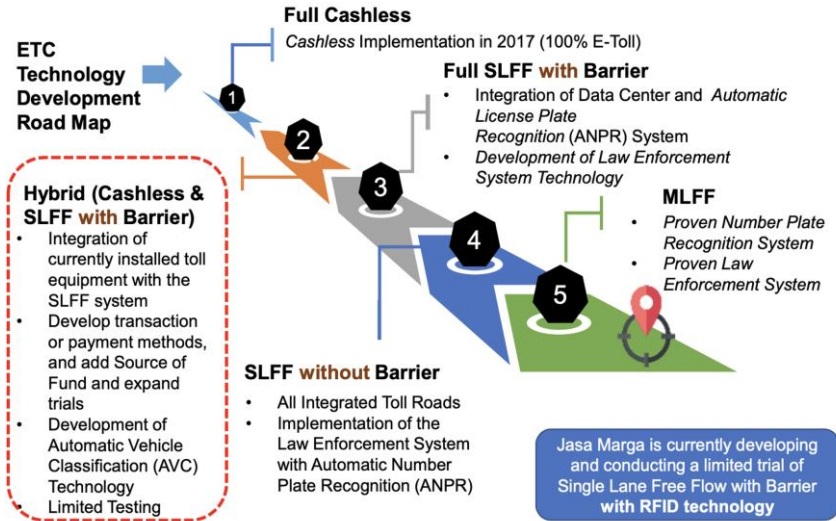
Sumber: PT Jasa Marga (2021)

Gambar 5 Arsitektur Sistem Pembayaran Tol Secara Elektronik Saat Ini (Eksisting)

Saat ini, BUJT terutama PT Jasa Marga sebagai pemegang konsesi jalan tol terbesar di Indonesia telah menyusun peta jalan (*roadmap*) berkaitan perkembangan dan peningkatan sistem ETC dimana secara nasional BPJT akan menerapkan standarisasi ETC jalan tol berbasis MLFF seperti pada Gambar 6.

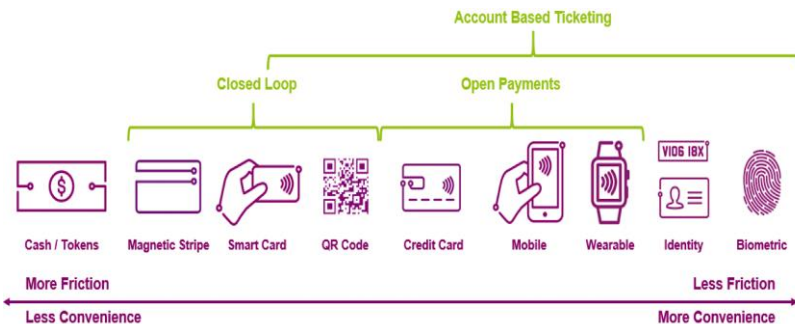
Berdasarkan keseluruhan prinsip dasar sistem transaksi pembayaran di jalan tol, penggunaan teknologi cerdas baru MLFF ini harus memiliki sistem interoperabilitasnya. Interoperabilitas merupakan kemampuan berbagai ragam sistem untuk bekerja sama dan kemampuan sebuah sistem untuk bekerja atau digunakan oleh sistem lain. *Electronic Tolling Interoperability* diartikan bahwa sistem sebagai satu kesatuan yang memudahkan pengendara menggunakan hanya satu *account/ticketing* yang membolehkan membayar di semua fasilitas jalan tol yang ada. Prinsip dasar ini adalah

berdasarkan sistem dengan teknologi *account-based ticketing* dalam sistem transaksi pembayaran jalan tol MLFF. Gambar 7, 8 dan 9 menunjukkan bagaimana evolusi sistem pembayaran dalam transportasi khususnya dalam ekosistem ABT, serta visi dari sistem digital ticketing termasuk bagaimana kliring, *settlement* dan *stakeholders*.



Sumber: PT Jasa Marga (2021)

Gambar 6 Peta Jalan Pengembangan Teknologi ETC di Jalan Tol Jasa Marga



Sumber: Krauth Technology (2022)

Gambar 7 Evolusi Sistem Tiket Transportasi menuju ABT



Sumber: Resdiansyah (2022)
Gambar 8 Sistem Tiket Digital



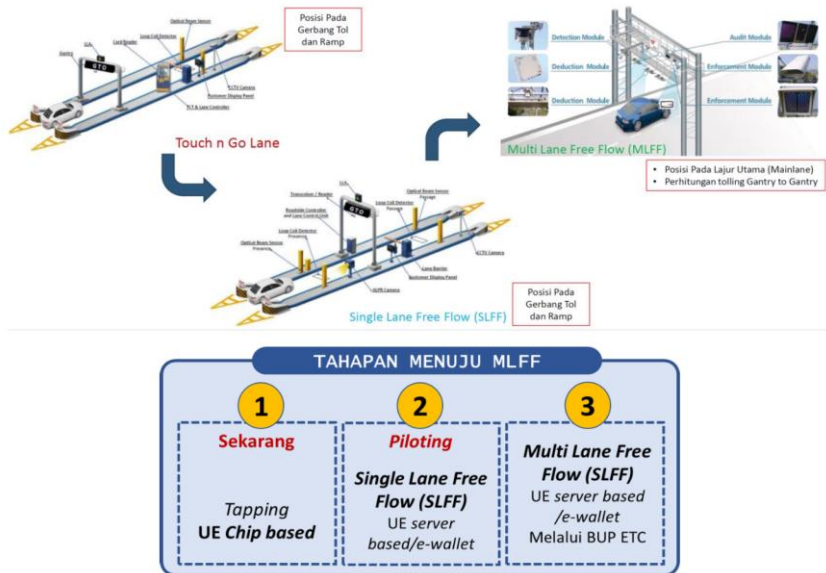
Sumber: Resdiansyah (2022)
Gambar 9 Sistem Informasi Kliring

Manfaat Melakukan Migrasi Teknologi (MLFF Berbasis Digital) dalam Sistem Pembayaran

Pada penerapan MLFF terdapat tahapan tahapan yang meliputi: (1) *Touch and Go Lane* (posisi pada gerbang tol dan ramp), (2) *Single Lane Free Flow* (posisi pada gerbang tol dan ramp), dan (3) *Multi Lane Free Flow* (posisi pada lajur utama/main lane, perhitungan *Gantry to Gantry*). Terdapat beberapa manfaat dan keuntungan yang dapat diperoleh para stakeholders jalan tol. BUJT akan mengalami peningkatan potensi pendapatan tol, pengurangan biaya OM pengumpulan tol, peningkatan kapasitas dengan mempercepat waktu

transaksi, memperlancar arus lalu lintas, serta kepastian dan keamanan pendapatan tol. Pengguna jasa mendapatkan efisiensi dan efektivitas waktu perjalanan dan penggunaan bahan bakar, peningkatan keamanan dan kenyamanan bertransaksi, serta kemudahan proses pembayaran, yang mencakup *top-up* dan riwayat transaksi.

Sedangkan manfaat yang diperoleh pemerintah adalah terjadinya peningkatan kinerja jaringan jalan tol dan lalu lintas, pengurangan emisi karbon dengan skala nasional, efisiensi konsumsi BBM, dan tersedianya data untuk pemetaan kondisi lalu lintas. Menurut Asosiasi Tol Indonesia (2019) tahapan pelaksanaan MLFF di jalan tol digambarkan pada Gambar 10.

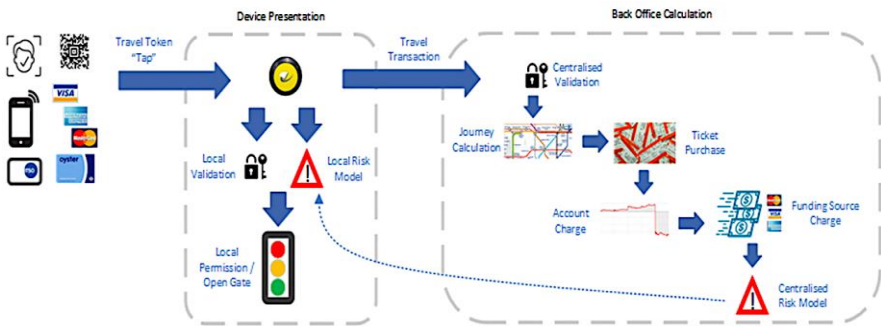


Sumber: ATI (2019)

Gambar 10 Tahapan Implementasi MLFF

Pemilihan Teknologi Sistem Transaksi Digitalisasi Pembayaran (Digital *e-Ticketing*)

Menurut Resdiansyah (2022), berdasarkan *roadmap* ITS Indonesia, pemanfaatan sistem tiket berbasis akun (*account-based ticketing*) menjadi prioritas dalam implementasi MLFF berbasis GNSS ini. Tiket berbasis akun (ABT) adalah evolusi sistem pengumpulan tarif (tiket), dari tiket berbasis kartu menjadi berbasis akun, di mana informasi tentang kepentingan untuk bepergian disimpan di *back-office* dalam bentuk akun digital. Pelaku perjalanan dapat menggunakan berbagai media ringan (misalnya kartu NFC dengan token saja atau kode QR) untuk membuka kunci akun untuk digunakan di dalam angkutan umum. Artinya sebuah kartu bisa dikenali kepemilikannya dengan cara didaftarkan melalui aplikasi, sehingga segala transaksi pengguna bisa tercatat dan didokumentasikan.



Sumber: Callaway (2019)

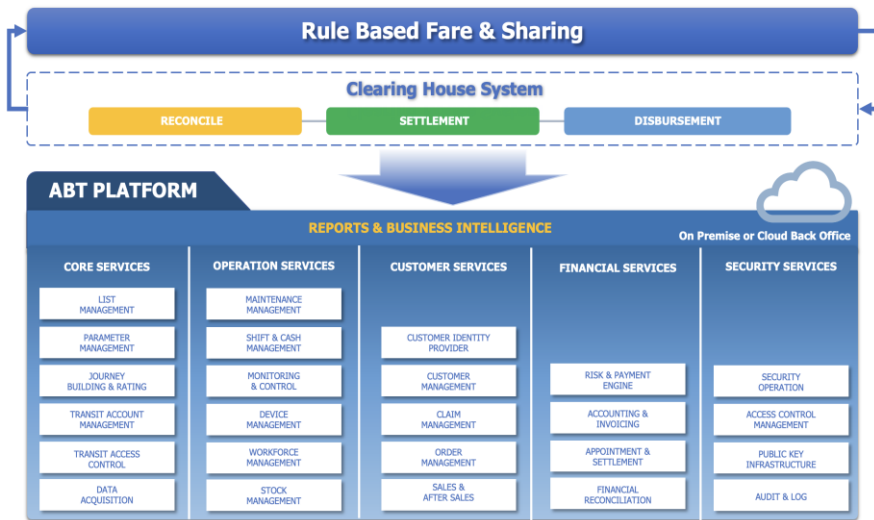
Gambar 11 Sistem *Account-Based Ticketing* (ABT)

Pendekatan sistem ABT memberi banyak keuntungan bagi pelaku perjalanan, termasuk kemungkinan untuk membayar perjalanan mereka dengan cara yang modern dan nyaman. Bagi operator, sistem

seperti itu berarti biaya penyiapan dan operasional yang lebih rendah, dibandingkan dengan solusi tiket berbasis kartu di mana kartu perjalanan memerlukan pemrograman ulang yang konstan. Berikut ditunjukkan bagaimana basis aturan (*rule based*) untuk *fare* dan *sharing* dalam sistem transaksi ABT untuk jalan tol.

Selain rencana platform uang elektronik dan *e-Wallet* yang telah ada, maka perlu ditambahkan mesin pemroses transaksi yang dirancang khusus untuk ekosistem transaksi pembayaran digital jalan tol berbasis MLFF. Setiap pelanggan akan memiliki rekening khusus untuk digunakan dalam transaksi terkait ekosistem pembayaran digital jalan tol dimana mesin pemroses ini memiliki banyak kemampuan untuk menerapkan harga khusus untuk program tertentu (diskon) atau pembayaran berdasarkan jarak (*distance based charging*) atau berdasar waktu (*time based charging*), memahami perilaku perjalanan orang di dalam toll dan interaksinya dengan perjalanan kota/antar kota, mengaktifkan beberapa opsi pembayaran dengan mulus (*seamless*), mudah dirawat dan ditingkatkan, dan meningkatkan kecepatan pemrosesan transaksi dan kemudahan pembagian antar operator.

Penerapan sistem ABT perlu melakukan suatu proses yang dinamakan *Advance Reconciliation and Settlement* yang merupakan jantung dari mesin pemroses transaksi pembayaran jalan tol, namun terdapat kompleksitasnya untuk menangani jutaan transaksi setiap hari dari berbagai kendaraan, berbagai saluran opsi pembayaran, dan dioperasikan oleh banyak operator dengan sifat operasinya yang spesifik. *Core engine* ABT memungkinkan untuk melakukan pemrosesan yang andal dan akurat secara *real time*.



Sumber: Resdiansyah, 2022

Gambar 12 Platform Account Based Ticketing untuk Jalan Tol Berbasis MLFF

Tantangan Adaptasi Teknologi Sistem Transaksi Pembayaran Tiket Digital Berbasis Akun

Modernisasi sistem tiket menuju solusi ABT menimbulkan berbagai tantangan, mulai dari kompleksitas integrasi teknis hingga dukungan untuk teknologi pembayaran yang muncul, selain persyaratan kepatuhan dan sertifikasi dengan standar interoperabilitas untuk pembayaran digital dan tanpa kontak. Resdiansyah (2022) memberikan enam pertimbangan utama untuk dipertimbangkan oleh penyedia solusi untuk migrasi ABT agar sukses dan berkelanjutan seperti di bawah ini.

Skema interoperabilitas

Salah satu pertimbangan terpenting ketika memodernisasi sistem tiket adalah menangani interoperabilitas secara sistematis dan

memberikan solusi optimal yang memenuhi persyaratan antarmuka umum (*General GUI*).

Menetapkan tata kelola dan manajemen data

Meningkatkan pertukaran data, masalah tata kelola data dan manajemen data perlu melibatkan portabilitas data untuk pelanggan sehingga menghindari kebutuhan untuk memasukkan kembali informasi dengan persetujuan pengelola untuk berbagi antara entitas yang berbeda dan operator.

Jaringan komunikasi

Memastikan bahwa jaringan komunikasi baik kabel maupun nirkabel, mampu beradaptasi untuk menerima pertukaran data secara real-time dengan latensi rendah dan *bandwidth* tinggi (secara internal antara aset penyedia layanan tetapi juga dengan pihak ketiga).

Memperkuat keamanan siber

Tiket digital adalah kunci untuk layanan transportasi sehingga perlu untuk mengimplementasikan tiket digital berbasis akun ini dengan mekanisme otentikasi yang kuat untuk menghindari penyalahgunaan hak perjalanan. Kemampuan koneksi yang luas dari sistem ABT, ada kebutuhan yang kuat untuk memperkuat proses keamanan siber untuk melindungi API dan untuk mendapatkan jaminan terkait dari penyedia sistem pembayaran, bersama dengan menjalankan proses berkala dan audit teknis.

Fungsi inti (Core Function)

Inti dari sistem ABT, ada perubahan yang jelas dalam pemrosesan data pelanggan dan perjalanan, sesuai fungsi, manajemen akun

pelanggan, manajemen akun mobilitas, manajemen pembayaran; manajemen risiko, dan manajemen dan pemrosesan aturan tarif.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) hadir di Indonesia dan menjadi teknologi pertama yang menerapkan sistem pembayaran tol non-tunai nirsentuh atau bayar tol tanpa henti berbasis aplikasi untuk semua golongan jenis kendaraan. Sistem MLFF nantinya menggunakan teknologi digital *Global Navigation Satellite System* (GNSS) yang memungkinkan perjalanan pengguna jalan tol dapat diketahui melalui GPS di ponsel pintar.

Kesiapan dari segi aplikasi yang akan digunakan dalam penerapan teknologi MLFF ini diberi nama 'CANTAS', yang nantinya harus diunduh di *smartphone* masing-masing pengguna jalan tol, untuk kemudian melakukan registrasi kendaraan beserta data diri serta melakukan pilihan pembayaran pada aplikasi tersebut. Selain itu pengemudi juga dapat menggunakan perangkat *Electronic Route Ticket* dimana pengguna dapat memilih titik masuk dan keluar sesuai rute perjalanan sekali pakai.

Kesiapan sistem MLFF ini menggunakan teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dan melakukan transaksi melalui aplikasi jalan tol di telepon pintar. Selanjutnya GPS akan menentukan lokasi yang dideterminasi oleh satelit dan proses *map-matching* akan berjalan di *central system*. Saat kendaraan keluar tol dan proses *map-matching* berakhir, sistem akan melakukan kalkulasi tarif.

Modernisasi sistem transaksi pembayaran jalan tol berbasis tiket digital ini membuat lanskap Indonesia dalam tiket transportasi dan pembayaran berubah akan secara drastis selama beberapa tahun ke depan. Bagi pengguna jalan tol, manfaat sistem MLFF yaitu mengurangi polusi emisi karbon, menghilangkan antrean kendaraan di gerbang, mengefisiensi waktu tempuh, serta mendukung digitalisasi pembayaran. Bagi sektor transportasi dan logistik, sistem ini dapat mempermudah pengawasan lalu lintas melalui monitoring *real time*, mempercepat pergerakan logistik, serta mengefisiensi biaya operasional pengumpulan tol.

Implementasi teknologi digitalisasi sistem transaksi pembayaran jalan tol memerlukan pendekatan yang bertahap sesuai dengan kesiapan regulator, BUJT dan perangkat yang ada di Indonesia. Implementasi teknologi digitalisasi sistem transaksi pembayaran jalan tol diutamakan untuk jalan tol dengan lalulintas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsista, G. 2022. *Makin Canggih, Bayar Tol Nggak Perlu Berhenti*. Infografis. <https://www.suarasurabaya.net/infografis/2022/makin-canggih-bayar-tol-nggak-perlu-berhenti/>. Diakses 19 Oktober 2022).
- Asosiasi Jalan Tol Indonesia. 2019. *Road Map Pembayaran Tol Elektronik 2019–2023*. Proposal Rapat Koordinasi Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) dengan Asosiasi Jalan Tol Indonesia (ATI). Jakarta.
- Badan Pengatur Jalan Tol. 2022. *Begini Proses Transaksi Tol Tanpa Setup Berbasis MLFF*. <https://www.kompas.com/properti/>

read/2021/02/03/070000521/begini-proses-transaksi-tol-tanpa-setop-berbasis-mlff?page=all. Diakses 15 Oktober 2022).

Badan Pengatur Jalan Tol. 2022. *Evolusi Transaksi Pembayaran di Jalan Tol dari tunai hingga langsung melintas dengan "cantas"*. (online), <https://bpjt.pu.go.id/berita/evolusi-transaksi-pembayaran-di-jalan-tol-dari-tunai-hingga-langsung-melintas-dengan-cantas>. Diakses 18 Oktober 2022.

Badan Pengatur Jalan Tol. 2023. *Laporan Tahunan Badan Pengatur Jalan Tol Tahun 2022*. BPJT. Jakarta.

Bank Indonesia. 2019. *Blueprint Sistem Pembayaran Indonesia 2025*. Bank Indonesia. Jakarta.

Callaway, D. 2019. *What is Account Based Ticketing?* <https://www.linkedin.com/pulse/what-account-based-ticketing-daniel-callaway>. Diakses 11 Oktober 2022.

James Gooch. 2019. *Everything You Need to Know About Account Based Ticketing*. <https://www.masabi.com/2019/11/29/everything-you-need-to-know-about-account-based-ticketing/>. Diakses 17 Oktober 2022.

Jasa Marga, PT. 2021. *Desain Platform Intelligent Transport System (ITS) dan Electronic Toll Collection (ETC) Jasa Marga*. Jasa Marga Tollroad Operator (JMTO). Jakarta.

Krauth technology. 2022. *Ticket Sales and Control through Account-Based Ticketing*. <https://www.krauth-technology.de/en/solutions/ticketing-software/innovative/account-based-ticketing>. Diakses 12 Oktober 2022.

Pemerintah Republik Indonesia. 2017. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16/PRT/M/2017 tentang Transaksi Non Tunai di Jalan Tol*. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Bank Indonesia*

- Nomor 20/6/PBI/2018 tentang Uang Elektronik*. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2020. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) No 18 Tahun 2020 tentang Transaksi Tol Nontunai Nirsentuh di Jalan Tol*. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Menteri Perhubungan No 76 Tahun 2021 2018 tentang Sistem Manajemen Transportasi Cerdas di Bidang Angkutan Jalan dan Lalu Lintas*. Jakarta.
- Resdiansyah. 2022. *Penerapan Intelligent Transportation System (ITS) untuk Tiket Berbasis Akun (Account Based Ticketing)*. Forum Group Discussion, Kementerian Perhubungan. 27 Agustus 2022. Jakarta.
- Resdiansyah. 2022. *Penggunaan Teknologi Transportasi Cerdas (ITS) dalam Ekosistem Jalan Tol dalam Mendukung Implementasi Sistem MLFF*. Mini Stage Talk show: Digitalisasi Ekonomi dalam Ekosistem Jalan Tol. Festival Ekonomi Keuangan Digital Indonesia (FEKDI 2022). Bank Indonesia dan Badan Pengatur Jalan Tol.
- Roatex. 2021. *Multi Lane Free Flow: GNSS Basic Knowledge*. <https://kumparan.com/kumparanoto/bedah-teknologi-tak-perlu-tapping-kartu-uang-elektronik-di-gerbang-tol-1wH G5Ya6g7O/full>. Diakses 13 Oktober 2022.



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

KONSEP INTEGRASI TARIF PADA JARINGAN JALAN TOL DI WILAYAH JAKARTA-BOGOR-DEPOK-TANGERANG- BEKASI

Alvinsyah dan Edy Hadian
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

PENDAHULUAN

Volume lalu lintas merupakan *core business* dari suatu ruas jalan tol yang melibatkan tiga aktor utama yaitu pengguna (*user*), operator dan regulator yang sangat berkepentingan terhadap aspek sistem, besaran tarif, tingkat layanan, pendapatan tol, dan pengembangan jaringan. Berbagai rencana kebijakan yang terkait dengan berbagai aspek penting seperti yang dijelaskan sebelumnya perlu dideteksi sejak dini. Terlebih lagi, apabila perubahan kebijakan dilakukan disaat ruas jalan tol sudah beroperasi terutama dalam konteks jaringan jalan tol. Analisis sensitivitas terhadap besaran *demand* atau volume lalu lintas merupakan langkah utama yang harus dilakukan baik di tahap kajian kelayakan suatu ruas tol maupun pada saat sudah dioperasikan, terutama apabila terdapat kebijakan yang mempengaruhi besaran *demand* yang bisa berdampak pada potensi perolehan pendapatan.

Prosedur analisis besaran *demand* atau permintaan untuk kawasan perkotaan yang sudah memiliki jaringan jalan tol harus menggunakan pendekatan berdasarkan jaringan, karena setiap perubahan kebijakan baik untuk implementasi, operasional,

penambahan ruas ataupun tarif akan mengakibatkan redistribusi lalu lintas baik di jaringan jalan tol maupun jaringan jalan non tol yang berdampak kepada potensi perolehan pendapatan tol dan kinerja lalu lintas.

Pada kuartal pertama tahun 2020, pemerintah sebagai regulator berencana untuk menerapkan tarif terintegrasi di koridor Jalan Tol Jakarta-Cikampek yaitu untuk ruas Jalan Tol Cikampek (Jalan Tol Japek-1) dan ruas Jalan Tol Layang Jakarta-Cikampek (Jalan Tol MBZ) di sepanjang wilayah Karawang sampai dengan Cikunir dengan operator yang berbeda. Pihak operator telah mengajukan usulan besaran tarif terintegrasi menjelang akhir pembangunan jalan tol MBZ, namun pihak regulator belum bisa menyetujui karena berbagai alasan teknis dan non teknis seperti belum tersedianya dokumen kajian/analisis yang handal, komprehensif dan kuat untuk dijadikan basis kesepakatan dan penetapan besaran tarif terintegrasi yang diusulkan.

Rumusan Masalah

Penerapan kebijakan tarif tol terintegrasi tentunya akan menghadapi berbagai tantangan dan permasalahan di dalam setiap proses tahapan yang dilalui baik yang bersifat teknis maupun non teknis, terlebih lagi bila melibatkan banyak operator tol. Oleh karenanya, perlu dilakukan kajian prediksi lalu lintas dan potensi pendapatan untuk tarif terintegrasi di sepanjang koridor Jakarta-Cikampek yang memperhitungkan ruas-ruas jalan tol saat ini maupun rencana dan juga ruas-ruas jalan tol dalam lingkup jaringan jalan tol Jabodetabek.

Merujuk kepada rencana Pemerintah sebagai regulator untuk

menerapkan tarif terintegrasi di jaringan jalan tol Jabodetabek seiring dengan rencana diberlakukannya teknologi MLFF (*Multi Lane Free Flow*) untuk transaksi pembayaran tol di seluruh ruas tol Jabodetabek, maka hasil dan proses pelaksanaan kajian integrasi tarif koridor Jalan Tol Jakarta-Cikampek bisa dijadikan bahan pembelajaran untuk mengantisipasi isu-isu permasalahan dan tantangan penting yang harus dipertimbangkan dalam menerapkan rencana tarif terintegrasi.

Tujuan

Tujuan dari penulisan artikel yang berjudul Konsep Integrasi Tarif Jaringan Jalan Tol adalah mengetahui pentingnya dilakukan analisis sensitivitas *demand* akibat perubahan sistem penarifan dan konektivitas jalan tol pada lingkup jaringan khususnya di wilayah Jabodetabek. Selain itu, untuk mengidentifikasi permasalahan dan tantangan yang dihadapi berdasarkan proses dan hasil kajian integrasi tarif di koridor Jalan Tol Jakarta-Cikampek, serta saran untuk langkah-langkah yang harus disiapkan dan dilakukan untuk penerapan tarif terintegrasi pada skala yang lebih luas.

TINJAUAN PUSTAKA

Basis dan rujukan utama yang digunakan pada artikel ini adalah kondisi eksisting dan rencana jaringan tol di Jabodetabek, konsep dasar dari prinsip mekanisme *pricing* dan *fare system*, model transportasi 4-tahap Jabodetabek yang digunakan, dan hasil kajian sebelumnya di salah satu ruas tol Jabodetabek yang mempertimbangkan isu jaringan serta beberapa hasil riset di sektor angkutan umum/massal yang terkait dengan implikasi efek jaringan

terhadap potensi perubahan besaran dan distribusi pergerakan atau perjalanan (*demand*).

Jaringan Jalan Tol Jabodetabek

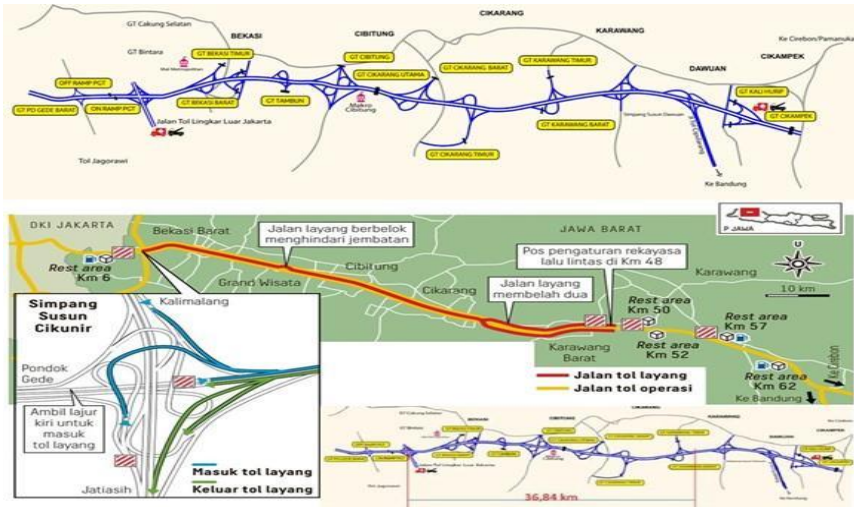
Sejak Jalan Tol Jagorawi dioperasikan di tahun 1978, jalan tol di wilayah Jabodetabek bertambah terus seiring dengan berjalannya waktu dan hingga tahun 2022 sudah membentuk jaringan yang menghubungkan berbagai wilayah di Jabodetabek seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Sumber: RITJ (2018)

Gambar 1 Jaringan Tol Eksisting dan Rencana Jabodetabek

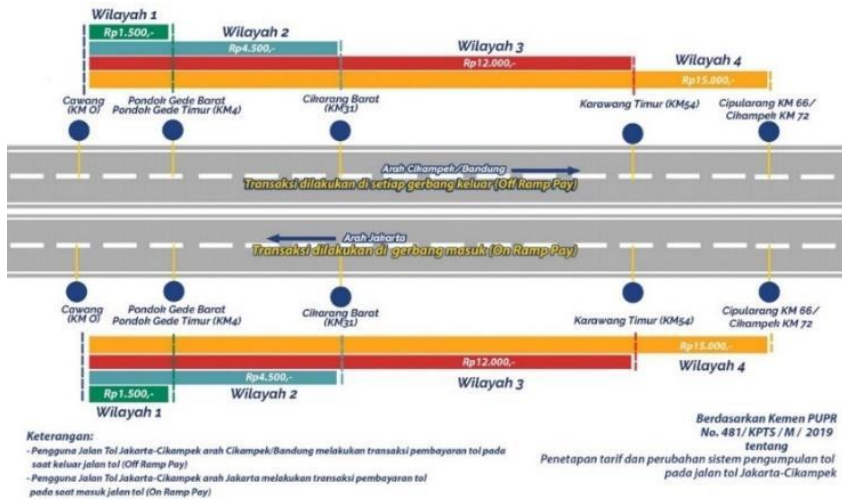
Jalan tol yang menjadi fokus analisis adalah Jalan Tol Jakarta-Cikampek 1 (Jalan Tol Japek-1) dan Jalan Tol Layang Jakarta-Cikampek (Jalan Tol MBZ) yang berada didalam Rumija Jalan Tol Japek-1 sepanjang 36,84 km mulai dari Simpang Susun Cikunir (KM 10A) Bekasi sampai dengan KM 46 Karawang Barat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Sumber: PT Jasa Marga (2022), Kompas.com (2019)

Gambar 2 Koridor Tol Japek-1 dan Tol MBZ

Pada saat kajian dilakukan, sistem tarif yang berlaku di Jalan Tol Japek-1 berbasiskan wilayah (zona) yang terdiri dari 4 (empat) zona seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Sedangkan besaran tarif yang diberlakukan untuk kendaraan golongan 1 merupakan tarif merata (*flat*) yang berbeda untuk tiap zona mulai dari Rp1.500 sampai dengan Rp15.000 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.



Sumber: JSMR (2020)

Gambar 3 Sistem & Besaran Tarif Ruas Tol Cikampek pada Tahun 2019

Selain Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ, di koridor Jakarta-Cikampek terdapat 2 (dua) jalan tol yang relatif jaraknya dekat dengan kedua jalan tol tersebut yaitu Jalan Tol Becakayu yang berada di sebelah utara Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol Jakarta-Cikampek (Japek) Selatan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Jalan Tol Becakayu seksi 1 sepanjang 8,4 km mulai dari Jakasampurna, Bekasi sampai dengan Jl. DI Panjaitan, Jakarta sudah beroperasi dengan tarif merata sebesar Rp 14,000. Sedangkan Jalan Tol Japek Selatan sepanjang 64 km mulai dari Sadang, Purwakarta sampai dengan Jatiasih Bekasi masih dalam proses pembangunan. Lebih lanjut, informasi dan data teknis dan non teknis yang lebih rinci untuk seluruh jalan tol di Jabodetabek baik yang sudah beroperasi, dalam pembangunan, persiapan tender dan proses tender bisa diperoleh informasinya di situs resmi BPJT (BPJT, 2022).



(a) Jalan Tol Becakayu



(b) Jalan Tol Japek Selatan

Sumber: Polar UI (2020), Arief (2021)

Gambar 4 Jalan Tol Becakayu dan Japek Selatan

Pricing and Fare System

Secara prinsip ada tiga alasan utama penerapan tarif tol, atau jalan berbayar/*road pricing* yaitu sebagai sumber pendapatan/penghasilan (*revenue generator*) untuk membiayai pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan suatu fasilitas seperti jalan, sebagai pengendali permintaan, yaitu untuk mengendalikan pertumbuhan permintaan pada sistem transportasi dan untuk mendorong lebih banyak penggunaan angkutan umum dan *carpooling*, serta sebagai pengendali kemacetan, yaitu untuk menerapkan tarif pada ruas/koridor jalan tertentu secara proporsional terhadap besarnya permintaan, dimana besaran tarif dinaikan seiring bertambahnya tingkat kemacetan (VTPI, 2014).

Salah satu penerapan konsep *pricing*, adalah pengenaan tarif (*fare*) untuk suatu layanan yang merupakan instrumen langsung dan fleksibel untuk mempengaruhi perilaku pengguna dan pemulihan biaya investasi, operasional dan pemeliharaan suatu fasilitas layanan (Borndörfer, Karbstein, Pfetsch, 2012; Šipuš, Abramovića, Gašparović, 2019). Sedangkan, tujuan mendasar dari suatu penerapan tarif dijelaskan secara rinci oleh Šipuš, Abramovića, Gašparović (2019) dan Vuchic (2005). Oleh karena itu, penetapan tarif (*fare*) merupakan masalah mendasar bagi setiap investor/operator dan pentingnya isu ini semakin meningkat dengan kemajuan teknologi seperti penggunaan sistem transaksi elektronik nir-sentuh yang menawarkan peluang untuk kemudahan bagi pengguna dan peningkatan kinerja lalu lintas.

Selain tujuannya, penerapan tarif juga perlu mempertimbangkan beberapa persyaratan dan kendala yang lazim seperti: (1) elastisitas *demand* yang kadangkala bisa membatasi pilihan besaran dan struktur tarif, (2) kesetaraan bagi pengguna atau pelaku perjalanan dalam konteks tingkat layanan yang diberikan versus besarnya tarif yang dibayar oleh berbagai kelompok pengguna, (3) aspek sosial politik, (4) sistem tarif yang gampang dipahami dan memudahkan pengguna, dan (5) sistem/skema penarifan yang memudahkan proses pengumpulan dan pengendalian serta berbiaya rendah bagi operator (Vuchic, 2005).

Dalam praktiknya, ada berbagai skema/sistem tarif yang lazim diterapkan seperti antara lain tarif berbasis jarak tempuh, sistem zonasi, sistem segmentasi, jam sibuk, dan batasan waktu tempuh (Black, 1995; Šipuš, Abramovića, Gašparović, 2019; Vuchic, 2005). Penjelasan yang lebih rinci tentang konsep dasar *pricing*, jenis

pricing dan penerapan konsep/jenis *pricing* bisa ditemukan di berbagai literatur. Penjabaran yang lebih rinci mengenai konsep dasar, skema dan struktur tarif dapat dibaca di berbagai referensi.

Model dan Struktur Model Transportasi Jabodetabek

Model transportasi Jabodetabek menggunakan model perencanaan 4-tahap yang terdiri dari model Bangkitan Perjalanan, model Distribusi Perjalanan, model Pemilihan Moda dan model Pembebanan Jaringan. Penjelasan rinci tentang konsep dasar dari pemodelan 4-tahap ini dapat dicari di berbagai referensi tentang perencanaan transportasi. Dasar pertimbangan menggunakan pemodelan 4-tahap dalam kajian ini, karena basis data asal tujuan (O-D) wilayah Jabodetabek, dan keempat model tersebut telah tersedia dengan baik dan komprehensif. Model tersebut dibangun dari berbagai kajian terdahulu dengan lingkup analisis yang bersifat lintas wilayah dan dengan skala jaringan yang cukup besar (Alvinsyah dan Hadian, 2018). Sepanjang waktu sejak terbentuknya model ini telah dilakukan beberapa kali proses pemutakhiran, kalibrasi, dan validasi (Hadian *and* Alvinsyah 2017; JakPro, 2019; MRTJ, 2020; Yooshin, 2022).

Sistem Zonasi

Model sistem zonasi mengikuti ketersediaan data sosial ekonomi, dan secara otomatis berbasiskan batas administrasi wilayah. Berdasarkan batasan tersebut diambil tingkat kelurahan sebagai basis model sistem zonasi untuk wilayah Kota (Kotamadya) di Jabodetabek dan sebagian wilayah Kabupaten mengadopsi tingkat Kecamatan. Khusus untuk wilayah DKI Jakarta, sistem zonasi berbasis sub-kelurahan berdasarkan intensitas dari rencana tata

ruang DKI Jakarta yang tertuang dalam RDTR DKI Jakarta. Untuk lingkup Jabodetabek, jumlah total zona adalah sebesar 1.443 zona dimana 1.250 zona berada di wilayah DKI Jakarta (tidak termasuk Kabupaten Kepulauan Seribu dan pulau-pulau reklamasi).

Model Jaringan Transportasi Jabodetabek

Model jaringan transportasi Jabodetabek terdiri dari model jaringan jalan raya dan jaringan angkutan umum. Data jaringan jalan seperti data geometrik, dan kapasitas ruas dan simpul merupakan parameter utama untuk model jaringan jalan, sedangkan data trayek dan operasional angkutan umum seperti, jumlah trayek, kapasitas trayek, *headway* trayek, dan jenis kendaraan merupakan parameter utama untuk model jaringan angkutan umum. Ilustrasi dan deskripsi rinci dari kedua model jaringan tersebut dapat dilihat pada *Feasibility Study, Funding Schemes and Basic Engineering Design for LRT in the DKI Jakarta Provincial Area* (JakPro,2019).

Model Bangkitan Perjalanan

Model bangkitan perjalanan diadopsi dari model yang digunakan pada studi-studi sebelumnya (Alvinsyah and Hadian, 2018; Hadian and Alvinsyah, 2017; Yooshin, 2022) dan menggunakan pendekatan *trip rate* dari hasil studi JICA (2014), dimana model tersebut merupakan fungsi dari parameter populasi dan PDRB. Model bangkitan perjalanan dari setiap zona analisis dibentuk dengan dasar adanya keterkaitan antara kondisi sosio ekonomi dan tata guna lahan di dalam zona dengan besarnya volume kendaraan yang keluar masuk zona tersebut.

Model Distribusi Perjalanan

Matriks asal tujuan (O-D) perjalanan di tahun dasar berdasarkan moda, tujuan, tingkat pendapatan diadopsi dari hasil survei primer

studi-studi sebelumnya (Alvinsyah dan Hadian, 2018; Hadian dan Alvinsyah, 2017). Sebagai faktor pembangkit perjalanan, digunakan parameter pendapatan keluarga dan populasi, sedangkan faktor penarik perjalanan antara lain adalah kondisi tata guna lahan, jumlah pekerja dan jumlah tempat kegiatan (perdagangan, industri dan lain sebagainya). Keterbatasan data tata guna lahan eksisting di banyak wilayah, kalibrasi model distribusi perjalanan hanya dilakukan dari satu sisi ikat (*single constraint*) yaitu dari sisi bangkitan perjalanan (Alvinsyah dan Hadian, 2016).

Pembebanan Jaringan

Estimasi volume atau arus pergerakan baik orang maupun kendaraan dihitung berdasarkan model pembebanan jaringan. Dengan menggunakan prosedur atau algoritma yang lazim digunakan, dilakukan proses pemilihan rute perjalanan terbaik (waktu atau jarak tersingkat) untuk menentukan besaran volume pergerakan di setiap ruas (jalan atau angkutan umum) dari seluruh jaringan yang dikaji. Metoda yang digunakan dalam model pembebanan adalah metode keseimbangan pengguna (*User Equilibrium/UE*), dimana keseimbangan jaringan akan tercapai bila semua kemungkinan jalur atau rute yang menghubungkan dua pasang O-D memiliki waktu tempuh yang sama (Ortuzar & Willumsen, 2011).

Fenomena Perubahan Pola Distribusi Demand Akibat Perubahan Jaringan Layanan dan Sistem Pentarifan

Kaji ulang terhadap hasil beberapa studi dan riset terdahulu baik untuk jalan tol maupun angkutan massal di wilayah Jabodetabek mengindikasikan adanya efek jaringan akibat dari kebijakan pengembangan jaringan dan sistem penarifan yang berpengaruh

kepada distribusi pergerakan lalu lintas kendaraan atau orang. Redistribusi perjalanan yang terjadi bisa signifikan dampaknya terutama untuk estimasi potensi perolehan pendapatan, dan untuk lingkup angkutan umum berdampak kepada pemilihan jenis modanya sesuai dengan *demand* yang diprediksi).

Menurut UP2M UI (2019), hasil uji simulasi dari kajian lalu lintas untuk sistem tol JORR, menunjukkan perubahan besaran lalu lintas di sistem tol JORR di tahun 2029 berupa penambahan volume transaksi berkisar antara 24%-29% tergantung dari skenario jaringan yang diperbandingkan. Berdasarkan hasil uji simulasi tersebut, mengindikasikan bahwa untuk pengembangan jaringan yang lebih ekspansif dan lokasinya lebih dekat ke ruas tol yang dianalisis akan mengurangi potensi besaran lalu lintas di ruas tol yang dianalisis. Selain itu, hasil uji skenario ini menunjukkan bahwa perbedaan strategi pentahapan, jumlah ruas dan lokasi geografis memberikan dampak yang berbeda terhadap potensi *demand* suatu ruas tol. Situasi ini memberikan indikasi bahwa setiap ruas tol yang berada di dalam 160cena jaringan perlu mempertimbangkan lagi target rencana usahanya akibat adanya perubahan kebijakan yang dalam kasus ini adalah strategi pentahapan dan jumlah ruas.

Sebagai ilustrasi, Gambar 5 menunjukkan perubahan pola distribusi dan besaran lalu lintas di Jaringan Tol Jabodetabek untuk 2 (dua) skenario penambahan jaringan yang berbeda. Merujuk ke Gambar 5, kedua skenario yang diujikan memberikan dampak yang berbeda di setiap ruas tol dan juga mengindikasikan ruas-ruas tol yang terdampak secara signifikan yang diindikasikan oleh warna dan ketebalan dari arus lalu lintas di jaringan dimana warna merah mengindikasikan pengurangan volume lalu lintas dan warna hijau

mengindikasikan sebaliknya.

Di lain sisi, hasil riset untuk angkutan masal Jabodetabek (Alvinsyah and Hadian, 2018) juga turut memberikan indikasi yang kuat perlunya melakukan analisis *demand* untuk setiap perubahan jaringan sampai dengan perioda tidak ada lagi penambahan ruas didalam jaringan. Sehubungan dengan dampak pergeseran jumlah *demand* diantara dua layanan yang beroperasi/berlokasi di koridor yang sama (*head-to-head competition*) dan tidak terintegrasi juga ditunjukkan dari hasil riset terhadap jalur LRT Jabodebek dan BST Prioritas Jabodetabek (Hadian & Alvinsyah, 2017).



Gambar 5 Perubahan Pola Distribusi dan Besaran Volume Lalulintas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai pengantar dari bagian analisis dan pembahasan, berikut ini dijabarkan terlebih dahulu metoda analisis, asumsi dan berbagai skenario yang akan diuji melalui simulasi dengan model transportasi makro.

Metode Analisis

Langkah pertama adalah melakukan proses validasi model dengan data volume transaksi Gerbang Tol di bulan November tahun 2019 di beberapa ruas tol Jabodetabek dan JORR. Hasil validasi bisa dilihat di dokumen hasil kajian terkait Polar UI tahun 2020. Seiring dengan proses validasi, dilakukan proses prediksi besaran perjalanan di wilayah Jabodetabek untuk tahun 2030 berdasarkan asumsi dan skenario yang dikembangkan serta proses pemutakhiran model jaringan yang didasarkan pada berbagai dokumen dan kajian-kajian terkait sebelumnya. Untuk mendapatkan perkiraan arus lalu lintas dari hasil simulasi pembebanan perjalanan di jaringan jalan, digunakan perangkat lunak perencanaan makro EMME (INRO, 2020).

Merujuk ke berbagai skenario yang dikembangkan untuk variabel sistem/skema dan besaran tarif tol, rencana dan pentahapan pengoperasian ruas tol, konektivitas antar ruas tol, dilakukan simulasi dan analisis terhadap masing-masing skenario. Karena perangkat lunak EMME tidak memiliki fitur algoritma optimasi, analisis perbandingan hasil uji skenario dilakukan dengan menampilkan besaran volume transaksi dan estimasi potensi pendapatan dari semua skenario yang diujikan. Prosedur analisis dilakukan bersama sama dengan pemangku kepentingan yang terdiri dari operator dan regulator untuk mendiskusikan hasil uji simulasi dan memilih beberapa opsi skema besaran tarif yang dianggap menguntungkan semua pihak termasuk dari sisi calon pengguna.

Asumsi dan Pengembangan Skenario

Analisis dilakukan untuk tahun 2030 dengan asumsi bahwa seluruh

jaringan jalan tol rencana di Jabodetabek telah beroperasi secara penuh dan selain itu juga karena berbagai dokumen (dalam bentuk Peraturan Daerah) Rencana Tata Ruang Wilayah masing-masing kabupaten/kota di wilayah Jabodetabek berlaku sampai dengan tahun 2030.

Asumsi Pertumbuhan Perjalanan dan Demand

Tingkat pertumbuhan perjalanan untuk masing-masing kabupaten/kota di Jabodetabek diadopsi dari studi-studi sebelumnya (JakPro, 2019) dan bersifat spesifik untuk masing-masing kabupaten/kota di Jabodetabek yang dibangun berdasarkan pertumbuhan populasi dan ekonomi (Produk Domestik Regional Bruto/PDRB). Skenario *captive/fix/natural demand* digunakan untuk pengguna kendaraan pribadi, sehingga pengaruh perbaikan layanan sistem angkutan umum terutama angkutan massal, dan atau kebijakan pengaturan permintaan (*Transportation Demand Management/TDM*) tidak diperhitungkan.

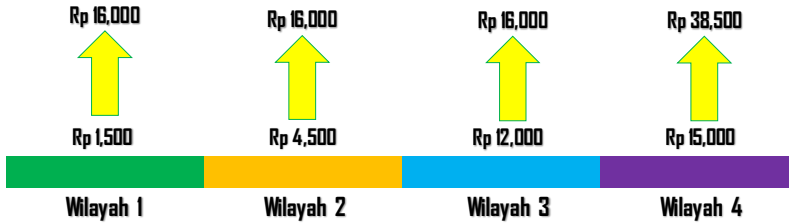
Skenario Rencana Pengembangan Jaringan Tol Jabodetabek

Rencana pengembangan ruas-ruas jalan tol di wilayah Jabodetabek merujuk kepada rencana resmi yang dicanangkan oleh BPJT yang dapat dilihat di situs resmi BPTJ (BPJT, 2022). Sedangkan untuk rencana pentahapan setiap ruas tol rencana mengadopsi skenario pengembangan jaringan tol dari kajian sebelumnya (UP2M UI, 2019).

Skenario Besaran Tarif Tol Terintegrasi Jakarta-Cikampek

Merujuk kepada hasil diskusi dengan pemangku kepentingan ditetapkan beberapa variasi nilai tarif Jalan Tol Japek-1 terpadu (Jalan Tol Cikampek-1 dan Jalan Tol MBZ) yang diuji. Skema/sistem tarif yang ditetapkan adalah membagi ruas Jalan Tol

Japek 1 menjadi 4 (empat) wilayah (zona) tarif Jakarta-Cikampek, variasi besaran tarif untuk masing-masing wilayah (zona) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Skenario Penarifan Jalan Tol Terpadu Jakarta-Cikampek

Skenario Besaran Tarif Individu Jalan Tol Jakarta-Cikampek dan Jalan Tol MBZ

Sebagai pembandingan tarif terintegrasi, ditetapkan pula skenario tarif individu untuk jalan tol Japek-1 yang merujuk kepada besaran tarif pada saat kajian dilakukan dan untuk jalan tol MBZ menggunakan besaran tarif sesuai dengan Perjanjian Pengusahaan Jalan Tol (PPJT) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Besaran Tarif Tol di Koridor Japek

Skenario Tarif	Nama Ruas Tol					
	MBZ*	Becakayu**	Cikampek-1**			
			W1	W2	W3	W4
Terpisah (T-1)	45.500	14.000	1.500	4.500	12.000	15.000
Terpadu* ** (T-2)			1.500	4.500	12.000	15.000

Catatan: *Panjang Ruas = 36,37 km; Tarif PPJT = Rp.1.250/km; hanya untuk Gol-1

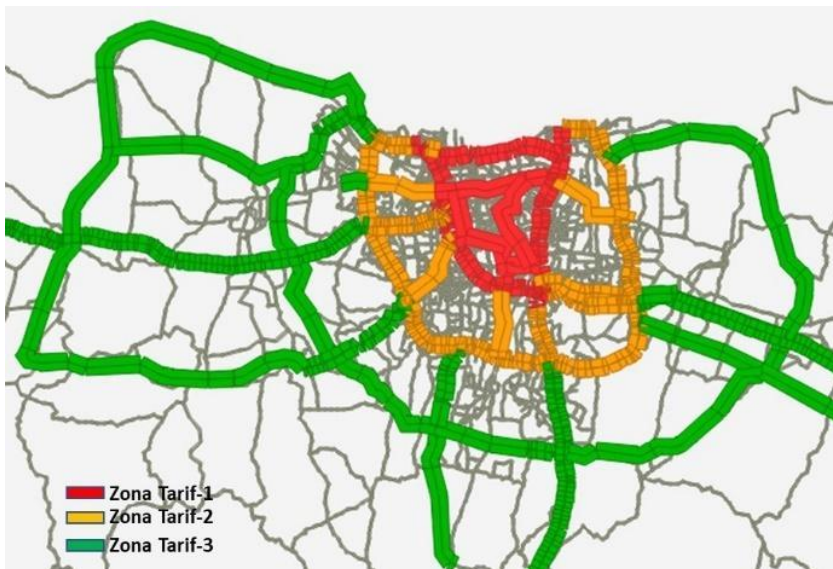
**Tarif Eksisting (2020)

***Tarif Terpadu=Tarif Jalan Tol Cikampek eksisting

Skenario Integrasi Tarif di Jaringan Tol Jabodetabek

Merujuk kepada konsep tarif integrasi tarif Jalan Tol Japek-1 dengan

Jalan Tol MBZ, dikembangkan skenario integrasi tarif untuk ruas-ruas tol di Jabodetabek yang dimiliki/dikelola oleh berbagai operator. Merujuk ke bahasan di bagian sebelumnya tentang berbagai sistem/skema penarifan akan dipilih sistem berbasis wilayah (zona) yang terdiri dari zona-1 dengan batas terluar adalah Jalan Tol Lingkar Dalam (JIUT), zona-2 dengan batas terluar adalah tol JORR, dan zona-3 yang mencakup semua ruas tol di luar tol JORR seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7 Skenario Zonasi Tarif Tol Terintegrasi

Skenario tarif di dalam satu zona berdasarkan jarak tempuh (Rp/km) dengan nilai minimum diambil dari tarif PPJT untuk setiap ruas tol yang belum beroperasi dan tarif yang berlaku untuk ruas tol yang sudah beroperasi serta diasumsikan kenaikan per km dalam kelipatan Rp100 hingga maksimum Rp 500. Ada 55 skenario variasi/kombinasi tarif dan 1 (satu) skenario dasar yang akan diujikan. Skenario jaringan dan tahun analisis menggunakan skenario yang

sama dengan skenario yang digunakan untuk analisis sensitivitas *demand* koridor Jakarta-Cikampek.

Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Sensitivitas *Demand*

Berdasarkan asumsi dan skenario yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, dilakukan uji simulasi terhadap masing-masing skenario dengan menggunakan model transportasi untuk lingkup jaringan Jabodetabek. Pada tahap ini dilakukan analisis sensitivitas perubahan *demand* (volume lalu lintas), akibat penerapan perubahan sistem penarifan dan besaran tarif ruas Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ serta konektivitasnya dengan ruas-ruas tol lainnya. Pada bagian berikut dijabarkan analisis dan bahasan yang lebih rinci dari hasil simulasi terhadap masing-masing skenario.

Implikasi Integrasi Tarif Jalan Tol Japek-1 dan Tarif Jalan Tol MBZ

Pada tahap ini dilakukan uji skenario tarif terpisah (T-1) untuk Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ dan skenario tarif terintegrasi (T-2) untuk kedua jalan tol tersebut. Skenario tarif T-1, Jalan Tol MBZ memiliki gerbang transaksi tersendiri dengan besaran tarif seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1, sedangkan untuk skenario tarif T-2, tidak ada gerbang transaksi di Jalan Tol MBZ dan menggunakan besaran tarif yang berlaku di ruas Jalan Tol Japek-1.

Berdasarkan hasil diskusi dan kesepakatan dengan pemangku kepentingan uji skenario dilakukan untuk kondisi tahun 2020 sesuai dengan rencana penerapan tarif terintegrasi di kuartal pertama tahun 2020. Hasil uji simulasi dengan model mengindikasikan terjadinya perubahan distribusi arus lalu lintas untuk perbandingan skenario T-

1 dan T-2. Hasil ini merupakan indikasi adanya perubahan volume transaksi dan potensi pendapatan di Jalan Tol Japek-1. Penambahan jumlah transaksi akibat tarif terintegrasi untuk semua golongan kendaraan adalah sebesar 10,197%.

Selanjutnya dengan asumsi tarif Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1, potensi tambahan pendapatan untuk masing-masing zona tarif di Jalan Tol Japek-1 ditunjukkan dalam Tabel 2 dengan total tambahan pendapatan sebesar 9,80%. Penerapan tarif terintegrasi menunjukkan adanya potensi penambahan pendapatan, namun nilai ini masih harus didistribusikan lagi antara Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ.

Tabel 2 Perubahan Pendapatan Jalan Tol Japek-1

Perubahan Potensi Pendapatan Tol (%)				
W1	W2	W3	W4	TOTAL
0,00	12,50	5,77	10,22	9,80

Merujuk kepada hasil uji skenario T-1, bila potensi pendapatan Jalan Tol Japek dan Jalan Tol MBZ digabungkan, maka total pendapatannya lebih besar 7,31% dibandingkan dengan total pendapatan skenario T-2, yang komposisinya adalah sebesar 84,20% dari Jalan Tol Japek dan 15,80% dari Jalan Tol MBZ (Polar UI, 2020). Hasil uji skenario T-1 ini menjadi informasi penting bagi operator Jalan Tol MBZ dari aspek pendapatan dan operator Jalan Tol Japek-1 karena potensi timbulnya gangguan kinerja lalu lintas akibat adanya gerbang transaksi terpisah di Jalan Tol MBZ terutama di segmen mendekati *ramp on* ke Jalan Tol MBZ (dengan asumsi gerbang transaksi berada di awal Jalan Tol MBZ). Di lain sisi dengan menerapkan tarif terintegrasi, maka perlu pemindahan Gerbang Transaksi Cikarang Utama, ke ruas Jalan Tol Purbaleunyi.

Implikasi Perubahan Tarif Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ Terintegrasi

Pada skenario ini dilakukan uji sensitivitas perubahan besaran tarif terintegrasi terhadap volume lalu lintas (volume transaksi) di ruas Jalan Tol Japek-1 (ruas Jalan Tol MBZ merupakan bagian dari ruas Jalan Tol Japek-1). Uji sensitivitas untuk skenario ini sangat diperlukan untuk menetapkan besaran tarif yang paling optimum dalam konteks untuk memperoleh jumlah pendapatan yang paling maksimum bagi pihak operator. Variasi asumsi besaran tarif yang diujikan ditunjukkan dalam Gambar 8, dengan batas nilai minimum dan maksimum yang ditetapkan berdasarkan hasil kesepakatan pemangku kepentingan.



Gambar 8 Skenario Tarif Rujukan

Jumlah variasi atau kombinasi tarif yang disepakati adalah sejumlah 30 skenario. Sedangkan rujukan pembandingan terhadap berbagai kombinasi atau variasi tarif yang diujikan, disepakati tarif yang berlaku di tahun 2020 saat kajian dilakukan dan tarif yang diusulkan oleh pihak operator seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9. Karena sistem penarifan Jalan Tol Japek-1 terdiri dari 4 (empat) wilayah

penarifan, dan setiap wilayah memiliki nilai tarif yang berbeda maka dapat dipastikan besaran jumlah transaksi di gerbang tidak secara linier menggambarkan besaran pendapatan yang diperoleh.

Dengan demikian, untuk mendapatkan kombinasi tarif yang terbaik harus langsung melalui perbandingan potensi pendapatan dari tiap skenario yang diujikan. Hasil uji skenario mengindikasikan ada 4 skenario tarif yang berpotensi menghasilkan pendapatan yang lebih besar dibandingkan dengan usulan tarif dari operator (S10) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9 menjadi catatan bahwa dengan menerapkan besaran tarif yang tinggi tidak serta merta akan menghasilkan pendapatan yang tertinggi. Terlebih lagi apabila sistem/skema penarifannya berbasiskan zona atau wilayah.



Gambar 9 Kombinasi Besaran Tarif Terbaik

Skenario tarif yang memberikan potensi pendapatan tertinggi adalah skenario 30 dengan kombinasi besaran tarif seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10. Bila ditinjau hanya dari sisi operator tentunya kombinasi tarif seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10 yang paling menarik. Namun, hasil ini masih perlu dievaluasi lagi terkait

dengan target pendapatan dari masing-masing ruas tol terutama untuk operator Jalan Tol Japek-1 yang harus berbagi hasil dengan operator jalan Jalan Tol MBZ.



Gambar 10 Kombinasi Besaran Tarif dengan Pendapatan Tertinggi

Di lain sisi, kebijakan penetapan tarif melibatkan juga pihak regulator dan public seperti konsumen yang memiliki kepentingan yang berbeda seperti yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan kenaikan tarif sebagai dampak dari integrasi tarif dari kedua jalan tol tersebut harus mempertimbangkan kemampuan bayar pengguna, dan merepresentasikan keadilan terkait dengan jarak tempuh perjalanan pengguna, serta perbaikan kinerja kecepatan tempuh yang sesuai dengan standar layanan yang berlaku. Oleh karenanya, hasil uji skenario ini hanya merupakan basis untuk proses pembahasan yang lebih dalam dan rinci yang memperhitungkan semua aspek terkait baik teknis maupun non teknis dan mengakomodasikan kepentingan pemangku kepentingan.

Merujuk Gambar 10, kenaikan tarif di wilayah 1 yang mencapai tiga kali lebih besar dan di wilayah 2 yang mencapai dua kali lebih besar dibandingkan dengan tarif yang berlaku tentunya tidak mudah untuk direalisasikan, karena akan terkesan pengguna Jalan Tol Japek-1 yang tidak menggunakan ruas Jalan Tol MBZ harus ikut menanggung biaya operasi termasuk pengembalian investasi ruas jalan tol tersebut. Di lain sisi, kenaikan tarif sebesar dua kali lebih besar di wilayah 4, juga akan menjadi pertanyaan bagi pengguna

yang jarak tempuh perjalanannya pendek seperti keluar dan masuk di gerbang setelah ujung/akhir ruas Jalan Tol MBZ sisi Timur. Ilustrasi di atas hanya merupakan salah satu contoh dari berbagai isu yang perlu mendapat perhatian dalam pembahasan perubahan sistem dan besaran tarif di ruas Jalan Tol Japek-1 ini.

Implikasi Perubahan Tarif Terintegrasi Jalan Tol Japek-1 terhadap Jalan Tol Becakayu

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian-bagian sebelumnya, dalam perspektif analisis besaran permintaan pada skala jaringan, perubahan kebijakan baik operasional maupun tarif pasti akan berdampak kepada seluruh ruas-ruas yang merupakan bagian dari sistem jaringan tersebut. Skenario tersebut dikembangkan karena pada waktu yang hampir bersamaan juga dilakukan kajian yang serupa untuk Jalan Tol Becakayu, sehingga kedua operator terkait memiliki kepentingan bersama untuk mengetahui dampak dari penerapan tarif terintegrasi antara Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ.

Pihak operator Jalan Tol Becakayu sangat berkepentingan untuk mengkaji dampak dari perubahan tarif ini terhadap volume lalu lintas yang akan menggunakan Jalan Tol Becakayu (Seksi-1: Cawang-Galaxy) yang lokasinya relatif bersebelahan dengan Jalan Tol Japek-1. Oleh karenanya, kedua jalan tol tersebut memiliki wilayah cakupan layanan yang sama khususnya untuk wilayah 1 dan wilayah 2 Jalan Tol Japek-1.

Pada saat kajian dilakukan tingkat utilisasi (volume lalu lintas) Jalan Tol Becakayu skenario rendah untuk standar jalan tol, yang ditengarai karena besaran tarif yang diberlakukan sebesar Rp14.000

atau 3,5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tarif wilayah 2 Jalan Tol Japek-1 dan hampir 10 kali lebih tinggi dibandingkan tarif wilayah 1 Jalan Tol Japek-1. Selain karena besaran tarif, juga karena adanya masalah konektivitas, khususnya di Jl. Panjaitan Jakarta.

Pihak operator Jalan Tol Japek-1 mempunyai kepentingan untuk mengetahui seberapa besar dampak perubahan tarif terintegrasi terhadap utilisasi ruas tol nya di setiap wilayah layanan. Pada skenario ini dikembangkan beberapa variasi tarif Jalan Tol Japek-1 (terintegrasi) dan dengan mengasumsikan ruas tol JORR-2 dan ruas tol Japek Selatan sudah beroperasi, terkoneksi dengan ruas tol Japek-1 seperti skenario yang telah dibahas di bagian sebelumnya. Pada uji skenario ini pesaing langsung Jalan Tol Becakayu adalah segmen wilayah-1 dan wilayah-2 Jalan Tol Japek-1, sehingga, variasi tarif akan difokuskan pada kedua segmen tersebut dengan menetapkan tarif wilayah-3 dan wilayah-4 sesuai dengan hasil diskusi dan kesepakatan yaitu sebesar Rp12.000 (tarif eksisting) untuk wilayah 3 dan Rp30.000 untuk wilayah 4.

Rincian skenario variasi tarif yang akan diujikan dapat dilihat di Polar UI (2020). Hasil uji skenario menunjukkan pada saat besaran tarif Jalan Tol Japek-1 di wilayah 1 dan wilayah 2 mencapai 50% dari tarif Jalan Tol Becakayu, volume lalu lintas yang menggunakan tol becakayu naik sebesar 26,7% dan pada saat tarif Jalan Tol Japek-1 hampir mendekati tarif Jalan Tol Becakayu, volume lalu lintas bertambah secara signifikan sebesar 60,7% seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11 Perubahan *Demand* Jalan Tol Becakayu

Tarif Jalan Tol Becakayu berupa tarif merata (*flat*), maka potensi pendapatan akan linier dengan penambahan volume lalu lintas yang menggunakannya seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 11. Di lain pihak, kenaikan tarif di wilayah 1 dan wilayah 2 ruas Jalan Tol Cikampek akan menurunkan volume transaksi di kedua wilayah tersebut yang besarnya berkorelasi dengan besarnya kenaikan tarif yang diujikan. Penurunan volume transaksi di wilayah 1 berkisar antara 7%-89% dan di wilayah 2 berkisar antara 3%-43%. Namun penurunan volume transaksi tidak serta merta akan berakibat pada pengurangan potensi pendapatan Jalan Tol Japek-1 di wilayah 1 dan wilayah 2, karena besaran tarifnya berbeda.

Berdasarkan hasil uji skenario yang dilakukan terhadap berbagai skenario tarif, ternyata dengan menaikkan tarif tol di wilayah 1 dan wilayah 2, tidak menurunkan potensi pendapatan untuk semua skenario tarif, bahkan semakin tinggi tarifnya, semakin besar penambahan potensi pendapatan ruas Jalan Tol Japek-1 seperti ditunjukkan dalam Gambar 12. Di lain sisi, seperti yang ditunjukkan

dalam Gambar 11, kenaikan tarif di wilayah 1 dan wilayah 2 ruas Jalan Tol Japek-1 akan sangat menguntungkan ruas Jalan Tol Becakayu.



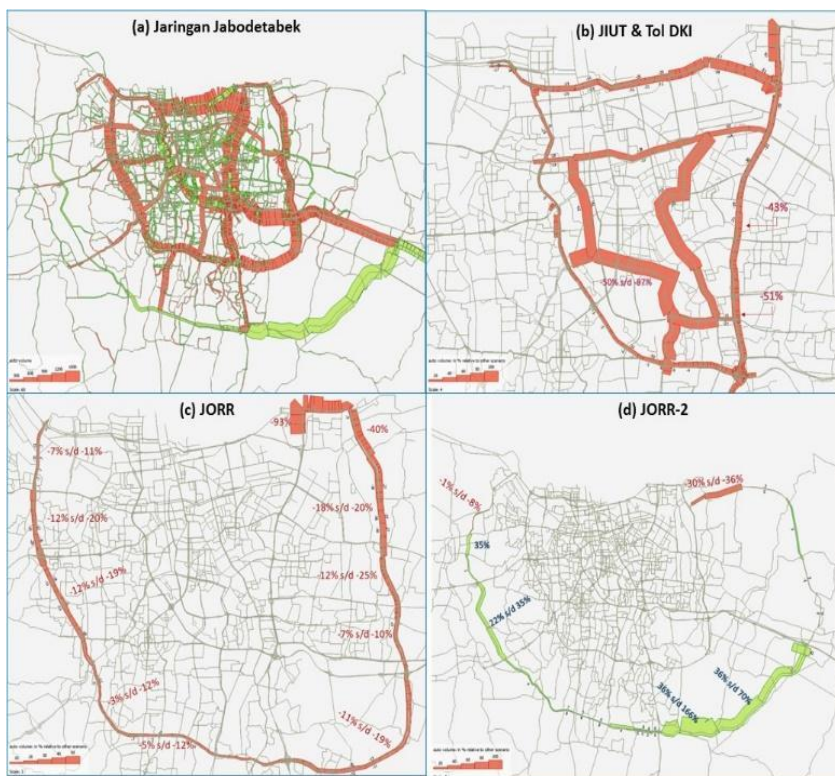
Gambar 12 Perubahan Potensi Pendapatan Tol Japek-1

Situasi ini menunjukkan bahwa perubahan kebijakan tarif dari sisi pandang kesisteman (jaringan) bisa memberikan manfaat positif. Tentunya tinjauan ini baru dari sisi manfaat yang diperoleh oleh operator dimana untuk operator Jalan Tol Japek-1 tidak terjadi penurunan pendapatan, dan ada potensi perbaikan kinerja lalu lintas sebagai dampak penurunan volume lalu lintas. Sedangkan untuk operator tol Becakayu manfaat dari kenaikan tarif Jalan Tol Japek-1 berpotensi menaikkan utilisasi ruas tol dengan adanya perubahan distribusi lalu lintas yang berujung kepada potensi peningkatan pendapatan tol. Di lain sisi, pihak regulator tentunya wajib untuk memperhatikan kepentingan pengguna berdasarkan hasil analisis kerelaan membayar (WTP) dan kemampuan bayar pengguna (ATP) untuk menetapkan tarif yang paling optimum bagi semua pihak.

Implikasi Penerapan Tarif Terintegrasi di Jaringan Tol Jabodetabek

Analisis di bagian ini dilakukan khusus untuk memperkaya artikel ini dalam konteks untuk mengidentifikasi isu-isu yang berpotensi timbul dan tantangan yang perlu diantisipasi, jadi bukan dari hasil kajian resmi seperti kasus Jalan Tol Japek-1 dan Jalan Tol MBZ. Oleh karenanya hanya dipilih satu skema penarifan yaitu sistem zonasi. Sebagai ilustrasi, bahasan berikut ini didasarkan atas perbandingan hasil uji simulasi terhadap skenario dasar dan salah satu skenario tarif yang merupakan skenario-20, yaitu skenario tarif tertinggi di zona-1 dan zona-2 serta skenario tarif dasar untuk zona-3. Hasil perbandingan dari kedua skenario ini ditunjukkan dalam Gambar 13.

Perubahan pola distribusi lalu lintas di seluruh jaringan yang diindikasikan dengan warna hijau dan merah serta ketebalan peta arus (*bandwidth/flowmap*) lalu lintas di jaringan ditunjukkan dalam Gambar 13 (a). Warna merah mengindikasikan penurunan volume lalu lintas di ruas (segmen) dan sebaliknya untuk warna hijau. Dengan menerapkan tarif tertinggi (Skenario-20) untuk zona-1 dan zona-2, terjadi penurunan volume lalu lintas yang signifikan dari jaringan tol di dalam zona-1 dan zona-2 (Gambar 13.a) dan sebaliknya terjadi penambahan di Jalan Tol JORR-2 segmen sebelah Timur dan Barat (Gambar 13.d) serta di jaringan non tol (Gambar 13.a).



Gambar 13 Perubahan Pola Distribusi Lalu lintas

Gambar 13 (b) menunjukkan besarnya penurunan volume lalu lintas di JIUT, 6 jalan tol DKI dan Jalan Tol Pelabuhan, sedangkan Gambar 13 (c) menunjukkan besaran perubahan volume lalu lintas di berbagai segmen (kelompok segmen) Jalan Tol JORR. Data besaran perubahan volume di Jalan Tol JORR agak lebih banyak, dikarenakan sistem Jalan Tol JORR ini dimiliki atau dioperasikan oleh operator yang berbeda-beda.

Berdasarkan salah satu contoh, dampak kenaikan tarif dalam bentuk penurunan dan penambahan volume lalu lintas di suatu jaringan terlihat seperti hal yang biasa saja dan logis serta sesuai dengan

algoritma yang digunakan. Namun, bila disandingkan dengan skenario variasi tarif lainnya maka akan terlihat pola redistribusi lalu lintas berbeda-beda tergantung kombinasi atau variasi tarif yang diterapkan. Skenario tarif yang paling optimal dalam pengertian keseimbangan distribusi lalu lintas di semua ruas tol dalam jaringan untuk semua operator bukanlah pekerjaan yang mudah dan sederhana, walaupun dengan tersedianya data target atau rencana lalu lintas untuk setiap ruas atau operator.

Pada *case* Jalan Tol Japek-1, yang bisa dijadikan rujukan untuk perbandingan adalah potensi pendapatan tol, namun proses perbandingannya jauh lebih kompleks karena melibatkan banyak ruas atau operator yang masing-masing tidak sama kondisinya. Hal lain yang perlu dicatat, perpindahan lalu lintas tidak hanya terjadi di jaringan jalan tol saja, namun juga ke jaringan non tol, yang tentunya ada dampak negatif yang terjadi karena adanya penambahan volume di jaringan jalan non tol.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari artikel ini adalah:

1. Penerapan kebijakan perubahan sistem dan besaran tarif bukanlah hal yang mudah dan sederhana karena melibatkan banyak pemangku kepentingan, yang paling sedikit melibatkan tiga aktor utama yaitu regulator, operator dan pengguna atau user,
2. Proses untuk melakukan perubahan tarif baik sistem maupun besarnya, tidak sederhana, karena selain sudah ada regulasi

yang mengatur besaran tarif dan kenaikannya, juga harus berdasarkan analisis saintifik yang komprehensif dan melalui pembahasan yang ketat karena dampaknya melibatkan banyak pihak,

3. Penggunaan model analisis berbasis jaringan sangat penting untuk menguji dampak berbagai rencana perubahan kebijakan di sistem jaringan tol baik untuk aspek pentarifan maupun konektivitas dan pentahapan jaringan sebagai salah satu basis utama untuk pengambilan keputusan. Model analisis berbasis jaringan sangat berguna untuk mengukur sensitivitas *demand* terutama pada jaringan tol yang sudah beroperasi dan melibatkan banyak operator bila terjadi perubahan yang terjadi diluar dari yang telah direncanakan. Proses pelaksanaan analisis sensitivitas permintaan terhadap berbagai skenario kebijakan mensyaratkan keterlibatan aktif dari pemangku kepentingan terutama dalam hal penentuan dan kesepakatan terhadap berbagai variabel atau parameter kebijakan yang menjadi asupan penting bagi model analisis,
4. Hasil dari analisis sensitivitas *demand* perlu ditindaklanjuti dengan proses analisis optimasi untuk memilih skenario terbaik (optimum) yang memerlukan prosedur iteratif antara proses analisis demand dengan analisis optimasi karena menggunakan perangkat analisis yang berbeda dan bisa dilakukan pada beberapa level.

Rekomendasi

Apabila lingkup analisis diperluas ke level jaringan jalan tol Jabodetabek, maka tingkat kompleksitas akan bertambah karena jumlah ruas tol berikut operator yang terlibat jauh lebih lebih besar. Oleh karenanya, dalam konteks penerapan tarif terintegrasi, mulai

dari tahap perencanaan semua pihak terkait harus terlibat secara aktif, karena adanya berbagai perbedaan dari *nature* setiap ruas tol seperti antara lain, terbaginya suatu ruas tol menjadi beberapa segmen/seksi yang dikonsesikan dan dioperasikan oleh operator yang berbeda, rentang waktu implementasi segmen/seksi dalam suatu ruas tol yang berbeda, adanya disparitas besaran tarif tol per km yang sangat signifikan diantara ruas tol yang berbeda di dalam suatu jaringan dan adanya pembangunan ruas tol di luar rencana induk.

Merujuk ke hasil analisis yang telah dibahas di bagian sebelumnya, untuk memudahkan proses pelaksanaan kajian perencanaan, khususnya untuk menentukan skema dan besaran tarif yang optimum, semua pihak terkait harus turut aktif dalam menyusun konsep dan rincian dari rencana kajian. Hal ini diperlukan untuk memperoleh kesepakatan dan kesepakatan terutama dalam menentukan berbagai asumsi dan skenario serta bentuk keluaran yang diharapkan agar bisa mengakomodasikan kepentingan para pihak terkait.

Rekomendasi yang lebih rinci terkait dengan beberapa aspek yang perlu dibahas dan disepakati sejak awal sebelum proses pelaksanaan kajian dilaksanakan adalah mensinkronkan tarif PPJT yang berbeda-beda untuk dijadikan basis batas bawah dan batas atas dari skenario besaran tarif yang akan dianalisis. Di samping itu, para pihak harus memastikan dan menyepakati tujuan utama integrasi tarif karena kebijakan penarifan dapat digunakan untuk berbagai tujuan yang beragam untuk kepentingan yang berbeda dari pemangku kepentingan, memastikan batas lingkup wilayah/jaringan jalan tol yang masuk kedalam sistem tarif terintegrasi, serta menetapkan tarif

untuk skenario dasar yang akan menjadi pembanding.

Selanjutnya para pihak harus menyepakati opsi sistem tarif terintegrasi yaitu satu tarif (Rp/km) untuk semua ruas yang masuk dalam jaringan terintegrasi, atau tarif (Rp/km) yang berbeda untuk koridor yang berbeda (misalnya: Jalan Tol JIUT, JORR, JORR-2, dan beberapa tol radial yang masuk kedalam jaringan terintegrasi), menyepakati besaran tarif integrasi dan gradasi kenaikannya serta jumlah variasi (non permutasi atau permutasi) dari besaran tarifnya, serta mempertimbangkan dampak dari perbaikan sistem angkutan umum/massal dan kebijakan TDM.

Disamping itu sangatlah penting untuk memilih sistem penarifan yang paling tepat, fleksibel, mudah diterapkan, mudah dikelola dan dipahami oleh pengguna dari beberapa opsi seperti skema tarif berbasis jarak tempuh, berbasis koridor, berbasis wilayah/zonasi baik bersifat statis ataupun dinamis, dan memastikan aspek *workability* atau *practicability* dari sistem yang diadopsi melalui proses sinkronisasi setiap skema penarifan yang diuji terhadap aspek sistem pengoperasian dan pembayaran serta teknologi yang tersedia.

Dalam pelaksanaan proses kajian, regulator perlu melakukan proses optimasi, karena adanya kepentingan yang berbeda antara pengguna tol yang menginginkan tarif yang “murah” dan kinerja lalu lintas yang prima dengan operator yang ingin memaksimalkan pendapatan (profit) dan bisa memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM).

Selain itu, para pihak perlu menyepakati tujuan proses optimasi dalam konteks jumlah dan jenis parameter yang akan dikompromikan karena ada beberapa opsi (*level*) optimasi yang bisa

dilakukan, memastikan jenis dan bentuk keluaran dari uji simulasi secara rinci, karena akan mempengaruhi strategi dan pendefinisian model yang dibangun.

Perlu sinergi dan koordinasi yang baik antara tim yang melakukan analisis aspek finansial dengan tim yang melakukan analisis sensitivitas *demand*, termasuk dalam merumuskan formula bagi hasil dari pendapatan tol setelah mendapatkan skema dan besaran tarif terintegrasi yang optimum, menyiapkan suatu nilai besaran volume lalu lintas sebagai nilai ambang minimum untuk menjadi kriteria proses optimasi dan mempersingkat proses optimasi, serta melanjutkan analisis ke tahap berikutnya yaitu mengukur dampak kinerja lalu lintas baik di jaringan jalan tol maupun non tol akibat perubahan sistem dan besaran tarif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvinskyah and Hadian E. 2018. *A Demand and Capacity Analysis on Bus Semi Rapid Transit Network (Case: Jabodetabek Public Transport Network)*. The 1st International Symposium on Transportation Studies in Developing Countries (ISTSDC) MATEC Web Conf, Volume 181, Article Number 10001.
- Alvinskyah dan Hadian E. 2016. *Analisis Dampak Aktivitas Kawasan Reklamasi Pantura terhadap Kinerja Jaringan Jalan di DKI Jakarta*, Jurnal MTI, 1 (1): 43-58.
- Arief, A.M. 2021. *Konstruksi Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Rampung Awal 2022*. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210308/45/1365142/konstruksi-jalan-tol-jakarta-cikam>

pek-ii-selatan-rampung-awal-2022. Diakses: 08 Maret 2021.

Badan Pengatur Jalan Tol. 2022. *Implementasi Transaksi Nirsentuh MLFF di Jalan Tol Secara Bertahap Ditargetkan Akhir Tahun 2022*. Berita, 20 Mei 2022, bpjt.pu.go.id. Jakarta.

Black, A. 1995. *Urban Mass Transportation Planning*, McGraw-Hills, Inc., Singapore.

Borndörfer, R., Karbstein M., Pfetsch, M. 2012. *Models for Fare Planning in Public Transport*. Discrete Applied Mathematics, 160, 2591-2965. Science Direct, Elsevier

Giannopoulos, G.A. 1989. *Bus Planning and Operation in Urban Areas: A Practical Guide*. Avebury-Gower Publishing Company Ltd., England.

Hadian, E. and Alvinayah. 2017. *Impact on Ridership of New Rail-base Transit due to the Operation of Extensive Bus Semi Rapid Transit Network (Case Study: Jabodetabek Public Transport Network)*. The Proceedings of the 15th International Conference on QiR (Quality in Research) 2017. Bali.

INRO. 2020. *User Manual*. EMM Suite. Montreal.

JakPro. 2019. *Final Report: Feasibility Study, Funding Schemes and Basic Engineering Design for LRT in the DKI Jakarta Provincial Area*. PT. Jakarta Propertindo. Jakarta

Japan International Cooperation Agency. 2004. *Studi on an Integrated Transport Master Plan for Jabodetabek Area*, Final Report.

Jasa Marga, PT. 2020. *Kajian Integrasi Jalan Tol Jakarta-Cikampek dan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Elevated*. Materi Paparan. Jakarta.

Jasa Marga, PT. 2022. *Jakarta Cikampek*. Jasa Marga.com. <https://>

- www.jasamarga.com/public/en/services/toll/segments.aspx?title=Jakarta%20-%20Cikampek. Diakses tanggal 23 April 2023.
- Kompas. 2019. *Peta Jalan Tol Layang Cikampek*. <https://pbs.twimg.com/media/EMO0NeoUcAEPDVt?format=jpg&name=900x900>. Diakses: 23 April 2023.
- MRT Jakarta, PT. 2020. *Kajian Rencana Kebijakan & Layanan MRT Blok M – Bundaran HI Jakarta*. Laporan Akhir. PT MRT Jakarta. Jakarta.
- Ortuzar, J.D., and Willumsen, L.G. 2011. *Modelling Transport*, Fourth Edition. Wiley Inc. West Sussex, UK.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 tahun 2018 tentang Rencana Induk Transportasi Jabodetabek*. Jakarta.
- Polar UI. 2020. *Laporan Akhir Kajian WTP dan Skenario Tarif Jalan Tol Jakarta-Cikampek*. PT Jasa Marga (Persero) Tbk. Jakarta.
- Šipuš, D., Abramovića, B, Gašparović, S. 2019. *Equity Fare Sistem: Factors Affecting Fare Structure in Integrated Passenger Transport*. *Transportation Research Procedia* 40, 1192–1198, Science Direct, Elsevier.
- Unit Pelayanan dan Pengabdian Masyarakat (UP2M) Teknik Sipil UI. 2019. *Survei Proyeksi Lalu Lintas Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta (JORR), Akses Tanjung Priok dan Ruas Ulujami – Bintaro Viaduct – Pondok Aren*, Laporan Akhir, PT. Marga Lingkar Jakarta (MLJ). Jakarta.
- Victoria Transport Institute. 2014. *TDM Encyclopedia: Road Pricing-Congestion Pricing, Value Pricing, Roads, Roads, and Hot Lanes*. <http://www.vtpi.org/tdm/tdm35.htm>. Diakses: 28 April 2023.

- Vuchic, V. R. 2005. *Urban Transit; Operations, Planning, and Economics*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.
- Yooshin. 2022. *Feasibility Study for Development of MRT Phase 4 in Jakarta, Indonesia; Travel Demand Forecast, Draft Final Report*, Yooshin JV - Korea Overseas Infrastructure & Urban Development Corporation (KIND).

TEKNOLOGI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS DALAM PENGELOLAAN KENDARAAN DENGAN DIMENSI DAN MUATAN LEBIH

Resdiansyah

Universitas Pembangunan Jaya

IB. Ilham Malik

Institut Teknologi Sumatera

Ade Asmi

Universitas Bakrie

Budi Yulianto

Universitas Sebelas Maret

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jalan tol di Indonesia cukup pesat, dalam kurun waktu 5 tahun terakhir setidaknya terjadi penambahan ruas jalan tol baru dengan panjang berkisar 1.300 Kilometer. Pertumbuhan ruas jalan tol itu harus diikuti dengan peningkatan kualitas jalan yang baik. Terdapat kendala untuk mewujudkan hal tersebut, yaitu meningkatnya biaya pemeliharaan jalan tol akibat kerusakan permukaan jalan yang lebih cepat dari umur rencana. Salah satu penyebab utamanya adalah belum terkendalinya kendaraan logistik atau angkutan barang yang melintas di jalan tol dengan berat muatan berlebih. Dampak dari hal tersebut adalah mengganggu kelancaran lalu lintas di jalan tol akibat tidak tercapainya kecepatan minimum

yang disyaratkan, kendaraan *Over Dimension Over Load* (ODOL) dan seringkali menjadi penyebab terjadinya kecelakaan dengan fatalitas yang cukup tinggi.

ODOL sangat merugikan pemerintah dan masyarakat. Kerusakan jalan akibat ODOL memicu peningkatan anggaran pemeliharaan jalan nasional, jalan tol, dan jalan provinsi dengan biaya yang tidak sedikit dengan rata-rata biaya pemeliharaan sebesar Rp 43,45 triliun per tahun (BPJT, 2022). Dampak ODOL lainnya adalah membuat kerusakan infrastruktur lainnya seperti jembatan dan kerusakan kapal untuk pada penyeberangan serta menyebabkan kecelakaan lalu lintas yang mengakibatkan banyak korban jiwa, dan juga kerugian materil.

Angka kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh kendaraan ODOL cukup besar. Menurut Korlantas Polri (2022), pelanggaran ODOL menduduki peringkat ke 4 dari 11 jenis pelanggaran lalu lintas. Korlantas mencatat jumlah kecelakaan lalu lintas di jalan tol dan jalan nasional yang diakibatkan oleh ODOL merupakan kasus dengan laka massal dan fatal. Kendaraan ODOL menjadi penyebab laka massal dan laka fatal lantaran melibatkan tabrak beruntun dan tabrak belakang yang merenggut banyak korban jiwa dalam satu peristiwa.

Asosiasi Jalan Tol Indonesia (ATI) juga berperan aktif dalam pengendalian kendaraan ODOL. Beberapa upaya yang dilakukan adalah dengan melakukan operasi pencegahan kendaraan ODOL memasuki jalan tol, penindakan, serta menginstalasi teknologi sistem transportasi cerdas seperti *Weigh in Motion* (WIM). WIM adalah alat timbang kendaraan bermotor dengan metode pengukuran

bebas kendaraan yang dapat dilakukan ketika kendaraan dalam kondisi bergerak. WIM telah diterapkan pada beberapa jalan tol agar kendaraan ODOL dengan komitmen *zero* ODOL pada tahun 2023. Kementerian PUPR bersama Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) telah melakukan inovasi penerapan teknologi mesin *Weight in Motion* (WIM) yang terpasang di 10 ruas Jalan Tol, dan rencananya akan ditambah pemasangan di 23 ruas jalan tol (BPJT, 2022). Salah satu gerbang jalan tol yang menerapkan WIM adalah Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar.

Kendaraan yang paling banyak melakukan pelanggaran ODOL adalah golongan II dan III, namun untuk kendaraan Gol IV dan V sudah mulai tertib (ATI, 2022). Kendaraan yang melanggar dapat ditindak melalui *Electronic Traffic Law Enforcement* (ETLE) atau tilang elektronik, kemudian kendaraan berat yang akan masuk ke jalan tol langsung diberikan sanksi terkait sesuai dengan karcis kendaraan ODOL dan dikeluarkan secara langsung di pintu jalan tol terdekat. Pengelolaan kendaraan barang bermuatan besar di jalan tol juga merupakan bagian penting dari upaya modernisasi sistem jaringan jalan tol.

Kendaraan ODOL memberikan dampak yang negatif terhadap kualitas jalan, khususnya jalan tol sehingga dapat menimbulkan kecelakaan. Salah satu metode yang dapat mencegah terjadinya ODOL adalah memanfaatkan teknologi WIM untuk dapat mengidentifikasi kendaraan ODOL. WIM juga dapat menjadi rujukan dalam memberikan sanksi bagi kendaraan ODOL baik dalam bentuk tilang melalui ETLE, membayar kelebihan muatan dan pemberian tanda untuk dapat dikeluarkan secara langsung di pintu jalan tol terdekat. Artikel ini akan mengkaji mengenai pengendalian

ODOL di jalan tol sehingga dapat menjadi referensi pada pelaksanaan pengelolaan jalan tol.

Tujuan dari artikel Teknologi Sistem Transportasi Cerdas dalam Pengelolaan Kendaraan dengan Dimensi dan Muatan Lebih (*Over Dimension Over Load*) adalah mengkaji pengendalian kendaraan ODOL di jalan tol sebagai referensi pelaksanaan keberhasilan *zero* ODOL 2023 Nasional.

TINJAUAN PUSTAKA

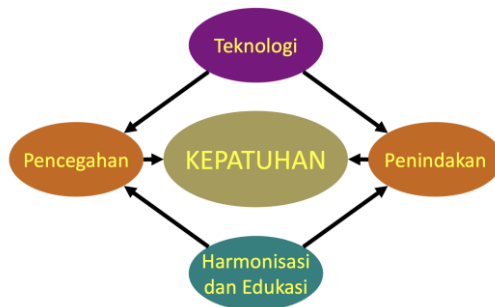
ODOL di Jalan Tol Indonesia

ODOL adalah keadaan dimana kendaraan mengangkut muatan yang melebihi beban yang ditetapkan dan dimensi pengangkut tidak sesuai dengan standar produksi dan ketentuan (Balitbang Kemenhub, 2021). *Overloading* pada angkutan barang merupakan komplikasi dari berbagai macam permasalahan, termasuk jaringan lintas angkutan barang yang belum optimal, letak Unit Pelaksanaan Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB) yang tidak strategis, kurangnya Sumber Daya Manusia (SDM) di UPPKB dan permasalahan lainnya. Selain hal tersebut, kemajuan teknologi industri yang menghasilkan produk angkutan barang yang harus diangkut oleh kendaraan truk besar melebihi daya dukung jalan sehingga mempercepat kerusakan jalan. Pertimbangan dari pelaku usaha untuk peningkatan efisiensi biaya operasional dan persaingan bisnis yang ketat mendorong pengusaha angkutan barang atau logistik untuk melakukan strategi *overloading* sehingga harga barang tetap kompetitif. Pemerintah memiliki peran kunci dalam

menyelesaikan masalah transportasi angkutan barang atau logistik.

Permasalahan *over dimension* masih banyak ditemukan di jalan tol yang disebabkan oleh masih banyak ditemukan truk yang beroperasi mengangkut muatan dengan ukuran melebihi ukuran yang ditentukan, terdapat ketidaksesuaian antara fisik kendaraan bermotor dengan dokumen, penindakan hukum terkait pelanggaran modifikasi kendaraan masih lemah. Sedangkan untuk permasalahan *overloading* diantaranya adalah pelanggaran muatan dengan muatan lebih dari 100 persen dari yang diizinkan, denda yang diberikan oleh pengadilan bukan merupakan denda maksimal, dan *overloading* dilakukan oleh pemilik barang, bukan oleh *transporter* atau pemilik armada.

Menurut Simatupang (2020), pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ODOL adalah (1) Pencegahan (preventif): perbaikan sistem dan prosedur pengendalian dan pengawasan, (2) Penindakan (investigatif): menanggulangi pelanggaran ODOL melalui deteksi, investigasi, dan penegakan hukum, dan (3) Edukasi: meningkatkan kesadaran kepatuhan dan mendorong partisipasi masyarakat sesuai dengan kapasitas dan kewenangan masing-masing.



Sumber: Simatupang (2020)

Gambar 1 Tol Pendekatan Holistik dalam Pengendalian ODOL di Jalan

Dalam rangka menuju menuju zero ODOL tahun 2024 perlu disusun peta jalan (*roadmap*) sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.



Sumber: Simatupang (2020)

Gambar 2 Peta Jalan Menuju Zero ODOL 2023

Pemanfaatan Teknologi *Intelligent Transport System* dalam Pengendalian ODOL di Jalan Tol

Pelanggar muatan dan dimensi berlebih (ODOL) di jalan berdampak terhadap rusaknya infrastruktur jalan dan jembatan serta fasilitas pelabuhan penyeberangan, sehingga kinerja keselamatan dan kelancaran lalu lintas menurun, biaya operasi kendaraan meningkat serta pada akhirnya akan berdampak terhadap kelancaran distribusi logistik nasional. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memitigasi terjadinya ODOL dengan menggunakan fasilitas penimbangan kendaraan barang kurang mengikuti perkembangan teknologi terkini.

Pada Tahun 2021, sudah dioperasikan 81 Unit Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB) dari 134 UPPKB yang telah

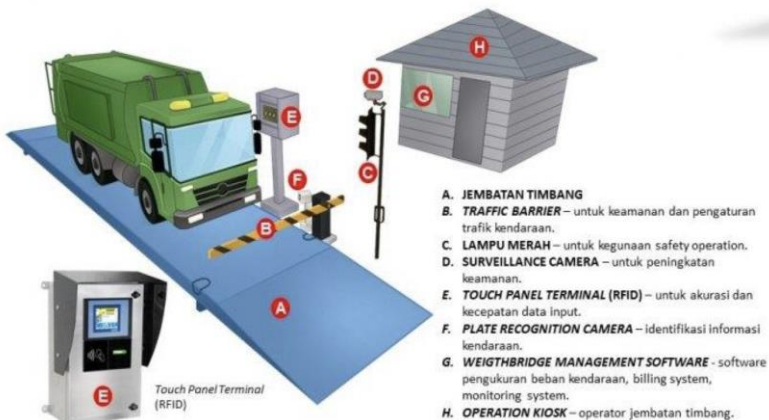
diserahterimakan dari Pemda ke Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (Ditjen Hubdat). Satu unit UPPKB diperlukan 42 personil sehingga untuk mengoperasikan 81 unit UPPKB diperlukan 3.402 orang.

Saat ini, personil yang tersedia adalah 473 orang sehingga masih kurang 2.929 orang. WIM bisa menjadi solusi dari kekurangan personil tersebut. WIM adalah suatu alat timbang kendaraan bermotor dengan metode pengukuran bebas kendaraan yang dapat dilakukan ketika kendaraan dalam kondisi bergerak. WIM dapat membantu mendeteksi truk ODOL dan dapat mengetahui berat kendaraan, kecepatan kendaraan, jumlah sumbu (*axis*), jarak per sumbu dan berat per sumbu. Dengan demikian, antrean kendaraan masuk UPPKB dapat dieliminasi.

Menurut Simatupang (2020), sensor di WIM dapat mengetahui dimensi panjang, lebar, tinggi, jarak sumbu, jurul depan, jurul belakang dan konfigurasi sumbu pada kendaraan. Ada *speed counting and truck detector* yang dapat melakukan penghitungan LHR, kecepatan kendaraan, dan merekam kendaraan yang tidak masuk UPPKB. Saat ini, pemanfaatan teknologi sistem transportasi cerdas (*Intelligent Transport System/ITS*) dalam pengendalian ODOL dengan sistem *online* sudah diterapkan pada di 73 Jembatan Timbang *Online* (JTO), yang terdiri atas 22 jembatan timbang yang sudah ada dan 51 jembatan timbang baru. Jembatan timbang *daring* atau JTO memiliki beberapa unsur, yaitu *Traffic Counting* untuk menghitung jumlah kendaraan keluar dan masuk, Sensor Dimensi untuk mengukur dimensi truk secara otomatis, dan *Truck Detector*, untuk mengetahui isi muatan truk.

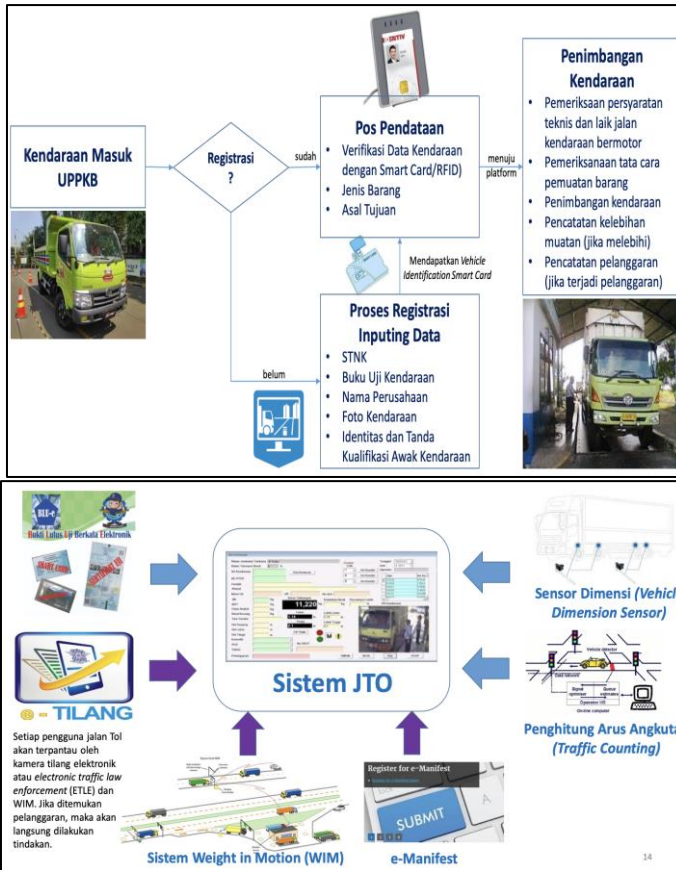
JTO akan terintegrasi dengan sistem Bukti Lulus Uji Elektronik (Blue) dari Direktorat Prasarana, Kementerian Perhubungan. Dengan integrasi sistem JTO dan sistem Blue, data kendaraan tidak perlu diinput lagi cukup dengan membaca kode dari *Smart Card* atau *QR Code*. Selain itu terdapat penerapan sistem Blue (*Output Smart Card*), Sertifikat Lulus Uji, dan Stiker Hologram yang datanya akan terintegrasi dengan sistem JTO sehingga diharapkan dapat membantu pengawasan dan penindakan pelanggaran angkutan barang.

Disamping itu, terdapat pengembangan jembatan timbang dilengkapi dengan sistem e-tilang untuk menghilangkan potensi hubungan langsung antara pihak pengemudi dengan para petugas. Apabila ada pelanggaran yang sudah tercatat di sistem kemudian jika sudah diinformasikan kepada pengemudi berapa kelebihannya, pengemudi akan langsung membayar ke bank atau melalui mesin EDC yang ada di masing-masing jembatan timbang. Ilustrasi sistem pelaksanaan JTO dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Sumber: Simatupang (2020)

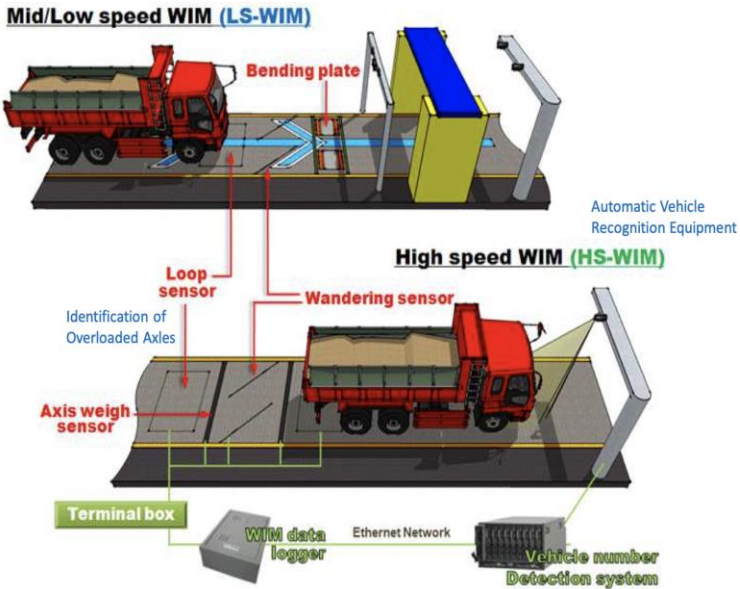
Gambar 3 Konsep Fasilitas Jembatan Timbang
(Combination of ANPR and RFID Technology)



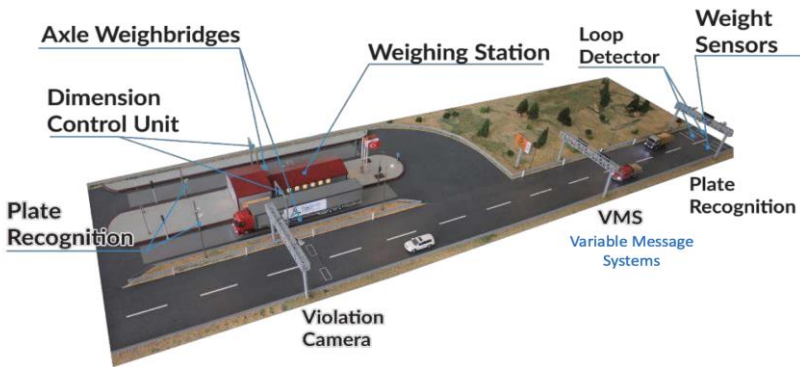
Sumber: Simatupang (2020)

Gambar 4 Teknologi Informasi dalam Pendataan dan Penimbangan ODOL dan Sistem Informasi JTO

Selanjutnya penggunaan teknologi pengukuran beban bergerak secara dinamik atau dikenal sebagai *Weigh in Motion (WIM)* menjadi sistem yang mampu memberikan pendataan dan pengendalian ODOL secara lebih akurat baik yang di pasang di jalan arteri nasional maupun di jalan tol. Ilustrasi WIM dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Sumber: Pemerintah Republik Indonesia (2021)
Gambar 5 Teknologi Sistem *Weight in Motion* (WIM)



Sumber: Pemerintah Republik Indonesia (2021)
Gambar 6 WIM dengan Peringatan Dini

PEMBAHASAN

Mekanisme Pemberlakuan Kendaraan ODOL Melintas di Jalan Tol

Terdapat 2 opsi metode alternatif kebijakan pemberlakuan kendaraan ODOL yang dapat dipilih oleh BUJT dan dapat dianggap paling sesuai dengan jalan tol yang dikelola, yaitu Opsi Model Kebijakan Denda dan Opsi Model Kebijakan Pelarangan. Berdasarkan kedua opsi kebijakan tersebut, setiap BUJT dapat memilih salah satu atau beberapa opsi dan alternatif metodenya agar menjadi kebijakan yang dapat diterapkan dan dijalankan oleh BUJT di setiap ruas jalan tol yang dikelola.

Pemberian 2 opsi dan beberapa alternatif didalamnya untuk mekanisme pemberlakuan kendaraan ODOL melintas jalan tol ini dilatarbelakangi oleh ketidakseragaman struktur geometri jalan tol di jalan akses tol, di segmen dekat pintu gerbang tol saat ini maupun struktur jalan utama jalan tol dengan ketersediaan pintu keluar terdekat serta adanya keterbatasan lahan. Pada saat menentukan opsi yang diusulkan, adalah sangat penting untuk memperhatikan atau untuk sejalan dengan peraturan atau dasar hukum yang berlaku agar tidak menimbulkan persoalan baru.

Pilihan alternatif terkait kebijakan ODOL di jalan tol disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pilihan Alternatif Terkait ODOL di Jalan Tol Secara Nasional

Alternatif Kebijakan (Ops)-Skala Prioritas	Prosedur Teknis di Lapangan	Pertimbangan	Konsekuensi bagi BUJT	Ketentuan Penting
Opsi 1	<p>Truk masuk ke dalam jalan akses menuju gerbang tol, Truk terdeteksi OD/OL (oleh WIM yang dipasang sebelum gerbang atau di gerbang atau setelah gerbang → truk OD/OL dikeluarkan ke pintu tol terdekat dan OD/OL diberi sanksi denda</p> <p>Catatan: alat kontrol beban dan dimensi terpasang di sebelum gerbang, atau Di gerbang tol, atau setelah gerbang tol.</p> <p><i>Disesuaikan dengan kondisi geometrik jalan (akses tol atau jalan tol)</i></p>	<p>Jalan akses menuju gerbang tol tidak memungkinkan menerapkan putar balik atau penyediaan jalan akses pengalih truk untuk menuju ke jalan raya (arteri).</p>	<p>BUJT memperkuat konstruksi jalan pada segmen yang akan dilalui oleh kendaraan OD/OL</p> <p>BUJT bersama BPJT dan Polri menentukan nilai denda ke truk OD/OL</p>	<p>Opsi yang dipilih oleh BUJT boleh lebih dari 1 opsi dan alternatif.</p> <p>Disesuaikan dengan kriteria atau kondisi geometrik jalan tol yang dikelola.</p> <p>Tetapi setiap BUJT harus melakukan kajian teknis terkait dengan penerapan alternatif kebijakan yang akan diambil.</p> <p>Kajian teknis disesuaikan standar yang terdapat di <i>Project Design Document (PDD)</i> BPJT ini.</p>
Opsi 2	<p>Truk masuk jalan akses menuju gerbang tol, truk terdeteksi WIM yang dipasang di jalan akses → truk OD/OL akan diarahkan kembali ke jalan raya (arteri).</p> <p>Catatan: alat kontrol beban dan dimensi terpasang di jalan akses menuju gerbang tol.</p>	<p>Jalan akses bisa/ memungkinkan dipasang alat kontrol beban dan dimensi.</p> <p>Tersedia lahan untuk dibangun jalur putar balik (atau bundaran) atau dibangun jalan pengalih arus.</p>	<p>BUJT harus menyiapkan lahan dan konstruksi pendukung yang secara lahan dan geometrik jalan memenuhi syarat termasuk keselamatan (safety) berupa:</p> <p>BUJT membangun jalan akses baru pengalih truk OD/OL agar tidak mengganggu kelancaran lalu lintas dan menjaga keselamatan berlalu lintas.</p> <p>ATAU, BUJT memodifikasi geometrik di ruas jalan utama untuk mengarahkan kendaraan kecil disebelah kiri dan kendaraan berat di sebelah kanan atau bisa juga berupa bundaran.</p>	

Sumber: Resdiansyah, dkk. (2021)

*) **Catatan:** Penyusunan opsi telah mempertimbangkan UU 38/2004 tentang Jalan dan UU 22/2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan

Diagram Mekanisme Pemberlakuan ODOL di Jalan Tol

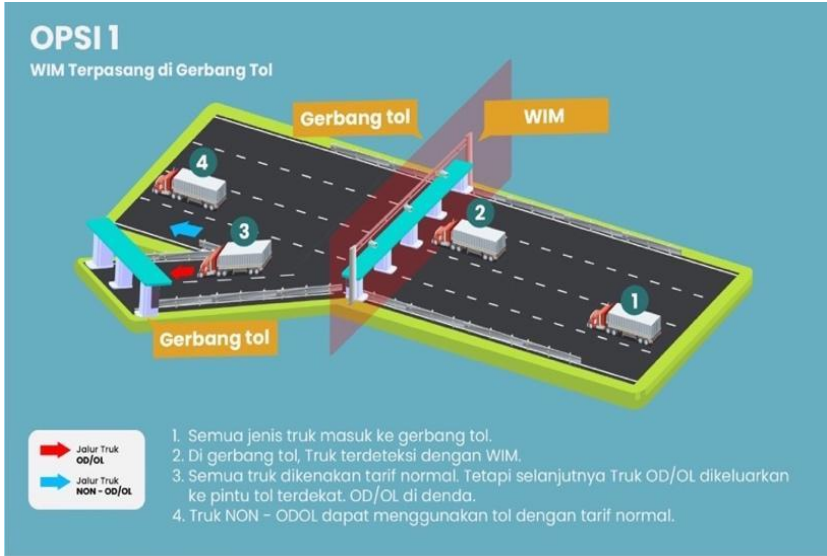
Pada setiap truk yang masuk ke jalan tol, truk terdeteksi sebagai ODOL atau bukan dapat diketahui dari informasi WIM dan sensor OD yang bisa dipasang pada titik yang dianggap sesuai dengan standar pemasangan teknologi WIM dan sensor OD. WIM dan sensor OD dapat ditempatkan di jalan akses sebelum gerbang tol masuk, atau WIM dan sensor OD berada di gerbang tol masuk, atau WIM dan sensor OD berada di jalan tol (setelah gerbang tol masuk).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 12.

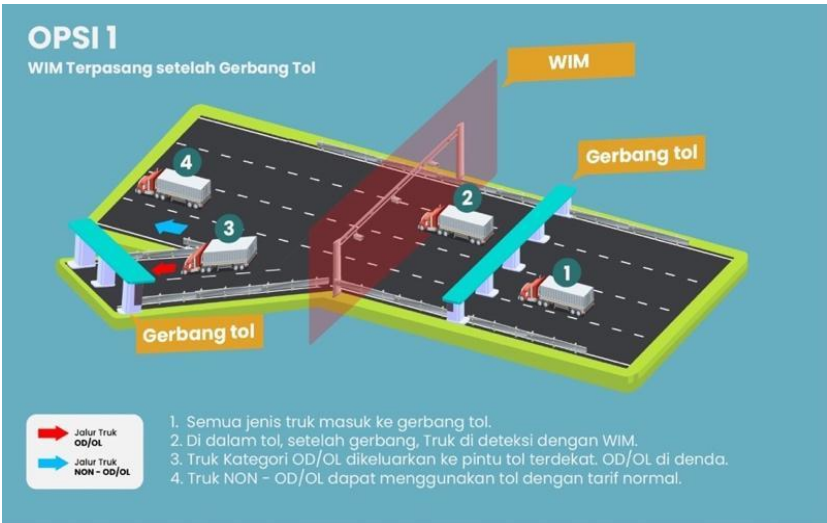


Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 7 Opsi 1 Alternatif 1



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)
Gambar 8 Opsi 1 Alternatif 2



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)
Gambar 9 Opsi 1 Alternatif 3

OPSI 2

Menyediakan akses khusus keluar Tol



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 10 Opsi 2 Alternatif 1

OPSI 2

Menyediakan akses putar balik (u - turn)



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 11 Opsi 2 Alternatif 2



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 12 Opsi 2 Alternatif 3

Model Bisnis Pengelolaan *Data Center* Kendaraan ODOL di Jalan Tol

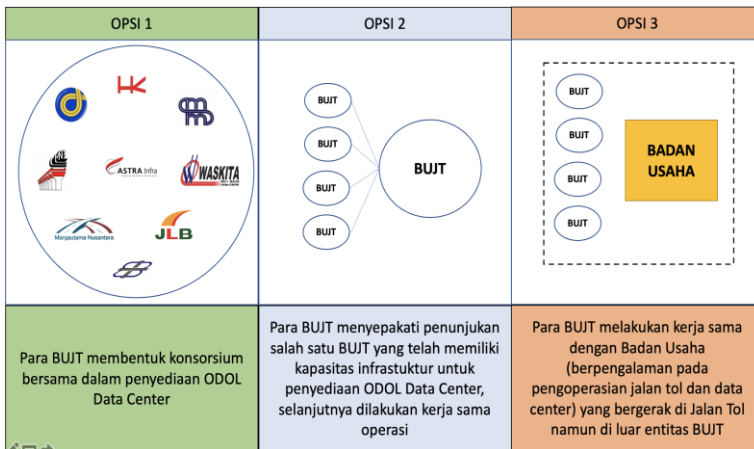
Dasar memilih model bisnis yang paling tepat adalah dengan melakukan kajian cepat fungsi dan benefit dari pusat data dalam pengendalian ODOL di jalan tol. *Data Center* atau Pusat Data, secara definisi menunjukkan suatu infrastruktur dengan berbagai fasilitasnya yang bisa menampung sistem komputer berdaya besar dengan segenap komponen penunjangnya, untuk jalan tol menampung semua sistem pengendalian ODOL dari semua BUJT dalam satu pusat data dengan fasilitas yang terdiri dari jaringan komputer dan penyimpanan yang digunakan oleh bisnis pengendalian ODOL jalan tol untuk mengatur, memproses, menyimpan, dan menyebarkan data ODOL dalam jumlah yang besar. Pusat data yang dibangun adalah yang *agile*, efisien, cerdas dan *future-proof*.

Pembangunan infrastruktur pusat data selain membutuhkan biaya besar, juga harus memenuhi syarat desain dan perencanaan yang mencakup keamanan lokasi, syarat rekayasa sipil, geologi, vulkanologi dan topografi. Tidak mudah persyaratan sebuah pusat data akan diterapkan di jalan tol khususnya pusat data untuk pengendalian ODOL.

Merujuk pada Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Tahun 2013 tentang Pedoman Teknis Pusat Data, keandalan dan kesuksesan suatu pusat data bergantung pada pemenuhan beberapa syarat diantaranya: (1) Fasilitas infrastruktur yang didesain dan dibangun berdasarkan standar yang sesuai dan praktik terbaik untuk mencapai operasi yang efisien dan andal, (2) Teknik manajemen yang menerapkan protokol dan prosedur operasi yang menjamin operasi pusat data andal dan efisien, dan (3) Perencanaan pemulihan bencana yang memiliki prosedur yang ditetapkan dan teruji untuk menghadapi setiap insiden yang mengganggu operasi pusat data dan memiliki suatu program pemulihan.

Fitur sistem pengamanan fisik meliputi akses *user* ke pusat data berupa kunci akses memasuki ruangan dan pengamanan non fisik dilakukan terhadap bagian *software* atau sistem yang berjalan pada perangkat tersebut, antara lain dengan memasang beberapa perangkat lunak keamanan. Merancang dan mengimplementasikan suatu pusat data yang andal diperlukan standar teknis yang memperhatikan desain ruang kegiatan, petunjuk operasional dan manajemen keberlangsungan bisnis untuk mengelola pusat data dan mengantisipasi setiap gangguan teknis dan kejadian lain yang dapat mengganggu operasi pusat data.

Secara komunikasi, pusat data harus memiliki koneksi komunikasi *data network* lebih dari 1 sumber dengan lebih dari 1 operator untuk tier tinggi (tier 3 dan 4). Jika diperlukan, penyiapan koneksi komunikasi data dapat menggunakan akses satelit, penyiapan jalur komunikasi untuk koordinasi dan komando, dan pengamanan jalur komunikasi untuk menjaga *confidentiality* suatu data/informasi. Gambar 13 menunjukkan opsi-opsi yang diberikan oleh BPJT dalam model bisnis pusat data pengendalian ODOL di jalan tol.



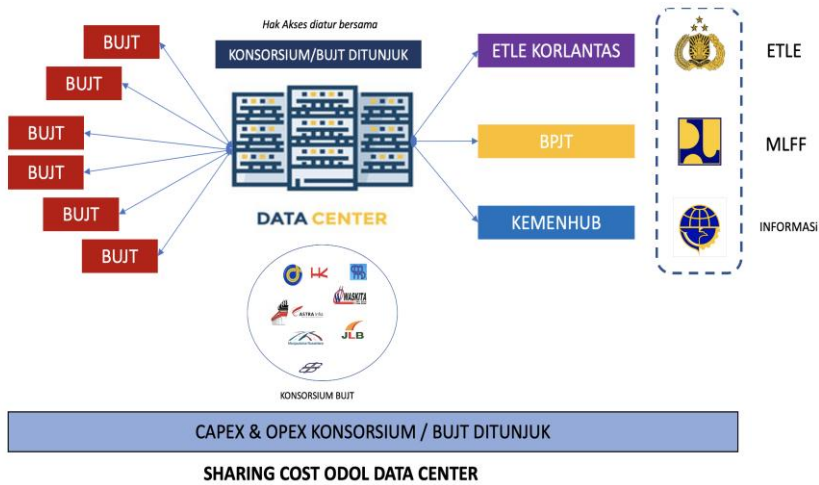
Sumber: Resdiansyah, dkk. (2021)

Gambar 13 Opsi Model Bisnis Pusat Data Pengendalian ODOL di Jalan Tol

Melihat dari keunikan dan kompleksitas dalam pembangunan pusat data dan merujuk kepada usulan awal atau opsi yang diberikan oleh BPJT seperti Gambar 13 di atas, maka diusulkan sebuah model bisnis pusat data seperti berikut ini merupakan inovasi gabungan opsi 1, 2 dan 3 dari BPJT. BUJT direkomendasikan untuk membuat konsorsium sebagai legal aspek dan dasar hukum untuk kerjasama dan kemudian melakukan penunjukan kepada salah satu BUJT yang telah memiliki kapasitas infrastruktur dasar (seperti *NoC/Network Operation Center* atau *TMC/Traffic Management Center*) sebagai

lokasi pusat data pengendalian ODOL. Selanjutnya dilakukan kerjasama operasi dengan Badan Usaha (BU) sebagai operator pusat data yang berpengalaman untuk menyesuaikan kebutuhan pusat data (pengembangan dan peningkatan) dengan investasi dibebankan pada BU yang ditunjuk dan diberi periode operasi dengan konsesi selama periode waktu yang disepakati bersama, sebagai contoh direkomendasikan 10 tahun.

Syarat penunjukan salah satu BUJT sebagai tempat beroperasinya pusat data adalah berdasarkan ketersediaan TMC/NoC yang penerapannya pada Tier 3 dalam pusat data (merupakan *data center* berstandar internasional dari segi infrastruktur, fasilitas dan tingkat keamanan). Memiliki tingkat *uptime* 99,982 %, atau dalam setahun waktu *downtime*-nya maksimal 1,6 jam). Selain itu, harus terdapat *backup data center* untuk pusat data di luar lokasi *data center* yang telah ditetapkan. Sistem memberikan pengelolaan sebagai operator pada BU (di luar entitas BUJT) yang secara profesional mengoperasikan sehingga biaya investasi *Capex* dan *Opex* bisa menjadi investasi BU pusat data tetapi lokasi *data center* dalam hal ini tetap berada dalam internal BUJT yang ditunjuk oleh konsorsium BUJT. Ketika masa konsesi berakhir maka dapat dikelola mandiri oleh konsorsium BUJT melalui BUJT yang ditunjuk dalam pengoperasiannya. Dalam standarisasi model bisnis pusat data maka pembiayaan pusat data termasuk biaya operasional dan perawatan adalah ditanggung bersama oleh BUJT berdasarkan bobot dari volume lalu lintas dan angkutan barang di jalan tol (Qb) dan panjang jalan tol yang dioperasikan (Lb).



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 14 Usulan Model Bisnis Pusat Data Pengendalian ODOL di Jalan Tol Secara Nasional

Kriteria Pemasangan Peralatan *Over Dimension (OD)* dan *Overload (OL)/WIM*

Dalam rangka mewujudkan program implementasi pengendalian kendaraan ODOL di jalan tol, maka diperlukan pemasangan peralatan OD dan OL/WIM di ruas jalan. Peralatan ini merupakan alat penimbangan metode dinamis, dimana proses penimbangan kendaraan bermotor dalam posisi bergerak. Sesuai ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 18 Tahun 2021, penimbangan kendaraan bermotor dilakukan pada lokasi tertentu di ruas jalan nasional dan jalan strategis nasional termasuk di ruas jalan tol. Alat penimbangan WIM dipasang secara permanen pada permukaan jalan (*in road WIM*).

Penggunaan alat penimbangan WIM bertujuan untuk memilah kendaraan angkutan barang yang melanggar dan tidak melanggar

jumlah berat yang diijinkan (JBI) atau jumlah kombinasi yang diijinkan (JBKI), dimana alat penimbangan WIM ini berfungsi sebagai penyaringan (*pre-selection*). Sesuai ketentuan, PR-DRJD Nomor 11 Tahun 2021, alat penimbangan WIM yang digunakan untuk penyaringan dilengkapi alat penunjang paling sedikit meliputi *loop detector*, kamera pengenalan plat nomor kendaraan (ANPR), kamera pengawasan (CCTV) dan sensor dimensi (*OD detection*). Spesifikasi teknis alat penimbangan WIM ini secara detail dijelaskan dalam PR-DRJD Nomor 1 Tahun 2021.

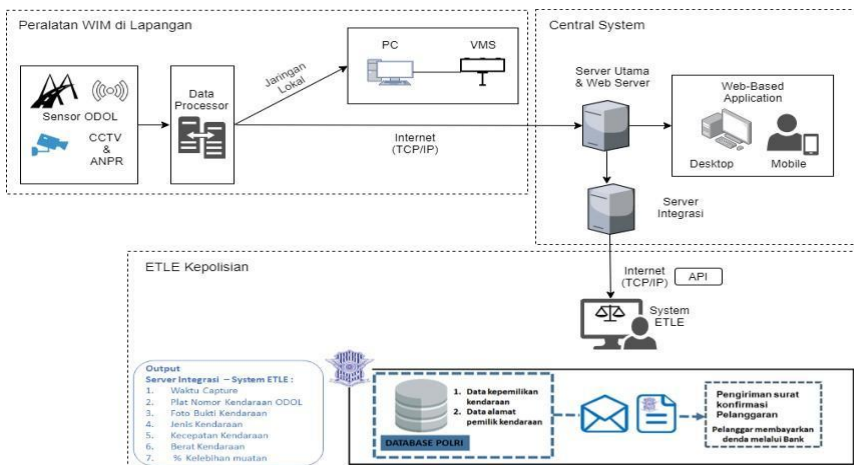
Alat penimbangan WIM yang diusulkan dalam proyek ini merupakan alat penimbangan WIM kategori kecepatan tinggi (*High Speed Weight in Motion*-HS WIM), dimana pemasangannya di jalur lalu lintas terbuka dengan kecepatan normal (yaitu 30 km/jam atau lebih) dan dalam kondisi lalu lintas bebas hambatan. Alat penimbangan HS-WIM digunakan untuk pengukuran berat kendaraan yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Spesifikasi teknik untuk statistik dan pengumpulan data alat penimbangan WIM di Indonesia merujuk pada standarisasi dari OIML R-134 (PR-DRJD Nomor 1 Tahun 2021).

Implementasi Teknologi WIM dan *Dimension Scanner* di Jalan Tol

Peralatan WIM dan sensor OD yang terpasang juga harus dapat terintegrasi dengan sistem penegakan hukum secara elektronik (ETLE) untuk mendukung kegiatan penegakan hukum terhadap kendaraan yang melanggar batas muatan kendaraan di jalan tol. Dalam hal ini BUJT harus berkoordinasi dengan pihak Kepolisian untuk melakukan pengintegrasian sistem. Hasil pengukuran peralatan terhadap kendaraan dengan muatan dan dimensi berlebih

akan digunakan sebagai bukti pelanggaran lalu lintas (*over load*) dan pidana (*over dimension*), yang prosesnya dilakukan secara otomatis oleh sistem terintegrasi selama 24/7. Peralatan WIM dan sensor OD yang digunakan sebagai dasar penegakan hukum harus memenuhi kriteria akurasi hasil pengukuran memenuhi ketentuan yang berlaku dan peralatan ODOL terpasang memiliki sertifikat tera yang diterbitkan oleh instansi berwenang.

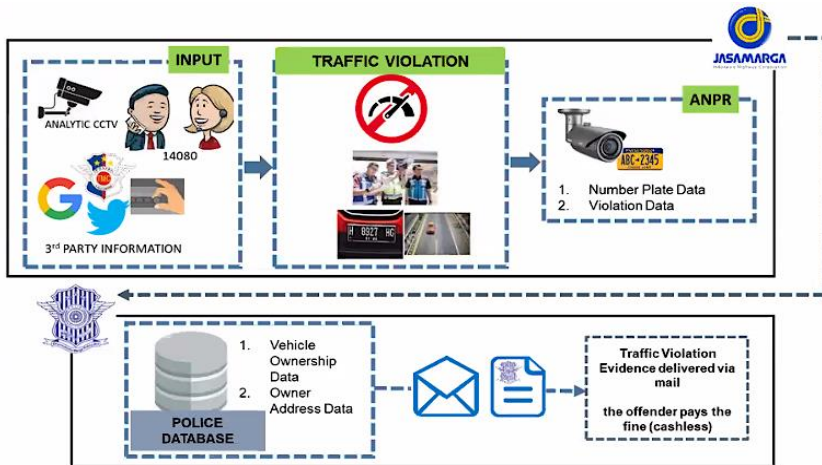
Hal-hal yang perlu disiapkan dalam rangka pertukaran data dan/atau informasi pelanggaran lalu lintas di jalan tol dengan Kepolisian adalah (1) Penyimpanan data rekaman hasil pengukuran perangkat ODOL, (2) Penyediaan *Application Programming Interface* (API) URL/link gambar dan/atau video yang akan ditarik ke sistem penegakan hukum elektronik, (3) Data yang dikirimkan harus memenuhi *Service Level Agreement* sebesar 99%, dan (4) Mitigasi resiko apabila terdapat kendala teknis terkait pertukaran data/informasi.



Sumber: Resdiansyah, dkk. 2021

Gambar 15 Skema WIM dengan ETLE untuk Kendaraan ODOL

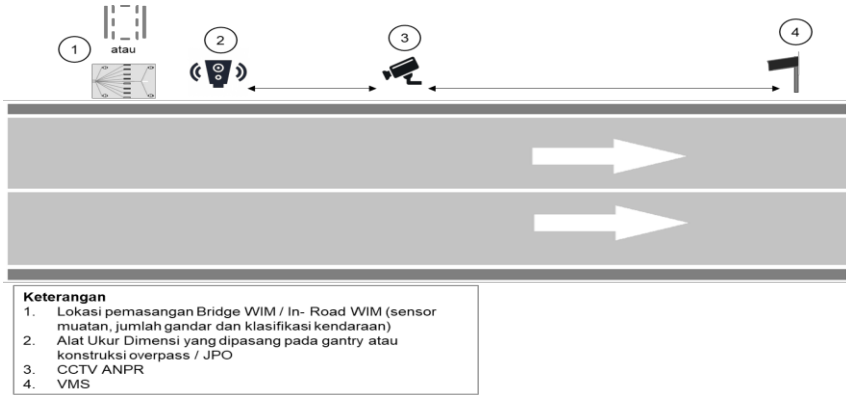
Sistem pada Gambar 15 tersebut mendeteksi kendaraan ODOL melalui teknologi pendeteksian pembebanan secara dinamik yaitu WIM untuk kemudiannya kendaraan terindikasi ODOL akan terekam kamera pengenalan plat nomor kendaraan (ANPR) dan data dihubungkan dengan data *Electronic Registration and Identification /ERI* kepolisian untuk menentukan identitas kendaraan pelanggar. Saat ini masih menggunakan jembatan timbang (*weight bridge*) untuk investigasi selanjutnya. Sistem yang dibangun saat ini juga masih bersifat parsial dalam sebuah ekosistem ITS dan memerlukan pengembangan dan peningkatan untuk menjadikannya sebuah satu kesatuan ekosistem ITS yang terintegrasi. Sebagai contoh gambar berikut adalah topologi sistem ETLT yang sudah dikembangkan untuk jalan tol oleh PT Jasa Marga.



Sumber: PT Jasa Marga (Persero) (2021)

Gambar 16 Integrasi ETLT dan Sistem Pemantauan Kecepatan Jalan Tol

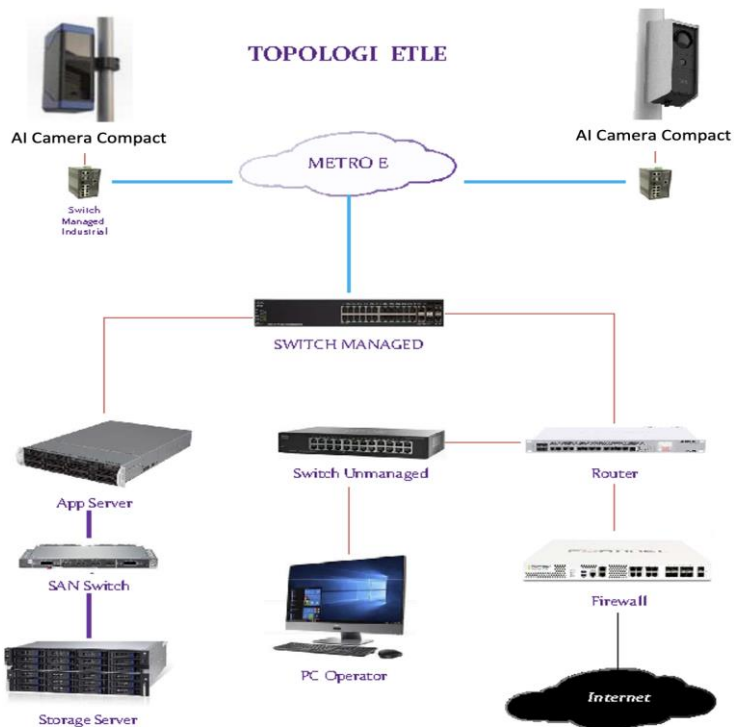
Berkaitan dengan alat ukur dimensi (OD), terlihat pada Gambar 17 berkaitan dengan lokasi alat ukur dimensi dapat diletakkan di sekitar alat pendeteksi muatan (OL) yaitu di lokasi sensor WIM. Pemasangan pada jalan utama (*main road*) harus menghindari lokasi rawan kepadatan untuk mendapatkan hasil yang akurat.



Sumber: Resdiansyah, dkk. 2021

Gambar 17 Kriteria Lokasi Pemasangan Alat Ukur Dimensi (OD)

Secara pengembangan dan peningkatan sistem pendeteksian pelanggaran ODOL maupun MLFF dapat dikembangkan dengan arsitektur berikut yang sudah *in line* dengan sistem yang dikembangkan oleh Korps Lalulintas (Korlantas) Polri untuk jalan perkotaan.



Sumber: Resdiansyah, dkk. 2021

Gambar 18 Topologi Arsitektur ETLE untuk ODOL



Sumber: Resdiansyah, dkk (2021)

Gambar 19 Ilustrasi Pemasangan Sensor OD Berbasis Scanner (*Camera Based*)

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Program *Zero* ODOL akan mengurangi biaya perbaikan jalan yang diakibatkan oleh armada ODOL sehingga anggarannya dapat dialokasikan untuk hal lain selain mengurangi kecelakaan di jalan tol. Direkomendasikan untuk tahapan menuju *zero* ODOL 2023 menerapkan teknologi sistem transportasi cerdas dalam upaya peningkatan dan keakuratan dalam pendeteksian kendaraan ODOL supaya pengendalian ODOL dapat dilakukan dengan cepat dan akurat.

Selanjutnya, diharapkan bahwa regulator dan BUJT mampu memastikan mekanisme kendaraan ODOL benar-benar bisa keluar di *exit* jalan tol terdekat dengan pemanfaatan teknologi sistem transportasi cerdas. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk tahapan menuju *zero* ODOL 2023 tetap meletakkan stasiun penegakan (*enforcement station*) di pintu keluar terdekat, petugas pengalihan kendaraan ODOL keluar jalan tol atau dengan sistem manajemen rekayasa lalu lintas (lampu merah dan hijau untuk memberikan panduan keluar tol bagi yang terdeteksi ODOL). Dalam rangka penegakan hukum yang lebih efektif, denda dikenakan kepada pemilik angkutan barang bukan dari sisi pengemudi. Untuk itu dasar hukum atau undang-undang lalu lintas harus direvisi untuk penentuan denda berkaitan pelanggaran ODOL, dan BUJT hendaknya dilibatkan dalam penyusunan SOP ODOL dan penentuan denda. Secara teknis, perhitungan kompensasi dihitung berdasarkan *Capex* dan *Opex* atas pemasangan WIM dan sensor dimensi (*scanner*).

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Jalan Tol Indonesia. 2022. *Asosiasi Jalan Tol Indonesia Ungkap Kontribusi soal Pembangunan Jalan Tol*. <https://www.kompas.tv/article/333571/asosiasi-jalan-tol-indonesia-ungkap-kontribusi-soal-pembangunan-jalan-tol>. Diakses 15 Oktober 2022.
- Badan Pengatur Jalan Tol. 2022. *Dampak dari Kendaraan Over Dimension Over Loading (ODOL) yang melintas di Jalan Tol*. <https://bpjt.pu.go.id/berita/dampak-dari-kendaraan-over-dimension-over-loading-odol-yang-melintas-di-jalan-tol>. Diakses 13 Oktober 2022.
- Jasa Marga, PT. 2021. *Design Platform ITS dan ETC di Jalan Tol: Blue Print ITS Jasa Marga*. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor PR-DRJD Nomor 1 Tahun 2021 tentang Pedoman Teknis Pengoperasian Alat Penimbang Kendaraan Bermotor Metode Dinamis di Jalan*. Jakarta.
- Resdiansyah, Ilham Malik, IB. Asmi, A. Yulianto, B. Philip Sitorus, FJ. 2021. *Naskah Akademik Project Design Document (PDD) Pengendalian ODOL di Jalan Tol*. Badan Pengatur Jalan Tol. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Simatupang, TM, 2020. *Digitalisasi Penanggulangan Kendaraan Kelebihan Dimensi dan Muatan atau Over Dimension dan Over Load (ODOL)*. Seminar Nasional Transportasi Truk ODOL, Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.
- Yostisa, R. 2021. *Kajian Pengendalian Over Dimensi Over Loading*. Badan Kebijakan Transportasi. Kementerian Perhubungan. <https://baketrans.dephub.go.id/berita/kajian-pengendalian-over-dimensi-over-loading>. Diakses 11 Oktober 2021.



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

SURVEILANS KONDISI PERMUKAAN JALAN TOL DAN KEBIJAKAN PEMELIHARAAN BERBASIS *DECISION SUPPORT SYSTEM* SERTA KECERDASAN BUATAN

**Imam Muthohar, Akhmad Aminullah, Teguh Bharata Adji, Syukron Abu
Ishaq Alfarozi, Latif Budi Suparma**
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

PENDAHULUAN

Manajemen risiko dalam pengelolaan aset infrastruktur jalan tol merupakan upaya untuk meminimalkan risiko yang mungkin terjadi sehingga institusi yang terkait dalam pengelolaan aset infrastruktur jalan tol dapat membuat langkah-langkah pengendalian dan pencegahannya sedini mungkin. Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk meminimalkan risiko tersebut dapat dilakukan melalui aktivitas *predict* dan *prevent* untuk pemeliharaan jalan tol.

Predict yaitu kegiatan untuk menggabungkan metode yang terdiri dari beberapa prediksi baik prediksi masa lalu, sekarang, dan masa depan sebelum menemukan solusi untuk menghindari risiko. *Prevent* yaitu berupaya mengurangi kecenderungan munculnya risiko yang terjadi di masa depan dengan mengidentifikasi batas-batas kegiatan, dimana pelanggaran batas dapat menyebabkan risiko. Pelaksanaan kegiatan-kegiatan di atas merupakan bagian dari manajemen risiko proaktif yang berupaya mengidentifikasi semua

risiko yang relevan lebih awal, sebelum insiden kerusakan pada struktur jalan tol terjadi.

Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol sebagaimana diatur dalam PM PUPR 16/PRT/M/2014 adalah ukuran jenis dan mutu pelayanan dasar yang harus dicapai dalam pelaksanaan penyelenggaraan jalan tol. SPM Jalan Tol mencakup substansi pelayanan kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan, unit pertolongan/ penyelamatan dan bantuan pelayanan, lingkungan, serta tempat istirahat dan tempat istirahat dan pelayanan untuk menjamin keselamatan, kenyamanan dan kelancaran perjalanan pada jalan tol yang beroperasi. Bagi Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), SPM ini sebagai instrumen dalam memonitor kinerja jalan tol yang beroperasi. Sedangkan untuk Badan Usaha Jalan Tol (BUJT), SPM ini sebagai pedoman pemenuhan kinerja pengoperasian jalan tol sekaligus sebagai dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan kegiatan pemeliharaan dan rehabilitasi manakala terdapat kerusakan. Selanjutnya, bagi Pengguna Jalan Tol, SPM ini memberikan jaminan keselamatan, kenyamanan dan kelancaran perjalanan di jalan tol yang dilalui.

Kegiatan penerapan Teknologi *Artificial Intelligence* untuk Operasional Jalan Tol di Indonesia memiliki peran penting sebagai upaya mendukung terwujudnya pemenuhan SPM Jalan Tol terutama dalam hal percepatan deteksi adanya kerusakan pada perkerasan jalan yang ditindaklanjuti dengan upaya penanganannya sesuai interval waktu yang ditetapkan. Efektivitas dan efisiensi pelaksanaan kegiatan monitoring kerusakan perkerasan jalan tol perlu terus ditingkatkan dengan menerapkan *Decision Support System* (DSS)

dan Kecerdasan Buatan atau *Artificial Intelligence*, menuju penanganan yang bersifat preventif. Tujuan dari artikel ini adalah 1) Mengidentifikasi tipologi jenis kerusakan jalan tol baik pada perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), ataupun perkerasan komposit (*composite pavement*), dan 2) Mengembangkan perangkat lunak dengan kecerdasan buatan sebagai dasar untuk monitoring kerusakan perkerasan jalan tol.

TINJAUAN PUSTAKA

Tipologi dan Penanganan Kerusakan Perkerasan Jalan

Kerusakan pada jalan tol memiliki tipologi yang berbeda untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Tipologi kerusakan jalan pada perkerasan lentur ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan tipologi kerusakan jalan pada perkerasan kaku ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Tipologi Kerusakan Jalan pada Perkerasan Lentur

No	Jenis Kerusakan	Deskripsi	Tingkat Kerusakan	
1	Retak Melintang (<i>thermal cracking transverse cracking in full-depth asphalt pavement</i>)	Retak melintang retak yang terletak melintang dengan badan jalan retak melintang atau disebut retak thermal diakibatkan karena siklus suhu pada perkerasan	Ringan	Lebar retak <0,25 in
			Sedang	Retak dengan lebar >0,25-<0,75 in dengan lokasi yang berdekatan pada tingkat kerusakan ringan
			Berat	Retak dengan lebar > 0,75 in dengan lokasi yang acak atau berdekatan pada tingkat kerusakan sedang atau berat

Tabel 1 Tipologi Kerusakan Jalan pada Perkerasan Lentur (lanjutan)

No	Jenis Kerusakan	Deskripsi	Tingkat Kerusakan	
2	Retak Memanjang (<i>longitudinal cracking</i>)	Retak memanjang sejajar dengan marka pembagi jalan	Ringan	Lebar retak <0,25 in
			Sedang	Retak dengan lebar >0,25- <0,75 in dengan lokasi yang berdekatan pada tingkat kerusakan ringan
			Berat	Retak dengan lebar > 0,75 in dengan lokasi yang acak atau berdekatan pada tingkat kerusakan sedang atau berat
3	Retak Tepi (<i>edge cracking</i>)	Retak tepi hanya berlaku untuk perkerasan yang tidak memiliki bahu diperkeras	Ringan	Retak yang terjadi tanpa menimbulkan pecah atau kehilangan material
			Sedang	Retak dengan sedikit bagian pecah dan retak yang terjadi tidak lebih dari 10 % dari panjang retakan
			Berat	Retak dengan celah yang besar disertai dengan kerusakan lebih dari 10% panjang retakan
4	Retak Refleksi Sambungan (<i>reflective cracking</i>)	Retak refleksi terjadi pada permukaan <i>overlay</i> dikarenakan adanya tekanan pada lapisan bawah permukaan, mencakup retak yang terjadi pada lapis beton aspal yang dihampar pada perkerasan kaku bersambung, tidak mencakup retak yang berasal dari lapis fondasi lain yang distabilisasi	Ringan	Lebar retak <0,25 in
			Sedang	Retak dengan lebar >0,25- <0,75 in dengan lokasi yang berdekatan pada tingkat kerusakan ringan
			Berat	Retak dengan lebar > 0,75 in dengan lokasi yang acak atau berdekatan pada tingkat kerusakan sedang atau berat

Tabel 1 Tipologi Kerusakan Jalan pada Perkerasan Lentur (lanjutan)

No	Jenis Kerusakan	Deskripsi	Tingkat Kerusakan	
5	Retak Kulit Buaya (<i>fatigue cracking</i> (<i>alligator cracking</i>))	Retak Buaya merupakan rangkaian retakan yang saling berhubungan yang berkembang menjadi banyak sisi atau menyerupai jaringan	Ringan	Retak tidak saling berhubungan atau membentuk jaringan, retakan tidak terkelupas
			Sedang	Retakan membentuk jaring yang saling terhubung, sedikit terjadi <i>spalling</i>
			Berat	Retakan membentuk pola baik jaring maupun kulit buaya, retakan mulai mengelupas, <i>pumping</i> atau keluarnya air pada retakan mungkin dapat terlihat
6	Retak Block (<i>block cracking</i>)	Retak <i>block</i> berbentuk pola retak persegi dimulai dari luas 1 kaki hingga 100 kaki persegi (0,30 m ² -3 m ²)	Ringan	Lebar retak <0,06 in
			Sedang	Retak dengan lebar >0,06- <0,25 in dengan lokasi yang berdekatan pada tingkat kerusakan ringan
			Berat	Retak dengan lebar > 0,25 in dengan lokasi yang acak atau berdekatan pada tingkat kerusakan sedang atau berat
7	Lubang (<i>potholes</i>)	Cekungan yang terjadi pada jalan dengan berbagai jenis ukuran, lubang ini menampung dan bahkan meresapkan air ke struktur perkerasan	Ringan	Kedalaman kurang dari 1 in diameter 4-8 in
			Sedang	Kedalaman 1 in-2 in diameter 8-18 in
			Berat	Kedalaman lebih dari 2 in diameter >18 in

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Tabel 2 Tipologi Kerusakan Jalan pada Perkerasan Kaku

No	Jenis Kerusakan	Deskripsi	Tingkat Kerusakan	
1	Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	Retak memanjang sejajar dengan marka pembagi jalan atau membagi slab beton searah dengan jalan	Ringan	Retak tanpa penyumbat yang lebarnya <13 mm (<½ in) atau setiap retak dengan penyumbat dengan penyumbat mempunyai kondisi yang memadai.
			Sedang	Retak tanpa bahan penyumbat dengan lebar antara >13 mm (>½ in) dan <50 mm (<2 in).
			Berat	Retak tanpa bahan penyumbat dengan lebar >50 mm (>2 in), setiap retak yang disertai <i>faulting</i> >10 mm (¾ in).
2	Retak Melintang (<i>Transverse Cracking</i>)	Retak melintang retak yang terletak melintang dengan badan jalan	Ringan	Retak tanpa penyumbat yang lebarnya <13 mm (<½ in) atau setiap retak dengan penyumbat dengan penyumbat mempunyai kondisi yang memadai
			Sedang	Retak tanpa bahan penyumbat dengan lebar antara >13 mm (>½ in) dan <50 mm (<2 in)
			Berat	Retak tanpa bahan penyumbat dengan lebar >50 mm (>2 in), setiap retak yang disertai <i>faulting</i> >10 mm (¾ in)
3	Gumpal pada Sambungan (<i>Spalling of Joints and Cracks</i>)	Retakan yang terjadi pada sambungan atau joint dimana dianggap spalling bila retak terjadi dalam jarak 30 cm dari permukaan <i>joint</i>	Ringan	Pecahan < 3 in, lebar area pecahan tanpa kehilangan material serta tambalan
			Sedang	Pecahan 3 in-6 in, pecahan disertai dengan kehilangan material
			Berat	Pecahan > 6 in, pecahan disertai kehilangan material dan patahan komponen dan adanya area tambalan

Tabel 2 Tipologi Kerusakan Jalan pada Perkerasan Kaku (lanjutan)

No	Jenis Kerusakan	Deskripsi	Tingkat Kerusakan	
4	Retak Sudut (<i>Corner Breaks</i>)	Retak sudut merupakan retak yang memotong sambungan pada jarak yang kurang dari atau Sama dengan setengah panjang kedua sisi panel, yang diukur dari titik sudut panel	Ringan	Ditandai oleh retak dengan tingkat keparahan rendah. Retak dengan tingkat keparahan rendah adalah retak yang lebarnya <13 mm ($\frac{1}{2}$ in)
			Sedang	Ditandai oleh retak dengan tingkat keparahan rendah. Retak dengan tingkat keparahan rendah adalah retak yang lebarnya <13 mm ($\frac{1}{2}$ in)
			Berat	Retak Dengan tingkat keparahan tinggi adalah retak tanpa bahan penyumbat yang lebarnya > 50Mm (2 in) dan <50 mm (2 in), atau setiap retak dengan bahan penyumbat atau tanpa bahan Penyumbat disertai penanggaaan >10 mm atau $\frac{3}{8}$ in
5	Pumping and Water Bleeding	Pemompaan merupakan fenomena keluarnya bahan fondasi melalui sambungan atau retak. Pemompaan terjadi akibat defleksi pelat pada saat roda kendaraan melintasi sambungan; pertama-tama air di bawah panel yang pertama tertekan dan kemudian tertekan kembali oleh panel yang kedua	Tidak ada batasan tingkat keparahan pemompaan	

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Kegiatan pemeliharaan pada ruas jalan dengan kondisi mantap dan khususnya pada ruas jalan yang sudah diindikasikan terjadi penurunan kondisi ditangani melalui pemeliharaan preventif, untuk

menunda laju penurunan kondisi perkerasan jalan. Hal tersebut, dipandang lebih menguntungkan secara biaya jika dibandingkan penanganan reaktif, sehingga akan berdampak signifikan terhadap keseluruhan program pembiayaan pemeliharaan. Beberapa keuntungan lain pemeliharaan preventif yaitu mengurangi kerusakan di masa mendatang, mempertahankan atau meningkatkan kondisi fungsional dari perkerasan, dan memperpanjang masa layan perkerasan sesuai umur rencana.

Sementara itu, panduan pemilihan teknologi penanganan kerusakan jalan berdasarkan tipe perkerasannya dapat dilihat beberapa pilihannya pada Direktorat Jenderal Bina Marga (2017; 2018) dan USACERL TR M-90/05 (1990) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Jenis Penanganan Kerusakan Jalan Berdasarkan Tipe Perkerasan

No	Jenis Kerusakan	Jenis Penanganan
A Perkerasan Lentur		
1	Retak Melintang	<i>Fog Seal, Ultra Thin Bounded Wearing Course (UBWC), Thin Hot Mix Asphalt Mill/Fill (Thin HMA Inlay), Crack Sealing/Routing and Filling, Chip Seal, Microsurfacing, Flush Seal</i>
2	Retak Memanjang	<i>Fog Seal, Ultra Thin Bounded Wearing Course (UBWC), Thin Hot Mix Asphalt Mill/Fill (Thin HMA Inlay), Crack Sealing/Routing and Filling, Chip Seal, Microsurfacing, Flush Seal</i>
3	Retak tepi	<i>Ultra Thin Bounded Wearing Course (UBWC), Thin Hot Mix Asphalt Mill/Fill (Thin HMA Inlay), Crack Sealing/Routing and Filling, Chip Seal, Microsurfacing, Flush Seal</i>
4	Retak refleksi	<i>Crack Sealing/Routing and Filling</i>
5	Retak kulit buaya	<i>Microsurfacing</i>
6	Retak blok	<i>Microsurfacing</i>
7	Lubang / potholes	<i>Patching</i>

Tabel 3 Jenis Penanganan Kerusakan Jalan Berdasarkan Tipe Perkerasan
(lanjutan)

No	Jenis Kerusakan	Jenis Penanganan
B Perkerasan Komposit		
1	Retak Melintang	<i>Fog Seal, Chip Seal, Microsurfacing, Scrub Seal</i>
2	Retak Memanjang	<i>Fog Seal, Chip Seal, Microsurfacing, Scrub Seal</i>
3	Retak tepi	<i>Crack Sealing/ Routing and Filling, Chip Seal, Microsurfacing</i>
4	Retak refleksi	<i>Crack Sealing/ Routing and Filling</i>
5	Retak kulit buaya	<i>Microsurfacing</i>
6	Retak blok	<i>Microsurfacing</i>
7	Lubang / potholes	<i>Patching</i>
C Perkerasan Kaku		
1	Retak memanjang	<i>PCCP Joint and Crack Sealing, Cross Stitching, Crack Sealing/Filling, Full Depth Repair</i>
2	Retak melintang	<i>PCCP Joint and Crack Sealing, Cross Stitching, Crack Sealing/Filling, Full Depth Repair</i>
3	Gompal pada sambungan	<i>PCCP Joint and Crack Sealing, Partial Depth Repair</i>
4	Retak sudut	<i>PCCP Joint and Crack Sealing, Crack Sealing /Filling, Partial Depth Repair, Full Depth Repair</i>
5	<i>Water bleeding / pumping</i>	Perlu penanganan lebih lanjut

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017; 2018) dan USACERL TR M-90/05 (1990)

Penggunaan Kecerdasan Buatan untuk Deteksi Objek Kerusakan Jalan

Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) adalah kecerdasan pada mesin yang disintesis seperti pada manusia dan hewan yang dikembangkan dengan menggunakan berbagai teknik komputasi oleh manusia. Kecerdasan buatan ini memungkinkan komputer untuk berpikir, yaitu memproses suatu masukan dan menghasilkan suatu luaran yang dapat berupa ekstraksi informasi, memberikan rekomendasi, mengambil tindakan, dan lain-lain (Russell, 2010).

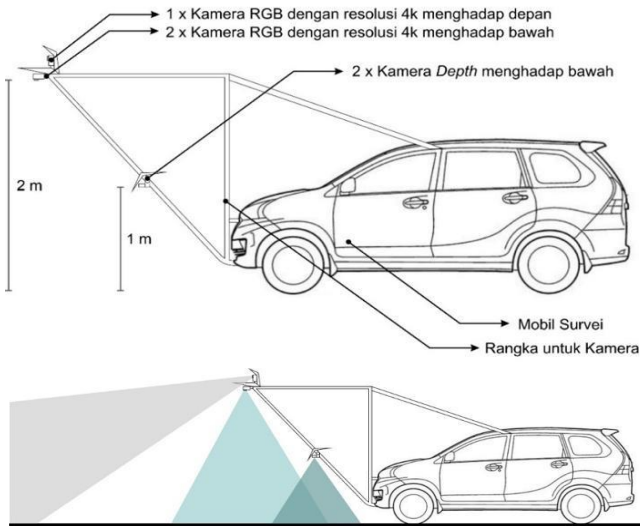
Implementasi kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* dalam hal pengolahan citra disebut sebagai *computer vision* (CV) (Stockman, 2001). Jika AI mampu membuat komputer untuk dapat berpikir layaknya manusia, maka CV mampu membuat komputer untuk dapat melihat. Implementasi CV pada suatu ekosistem berbasis komputer akan membuat sistem tersebut mampu mengambil informasi (data yang sudah bisa dipahami makna dan fungsinya) dari gambar, video, maupun *input* visual lainnya, bahkan mampu memberikan rekomendasi atau mengambil tindakan berdasarkan informasi yang telah didapatkan. Penggunaan CV pada deteksi kerusakan jalan seperti pada trotoar sudah pernah dilakukan (Yang, 2020 dan Gopalakrishnan, 2017).

Ada banyak metode untuk mendeteksi objek. Salah satunya berasal dari keluarga arsitektur *deep learning* model *Convolutional Neural Network* (CNN) (Lecun, 1989). CNN digunakan untuk mendeteksi objek secara *real time* yaitu model *You Only Look Once* (YOLO) (Redmon, 2016). Hal ini, dikarenakan model-model berbasis YOLO memiliki arsitektur dengan ukuran model yang relatif lebih kecil dengan waktu/beban komputasi yang lebih rendah/ringan sehingga mampu melakukan deteksi objek secara *real-time*, namun tetap memiliki performa yang baik.

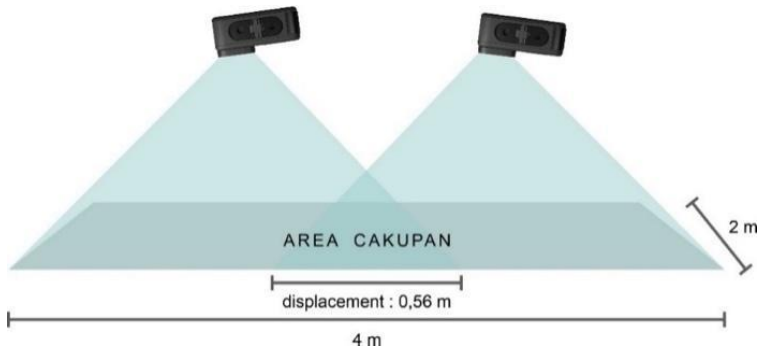
Secara spesifik, model yang digunakan dalam kegiatan ini adalah hasil *fine tune* dari model dengan nama seri YOLOv5l6, yang mana memiliki arti keluarga YOLO versi kelima dengan ukuran *large* dan rilis versi keenam. Model YOLO yang sudah ditrain berbagai data deteksi objek seperti Pascal VOC dapat digunakan lebih lanjut menggunakan teknik *transfer learning* untuk permasalahan yang lain (Everingham, 2009).

Penyiapan Instrumen Kerja untuk Pelaksanaan Survei

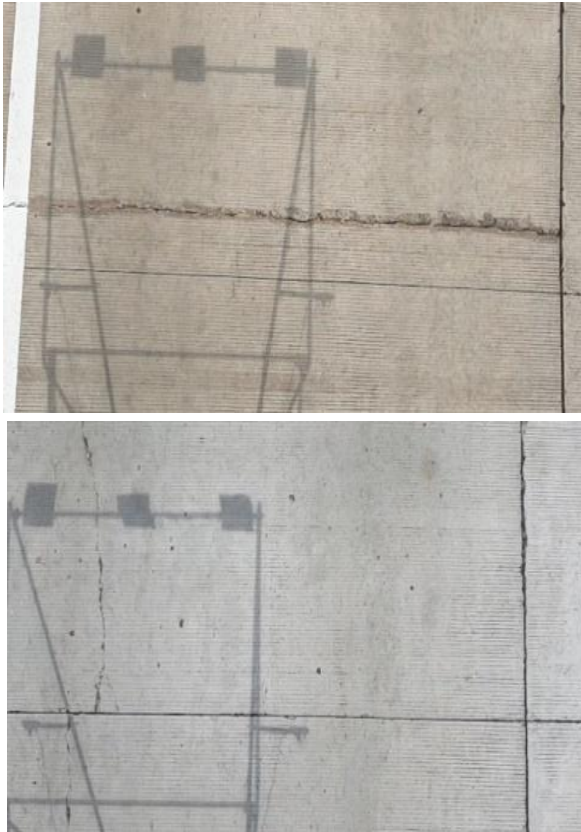
Instrumen kerja yang digunakan untuk survei kegiatan ini menggunakan kendaraan survei yang ditunjukkan pada memiliki beberapa bagian antara lain mobil survei (1 unit), rangka untuk *mounting* untuk kamera (1 set), rangka berupa pipa besi dengan *strap* untuk memperkuat struktur. Rangka kamera memiliki ketinggian untuk *mounting* kamera RGB 2 meter dan ketinggian untuk *mounting* kamera *depth* 1 meter, dan kamera RGB 3 unit yang digunakan pada survei ini adalah GoPro Hero 9 dengan spesifikasi yang sama dengan kamera RGB pada survei pendahuluan. Kamera RGB digunakan untuk mendeteksi berbagai macam kerusakan dengan atribut yang didapatkan antara lain adalah lokasi, jenis kerusakan, dimensi panjang dan lebar kerusakan.



Gambar 1 Instrumen Kerja Mobil Survei dan Jangkauan Kamera dengan Menggunakan *Mounting*



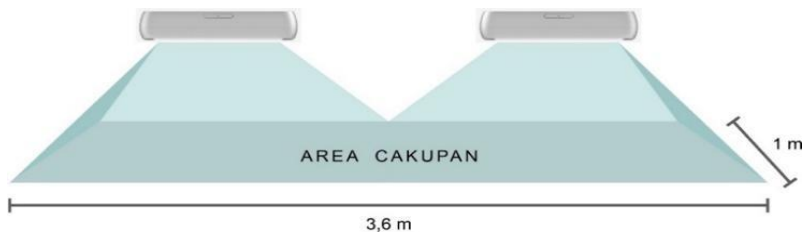
Gambar 2 Area Cakupan untuk Kamera RGB (GoPro Hero 9)



Gambar 3 Hasil Pengambilan Gambar RGB

Selanjutnya juga diperlukan Kamera *Depth* atau *Depth Camera* (2 unit) merupakan kamera yang dapat mendeteksi kedalaman suatu permukaan atau menentukan jarak menggunakan teknologi *infrared* yang terdapat pada perangkat kamera tersebut. *Depth Camera* berfokus pada deteksi kerusakan yang lebih besar yaitu lubang, dengan atribut yang didapatkan antara lain dimensi panjang, lebar lubang, kedalaman lubang, bentuk lubang, lokasi lubang, dan luasan lubang. Kamera *depth* yang digunakan pada survei inti adalah *Intel Realsense Depth Camera D455* dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Penggunaan : untuk dalam atau luar ruangan
2. Jangkauan ideal : 0,6 hingga 6 meter
3. *Depth technology* : *Stereoscopic*
4. Jarak kedalaman minimum : 52 cm
5. Akurasi kedalaman : <2% pada 4 meter
6. *Depth frame rate* : 90 fps
7. Konektor : usb tipe C



Gambar 4 Area Cakupan untuk *Depth Camera*



Gambar 5 Hasil Pengambilan Gambar *Depth Camera*

Peralatan pendukung lainnya adalah gawai untuk koneksi dengan kamera, laptop, *inverter* atau pengubah daya dari dc ke ac, kabel *power* kamera, kabel USB tipe A ke USB tipe C untuk koneksi kamera, dan *harddisk* eksternal untuk menyimpan data survei. Digunakannya kamera *depth* maka dibutuhkan program untuk menjalankan kamera tersebut ketika mobil berjalan.

PEMBAHASAN

Identifikasi Tipologi Kerusakan Perkerasan (Kasus: Ruas Pemalang – Batang)

Terdapat 3 (tiga) jenis perkerasan yang terdapat pada ruas-ruas jalan tol yang diidentifikasi, antara lain perkerasan kaku, lentur, dan komposit. Secara umum, survei ini mengidentifikasi kerusakan retak dan lubang. Tipologi kerusakan pada perkerasan jalan yang diidentifikasi pada masing-masing jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Tipologi Kerusakan Jalan untuk Tipe Perkerasan Lentur dan Komposit

No	Jenis Kerusakan	Kode (Perkerasan Lentur)	Kode (Perkerasan Komposit)
1	Retak Melintang	F1	Ko1
2	Retak Memanjang	F2	Ko2
3	Retak tepi	F3	Ko3
4	Retak refleksi / retak pada sambungan	F4	Ko4
5	Retak kulit buaya	F5	Ko5
6	Retak blok	F6	Ko6
7	Lubang/ <i>potholes</i>	F7	Ko7
8	Kerusakan lainnya	F8	Ko8

Tabel 5 Tipologi Kerusakan Jalan untuk Tipe Perkerasan Kaku

No	Jenis Kerusakan	Kode
1	Retak memanjang	K1
2	Retak melintang	K2
3	Gompal pada sambungan	K3
4	Retak sudut	K4
5	<i>Water bleeding/pumping</i>	K5
6	Kerusakan lainnya	K6

Selain tipologi kerusakan di atas, terdapat jenis kerusakan lain yang teridentifikasi pada ruas-ruas jalan tol tersebut, seperti *raveling*/pelepasan butiran, *alur/rutting*, *shoving*/gelombang, *patch deterioration*, lubang pada *patch*, pengausan, pelepasan aspal, bekas kecelakaan, dan *bleeding* pada jenis perkerasan lentur dan komposit serta *patch deterioration*, *map cracking*, *polishing*, *pop out*, *double D-cracking*, *blow up*, *punchout*, *scaling*, *PCCP joint failure*, bekas kecelakaan, dan alkali silika pada jenis perkerasan kaku. Analisis identifikasi tipologi kerusakan perkerasan jalan dilakukan dengan mencari kerusakan perkerasan yang ditangkap oleh video secara manual. Kemudian dicatat *stationing*, waktu pada video, jenis kerusakan dan tingkat kerusakannya, serta nama atau urutan *file* video.



Gambar 6 Identifikasi Tipologi Kerusakan Jalan Tol

Tipologi kerusakan perkerasan jalan pada ruas Jalan Tol Pemalang-

Batang diidentifikasi dari video survei pada Tabel 6.

Tabel 6 Tipologi Kerusakan Perkerasan Jalan Tol Ruas Pemalang-Batang

No.	Jenis Kerusakan	Jenis Perkerasan	Kode	Ruas Jalan Tol		Jumlah
				Batang-Pemalang		
				Lajur 1	Lajur 2	
1	Retak Melintang	Komposit	Ko1	16	6	22
2	Retak Memanjang	Komposit	Ko2	17	29	46
3	Retak Tepi	Komposit	Ko3	0	26	26
4	Retak Refleksi	Komposit	Ko4	7	25	32
5	Retak Kulit Buaya	Komposit	Ko5	24	11	35
6	Retak Blok	Komposit	Ko6	0	0	0
7	Lubang	Komposit	Ko7	121	61	182
8	<i>Raveling</i> / Pelepasan Butiran	Komposit	-	19	72	91
9	Alur / <i>Rutting</i>	Komposit	-	7	4	11
10	<i>Shoving</i> / Gelombang	Komposit	-	2	10	12
11	<i>Patch Deterioration</i>	Komposit	-	89	27	116
12	Lubang pada <i>patch</i>	Komposit	-	2	0	2
13	Pengausan	Komposit	-	3	1	4
14	Pelepasan Aspal	Komposit	-	0	2	2
15	Bekas Kecelakaan	Komposit	-	0	0	0
16	<i>Bleeding</i>	Komposit	-	0	0	0
17	Retak Memanjang	Kaku	K1	145	0	145
18	Retak Melintang	Kaku	K2	88	22	110
19	Gompal pada Sambungan	Kaku	K3	28	88	116
20	Retak Sudut	Kaku	K4	17	4	21
21	<i>Pumping and Water Bleeding</i>	Kaku	K5	2	3	5
22	<i>Patch Deterioration</i>	Kaku	-	49	43	92
23	<i>Map Cracking</i>	Kaku	-	1	1	2
24	<i>Polishing</i>	Kaku	-	4	14	18
25	<i>Pop Out</i>	Kaku	-	3	0	3
26	<i>D Cracking</i>	Kaku	-	2	4	6
27	<i>Blowup</i>	Kaku	-	0	0	0
28	<i>Punchout</i>	Kaku	-	5	12	17


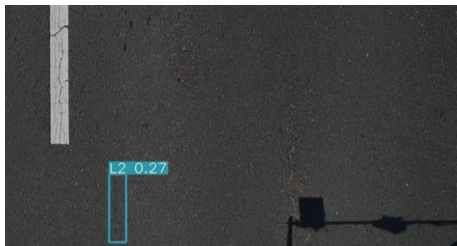
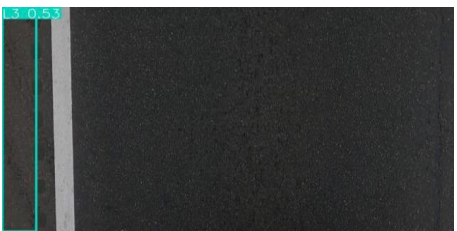
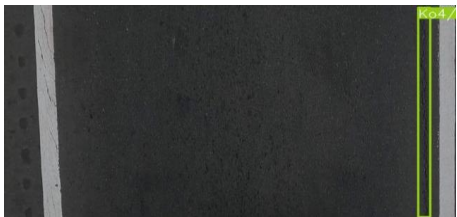
Tabel 6 Tipologi Kerusakan Perkerasan Jalan Tol Ruas Pemalang-Batang
(lanjutan)

No.	Jenis Kerusakan	Jenis Perkerasan	Kode	Ruas Jalan Tol		Jumlah
				Batang-Pemalang		
				Lajur 1	Lajur 2	
29	<i>Scaling</i>	Kaku	-	4	9	13
30	<i>PCCP Joint Failure</i>	Kaku	-	0	4	4
31	Bekas Kecelakaan	Kaku	-	0	0	0
32	Alkali Silika	Kaku	-	0	0	0
Jumlah Total Kerusakan						1133

Analisis Pemberian Label pada Tipologi Kerusakan Jalan Tol

Pemberian label pada tiap kerusakan hasil survei jalan tol ialah bertujuan untuk memberikan bahan sebagai sampel yang akan diajarkan kepada AI, semakin banyak sampel *labeling* maka akan semakin baik AI dalam mengidentifikasi setiap kerusakan yang akan dijadikan objek penelitian kali ini. Pemberian *label* berbasis kepada penanganan yang akan dilakukan guna mendapatkan data volume terkait kerusakan jalan. Pemberian kode kerusakan untuk komposit menggunakan kode KO, perkerasan kaku atau rigid menggunakan Kode K dan untuk perkerasan Lentur menggunakan kode L. Berikut pemberian label pada setiap kerusakan jalan.

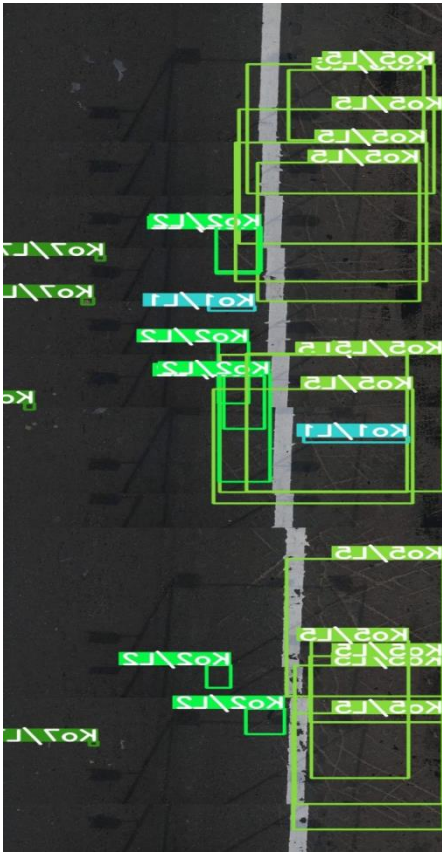

Tabel 7 Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit

Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit			
No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi	Keterangan
1	Retak melintang		<ul style="list-style-type: none"> Retak melintang, memanjang, refleksi dan tepi dilabelkan dalam bentuk kotak. Terkait perlunya data panjang retak dimana diperlukan untuk volume pekerjaan maka akan dicari sehingga mendapatkan data panjang retak yang dibutuhkan.
2	Retak Memanjang		<ul style="list-style-type: none"> Terkait kedalaman retak pada aplikasi ini tidak dapat mendeteksi dikarenakan keterbatasan dari image processing sedangkan untuk kamera realsense blm dapat menembus ketebalan retak. Sehingga terkait kebutuhan data kedalaman akan sangat berguna bila terdapat data histori terkait tebal tiap lapisan permukaan jalan.
3	Retak Tepi		<ul style="list-style-type: none"> Terkait retak refleksi dalam kasus ini lebih kepada kerusakan yang merefleksikan kerusakan yang ada di bawahnya sehingga perlu identifikasi lebih lanjut terkait retak refleksi tersebut berasal dari kerusakan jenis apa yang terjadi pada perkerasan kaku di bawahnya, karena bisa diartikan bermacam-macam, seperti refleksi pada joint slab dapat berupa melintang ataupun memanjang yang berarti refleksi ini terjadi setiap pada sambungan slab,
4	Refleksi pada sambungan		

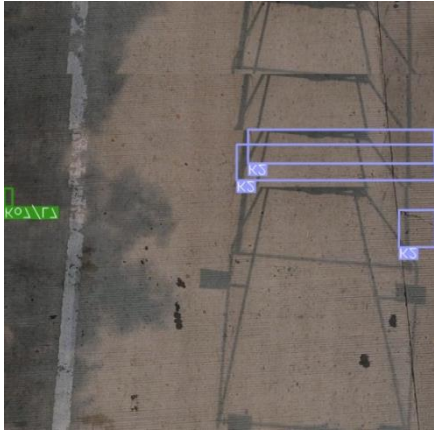
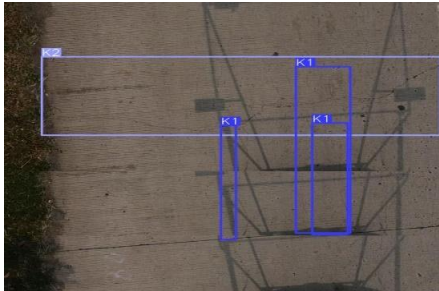

Tabel 7 Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit
(lanjutan)

Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit			
No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi	Keterangan
			<ul style="list-style-type: none"> • refleksi pada berada di tengah slab yang dapat diartikan sebagai pecah slab atau adanya dimensi slab yang berbeda dahulu karena adanya perbaikan dahulu berupa partial <i>depth repair</i>. • Retak tepi pada kasus ini lebih banyak terjadi dikarenakan adanya pelebaran jalan (penambahan lajur) dimana terdapat beda ketinggian dikarenakan bedanya perkerasan lama dan baru pada perkerasan lama komposit sedangkan pada perkerasan baru aspal atau dikarenakan penurunan konsolidasi tanah yang terjadi • Dalam 1 gambar sangat mungkin terdapat berbagai label kerusakan mengingat kerusakan jalan pada 1 area tidak hanya 1 kerusakan saja atau didapatkan dikatakan kerusakan komplikasi. • Dalam proses labeling sangat memerlukan proses <i>stitching</i> atau penggabungan gambar guna menghasilkan data panjang retak yang sangat akurat atau dengan kata lain benar “dapat diidentifikasi bahwa bukan kerusakan lain”.


Tabel 7 Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit
(lanjutan)

Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Lentur dan Komposit			
No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi	Keterangan
5	Retak kulit buaya		<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan kulit buaya dapat diartikan adanya kerusakan struktur kerusakan jalan. • Pada kasus studi kali ini hampir tidak adanya sampel kerusakan retak/ kurangnya sampel membuat AI menerjemahkannya berbeda dengan pendapat para ahli • Agar retak kulit buaya dapat terdeteksi perlu sampel yang mungkin bisa diambil dari ruas jalan lain yang mengalami retak kulit buaya. • Retak kulit buaya dilabelkan dalam bentuk kotak karna penanganan retak kulit buaya akan berupa perbaikan struktur dan lapis permukaan jalan • Perlunya data histori tebal perkerasan jalan untuk dapat mengetahui biaya perbaikan yang luas kerusakan yang telah diidentifikasi.
6	Lubang		<ul style="list-style-type: none"> • Lubang dilabelkan dalam bentuk hampir bulat atau mengikuti pola lubang yang ada. • Lubang dalam kasus ini membutuhkan data kedalaman dimana akan dihasilkan dari kamera <i>realsense</i> untuk menghasilkan data volume yang diperlukan dan RAB

Tabel 8 Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Kaku

Pemberian Label pada Perkerasan Kaku			
No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi	Keterangan
1	Retak melintang		<ul style="list-style-type: none"> Retak melintang dan memanjang pada perkerasan rigid dilabelkan dalam bentuk kotak. Dalam proses labeling sangat memerlukan proses stitching atau penggabungan gambar guna menghasilkan data panjang retak yang sangat akurat atau dengan kata lain benar dapat diidentifikasi bahwa bukan kerusakan lain. Untuk mendapatkan data seperti panjang retak proses analisis hal yang dilakukan sama dengan perkerasan aspal atau komposit.
2	Retak Memanjang		
3	Retak Sudut		<ul style="list-style-type: none"> Retak sudut dilabelkan dalam bentuk kotak dimana persyaratan retak sudut tidak boleh lebih dari setengah panjang slab. Penanganan pada retak sudut ini bisa berupa partial depth repair atau full depth repair bergantung pada tingkat kerusakan. Data yang diperlukan untuk penanganan ialah berupa tebal lapis beton yang akan digunakan sebagai dasar tebal desain perbaikan.

Tabel 8 Pemberian Label pada Kerusakan Perkerasan Kaku (lanjutan)

Pemberian Label pada Perkerasan Kaku			
No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi	Keterangan
4	Gumpal pada Sambungan		<ul style="list-style-type: none"> Gumpal pada sambungan di labelkan berupa bentuk kotak. Data yang diperlukan untuk penanganan ialah berupa tebal lapis beton yang akan digunakan sebagai dasar tebal desain perbaikan. Pada kerusakan gumpal penanganan berupa partial depth repair dimana tebal desain pengecoran paling besar 0,5 dari tebal beton.

Jumlah data yang dilakukan pemberian label atau *labelling* sebanyak 972 dari total identifikasi tipologi kerusakan jalan sebanyak 3.293 kerusakan. Rincian data label untuk masing-masing jenis kerusakan pada masing-masing jenis perkerasan ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Jumlah Data Label dan Temuan Identifikasi Tipologi untuk Masing-masing Jenis Kerusakan pada Masing-masing Jenis Perkerasan

No	Kode	Jenis Kerusakan	Jenis Perkerasan	Jumlah Label	Temuan Identifikasi
1	L1/Ko1	Retak Melintang	Lentur/Komposit	100	184
2	L2/Ko2	Retak Memanjang	Lentur/Komposit	123	281
3	L3/Ko3	Retak Tepi	Lentur/Komposit	24	24
4	L4/Ko4	Retak Refleksi Sambungan	Lentur/Komposit	100	256
5	L5/Ko5	Retak Kulit Buaya	Lentur/Komposit	108	340
6	L6/Ko6	Retak <i>Block</i>	Lentur/Komposit	2	2
7	L7/Ko7	Lubang	Lentur/Komposit	110	906
8	K1	Retak Memanjang	Kaku	100	328
9	K2	Retak Melintang	Kaku	100	505
10	K3	Gumpal pada Sambungan	Kaku	100	237
11	K4	Retak Sudut	Kaku	101	226
12	K5	Pumping	Kaku	4	4
Total Label				972	3293

Analisis Penentuan Prioritas Penanganan

Prioritas penanganan diperlukan dikarenakan adanya keterbatasan dana dan perlunya mendeteksi sejak dini kerusakan mana yang harus lebih dahulu diselesaikan, berdasarkan SPM 2 x 24 jam harus tertangani, tentunya hal tersebut perlu menjadi fokus tersendiri. Berikut prioritas penanganan terhadap keseluruhan kerusakan bilamana dalam satu area terdapat berbagai macam kerusakan.

Terkait adanya keterbatasan dari hasil aplikasi AI deteksi kerusakan penanganan kerusakan lebih ditekankan pada penanganan kerusakan *single* atau belum dapat menganalisis kerusakan dalam 1 area dengan banyak permasalahan. Maka dari itu penanganan kerusakan akan ditangani tiap titik kerusakan. Beberapa kendala yang menyebabkan AI belum dapatnya melakukan analisis kerusakan berdasarkan segmentasi atau area adalah karena kurangnya waktu dalam pembuatan aplikasi menjadi salah satu hal utama yang membuat belum dapat terwujud, dan keterbatasan data sekunder berupa histori tebal perkerasan, jumlah slab sebagai data utama analisis tidak tersedia. Dengan demikian, penanganan yang diprioritaskan dan diusulkan untuk masing-masing jenis kerusakan dan tipe perkerasan adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Prioritas Penanganan Kerusakan Jalan yang Diusulkan

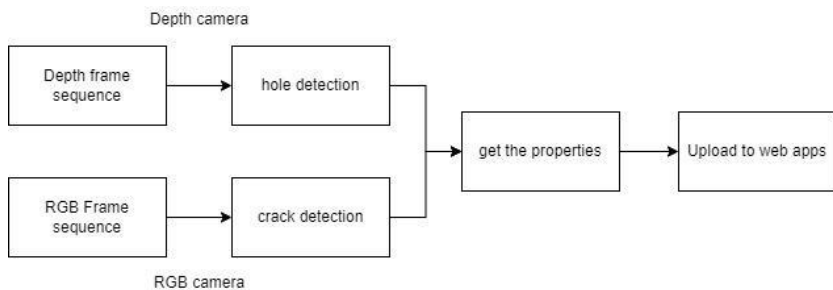
No	Jenis Kerusakan	Jenis Perkerasan	Satuan	Jenis Penanganan
A	Perkerasan Lentur/Komposit			
1	Retak Melintang	Perkerasan lentur/komposit	m	<i>Crack Sealing/</i>
2	Retak Memanjang	Perkerasan lentur/komposit	m	<i>Routing and</i>
3	Retak tepi	Perkerasan lentur/komposit	m	<i>Filling</i>
4	Retak refleksi / retak pada sambungan	Perkerasan lentur/komposit	m	

Tabel 10 Prioritas Penanganan Kerusakan Jalan yang Diusulkan (lanjutan)

No	Jenis Kerusakan	Jenis Perkerasan	Satuan	Jenis Penanganan
5	Retak kulit buaya	Perkerasan lentur/komposit	m ²	<i>Patching</i>
6	Retak <i>block</i>	Perkerasan lentur/komposit	m ²	
7	Lubang/ <i>potholes</i>	Perkerasan lentur/komposit	m ²	
B Perkerasan Kaku				
1	Retak memanjang	Perkerasan kaku	m	<i>PCCP Joint</i>
2	Retak melintang	Perkerasan kaku	m	<i>and Crack Sealing</i>
3	Gompal pada sambungan	Perkerasan kaku	m ²	<i>Partial Depth Repair</i>
4	Retak sudut	Perkerasan kaku	m ²	
5	<i>Water bleeding/pumping</i>	Perkerasan kaku	m ²	Membutuhkan penanganan lanjutan

Pengembangan Perangkat Lunak AI untuk Monitoring Jalan Tol

Terdapat 3 bagian software utama yang dibuat yaitu *software* pengambilan dan pemrosesan gambar untuk *depth camera*, *software* pemrosesan gambar untuk RGB kamera, dan aplikasi web untuk menampilkan statistik jenis dan jumlah kerusakan jalan. Secara garis besar integrasi dari ketiga *software* tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Gambaran Umum Sistem Pendeteksi Kerusakan dan Integrasinya

Software pengolahan gambar ditujukan untuk menghitung atribut-atribut yang diperlukan untuk penanganan jalan tol, yang terdiri dari jenis kerusakan, lokasi, dimensi, jumlah kerusakan, volume, dan lainnya. Berdasarkan hasil pengolahan, rekapitulasi dari atribut akan ditampilkan pada aplikasi web sebagai rekapitulasi hasil akhir dari proses survei. Komunikasi antara *software* pengolahan gambar dengan *website* dilakukan dengan pemindahan keluaran *software* pengolahan gambar sebagai masukan data pada *website*. Data-data yang dipindahkan tersebut adalah data *spreadsheet* dengan ekstensi CSV yang mendeskripsikan kerusakan maupun lubang dan data citra hasil pengolahan AI. *Requirements* untuk menjalankan AI *monitoring* jalan adalah sistem operasi Linux dan *compiler* python versi 3.8 ke atas. Instalasi dapat dilakukan dengan mengunduh *repository* atau folder yang berisi program yang telah dikembangkan, kemudian melakukan tahapan-tahapan sesuai pada Gambar 8 berikut.

1. Update *packages* using:

```
sudo apt update
sudo apt install nodejs npm ffmpeg
```
2. Download some *npm* dependencies

```
npm i gopro-telemetry
npm i gpmf-extract
```
3. Using terminal (`cd path/to/bpjt`), navigate into this directory as the root. Make sure current working directory containing `bpjt/`, `.gitignore`, and `README.md`. You can check list of files and folder using `ls`.
4. Download and install YOLOv5 using:

```
curl -L https://github.com/ultralytics/yolov5/archive/refs/tags/v6.0.tar.gz --output yolov5-6.0.tar.gz
tar -xzf yolov5-6.0.tar.gz
rm -R yolov5-6.0.tar.gz
```
5. Copy trained weights using:

```
mkdir -p yolov5-6.0/runs/train/map640_merge5/weights/
cp weights/best.pt yolov5-6.0/runs/train/map640_merge5/weights/
```
6. Install `bpjt`:

```
pip install -e .
```

Gambar 8 Tahapan Instalasi AI

Penggunaan dua sensor pada pengambilan data ditujukan untuk dua hal yang berbeda. Sensor kamera RGB digunakan untuk mendeteksi kerusakan secara keseluruhan dengan atribut dimensi panjang dan lebar dari sebuah kerusakan. Sedangkan sensor *depth camera* digunakan untuk mendeteksi lubang (kerusakan yang lebih besar) dengan atribut kedalaman beserta volumenya. Dengan demikian bisa didapatkan atribut yang komprehensif untuk kedua jenis kerusakan. Meskipun demikian, kedua sistem tersebut tidak dapat terpisahkan, karena atribut-atribut dari kedua sensor tersebut digunakan secara bersamaan untuk mendukung antar satu sensor dengan sensor yang lain.

Pemrosesan Gambar dengan *Depth Camera*

Pada pemrosesan gambar dengan *depth camera*, model yang digunakan tidak berbasis pembelajaran komputer, namun penggabungan dari algoritma filtrasi, segmentasi, dan lokalisasi, yang kemudian diikuti dengan logika penentuan apakah terdapat lubang pada hasil lokalisasi beserta jumlah dan batasan area lubang. Proses seperti ini biasa disebut dengan *hand-crafted engineering*. Selain itu, dilakukan tahapan finalisasi yaitu penggabungan gambar atau *stitching* (Szeliski, 2007) beserta penggabungan batasan area lubang.

Pemrosesan gambar *depth camera* dapat dilakukan dengan API `rs_segment` yang telah dikembangkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Secara singkat, `rs_segment` API membutuhkan dua data yaitu file `.bag` dari hasil rekaman sensor Realsense dan data *telemetry* yang didapatkan dari sensor kamera *GoPro* yang digunakan sebagai penentu lokasi koordinat GPS dari kerusakan yang ditemukan. Hal

ini dikarenakan sensor *Realsense* yang digunakan tidak memiliki *built-in* GPS di dalamnya. Sebelum pengambilan data, kamera *Realsense* dan *GoPro* dilakukan sinkronisasi waktu dari internet sebagai referensi waktu dari kedua sensor tersebut.

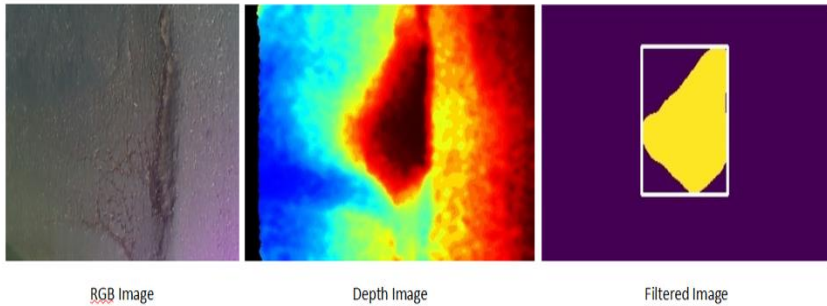
```
import rs_segment
from os import path as osp

bagfiles = 'data/TANGERANG - CIKANDE LINE 2 - 1 KM26-KM52_CAM_L.bag'
telemetry_path = 'data/tangerang_cikande/'

rs_segment.run(bagfiles, prefix=osp.basename(osp.normpath(bagfiles))[:-4],
               is_playback='True',
               telemetry_path=telemetry_path)
```

Gambar 9 API untuk Pemrosesan Citra dari *Depth Camera Intel Realsense D455*

Berbeda dengan kamera RGB yang diletakkan dua meter di atas permukaan aspal, sensor *depth camera* ditempatkan satu meter di atas permukaan aspal dengan pertimbangan performa dari deteksi yang lebih akurat sehingga ruang cakupan kamera yaitu sekitar 1,8 meter. Citra yang didapatkan terdiri dari dua citra yaitu, citra warna dan citra kedalaman. Citra warna digunakan untuk mengkonfirmasi secara visual dan manual apakah terdapat lubang atau tidak, sedangkan untuk citra kedalaman digunakan untuk mengukur dimensi dari lubang yang dilakukan secara otomatis dengan menggunakan algoritma yang telah dikembangkan. Gambar 10 menunjukkan hasil dari pengolahan dari citra kedalaman.

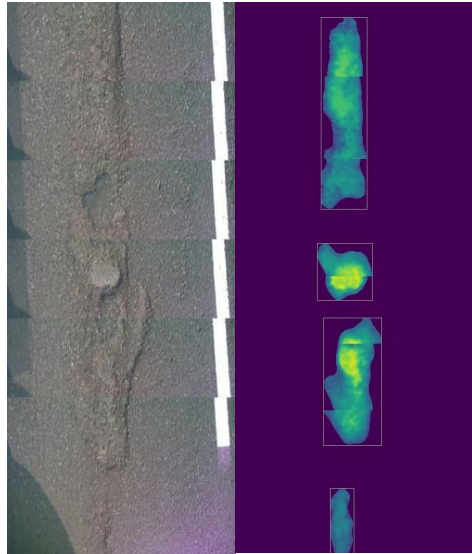


Gambar 10 Hasil Pengolahan Citra dari Sensor *Intel Realsense* dari Citra Mentah Menjadi Citra yang Terolah dengan Atributnya

Pendeteksian sebuah lubang bisa dikenali dalam beberapa *frame* berurutan, sehingga digunakan sebuah algoritma untuk menggabungkan hasil olahan sehingga gambar menjadi tersambung. Dengan demikian, didapatkan sudut pandang yang lebih komprehensif terhadap kerusakan yang berurutan. Atribut-atribut untuk masing-masing kerusakan kemudian direkam dalam bentuk tabel CSV seperti yang terlihat pada Gambar 11. Sedangkan Gambar 12 menunjukkan hasil penggabungan citra yang diolah, sehingga terdapat beberapa lubang dalam satu gambar dengan atribut-atribut masing-masing.

hole_id	subhole_id	dimg	cmg	xywh	width_m	height_m	rect_area_m2	shape_area_m2	vol_cm3	depth_mm	ts	lat	long	speed
8_8_1		stitched_t1 6197443765 48d8.jpg	stitched_t1 6197443765 48c8.jpg	[107, 304, 72, 0.37292946	0.37292946	0.139076386	0.089015325	2231.8384	36.91874684	1.62E+12	-6.200587	106.4945	51.3792	
8_8_2		stitched_t1 6197443765 48d8.jpg	stitched_t1 6197443765 48c8.jpg	[115, 398, 76, 0.39364777	0.83391172	0.328267487	0.20091494	4452.6055	32.26048989	1.62E+12	-6.200587	106.4945	51.3792	
8_8_3		stitched_t1 6197443765 48d8.jpg	stitched_t1 6197443765 48c8.jpg	[124, 613, 31, 0.16056685	0.42472522	0.068196792	0.053575529	797.10597	18.6131489	1.62E+12	-6.200587	106.4945	51.3792	
9_9_0		stitched_t1 6197443851 76d9.jpg	stitched_t1 6197443851 76c9.jpg	[20, 0, 8, 12]	0.04143661	0.06215491	0.002575489	0.002253553	27.215397	14.62303674	1.62E+12	-6.200361	106.49332	60.0228
9_9_1		stitched_t1 6197443851 76d9.jpg	stitched_t1 6197443851 76c9.jpg	[318, 112, 2, 7 0.01035915	0.03625703	0.000375592	0.000321936	6.3745766	23.2721717	1.62E+12	-6.200361	106.49332	60.0228	

Gambar 11 Atribut untuk Masing-Masing Kerusakan



Gambar 12 Hasil Penggabungan Beberapa Citra dalam Satu Gambar untuk Mendapatkan Gambaran Utuh dari Kerusakan yang Berurutan

Berdasarkan hasil pengolahan citra tersebut, didapatkan ringkasan performa bahwa waktu pemrosesan dari satu citra masih di bawah 0.033 detik, dengan batasan ini merupakan batasan operasi *realtime* dengan kecepatan *frame* 30 fps dengan resolusi 640x320. Selain itu diperoleh tingkat presisi dari pendeteksian $> 95\%$. Kesalahan pendeteksian umumnya terjadi pada awal pengambilan citra (waktu kalibrasi sensor) dan salah deteksi pada trotoar jalan dan ban mobil (yang mendahului saat pengambilan citra) terjadi karena adanya perbedaan elevasi yang cukup tinggi sehingga terdeteksi sebagai kerusakan.

Software Pemrosesan Gambar dengan RGB Camera

Pada pemrosesan gambar dengan RGB camera, AI yang digunakan berbasis pembelajaran atau *training* dengan model arsitektur

YOLOv5l6. Proses *training* model ini memiliki dua tahapan yaitu *preprocessing dataset* hasil survei sesuai dengan kebutuhan *input* YOLOv5 dan *fine tuning*. Model YOLOv5l6 ini dilatih dengan *dataset* hasil *preprocessing* untuk memfokuskan spesialisasi model terhadap tugas deteksi kerusakan jalan.

Pada tahapan *preprocessing dataset*, dilakukan pemilihan *dataset* yang tepat untuk dijadikan bahan latih. Berdasarkan hasil diskusi dan percobaan awal, didapati kesepakatan untuk membuat dua model yaitu model dengan kemampuan diferensiasi 14 label dan 6 label. Hal ini dikarenakan kerusakan pokok yang terdapat dalam 16 label dapat disederhanakan menjadi 6 label kerusakan. Penjelasan untuk 14 label yang digunakan beserta pemetaannya menjadi 6 label dapat dilihat pada tabel di bawah. Kemudian dilakukan juga perubahan format data dari format data *labelme* menjadi format data yang dapat dipahami YOLOv5 yaitu pasangan gambar dan teks. Pada tahapan *preprocessing* ini juga dilakukan pembagian data menjadi dua yaitu *dataset* latih dan *dataset* validasi. Perbedaan kedua *dataset* tersebut terletak pada perlakuan yang akan dilakukan model yaitu model hanya melihat label dari *dataset* latih untuk memperbarui kecerdasan dan menggunakan *dataset* validasi hanya sebagai acuan user untuk mengamati kemajuan kecerdasan dari tiap iterasi proses belajar.

Tabel 11 Label Kerusakan yang Digunakan oleh AI

Sandi Mula	Sandi Pemetaan Pada 6 Label	Nama Kerusakan	Jenis Perkerasan Jalan
K1	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Memanjang	Kaku
K2	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Melintang	Kaku
K3	K3	Gumpal pada Sambungan	Kaku
K4	K4	Retak Sudut	Kaku
L1	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Melintang	Lentur
L2	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Memanjang	Lentur

Tabel 11 Label Kerusakan yang Digunakan oleh AI (lanjutan)

Sandi Mula	Sandi Pemetaan Pada 6 Label	Nama Kerusakan	Jenis Perkerasan Jalan
L3	L3	Retak Tepi	Lentur
L5	Ko5/L5	Retak Kulit Buaya	Lentur
L7	Ko7/L7	Lubang	Lentur
Ko1	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Melintang	Komposit
Ko2	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Memanjang	Komposit
Ko4	K1_2/Ko1_2_4/L1_2	Retak Refleksi Sambungan	Komposit
Ko5	Ko5/L5	Retak Kulit Buaya	Komposit
Ko7	Ko7/L7	Lubang	Komposit

Setelah dilakukan *preprocessing dataset*, selanjutnya dilakukan proses *fine tuning*. Proses *fine tuning* adalah inti dari proses pembelajaran berupa pengulangan proses pembelajaran guna memfokuskan spesialisasi model terhadap tugas yang spesifik, yaitu deteksi kerusakan jalan dalam proyek ini. Pada pengaturan parameter model yang dilatih, dipilih parameter lebar resolusi citra maksimal 640 *pixel* (Weiss, 2016). Berdasarkan proses percobaan awal, didapati resolusi tersebut sudah cukup besar untuk mendeteksi retak yang tipis, sehingga tidak diperlukan nilai resolusi yang lebih besar supaya beban komputasi saat pelatihan maupun pemrosesan tidak terlalu berat.

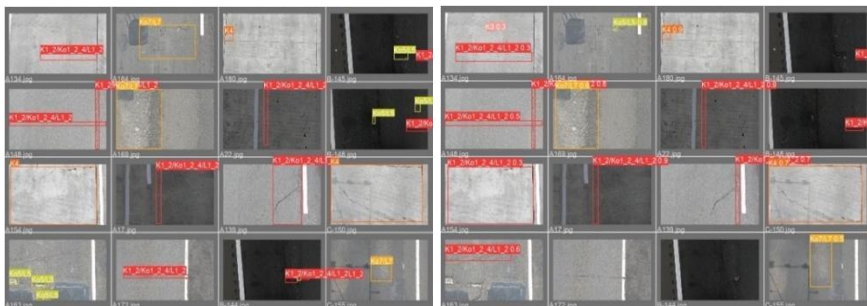
Berdasarkan hasil uji coba pelatihan dan diskusi dengan tim ahli, diputuskan untuk menggunakan model 6 label saja yang merupakan ringkasan dari model 14 label guna meningkatkan performa model. Hasil terbaik model dengan 6 label setelah melalui proses pembelajaran berulang adalah 0.51 dengan teknik pengukuran *mean average precision* (MAP). Nilai MAP 0.51 yang dicapai oleh model 6 label dapat dilihat pada tangkapan layar yang ditunjukkan oleh Gambar 13. Nilai MAP 0.51 adalah nilai yang sudah sangat baik,

mengingat teknologi terbaik pada pertengahan tahun 2019 saja hanya mencapai MAP 0.48 dan penelitian terbaik hingga saat ini memiliki nilai akhir 57.3 yang dipublikasikan di pertengahan 2021. Tentu dengan batasan jumlah label dan data yang digunakan penelitian tersebut berbeda dengan yang digunakan pada proyek ini.

```
Fusing layers...
Model Summary: 501 layers, 76649412 parameters, 0 gradients, 116.4 GFLOPs
val: Scanning '../sym_data/map_wothers_merge/val/labels.cache' images and labels
      Class      Images      Labels      P      R      mAP@.5 mAP@
      all        188        273      0.56    0.486    0.51    0.278
      K1_2/Ko1_2_4/L1_2  188        131    0.461    0.412    0.387    0.186
      K3          188         51    0.566    0.333    0.338    0.143
      K4          188         21    0.692    0.619    0.68    0.467
      Ko7/L7      188         23    0.628    0.609    0.668    0.324
      Ko5/L5      188         36    0.568    0.583    0.592    0.324
      L3          188         11    0.443    0.361    0.396    0.223
Speed: 0.1ms pre-process, 6.4ms inference, 2.2ms NMS per image at shape (16, 3, 640, 640)
```

Gambar 13 Tangkapan Layar Skor Akhir Model 6 Label dengan Rerata Nilai MAP 0.51

Contoh perbandingan antara citra beserta label sebenarnya dengan citra beserta hasil prediksi oleh model pada citra yang sama dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Citra Beserta Label Sebenarnya (Kiri) dan Citra Beserta Hasil Prediksi oleh Model (Kanan)

Model AI yang sudah dilatih dengan *dataset* hasil survei selanjutnya siap diaplikasikan di lapangan atau *deployment* untuk mendeteksi

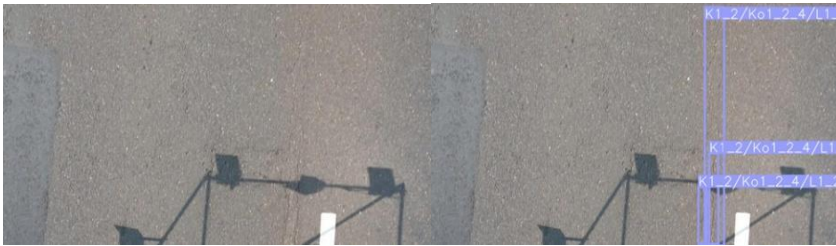
kerusakan pada jalan. *Input* dari sistem ini adalah video rekaman dari kamera GoPro yang menghadap ke bawah. Proses deteksi melalui tiga tahapan yaitu *video processing*, *predicting*, dan *stitching*.

Pada *video processing*, *input* berupa video diubah menjadi kumpulan *frames* citra yang selanjutnya dilakukan *resample* untuk menurunkan jumlah *frame per second* (fps) dari video. Pada proyek ini, *input* video diturunkan dari 120 fps menjadi 15 fps. Nilai 15 fps dipilih karena nilai tersebut sudah cukup karena masih terdapat *overlap* antar *frame* sampai sekitar 50% area dengan kecepatan kendaraan 60 km/jam. Sehingga suatu kerusakan dapat muncul di tiga *frame* yang berbeda dan menjadi referensi dalam proses *stitching*. Nilai tersebut juga tidak terlalu tinggi sehingga memungkinkan proses operasi yang mendekati *real-time* yaitu sekitar 15 menit pemrosesan untuk 10 menit video.

Selain proses *resample*, dilakukan juga proses penyesuaian resolusi dari resolusi awal dengan tinggi 1520 *pixel* dan lebar 2704 *pixel* menjadi 360 *pixel* untuk tinggi dan 640 *pixel* untuk lebar. Nilai ini dipilih karena model YOLOv5l6 yang dilatih memiliki spesifikasi besaran maksimal gambar dengan dimensi terbesar 640 *pixel*.

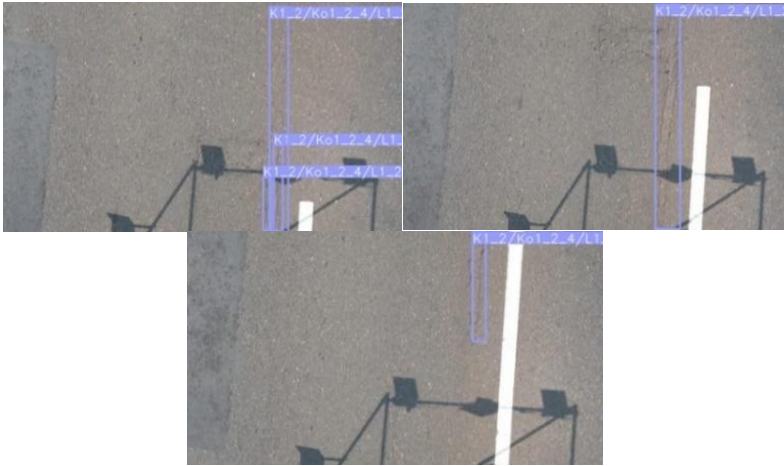
Selain pemrosesan video menjadi citra *frame*, dilakukan juga ekstraksi *metadata* dari video berupa data-data *telemetry* seperti *time stamp*, kecepatan kendaraan, *longitude*, dan *latitude*. Data *telemetry longitude* dan *latitude* tersebut akan digunakan pada tahapan berikutnya yaitu memberikan *metadata* lokasi pada citra untuk keperluan penampilan pada *website*. Adapun *metadata time stamp* dan kecepatan kendaraan digunakan sebagai acuan proses *stitching*.

Proses *predicting* oleh AI dilakukan dengan memberikan *input* kepada model berupa data citra satu *frame* yang telah melalui proses *preprocessing*. Keluaran proses ini menghasilkan data csv untuk setiap temuan kerusakan dan citra-citra *frame* yang terdapat kerusakan di dalamnya. Selain itu, citra-citra yang disimpan ada dua yaitu citra dengan dan tanpa *bounding box*. Kedua contoh citra tersebut dapat dilihat pada Gambar 15. Citra tanpa *bounding box* tersebut akan digunakan sebagai masukan dari proses selanjutnya yaitu proses *stitching*. Adapun citra dengan *bounding box* dapat disimpan sebagai citra akhir jika tidak didapati bersebelahan dengan citra lain dengan kurusakan yang sama.

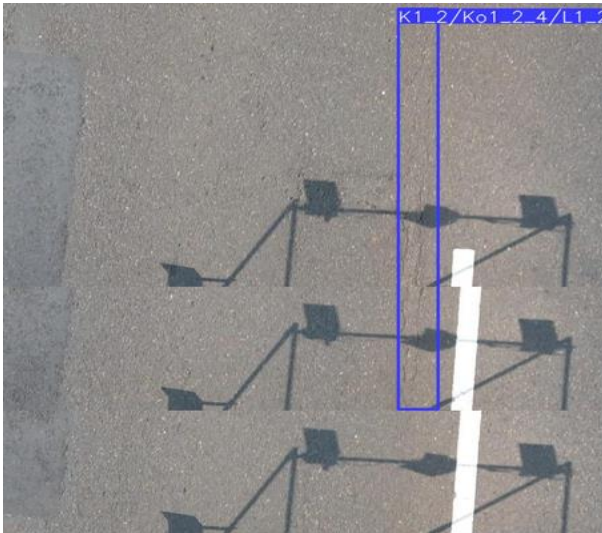


Gambar 15 Perbandingan antara Citra Tanpa *Bounding Box* (kiri) dengan Citra dengan *Bounding Box* (kanan)

Proses terakhir dari aplikasi AI deteksi kerusakan dengan citra RGB adalah proses *stitching*. Proses *stitching* menggabungkan citra dengan yang bersebelahan dan menyimpan data kerusakan yang sejatinya sama. Masukan dari proses *stitching* ini adalah citra tanpa *bounding box*. Termasuk dari proses *stitching* ini adalah penggambaran ulang *bounding box* pada citra hasil *stitching* berdasarkan teknik *box fusion* yaitu menggabungkan data kerusakan yang sama dari *frame* yang bersebelahan menjadi sebuah *bounding box*. Perbandingan citra sebelum dan setelah proses *stitching* dan *box fusion* dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16 Citra *Frame* yang Bersebelahan Mengandung Data Kerusakan yang Sama



Gambar 17 Citra Hasil *Stitching* dan Penggambaran Ulang *Bounding Box*

Selain menggabungkan citra, terdapat pula proses pembersihan data CSV sehingga kerusakan yang sama yang muncul di beberapa *frame* yang bersebelahan tidak lagi terduplikasi. Tangkapan layar sampel data CSV yang disimpan dapat dilihat pada Gambar 18.

	A	E	G	L	M	N	P	Q	R
1	damage_id	img_name	label_name	width_box	height_box	area	latitude	longitude	speed
2	10728_0	10728_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	K1_2iKo1_2_4L1_2	0.118726725	0.6244666666666667	0.074140882205	-6.79936960642664	108.617495514995	5.95689095383647
3	10788_0	10788_10776_10784_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko5L5	0.181214475	0.4558606666666667	0.08260851138315	-6.79937607494504	108.617510864158	6.23530879042925
4	10864_0	10864_10872_10880_10888_10896_10904_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	0.83733585	2.959972	2.4784906705962	-6.79939579999948	108.617550584614	7.23053842570056
5	10896_1	10864_10872_10880_10888_10896_10904_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko5L5	0.09448265	0.149872	0.031112296952	-6.7994017534318	108.61757386108	7.46550534887563
6	10936_0	10936_10944_10952_10960_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	0.868579725	1.8047086666666667	1.56753335739845	-6.79941094209644	108.617596602653	7.82975679237793
7	11008_0	11008_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	K1_2iKo1_2_4L1_2	0.081234075	0.5932433333333333	0.0481915734325	-6.79942765199682	108.617637698392	8.30952800464897
8	11016_0	11016_11024_11032_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko5L5	0.1249755	0.28101	0.035119365255	-6.79943012762684	108.617643943706	8.40654213576828
9	11344_0	11344_11352_11360_11368_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko5L5	0.431165475	0.9304533333333333	0.40118021576295	-6.79951135971527	108.617852319164	10.0128021354796
10	11384_0	11384_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko5L5	0.068736525	0.0999146666666667	0.0068677869832	-6.79952263093417	108.617882583964	10.2389027783412
11	11664_0	11664_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	K1_2iKo1_2_4L1_2	1.730910675	0.1248933333333333	0.216179203903	-6.79960060466458	108.618099102037	11.3064300853037
12	11672_0	11672_11680_11688_11696_11704_11712_11720_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	1.01230155	1.760996	1.7826889803438	-6.79960251960867	108.61810474107	11.3419551207471
13	11680_0	11672_11680_11688_11696_11704_11712_11720_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	1.156023375	6.1758793333333333	7.13957184079575	-6.79960445808475	108.618110424256	11.3473475189526
14	11680_1	11672_11680_11688_11696_11704_11712_11720_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	1.293496425	0.4433713333333333	0.57349823461415	-6.79960445808475	108.618110424256	11.3473475189526
15	11728_0	11728_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	0.5998824	2.1606546666666667	1.2961387070112	-6.79961582561105	108.618144714299	11.427809895439
16	11736_0	11736_11744_11752_2021-12-09-09-20-23-930656.jpg	Ko7L7	2.56199775	3.3846093333333333	8.671361496629	-6.79961774075425	108.618150353332	11.4387081640958

Gambar 18 Tangkapan Layar Sampel Data CSV

Proses *deployment* AI dapat diakses menggunakan API yang telah dikembangkan dengan nama *library* bpjt. Cara penggunaan API untuk mendeteksi kerusakan dapat dilihat pada Gambar 19.

```
import torch
from bpjt.API import VideoProcessor

model = torch.hub.load('yolov5/', 'custom', path='yolov5/runs/train/map648_merge5/weights/best.pt', source='local')

YOLOv5 v5.0-499-g48b00db torch 1.8.1+cu102 CUDA:0 (Tesla V100-SXM2-32GB, 32480.5MB)

Fusing layers...
Model Summary: 581 layers, 76649412 parameters, 0 gradients, 116.4 GFLOPs
Adding AutoShape...

vid_dir_list = ['videos/KANCI-PEJAGAN-KM214-249-KIRI',
               'videos/KANCI-PEJAGAN-KM214-249-KANAN',
               'videos/Tangerang-Merak-LINE2-1-KIRI']
output_dir_list = ['videos/results12-API/KANCI-PEJAGAN-KM214-249-KIRI',
                  'videos/results12-API/KANCI-PEJAGAN-KM214-249-KANAN',
                  'videos/results12-API/Tangerang-Merak-LINE2-1-KIRI']

vp = VideoProcessor(model, params)
for vid_dir, output_dir in zip(vid_dir_list, output_dir_list):
    vp.run(vid_dir, output_dir)
```

Gambar 19 Contoh Penggunaan API BPJT untuk Mendeteksi Kerusakan Jalan dengan *Input* Video

API yang dikembangkan tersebut menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Hasil dari proses prediksi menggunakan API tersebut adalah gambar yang sudah ditandai dengan *bounding box* dan data CSV yang menyimpan informasi kerusakan. Selanjutnya, kedua keluaran tersebut dapat dimasukkan ke dalam sistem informasi berbentuk *website*.



KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa jenis kerusakan yang dapat dideteksi untuk perkerasan lentur dan komposit antara lain, retak melintang, retak memanjang, retak tepi, retak refleksi, dan lubang, sedangkan untuk perkerasan kaku antara lain, retak memanjang, retak melintang, gompal pada sambungan, dan retak sudut.

Data ditangkap menggunakan kendaraan yang sudah dirakit dengan rangka khusus untuk dipasangkan dengan 3 kamera RGB dan 2 *depth camera* yang ditangkap dengan program survei, kemudian diolah dengan dua program berbeda program untuk pengolahan data *depth camera* dengan waktu proses < 0.033 detik untuk 640×320 pixel 30 fps, kecepatan 60 km/s, tingkat akurasi $>95\%$ dan program untuk pengolahan data kamera RGB menggunakan *Artificial Intelligence*, dengan jumlah 972 label dari 3.293 kerusakan yang diidentifikasi.

Klasifikasi tipologi kerusakan jalan pada program *Artificial Intelligence* menggunakan dengan model 6 kerusakan utama. Didapatkan tingkat akurasi skor MAP 0,51. Dimana model ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, berada di atas YOLOv2. Selain itu data koordinat juga dipecah pada gambar yang dikeluarkan dalam program ini dalam bentuk *CSV*.

Rekomendasi

Stakeholders yang terlibat dalam pengelolaan jalan tol dapat menetapkan dan melaksanakan kebijakan pemeliharaan berbasis *Decision Support System* serta kecerdasan buatan sehingga dapat memetakan kerusakan jalan berdasarkan koordinat, memetakan kerusakan jalan berdasarkan operator jalan tol, mengusulkan penanganan untuk masing-masing kerusakan, dan memberikan rekomendasi biaya penanganan kerusakan yang telah dideteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Surat Edaran No. 07 Tahun 2017 tentang Panduan Pemilihan Teknologi Pemeliharaan Preventif Perkerasan Jalan*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta.
- Everingham M., Van Gool, L., Williams, C. K. I., Winn, J., and Zisserman, A. 2009. *The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge*. *International Journal of Computer Vision*, 88: 303–338.
- Gopalakrishnan K., Khaitan, S. K., Choudhary, A. N., and Agrawal, A. 2017. *Deep Convolutional Neural Networks with Transfer Learning for Computer Vision-based Data-driven Pavement Distress Detection*. *Construction and Building Materials*, 157: 322–330.
- Le Cun, Y., Boser, B., Denker, J., Henderson, D., Howard, R., Hubbard, W., and Jackel, L. 1989. *Handwritten Digit Recognition with a Back-propagation Network*. *Advances*

- in Neural Information Processing Systems, 2.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol*. Jakarta
- Pusat Pembinaan Kompetensi dan Pelatihan Konstruksi. 2005. *Model RDE-11: Perencanaan Perkerasan Jalan*. Jakarta.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. 2016. *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 779-788.
- Russell, S.J. 2010. *Artificial Intelligence is a Modern Approach*. Pearson Education, Inc.
- Stockman, G., and Shapiro, L.G. 2001. *Computer Vision*. Prentice Hall PTR.
- Szeliski, R. 2007. *Image Alignment and Stitching: A Tutorial*. Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision, 2 (1): 1-104.
- United States Army Construction Engineering Research Laboratory (USACERL) TR M-90/05. 1990. *Pavement Maintenance Management for Roads and Streets Using the PAVER System*.
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T.M., and Wang, D. 2016. *A Survey of Transfer Learning*. Journal of Big Data, 3 (1): 1-40.



KAJIAN KRITIS PENGEMBANGAN JALAN TOL DI INDONESIA

Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

EMISI GAS RUMAH KACA PADA JALAN TOL DI PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA

**Puji Lestari, Brigita Raissa Sekarputri,
dan Maulana Khafid Arrohman**

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

PENDAHULUAN

Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta sebagai ibukota negara Republik Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan aktivitas ekonomi yang tinggi. DKI Jakarta mempunyai luas wilayah sebesar 662,33 km², Jumlah penduduk di Jakarta berjumlah lebih dari 10 juta jiwa pada tahun 2021 (BPS, 2022). Kepadatan penduduk di DKI Jakarta mencapai 15 ribu jiwa setiap 1 km² dengan laju pertumbuhan setiap tahunnya sebesar 0,57%. Tingginya jumlah penduduk di wilayah DKI Jakarta, mengakibatkan pemanfaatan moda transportasi yang tinggi. Tahun 2021 jumlah mobil penumpang sebanyak lebih dari 4 juta unit, jumlah bus sebanyak 342 ribu unit, jumlah truk sebanyak 785 ribu unit, dan jumlah sepeda motor mencapai 16,5 juta unit (BPS, 2022). Tingginya aktivitas moda transportasi di wilayah DKI Jakarta menyebabkan sektor transportasi menjadi salah satu sumber polusi udara yang signifikan.

Selain dari sektor transportasi, sektor industri, residensial, komersial dan pembangkit listrik juga memberikan sumbangsih terhadap pencemaran udara di DKI Jakarta. Terdapat pula faktor-faktor lain

yang memengaruhi kualitas udara ambien yaitu kondisi meteorologi, topografi, dan polusi dari sumber lainnya. Konsumsi energi menyebabkan peningkatan tingkat polusi udara serta emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan dapat menyebabkan efek berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Lestari dkk, 2020). Pada bulan Juni 2022, Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) atau *Air Quality Index* (AQI) DKI Jakarta pernah mencapai angka 160 (DLH Jakarta, 2022). Nilai tersebut sudah termasuk kategori tidak sehat bagi kelompok sensitif dan sebagai perbandingan, indeks kualitas udara yang tergolong sehat adalah di bawah 50.

Secara umum, sektor transportasi, sektor industri manufaktur dan sektor industri energi adalah kontributor terbesar dari beban emisi pencemar udara dan *greenhouse gases*/GHG di DKI Jakarta. Tingginya kontributor dari sektor transportasi disebabkan karena jumlah kendaraan di DKI Jakarta yang sangat banyak dan mobilisasi kendaraan dari wilayah sekitar Bodetabek yang tinggi. Upaya yang diperlukan untuk menurunkan emisi dari kendaraan bermotor di DKI Jakarta adalah dengan melakukan pengelolaan dan pengendalian sumber pencemar dari sektor transportasi yang diantaranya dilakukan dengan inventarisasi emisi.

Pada studi ini, inventarisasi emisi dilakukan untuk emisi GRK termasuk CO₂ dan CH₄ pada jalan tol di DKI Jakarta selama periode 2017 hingga 2021 untuk jenis kendaraan mobil bensin, mobil *diesel*, bus, dan truk. Perhitungan inventarisasi emisi pada studi ini mengacu kepada *Guidelines for Developing Emission Inventory in East Asia* (MoE, 2011). Pengelolaan sistem transportasi dan pembatasan bahan bakar fosil dapat serta meningkatkan kualitas udara (Kusumaningtyas dkk, 2018). Dengan adanya inventarisasi

emisi yang diperoleh dari aktivitas di jalan tol, maka dapat ditentukan kontribusinya pada emisi GRK di DKI Jakarta dan menjadi acuan dalam pelaksanaan strategi untuk mengurangi pencemaran udara di DKI Jakarta.

Inventarisasi emisi pada kajian ini difokuskan pada emisi GRK yang berasal dari sektor transportasi di ruas jalan tol di DKI Jakarta. Jalan tol di DKI Jakarta dipilih karena merupakan salah satu akses utama bagi masyarakat DKI Jakarta dan Bodetabek untuk masuk ke wilayah DKI Jakarta sehingga jalan tol memiliki volume kendaraan yang besar. Tingginya volume kendaraan yang masuk tentunya akan berdampak pada beban emisi yang dihasilkan di jalan tol dan Untuk mengetahui Beban emisi yang dihasilkan di jalan tol, maka akan dilakukan inventarisasi sehingga dampak dari aktivitas tol terhadap pencemaran udara di DKI Jakarta dapat diketahui. Selain itu, inventarisasi emisi dari aktivitas tol di DKI Jakarta dapat dijadikan sarana untuk mempertimbangkan strategi pengendalian dan pengembangan kebijakan dalam mengatasi pencemaran udara dan GRK di DKI Jakarta.

Tujuan penulisan artikel adalah menghitung beban emisi GRK pada Jalan Tol di DKI Jakarta yang meliputi kalkulasi inventarisasi emisi GRK yang telah dilakukan diantaranya total emisi GRK yang dihasilkan dari aktivitas transportasi di ruas jalan tol di DKI Jakarta.

TINJAUAN PUSTAKA

Pencemaran Udara dan Gas Rumah Kaca

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang

Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya senyawa ke udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun hingga tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara diakibatkan dari adanya pencemar yang masuk ke atmosfer atau udara ambien. Berdasarkan klasifikasinya, pencemar udara dibagi menjadi dua yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah pencemar yang langsung diemisikan dari sumbernya. Pencemar sekunder adalah pencemar yang terbentuk di atmosfer akibat dari reaksi kimia.

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, GRK adalah gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Sedangkan emisi GRK merupakan lepasnya gas rumah kaca ke atmosfer pada suatu area tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Menurut US-EPA (*United States Environmental Protection Agencies*), GRK merupakan gas yang memerangkap panas di atmosfer dan menyebabkan terjadinya pemanasan global. Macam gas yang tergolong kedalam GRK yaitu Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), *Nitrous Oxide* (N₂O), dan gas berfluorinasi.

Karbon dioksida merupakan gas yang terbentuk melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak, pembakaran limbah padat, tumbuhan dan bahan biologis lainnya, serta sebagai hasil dari reaksi kimia tertentu seperti pembuatan semen. Emisi metana dapat dihasilkan dari kegiatan peternakan dan

praktek pertanian lainnya, namun dapat juga diakibatkan dari proses produksi dan pengangkutan batu bara, gas alam, ataupun minyak. Selain itu, gas metana juga dapat dihasilkan dari proses pembusukan suatu limbah organik. *Nitrous oxide* merupakan gas yang dapat ditimbulkan pada proses kegiatan pertanian, aktivitas industri, pembakaran bahan bakar fosil dan limbah padat, serta aktivitas pengolahan air limbah. Sedangkan gas berfluorinasi adalah gas rumah kaca sintetik dan kuat yang dihasilkan dari berbagai berbagai aplikasi dan proses pada kegiatan rumah tangga, komersil, maupun industri.

Pengelolaan Kualitas Udara

Pengelolaan kualitas udara (*air quality management*) adalah rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menciptakan dan memelihara udara bersih. Tujuan dari pengelolaan kualitas udara untuk melindungi kesehatan manusia dan memberikan perlindungan bagi ekosistem. Rangkaian kegiatan pengelolaan kualitas udara meliputi penetapan baku mutu, pemantauan kualitas udara ambien, penyusunan perijinan, penegakan hukum, dan penetapan insentif ekonomi untuk mengurangi pencemaran udara.

Strategi pengelolaan kualitas udara (*Air Quality Management Strategy/AQMS*) adalah serangkaian cara atau rencana tindak untuk melaksanakan kebijakan dan peraturan perundangan pengelolaan kualitas udara. AQMS mencakup elemen-elemen inventarisasi emisi, pemantauan kualitas udara ambien, prediksi konsentrasi pencemar udara dengan pemodelan dispersi pencemar udara, evaluasi dampak pencemaran udara terhadap manusia dan ekosistem, analisis biaya-manfaat dan efektivitas langkah-langkah

pengendalian, dan implementasi langkah-langkah pengendalian.

Inventarisasi Emisi

Inventarisasi emisi, merupakan tahap awal dari rangkaian AQMS yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan beban emisi baik untuk kriteria polutan maupun GRK. Inventarisasi emisi adalah pencatatan secara komprehensif jumlah pencemar udara dari sumber pencemar udara dalam suatu wilayah dan periode waktu tertentu. Inventarisasi emisi yang lengkap mencakup informasi sebagai berikut yaitu latar belakang adanya inventarisasi emisi, kesimpulan mengenai estimasi emisi berdasarkan kategori sumber pencemar, gambaran geografis mengenai wilayah yang akan dilakukan inventarisasi emisi, interval waktu inventarisasi yang dapat meliputi tahunan, musiman, atau harian, data penduduk, data industri, data ketenagakerjaan, dan data ekonomi lainnya yang digunakan dalam perhitungan emisi, dan penjelasan yang lengkap setiap kategori sumber. Penjelasan ini termasuk prosedur yang digunakan dalam pengumpulan data, sumber data, kuesioner dan hasilnya yang meliputi jumlah kuesioner yang disebar, jumlah responden, metode ekstrapolasi data untuk menentukan data *non-respons* dan asumsi-asumsi lainnya), faktor emisi, identifikasi metode yang digunakan untuk menghitung emisi termasuk contoh perhitungan, identifikasi sumber pencemar yang tidak termasuk dalam inventarisasi, dan daftar referensi.

Emisi dapat diestimasi menggunakan tingkat kompleksitas yang berbeda. Tingkat kompleksitas pada estimasi perhitungan emisi disebut dengan *Tier*. Terdapat 3 *tier*, yaitu *tier 1*, *tier 2*, dan *tier 3*. Semakin tinggi nilai dari *tier* maka semakin kompleks perhitungan

emisi dan semakin spesifik data yang diperlukan, dan semakin akurat emisinya. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2013), data inventarisasi emisi digunakan untuk menetapkan strategi dan peraturan, mengevaluasi status kualitas udara terkait dengan baku mutu yang telah ditetapkan dan mengevaluasi efektivitas kebijakan pengendalian pencemaran udara, dan melakukan perubahan kebijakan sesuai dengan kebutuhan.

Proses inventarisasi emisi terdiri dari 6 bagian sebagai berikut:

Perencanaan

Perencanaan inventarisasi emisi adalah penjabaran tujuan dan prosedur yang mencakup kategori pencemar yang akan dilakukan inventarisasi, identifikasi sumber, dan pelaporan data. Tahap ini memastikan tindakan apa saja yang harus dilakukan dalam penyusunan inventarisasi emisi.

Penyusunan inventarisasi

Kegiatan ini merupakan bagian utama dalam proses penyusunan inventarisasi, yang mana terdiri dari pengumpulan data dan perhitungan emisi. Metode estimasi dan pendekatan yang digunakan harus merupakan metode yang paling akurat dan representatif terkait dengan data yang tersedia.

Prosedur jaminan kualitas/quality assurance (QA) atau pengawasan kualitas/quality control (QC)

Program QA/QC yang komprehensif sangat penting dalam penyusunan inventarisasi emisi agar diperoleh hasil yang dapat dipertanggungjawabkan. Tanpa adanya pengawasan kualitas sepanjang proses inventarisasi, kesalahan-kesalahan yang terjadi

bisa mengacaukan keseluruhan proses inventarisasi.

Dokumentasi

Dokumentasi yang lengkap dan terorganisir dengan baik adalah penting agar inventarisasi dapat dipertanggungjawabkan. Tujuan dari tahap dokumentasi ini untuk memastikan bahwa kompilasi semua data menunjukkan upaya inventarisasi secara akurat.

Pelaporan

Pelaporan dalam penyusunan inventarisasi emisi mencakup penjelasan mengenai data yang telah dikumpulkan, diolah, dan dianalisis.

Pemeliharaan dan pemutakhiran

Kegiatan inventarisasi emisi merupakan suatu proses yang berkelanjutan. Pemeliharaan dan pemutakhiran inventarisasi setelah inventarisasi emisi disusun pertama kali akan menjamin kegunaannya di tahun-tahun mendatang

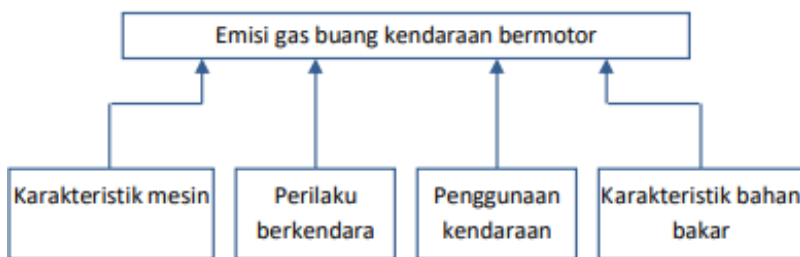
Metode Perhitungan Emisi Sektor Transportasi

Sektor transportasi merupakan sub sektor dari sektor energi dalam estimasi beban emisi. Berdasarkan IPCC *Guidelines* (2006), sektor transportasi dikategorikan sebagai sumber bergerak dengan emisi pencemar udara dan GRK dihasilkan oleh hasil pembakaran bahan bakar. IPCC *Guidelines* (2006) mengategorikan sumber transportasi ke dalam kegiatan transportasi umum di antaranya transportasi darat, udara, kereta api, dan perairan. Kategori kendaraan untuk transportasi darat mencakup kendaraan *light-duty* seperti mobil penumpang, minibus, truk *pick up*, kendaraan *heavy-duty* seperti

traktor, truk, dan bis, serta sepeda motor.

Setiap kategori kendaraan memiliki jenis bahan bakar dan kondisi pembakaran masing-masing sehingga memengaruhi nilai faktor emisi yang digunakan untuk setiap kategori kendaraan dan bahan bakar yang digunakan. Sementara data konsumsi bahan bakar dapat diaplikasikan untuk melakukan perhitungan *tier 1*, *tier* yang lebih tinggi dapat diaplikasikan dengan mengikutsertakan nilai VKT (*Vehicle Kilometer Traveled*) sesuai dengan jenis kendaraan, jenis bahan bakar, dan jika memungkinkan kondisi jalan, ke dalam perhitungan.

Perhitungan emisi sumber bergerak pada umumnya menggunakan metode faktor emisi. Secara spesifik, emisi dari kendaraan bermotor ditimbulkan dari proses pembakaran di dalam mesin yang mengeluarkan gas buang (nitrogen, CO₂, air, dan pencemar-pencemar udara), evaporasi bahan bakar pada mesin, saat pengisian bahan bakar, dan lainnya. Faktor yang memengaruhi emisi kendaraan bermotor ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber: Meyer dan Miller (2001)

Gambar 1 Faktor yang memengaruhi emisi kendaraan bermotor

Jenis dan jumlah pencemar yang diemisikan dari berbagai kategori kendaraan dipengaruhi oleh tingkat penggunaan kendaraan dalam ton atau kilogram- kilometer. Faktor emisi dipengaruhi oleh

berbagai parameter, diantaranya adalah karakteristik mesin, teknologi kendaraan, karakteristik bahan bakar, usia dan perawatan kendaraan, dan penggunaan kendaraan. Mesin diesel pada truk dan bus cenderung mengeluarkan CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan mesin bensin, tetapi NO_x dan partikulatnya lebih tinggi (Meyer dan Miller, 2001).

Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi di Indonesia diberlakukan mulai 2005. Nilai ini ekuivalen dengan EURO II yang diberlakukan di negara-negara Uni Eropa, dan sejak 1 Januari 2006 standar yang lebih ketat yaitu EURO IV telah diberlakukan di Uni Eropa. Sedangkan untuk kendaraan lama, ambang batas emisi di Indonesia mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Ambang batas emisi untuk kendaraan baru di Indonesia mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 20 Tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, N, dan O. Ambang batas emisi pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 20 Tahun 2017 telah mengacu pada EURO IV.

Faktor Emisi dan Beban Emisi

Faktor emisi (FE) merupakan nilai yang merepresentasikan besaran/kuantitas pencemar dari waktu ke waktu (KLH, 2010). Faktor emisi adalah suatu rasio yang menghubungkan emisi suatu pencemar dengan suatu tingkat aktivitas yang dapat diukur, misalnya jumlah materi yang diproses atau jumlah bahan bakar yang digunakan. Oleh karena itu, seringkali untuk mengestimasi beban

emisi digunakan rumus dasar perhitungan beban emisi yaitu dengan mengalikan data aktivitas dengan faktor emisi. Data yang berasal dari uji emisi lebih diandalkan untuk memperkirakan besaran emisi dari suatu sumber industri karena data tersebut merepresentasikan kondisi yang sebenarnya dari sumber yang diamati. Tetapi data ini tidak selalu tersedia sehingga perlu digunakan rumus perhitungan beban emisi dengan cara mengalikan data aktivitas dengan faktor emisi.

Penentuan nilai faktor emisi diperoleh dengan berbagai metode sesuai dengan aktivitas pada sektor yang ditinjau dan jenis polutan. Faktor emisi dapat diperoleh dengan melakukan pemodelan, misalnya dengan model empiris yang disesuaikan dengan format data yang tersedia. Selain itu, dapat diperkirakan dengan menggunakan prinsip kesetimbangan materi berdasarkan data bahan bakar sehingga dibutuhkan riset mengenai faktor-faktor yang memengaruhi nilai faktor emisi, nilai faktor emisi akan berbeda di tiap wilayah atau negara. Tidak semua negara memiliki acuan nilai faktor emisi, sehingga digunakan faktor emisi yang terdapat pada manual yang telah dijadikan acuan untuk perhitungan inventarisasi emisi secara global di antaranya faktor emisi yang dikeluarkan oleh IPCC, US Environmental Protection Agency (EPA), Ministry of Environment, Japan – *Guideline of Emission Inventory for East Asia*, dan European Environment Agency (EEA). Selain itu faktor emisi yang digunakan juga dapat diperoleh dari penelitian-penelitian faktor emisi yang telah dilakukan sebelumnya agar lebih merepresentasikan kondisi wilayah inventarisasi.

Faktor emisi memungkinkan perkiraan beban emisi dari beberapa kategori sumber atau sumber-sumber individu. Untuk menghitung

beban emisi dengan menggunakan faktor emisi, diperlukan 3 data masukan yaitu informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi (apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan). Faktor emisi yang digunakan pada studi ini berdasarkan *Guideline of Emission Inventory for East Asia* (MoE, 2011) dan *Greenhouse Gas and Air Pollution Interaction and Synergies* (GAINS).

Berdasarkan *Guidelines for Developing Emission Inventory in East Asia* (MoE, 2011), beban emisi adalah jumlah (massa) pencemar yang keluar dari sumber emisi. Beban emisi umumnya memiliki satuan ton/hari atau kg/jam. Beban emisi akan berbeda sesuai dengan konsentrasi pencemar di wilayah tersebut (jumlah pencemar di dalam ruang udara).

Distribusi Spasial

Berdasarkan hasil perhitungan terhadap data aktivitas diperoleh data beban emisi per gerbang tol untuk setiap pencemar udara atau emisi GRK. Pembuatan peta persebaran spasial emisi di ruas jalan tol DKI Jakarta dimulai dengan memasukkan data beban emisi GRK. Data beban emisi disajikan dengan menggunakan data comma delimited yang akan dimasukkan per gerbang tol yang sesuai data dari PT Jasa Marga. Data-data beban emisi kemudian diolah dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis untuk melihat dan mengetahui persebarannya secara spasial.

Berdasarkan sub bab sebelumnya, telah dijelaskan data lalu lintas yang didapatkan dari PT Jasa Marga harus dirincikan kembali karena data yang didapatkan merupakan jumlah kendaraan yang lewat di

setiap kendaraan tol yang dibagi berdasarkan Golongan (Golongan I-5). Setelah data telah dirincikan, maka akan didapatkan data jumlah setiap jenis kendaraan pada tahun 2021.

Selanjutnya, akan diproporsikan jumlah kendaraan di ruas gerbang tol DKI Jakarta dengan jumlah kendaraan total sehingga didapatkan beban emisi pada jalan – jalan yang ada.

Beban Emisi i Kendaraan j pada GT x dihitung dengan rumus:

$$\frac{\text{Jumlah kendaraan Jenis } j \text{ pada GT } x}{\text{Total jumlah kendaraan jenis } j \text{ di seluruh GT}} \times \text{Beban emisi total } i \text{ kendaraan jenis } j$$

..... (1)

Selanjutnya, untuk mendapatkan beban emisi total dari tiap gerbang tol akan digunakan persamaan berikut:

$$\text{Beban Emisi } i \text{ pada GT } x = \sum ((\text{Beban Emisi Kendaraan}) j + (\text{Beban Emisi Kendaraan}) k + \dots)$$

..... (2)

Setelah mendapatkan beban emisi di tiap gerbang tol, maka distribusi spasial dengan perangkat lunak GIS dapat digunakan dan didapatkan hasil distribusi spasial untuk setiap jenis kendaraan dan setiap pencemar.

Pengukuran Emisi Kendaraan Menggunakan *Remote Sensing*

Remote sensing atau penginderaan jarak jauh merupakan sebuah teknologi sistem yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat emisi gas buang pada kendaraan bermotor salah satunya emisi CO₂ pada kondisi kendaraan melaju (ETC, 2020).

Rangkaian sistem ini terdiri dari rangkaian modul (*scope*) yang berfungsi untuk memancarkan sinar inframerah (IR) dan *ultraviolet* (UV), reflektor sinar, sensor untuk mengukur kecepatan dan akselerasi kendaraan, kamera, serta komputer sebagai kontrol sistem dan untuk menampung data (Hao, 2020). Rangkaian sistem penginderaan jarak jauh disusun dengan cara menempatkan modul dan reflektor pada sisi jalan yang akan diukur secara berseberangan. Saat kendaraan melaju melewati sinar IR dan UV yang dipancarkan melalui modul, data tingkat emisi dari kendaraan tersebut akan terekam pada komputer.

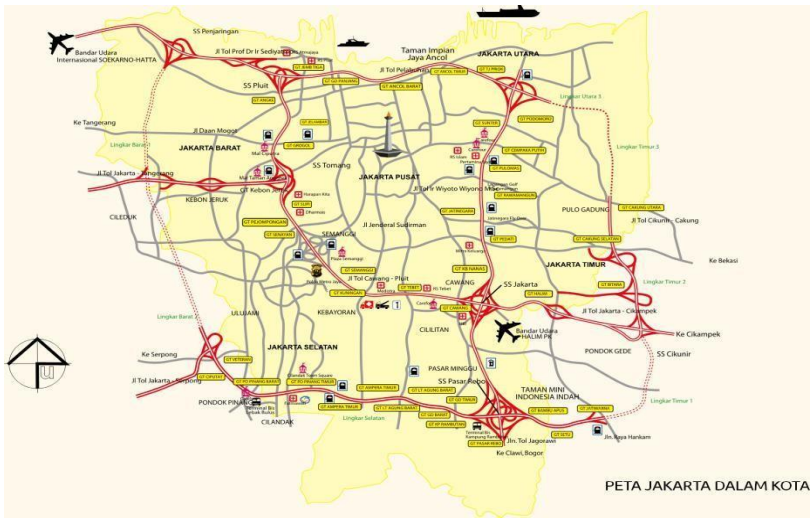
Selain data emisi, sistem juga akan merekam data kecepatan dan akselerasi dari setiap kendaraan yang melewati sistem penginderaan jarak jauh tersebut. Sedangkan kamera berfungsi untuk mengidentifikasi jenis dan tipe setiap kendaraan yang melewati sistem penginderaan jarak jauh tersebut. Data emisi kendaraan dicatat dalam waktu kurang dari satu detik setelah melewati sistem. Sehingga dengan hanya dalam hitungan jam, sistem dapat menghasilkan ribuan data emisi yang biasanya membutuhkan waktu, biaya, dan upaya yang lama untuk dikumpulkan melalui pengujian stasiun.

PEMBAHASAN

Ruas Jalan Tol di Provinsi DKI Jakarta

Jalan tol di Provinsi DKI Jakarta dibuat untuk menunjang kebutuhan akan transportasi seluruh penduduk DKI Jakarta dan sekitarnya, maka dibangun jalan tol di Kawasan DKI Jakarta yang digambarkan

pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta Jalan Tol di Wilayah Provinsi DKI Jakarta

Ruang lingkup jalan tol pada tulisan ini adalah Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta atau *Jakarta Outer Ring Road* (JORR) dan Jalan Tol Lingkar Dalam Jakarta atau *Jakarta Inner Ring Road* (JIRR). JORR adalah rangkaian jalan tol yang melingkari bagian luar Jakarta. JORR merupakan salah satu pilihan utama untuk masyarakat Jakarta atau Tangerang untuk menuju Bogor, Bekasi, dan berbagai daerah di Kawasan Pantai Utara dan Selatan. Saat ini JORR terbagi menjadi 3 bagian besar yaitu Ruas Pondok Pinang-Pasar Rebo dikelola oleh PT Utama Karya (Persero), Ruas Pasar Rebo-Rorotan dikelola oleh PT Jalantol Lingkarluar Jakarta, dan Ruas Kembangan-Penjaringan dikelola oleh PT Jakarta Lingkar Barat Satu.

Ruas Kembangan-Ulujamu dikelola oleh PT Marga Lingkar Jakarta yang merupakan anak perusahaan PT Jasa Marga. Jalan Tol Lingkar

Dalam Jakarta (*Jakarta Inner Ring Road*) merupakan jalan tol yang mengitari bagian dalam DKI Jakarta. Jalan tol ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu Jalan Tol Cawang-Pluit, Jalan Tol Pelabuhan, ruas Pluit-Tanjung Priok, dan Jalan Tol Ir. Wiyoto-Wiyono, ruas Cawang-Tanjung Priok.

Data Aktivitas

Data aktivitas untuk perhitungan emisi pada jalan tol di DKI Jakarta adalah konsumsi bahan bakar bensin dan diesel di jalan tol di DKI Jakarta yang diperoleh dari perhitungan data lalu lintas pada setiap gerbang tol di Jakarta dari PT Jasa Marga. Data lalu lintas yang diteliti adalah data lalu lintas di gerbang tol tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Gerbang Tol Penelitian

No	Gerbang Tol	No	Gerbang Tol	No	Gerbang Tol
1	Ampera 1	33	Gedong 1	65	Lenteng Agung 3
2	Ampera 2	34	Gedong 2	66	Meruya 1
3	Ancol Barat	35	Gedong Panjang 1	67	Meruya Selatan 1
4	Ancol Timur	36	Gedong Panjang 2	68	Meruya Selatan 2
5	Angke 1	37	Halim Utama	69	Pejompongan
6	Angke 2	38	Jati Asih 1	70	Pluit 1
7	Bambu Apus 1	39	Jati Asih 2	71	Pluit 2
8	Bambu Apus 2	40	Jati Warna 1	72	Pluit 3
9	Benda	41	Jati Warna 2	73	Podomoro
10	Bintara	42	Jatinegara	74	Pondok Pinang
11	Cakung 1	43	Jelambar 1	75	Pulogebang
12	Cakung 2	44	Jelambar 2	76	Pulomas
13	Rorotan	45	Jembatan Tiga 1	77	Rawamangun
14	Cakung (JTD)	46	Jembatan Tiga 2	78	Rawa Buaya Utara
15	Cawang	47	Joglo 2	79	Semanggi 1
16	Cempaka Putih	48	Joglo 3	80	Semanggi 2
17	Cengkareng	49	Kalimalang 1	81	Senayan
18	Cikunir 1	50	Kalimalang 2	82	Setu
19	Cikunir 2	51	Kamal 1	83	Slipi 1

Tabel 1 Gerbang Tol Penelitian (lanjutan)

No	Gerbang Tol	No	Gerbang Tol	No	Gerbang Tol
20	Cikunir 4	52	Kamal 2	84	Slipi 2
21	Cikunir 6	53	Kamal 3	85	Sunter
22	Cilandak Utama	54	Kamal 4	86	Tanjung Duren
23	Ciledug 1	55	Kampung Rambutan 1	87	Tanjung Priok 1
24	Ciledug 2	56	Kapuk	88	Tanjung Priok 2
25	Ciledug 3	57	Kayu Besar 1	89	Tebet 1
26	Ciledug 4	58	Kebon Bawang	90	Tebet 2
27	Cililitan Utama	59	Kebon Nanas	91	Tomang
28	Ciputat 1	60	Kemayoran	92	Pasar Rebo
29	Ciputat 2	61	Kuningan 1	93	Veteran
30	Dukuh 1	62	Kuningan 2	94	Veteran 2
31	Fatmawati 1	63	Lenteng Agung 1		
32	Fatmawati 2	64	Lenteng Agung 2		

Faktor dan Perhitungan Emisi

Faktor emisi diperlukan dalam penyusunan inventarisasi emisi dan akan berbeda untuk setiap sektor. Faktor emisi dari kegiatan yang sama dapat menjadi berbeda pada setiap negara. Tidak semua negara memiliki faktor emisi untuk wilayahnya hanya beberapa negara yang telah mengembangkan faktor emisinya sendiri untuk dijadikan acuan dalam pelaksanaan inventarisasi nasional. Dalam penelitian ini digunakan faktor emisi secara global dalam perhitungan inventarisasi emisi diantaranya faktor emisi manual dari IPCC *Guidelines* (IPCC, 2006).

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara, data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan pada sektor transportasi adalah jumlah konsumsi bahan bakar, jumlah kendaraan per jenis kendaraan, ekonomi bahan bakar, panjang perjalanan per satuan waktu (VKT), volume lalu lintas (*traffic*

count), dan odometer. Inventarisasi emisi ini, metode *bottom-up* menggunakan pendekatan dari data volume lalu lintas pada setiap gerbang tol di Jakarta. Penggunaan bahan bakar pada jalan tol didapat dari data volume lalu lintas, panjang jalan tol, dan *fuel economy* (ekonomi bahan bakar).

Beban Emisi Jalan Tol Jakarta

Polutan pada jalan tol berasal dari *mobile source* atau sumber bergerak. Kegiatan yang masuk ke dalam lingkup penelitian ini adalah pembakaran bahan bakar pada kendaraan bermotor di jalan tol, karena polutan yang masuk ke dalam lingkup inventarisasi (GRK) umumnya berasal dari kegiatan tersebut.

Jenis kendaraan yang akan dilakukan inventarisasi emisi pada penelitian ini adalah mobil penumpang (bensin dan diesel), bus, dan truk. Rumus yang digunakan untuk menghitung beban emisi sektor transportasi, mengacu pada *Guidelines for Developing Emission Inventory in East Asia* (MoE, 2011), adalah sebagai berikut:

$$E_i = \sum_j \sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- E_i = Beban Emisi Polutan *I* (g)
- FC_{*j,m*} = Jenis kendaraan *j*, konsumsi bahan bakar *m* (kg)
- EF_{*i,j,m*} = Faktor Emisi (untuk polutan *I*, jenis kendaraan *j*, dan bahan bakar tipe *m*)

Berdasarkan sub bab sebelumnya, data konsumsi bahan bakar didapatkan dari data volume lalu lintas, panjang jalan tol, dan *fuel*

economy (ekonomi bahan bakar). *Fuel Economy* yang digunakan dalam penelitian ini dituliskan pada Tabel 2.

Tabel 2 *Fuel Economy* Sektor Transportasi (Km/L)

Jenis Kendaraan	Fuel Economy (km/L)	Sumber
Mobil (Bensin)	15,5	PP 73/2019*
Mobil (Diesel)	17,5	PP 73/2019*
Bus	4,9	BPPT, 2018
Light- duty truck	5,3	Karauna, 2020
Heavy-duty truck	3	Karauna, 2020

* *Fuel economy* yang digunakan untuk kapasitas kendaraan sampai dengan 3000 cc

Perhitungan konsumsi bahan bakar di jalan tol DKI Jakarta dihitung dengan mengalikan total kendaraan pada setiap jenis dengan panjang jalan yang dibagi per segmen. Pembagian segmen dilakukan karena keterbatasan data dan informasi terkait lintasan setiap kendaraan yang masuk di setiap gerbang tol dan juga diasumsikan tidak seluruh kendaraan yang masuk di setiap gerbang tol melintasi seluruh ruas tol JORR dan JIRR. Pembagian segmen tersebut tertera pada Tabel 3.

Tabel 3 Pembagian Segmen pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Segmen	Gerbang Tol Awal	Gerbang Tol Akhir
Segmen 1	Kamal	Jati Asih 2
Segmen 2	Benda	Tanjung Priok 2
Segmen 3	Tanjung Priok 2	Kalimalang 2
Segmen 4	Pluit 2	Cikunir 1
Segmen 5	Meruya 1	Tomang
Segmen 6	Tanjung Priok 2	Utama Pasar Rebo

Apabila dituangkan dalam gambar, pembagian segmen digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Pembagian Segmen pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Sebagai contoh, akan dilakukan perhitungan panjang lintasan segmen untuk GT Ampera 2. GT Ampera 2 terletak pada segmen 1 (GT Kamal – GT Jati Asih 2) dengan panjang 41,1 km. Lintasan panjang segmen untuk GT Ampera 2 adalah 15,9 km yang merupakan panjang dari GT Ampera 2 hingga GT Jati Asih 2. Perhitungan total perjalanan kendaraan dilakukan dengan pendekatan setiap kendaraan masuk pada gerbang tol sesuai dengan data yang didapatkan dari PT Jasa Marga dan melintasi segmen yang tertera pada Tabel 3 hingga gerbang tol akhir. Data total kendaraan didapatkan dari data sekunder yaitu data lalu lintas yang berasal dari PT Jasa Marga. Data lalu lintas yang didapatkan merupakan jumlah kendaraan yang lewat di setiap kendaraan tol yang dibagi berdasarkan Golongan (Golongan I-5), dengan pembagian bahwa Golongan 1 merupakan sedan, mobil jip, *pick up* atau truk kecil, dan bus, Golongan 2 merupakan truk besar dengan dua gandar, Golongan 3 merupakan truk besar dengan tiga gandar, Golongan 4 merupakan truk besar dengan empat gandar, dan Golongan 5 merupakan truk besar dengan lima gandar.

Klasifikasi di atas merupakan klasifikasi yang telah ditentukan oleh PT Jasa Marga untuk jalan tol di Indonesia. Data tersebut harus dirincikan kembali, karena pada golongan 1 merupakan gabungan data lalu lintas dari mobil bensin, mobil diesel, dan bus. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Ganesha Environmental & Energy Services* pada tahun 2021, persentase bus yang melintasi tol DKI Jakarta adalah sebesar 0,93% dari total kendaraan yang melintas.

Menurut Gabungan Agen Tunggal Industri Kendaraan Bermotor Indonesia/Gaikindo (dalam Lestari dkk, 2020), persentase mobil diesel adalah 20% dari total mobil yang melintas. Dari data tersebut maka total kendaraan untuk mobil bensin, mobil diesel, bus, dan truk (*light-duty* dan *heavy-duty*) dapat dihitung. Truk yang termasuk dalam kategori truk ringan (*light-duty truck*) merupakan kendaraan pada golongan 2 dan 3, sementara truk yang termasuk kategori truk berat (*heavy-duty truck*) merupakan kendaraan pada golongan 4 dan 5. Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan kebutuhan konsumsi bahan bakar untuk tiap jenis kendaraan yang dituliskan pada Tabel 4.

Tabel 4 Konsumsi Bahan Bakar di Jalan Tol DKI Jakarta

Tahun	Jenis kendaraan				
	Mobil Bensin (kL)	<i>Light-duty</i> Truk (kL)	<i>Heavy-duty</i> Truk (kL)	Mobil <i>Diesel</i> (kL)	Bus (kL)
2017	314.460	56.078	33.823	54.498	9.180
2018	428.350	82.344	49.665	80.023	13.480
2019	440.414	88.163	53.175	85.679	14.433
2020	349.725	72.902	43.970	70.848	11.934
2021	362.237	82.868	49.981	80.533	13.566

Faktor emisi yang digunakan mengacu kepada *IPCC guideline*,

(IPCC, 2006) dituliskan pada Tabel 5.

Tabel 5 Faktor Emisi CO, NO_x, PM_{2,5} dan PM₁₀ Berdasarkan Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Jenis Pencemar	
	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)
Mobil Bensin	69300	2.884
Mobil Diesel	71900	3
Bus	71900	3
<i>Light-duty</i> Truk	71900	3
<i>Heavy-duty</i> Truk	71900	3

Sumber: IPCC (2006)

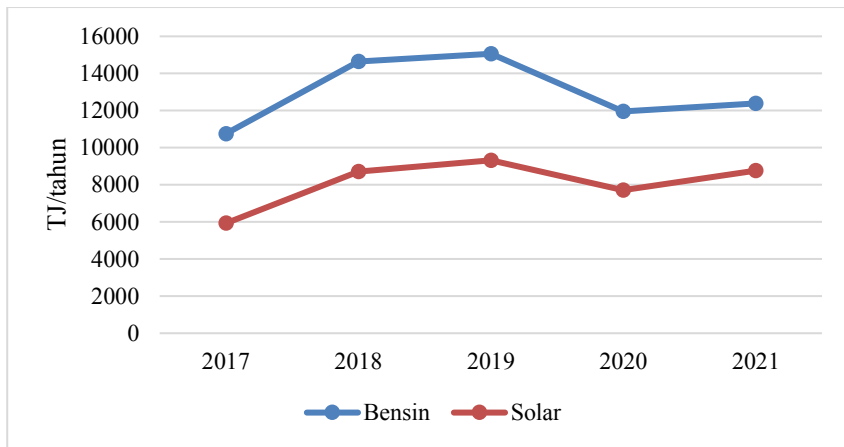
Teknologi yang dipakai adalah mesin kendaraan bermotor di Indonesia saat ini adalah *Euro-2*, oleh karena itu faktor emisi pada tabel sebelumnya mengacu pada standar *Euro-2*. Ciri dari mesin kendaraan dengan standar *Euro-2* adalah hanya dapat menerima bahan bakar dengan kadar timbal nol, dan kadar sulfur 500 ppm untuk bensin maupun diesel. Saat ini, telah dilakukan peralihan teknologi *Euro-4* pada kendaraan bermotor di Indonesia, namun dalam penelitian ini masih digunakan standar teknologi *Euro-2* dikarenakan belum semua kendaraan bermotor beralih ke teknologi *Euro-3* dan *Euro-4*.

Hasil Emisi GRK

Perhitungan inventarisasi emisi dilakukan berdasarkan penggunaan bahan bakar pada jalan tol di DKI Jakarta dalam bentuk konsumsi energi setiap tahunnya. Bahan bakar tersebut berupa bensin (premium, pertalite, pertamax, pertamax turbo) dan diesel (solar, dex, dextrite).

Berdasarkan ruang lingkup jalan tol, maka kendaraan dengan bahan

bakar bensin yang diteliti adalah mobil penumpang sementara untuk diesel adalah mobil penumpang, truk, dan bus. Menurut Gaikindo (dalam Lestari dkk, 2020), persentase mobil diesel adalah 20% dari total mobil yang ada. Konsumsi energi pada jalan tol di DKI Jakarta digambarkan pada Gambar 4.



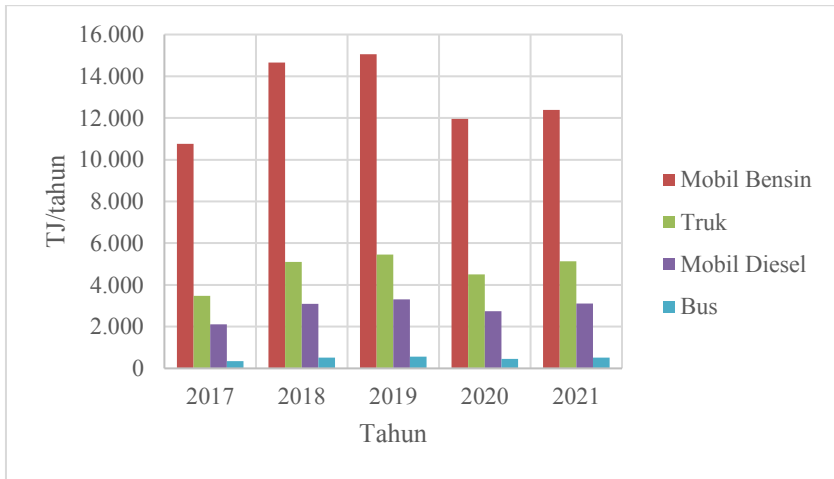
Sumber: Gaikindo (dalam Lestari dkk, 2020)

Gambar 4 Konsumsi Energi Pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa terjadi penurunan konsumsi energi untuk kedua bahan bakar pada tahun 2020. Hal ini diakibatkan oleh Pandemi Covid-19 yang menyebabkan adanya pembatasan berbagai aktivitas manusia, tidak terkecuali pada sektor transportasi di jalan tol DKI Jakarta. Pembatasan tersebut berupa PSBB (Pembatasan Sosial Berskala Besar), yang dimulai sejak 31 Maret 2020. Terjadi penurunan sebesar 20,59% untuk penggunaan bahan bakar bensin, sementara terjadi penurunan sebesar 17,3% untuk bahan bakar diesel.

Konsumsi energi untuk kendaraan berbahan bakar bensin pada jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2021 adalah 19% dari konsumsi total

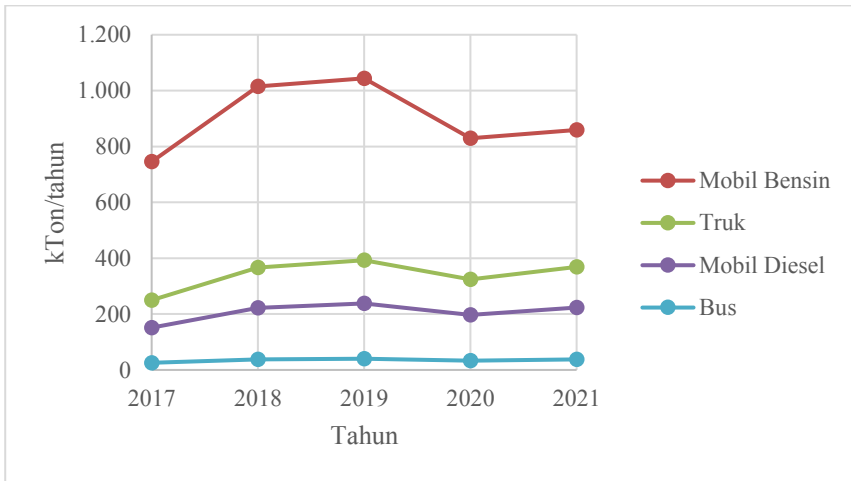
energinya dari bahan bakar bensin untuk sektor transportasi di DKI Jakarta, sementara konsumsi energi pada kendaraan berbahan bakar diesel pada jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2021 adalah sebesar 37,74% dari konsumsi total energinya untuk bahan bakar diesel di DKI Jakarta. Rincian konsumsi energi untuk setiap jenis kendaraan pada jalan tol di DKI Jakarta terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 Konsumsi Energi Pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Berdasarkan Gambar 5, konsumsi energi pada jalan tol di DKI Jakarta paling besar dikonsumsi oleh mobil bensin, dilanjutkan oleh truk (*light-duty* dan *heavy-duty*), mobil diesel, dan bus. Terdapat penurunan konsumsi penggunaan bahan bakar pada seluruh jenis kendaraan pada tahun 2019 ke 2020 diakibatkan oleh 276andemic Covid-19. Merujuk Gambar 5, diketahui bahwa konsumsi bensin pada jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2021 adalah sebesar 19% dari konsumsi total bensin untuk sektor transportasi di DKI Jakarta, sementara konsumsi diesel pada jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2021 adalah sebesar 37,74% dari konsumsi total diesel untuk sektor transportasi di DKI Jakarta. Beban emisi total GRK di jalan tol di

DKI Jakarta digambarkan pada Gambar 6.

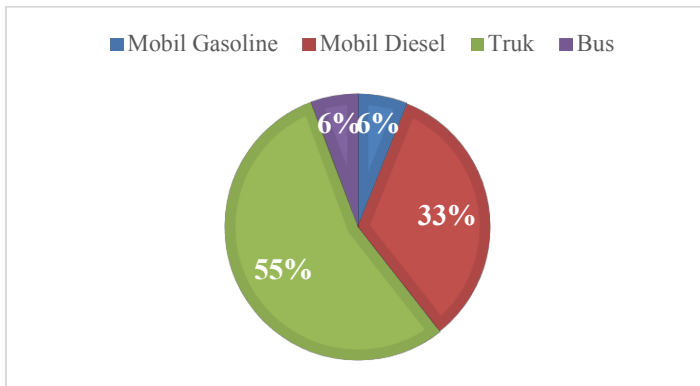


Gambar 6 Beban Emisi Total GRK pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Berdasarkan inventarisasi emisi yang dilakukan pada jalan tol di DKI Jakarta untuk emisi total GRK, dapat dilihat perbedaan jenis kendaraan dengan emisi yang dihasilkannya. Total emisi GRK paling banyak dihasilkan oleh mobil dengan bahan bakar bensin dengan nilai sebesar 858 kilo ton pada tahun 2021. Sedangkan, total emisi GRK pada truk mencapai 369 kiloton pada tahun 2021.

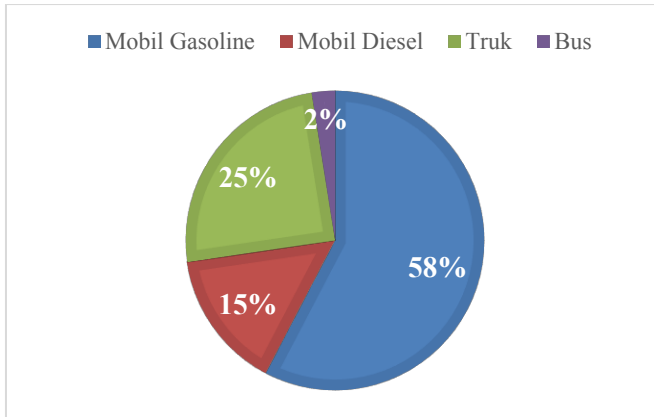
Pada tahun yang sama, total emisi GRK dari mobil berbahan bakar diesel dan bus sebesar 223 kilo ton dan 37 kilo ton secara berturut-turut. Hasil dari konsumsi penggunaan bahan bakar pada Gambar 6 berbanding lurus dengan penurunan beban emisi di jalan tol DKI Jakarta yang digambarkan pada Gambar 7. Pada tahun 2020-2021 terjadi kenaikan kembali pada konsumsi penggunaan bahan bakar yang berakibat pada peningkatan kembali beban emisi di jalan tol DKI Jakarta.

Gambar 7 menunjukkan besar persentase kontributor untuk emisi GRK berdasarkan jenisnya. Untuk emisi CH₄, kontribusi tertinggi didapatkan pada kendaraan truk sebesar 55% dan diikuti dengan mobil berbahan bakar solar sebanyak 33%. Hal ini terjadi karena jenis kendaraan tersebut merupakan jenis kendaraan dengan jumlah konsumsi energi dari bahan bakar solar yang tertinggi. Sedangkan untuk kendaraan bus dan mobil berbahan bakar bensin masing-masing memberikan kontribusi yang sama sebesar 6% kepada emisi CH₄.



Gambar 7 Kontributor Emisi CH₄ pada Jalan Tol di DKI Jakarta

Sedangkan Gambar 8 menunjukkan besar persentase kontributor untuk emisi GRK berdasarkan jenisnya. Emisi CO₂, kontribusi tertinggi didapatkan pada kendaraan mobil dengan bahan bakar bensin sebesar 58%. Hal ini terjadi karena pembakaran bahan bakar jenis bensin merupakan sumber emisi CO₂. Kemudian diikuti dengan truk sebesar 25%, mobil berbahan bakar solar sebesar 15%, dan bus sebesar 2%.



Gambar 8 Kontributor Emisi CO₂ pada Jalan Tol di DKI Jakarta

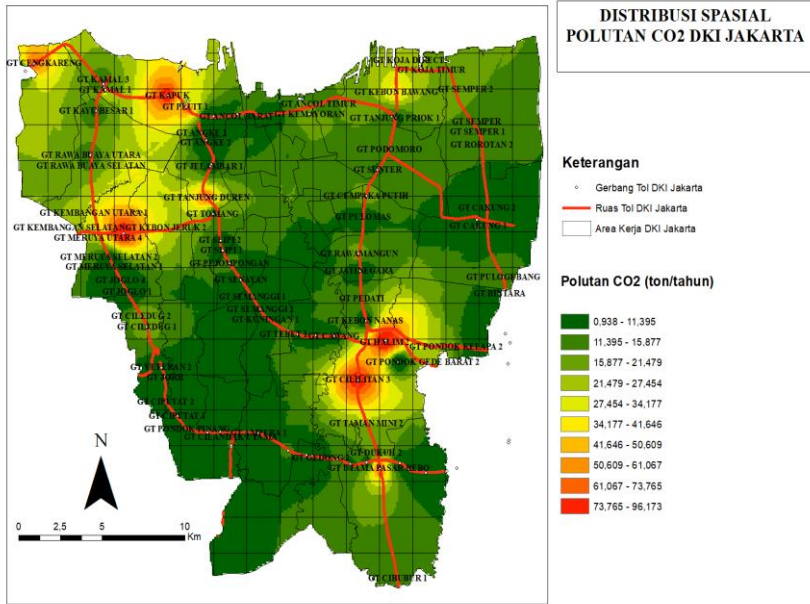
Distribusi Spasial Emisi GRK

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah sistem yang didesain untuk memungkinkan penggunaanya bekerja dengan data spasial. Sebuah SIG terdiri atas beberapa elemen yang meliputi input data, manajemen data, manipulasi dan analisis data, serta hasil. Hasil dari sebuah analisis menggunakan SIG dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk seperti peta distribusi spasial (As Syakur, 2007). Distribusi spasial untuk jalan tol di DKI Jakarta berdasarkan data lalu lintas yang didapatkan dari PT Jasa Marga. Ruas tol yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 9.

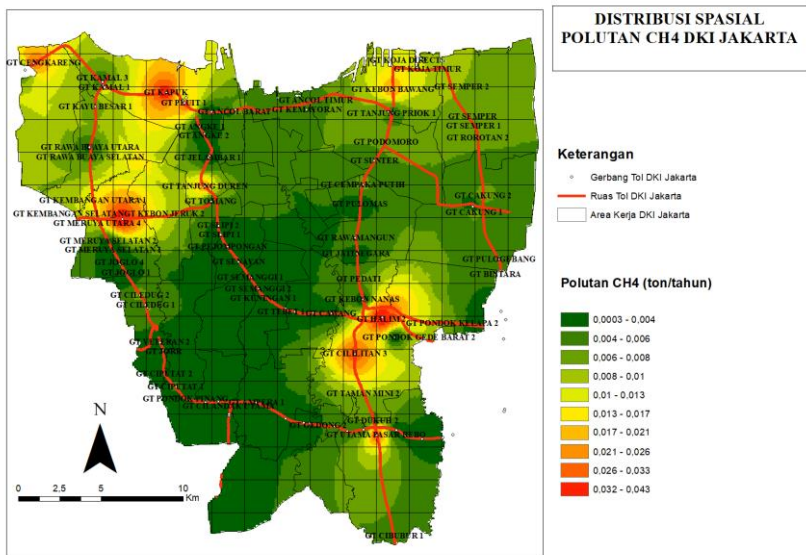


Gambar 9 Pintu-Pintu Tol yang Berada Pada Ruas Jalan Tol DKI Jakarta

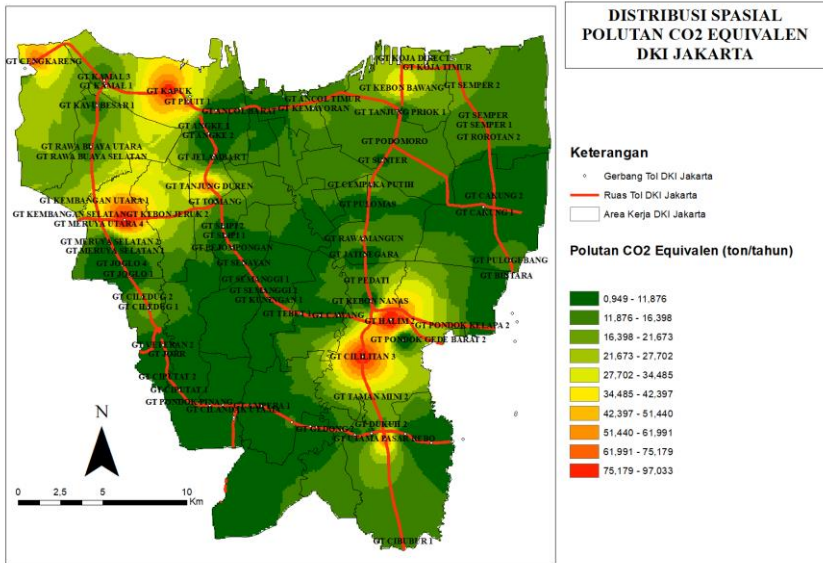
Koordinat dari setiap gerbang tol yang diteliti digambarkan pada Gambar 9. Batasan dalam distribusi spasial yang dilakukan pada penelitian ini adalah hanya menggunakan data input berupa data lalu lintas dari setiap kendaraan yang masuk pada 94 gerbang tol di DKI Jakarta. Data lalu lintas yang digunakan untuk distribusi spasial merupakan data akumulatif pada tahun 2021. Hasil dari distribusi spasial emisi GRK pada ruas jalan tol di DKI Jakarta dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



Gambar 10 Distribusi Spasial Polutan CO₂



Gambar 11 Distribusi Spasial Polutan CH₄



Gambar 12 Distribusi Spasial Polutan CO₂ Equivalent

Gambar tersebut menunjukkan bahwa ruas tol yang menghasilkan emisi paling tinggi akan ditunjukkan dengan skala warna merah sedangkan ruas tol yang menghasilkan emisi paling rendah akan ditunjukkan dengan skala warna hijau tua. Dari distribusi spasial tersebut, didapatkan beberapa ruas tol yang mengemisikan GRK paling banyak diantaranya adalah ruas tol Halim, ruas tol Cililitan 3, ruas tol Cengkareng, ruas tol Meruya, dan ruas tol Pluit. Hal ini dikarenakan ruas tersebut merupakan ruas masuk ke dalam kota Jakarta dari Tangerang, Bogor, dan Cikampek. Selain itu, Cengkareng merupakan jalan utama dari atau menuju Bandara Soekarno Hatta, sehingga memiliki volume kendaraan yang padat dan tentunya menghasilkan emisi GRK yang besar. Hal ini juga sesuai dengan data lalu lintas yang didapatkan dari PT Jasa Marga bahwa pada ruas tol tersebut memiliki jumlah kendaraan yang banyak, terutama mobil dengan bahan bakar bensin. Berdasarkan

Gambar 10, 11, dan 12 nilai emisi CO₂, CH₄, dan CO₂ ekuivalen tertinggi mencapai 96,17 ton/tahun, 0,043 ton/tahun, dan 97,03 ton/tahun secara berturut-turut.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Beban emisi GRK pada sektor transportasi jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2021 adalah sebesar 1.488,97 kton/tahun. Beban emisi GRK di sektor transportasi pada jalan tol di DKI Jakarta pada tahun 2017 – 2021 mengalami peningkatan pada tahun 2017 – 2019 dan 2020 – 2021, namun mengalami penurunan di tahun 2019 – 2021. Emisi GRK paling banyak diemisikan oleh mobil dengan bahan bakar bensin dengan kontribusi 58% dari total emisi GRK dari kendaraan pengguna jalan tol di DKI Jakarta.

Terdapat penurunan konsumsi penggunaan bahan bakar pada seluruh jenis kendaraan pada tahun 2019 ke 2020 diakibatkan oleh pandemi Covid-19. Hal ini berbanding lurus dengan penurunan beban emisi di jalan tol DKI Jakarta. Pada tahun 2020 ke 2021 terjadi kenaikan kembali pada konsumsi penggunaan bahan bakar yang berakibat pada peningkatan kembali beban emisi di jalan tol DKI Jakarta. Dari hasil distribusi spasial menunjukkan lokasi ruas jalan tol di DKI Jakarta dengan emisi GRK tinggi adalah ruas Jalan Tol Halim, ruas Jalan Tol Cililitan 3, ruas Jalan Tol Cengkareng, ruas Jalan Tol Meruya, dan ruas Jalan Tol Pluit dengan nilai emisi GRK tertinggi mencapai 97,03 ton/tahun.

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa sektor transportasi memiliki kontribusi yang besar terkait beban emisi GRK di DKI Jakarta pada umumnya. Kebijakan dalam

meningkatkan kualitas udara di sektor transportasi telah dilakukan seperti kewajiban uji emisi kendaraan, penerapan kawasan ganjil-genap, dan lain sebagainya. Namun demikian masih terdapat beberapa potensi kebijakan yang dapat diterapkan guna meningkatkan kualitas udara dari sektor transportasi seperti penerapan EURO IV, EV (*Electric Vehicle*), ERP (*Electronic Road Pricing*), penerapan bahan bakar berbasis *biofuel* maupun kebijakan pembatasan usia guna kendaraan dan studi mengenai efektivitas peningkatan kualitas udara dari penerapan kebijakan tersebut masih perlu untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- As Syakur. 2007. *Sistem Informasi Geografis (SIG)*. <https://mbojo.wordpress.com/2007/04/08/sistem-informasi-geografi-sig/>. Diakses pada 8 Juni 2023
- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi DKI Jakarta. 2022. *Provinsi DKI Jakarta Dalam Angka*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta. 2020. *Laporan Akhir Pemantauan Kualitas Udara DKI Jakarta 2020*. Jakarta: DLH DKI Jakarta.
- Environmental Technology Consultants Limited (ETC). 2020. *M752 Remote Sensing Emission Measurement System Operating Manual. Version 3.1*.
- Hao, Lijun, Hang Yin, Junfang Wang, Xiaohu Wang, dan Yunshan Ge. 2020. *Remote Sensing of NO Emission from Light-duty Diesel Vehicle*. *Atmospheric Environment*, 242 (2020) 117799.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC*

Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
IPCC.

Kementerian Lingkungan Hidup. 2010. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah.* Jakarta. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. *Pedoman Penyelenggaraan Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan.* Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.

Kusumaningtyas, S.D.A., Aldrian, E., Wati, T., Atmoko, D. dan Sunaryo, S. 2018. *The Recent State of Ambient Air Quality in Jakarta.* Aerosol Air Qual. Res. 18: 2343-2354

Lestari, P., Damayanti, S., dan Maulana, K. 2020. *Emission Inventory of Pollutants (CO, SO₂, PM_{2.5}, and NO_x) In Jakarta Indonesia.* IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 489 012014.

Meyer, M.D., Meyer., M.D. 2001. *Urban Transportation Planning.* USA: McGraw-Hill.

Ministry of Environment. 2011. *Guidelines for Developing Emission Inventory in East Asia.* Ministry of the Environment, Japan.

Pemerintah Indonesia. 2021. *Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional.* Pemerintah Indonesia. Jakarta.

United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Diakses pada 6 Maret 2023.

Pembangunan jalan tol merupakan hal krusial dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia. Namun, operasi dan pemeliharaan jalan tol juga sangat penting dalam memastikan bahwa jalan tol tersebut dapat digunakan dengan aman, nyaman, dan sustain. Buku mengenai "Keberlanjutan dalam Pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol" merupakan karya yang sangat penting bagi beragam pemangku kepentingan di industri jalan tol. Buku ini memberikan pemahaman yang kontemporer dan komprehensif mengenai bagaimana praktek manajemen operasi yang efektif dan efisien dalam operasi dan pemeliharaan jalan tol.

Buku Kajian Kritis Pengembangan Jalan Tol di Indonesia merupakan kompilasi studi akademis yang memberikan pemahaman komprehensif mengenai implementasi operasi dan pemeliharaan jalan tol di Indonesia. Buku ini juga memberikan wawasan mengenai standar pelayanan untuk memenuhi kebutuhan pengguna, modernisasi sistem operasional jalan tol dalam bentuk penggunaan sistem teknologi informasi, serta sustainabilitas dalam pengelolaan jalan tol di Indonesia.

Drs. Sri Bagus Guritno, AK, M.Sc - Direktur Pengembangan Pendanaan Pembangunan, Bappenas

Buku ini sangat layak dibaca karena ditulis para ahli di bidangnya yang mengkaji pengoperasian dan preservasi jalan tol dari berbagai aspek, sekaligus menjadi bahan pertimbangan para pengambil keputusan, pembuat kebijakan serta referensi yang bermanfaat untuk pemerhati infrastruktur dan transportasi serta pengguna jalan. Tidak banyak literatur yang mengulas tentang pembangunan, pengembangan hingga pengoperasian jalan tol berkelanjutan sebagai kunci konektivitas Indonesia yang turut menggerakkan roda ekonomi bangsa.

Subakti Syukur - Direktur Utama PT Jasa Marga

Buku yang harus dimiliki, karena merekam seluruh aspek penting dalam pengembangan jalan tol di Indonesia, membahasnya secara kritis, dan ditulis oleh para pelaku utama. Referensi yang penting dalam memahami perkembangan dan tantangan saat ini, sekaligus acuan dalam evaluasi di masa datang.

Prof. Tri Basuki Joewono, Ph.D - Rektor Universitas Katolik Parahyangan



PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero) Mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia di tengah keterbatasan anggaran Pemerintah. Pemenuhan atas kebutuhan infrastruktur merupakan langkah penting dalam menjaga pertumbuhan ekonomi. Di tengah keterbatasan anggaran Negara, Pemerintah Indonesia mendorong partisipasi Badan Usaha dalam pembangunan infrastruktur Nasional melalui dukungan kebijakan, instrumen dan kerangka fiskal.



**UNIVERSITAS GADJAH MADA
PUSAT STUDI TRANSPORTASI DAN LOGISTIK**

Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral) Universitas Gadjah Mada memiliki visi terwujudnya pusat studi bidang transportasi dan logistik yang unggul dan inovatif berkelas dunia yang mengabdikan kepada kepentingan bangsa dan kemanusiaan. Pustral UGM memiliki lingkup keahlian Infrastruktur, Sistem dan Manajemen; Ekonomi dan Bisnis; Kebijakan, Kelembagaan dan Regulasi; Sosial, Budaya, Keselamatan dan Lingkungan; Tata Rancang Kawasan berbasis Mobilitas; serta Telematika dan Sistem Informasi.

