

TESIS

**KAJIAN RENCANA IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *MULTI
LANE FREE FLOW* (MLFF) PADA JALAN TOL TRANS
SUMATERA (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung - Palembang -
Betung)**



LISA AYU WINANTI

03022622428002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

TESIS

KAJIAN RENCANA IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *MULTI LANE FREE FLOW* (MLFF) PADA JALAN TOL TRANS SUMATERA (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung - Palembang - Betung)

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Magister
Teknik Sipil Pada Program Studi Magister Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**LISA AYU WINANTI
03022622428002**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

KAJIAN RENCANA IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *MULTI LANE FREE FLOW* (MLFF) PADA JALAN TOL TRANS SUMATERA (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung – Palembang - Betung)

TESIS

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Sipil pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

LISA AYU WINANTI

03022622428002

Palembang, 25 Juni 2025

Dosen Pembimbing I,



Prof. Ir. Heni Fitriani, S.T., M.T.,
Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 197905062001122001

Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing II,



Dr. Melawaty Agustien, S.Si., M.T
NIP. 197408151999032003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bakti Yudho Suprpto, S.T.,

M.T. IPM

NIP. 197502112003121002

Mengetahui / Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan
Perencanaan



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Kajian Rencana Implementasi Teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) Pada Jalan Tol Trans Sumatera (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung – Palembang - Betung)” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juni 2025.

Palembang, 25 Juni 2025

Tim Penguji Karya Ilmiah Berupa Tesis

Dosen Pembimbing

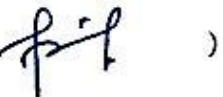
1. Prof. Ir. Heni Fitriani, S.T., M.T.,
Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 197905062001122001
2. Dr. Melawaty Agustien., S.Si., M.T.
NIP. 197408151999032003

()

()

Dosen Penguji

1. Dr. Febrina Hadinata, S.T., M.T.
NIP. 198102252003121002
2. Nyimas Septi Rika Putri, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 198009112008122001

()

()

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T.,
MATAHM
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan
Perencanaan


Dr. Ir. Saibuma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lisa Ayu Winanti

NIM : 03022622428002

Judul : Kajian Rencana Implementasi Teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) Pada Jalan Tol Trans Sumatera (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung – Palembang – Betung)

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil saya sendiri didampingi pembimbing dan bukan hasil penjiplakan / plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 25 Juni 2025



Lisa Ayu Winanti
NIM 03022622428002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lisa Ayu Winanti
NIM : 03022622428002
Judul : Kajian Rencana Implementasi Teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) Pada Jalan Tol Trans Sumatera (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung – Palembang – Betung)

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 25 Juni 2025



Lisa Ayu Winanti
NIM 03022622428002

HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Tesis ini kupersembahkan untuk Suamiku Rizki Santoso, S.E., Anakku Muhammad Rafif Arrasyid, Ayahku Zainal, Mamaku Rita, Bapakku Pelda (Purn) Sujani, Ibuku Bakhriyah, S.Pd.I serta keluarga besar yang telah memberikan do'a, dukungan, semangat, moril maupun materiil, serta kepada teman-teman dari program magister teknik sipil universitas sriwijaya yang selalu menemani, menyemangati, dan membantuku dalam penelitian Tesis ini.

Motto:

“Jika kamu punya mimpi, bermimpilah setinggi tingginya, karena jika kamu gagal pun, usaha dan prosesmu pun akan berbuah sesuatu walaupun itu bukan ekspektasimu. So, don't be afraid to dream”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas segala rahmat, kasih sayang, dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tesis ini yang berjudul “Kajian Rencana Implementasi Teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) Pada Jalan Tol Trans Sumatera Studi Kasus Jalan Tol Kayuagung – Palembang - Betung. Pada proses penyelesaian Tesis ini penulis mendapatkan bantuan dari banyak pihak. Karena itu penulis menyampaikan terima kasih dan permohonan maaf kepada semua pihak yang terkait, yaitu:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si, selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T, M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Ir. Yulindasari, S.T., M.Eng. IPM, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
4. Prof. Ir. Heni Fitriani S.T, M.T, Ph.D, IPU, ASEAN Eng selaku Dosen Pembimbing Pertama yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, serta saran yang bermanfaat pada proses penyelesaian Tesis ini.
5. Dr. Melawaty Agustien, S.Si., M.T selaku Dosen Pembimbing Kedua yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, serta saran yang bermanfaat pada proses penyelesaian Tesis ini.
6. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
7. Suamiku Rizki Santoso, S.E. dan Anakku Muhammad Rafif Arrasyid yang telah memberikan doa dan semangat untuk segala hal.
8. Ayahku Zainal dan Mamaku Rita serta keluarga besar yang telah memberikan doa dan dukungan untuk kelancaran dalam penulisan ini.
9. Ir. Achmad Jofimar Ali, M.T selaku Direktur Utama PT. Waskita Sriwijaya Tol periode 2024 s/d sekarang yang telah membantu untuk kelancaran dalam penulisan ini.
10. Ir. Herwidiakto, M.Tech selaku Direktur Utama PT. Waskita Sriwijaya Tol periode 2020 s/d 2024 yang telah membantu untuk kelancaran dalam penulisan ini.

11. Ir. Wachyu Sukmana, M.T, IPM, ASEAN Eng selaku atasan kerja yang telah memberikan motivasi dan dukungan untuk kelancaran dalam penyelesaian penulisan ini.
12. Galuh Permana Waluyo, S.T, M.Eng, MURP, Ketua Tim Pengelolaan data dan pengembangan sistem informasi layanan jalan tol, selaku pembimbing teknis.
13. Budi Sukmayana selaku General Manager Teknik dan Operasi PT. Waskita Sriwijaya Tol yang selalu memberikan dukungan dan nasihat dalam penyelesaian penulisan ini.
14. Abdul Manan Selaku General Manager Pengendalian dan Lahan PT. Waskita Sriwijaya Tol.
15. Aris Widodo Selaku Manager Operasi PT.Waskita Toll Road.
16. Sabdo Hari Mukti Selaku Manager Operasi PT. Waskita Sriwijaya Tol.

Penulis berharap semoga laporan tesis ini bisa memberikan manfaat dalam ilmu teknik sipil secara umum.

Palembang, 25 Juni 2025

Penulis

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Lisa Ayu Winanti
Tempat, Tanggal Lahir : Cilegon, 23 Februari 1995
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Lr. Talang Karet II Perum Griya Sentosa Bahagia
Blok A No 9 RT. 40 RW. 011 Kelurahan Sentosa
Kecamatan Seberang Ulu II Palembang
No. HP : 081977737500
E-mail : lisaayuwinanti@gmail.com
03022622428002@student.unsri.ac.id

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Negeri 268 Palembang	-	-	-	2001 – 2007
SMP Negeri 24 Palembang	-	-	-	2007 – 2010
SMA Sriguna Palembang	-	IPA	-	2010 – 2013
Politeknik Negeri Sriwijaya	Teknik	Sipil (PJJ)	D – IV	2013 – 2017
Universitas Sriwijaya	Teknik	Sipil	S - 2	2023 - 2025

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,

Lisa Ayu Winanti

RINGKASAN

KAJIAN RENCANA IMPLEMENTASI TEKNOLOGI MULTI LANE FREE FLOW (MLFF) PADA JALAN TOL TRANS SUMATERA (Studi Kasus : Jalan Tol Kayuagung – Palembang – Betung)

Karya tulis ilmiah berupa Tesis,

Lisa Ayu Winanti; Dibimbing oleh Prof. Ir. Heni Fitriani S.T, M.T, Ph.D, IPU,
ASEAN Eng dan Dr. Melawaty Agustien, S.Si., M.T

Program Studi Magister Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik,
Universitas Sriwijaya

xix, 180 halaman, 29 gambar, 32 tabel, 16 lampiran

Antrian di gerbang tol masih menjadi masalah utama di jalan tol. Ini sering menyebabkan kemacetan saat mendekati gerbang tol, karena jumlah kendaraan yang masuk melebihi kapasitas layanannya. Pemerintah Indonesia akan menerapkan sistem *Multi Lane Free Flow* (MLFF) sebagai alternatif agar pengguna jalan tol tidak perlu menghentikan kendaraan mereka saat melakukan transaksi pembayaran tol. Namun, pemerintah perlu meneliti lebih dalam isu-isu yang mungkin muncul akibat penghapusan antrean, seperti perubahan karakteristik lalu lintas dan waktu kedatangan kendaraan di persimpangan utama jalan tol. Penelitian ini melihat rencana implementasi dan mencoba mencari tahu masalah apa yang mungkin muncul ketika MLFF diterapkan. Studi ini menyelidiki volume lalu lintas yang ada untuk menganalisis kelayakan penerapan MLFF. Studi ini menggunakan metode peramalan deret waktu untuk meramalkan volume lalu lintas, dengan mempertimbangkan variabel seperti waktu layanan, sistem antrean, dan kapasitas gerbang tol. Analisis kelayakan finansial proyek dilakukan dengan mengevaluasi potensi pendapatan tol dan melakukan analisis biaya-manfaat dari pembangunan jalan tol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem *Multi Lane Free Flow* (MLFF) menghasilkan *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp 9.934.643 triliun, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 10,22%, dan periode pengembalian investasi selama 30 tahun. Sistem e-Toll konvensional menghasilkan nilai sekarang bersih sebesar Rp 5.731.892 triliun, tingkat pengembalian investasi sebesar 9,05%, dan periode pengembalian investasi selama 33 tahun. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan sistem MLFF di gerbang tol Keramasan secara fisik dan ekonomi layak. Namun, untuk proses transisi, sosialisasi yang positif akan diperlukan dari pemerintah dan investor jalan tol, serta penerimaan publik terhadap sistem MLFF atau transaksi pembayaran baru ini.

Kata Kunci: *Multi Lane Free Flow* (MLFF), Kapasitas Gerbang, Sistem Antrian, Kelayakan Finansial

SUMMARY

Implementation Plan for Multi-Lane Free Flow (MLFF) Technology on the Trans Sumatra Toll Road: A Feasibility Study

Scientific paper in form the thesis, June, 25th 2025

Lisa Ayu Winanti; guided by Prof. Ir. Heni Fitriani S.T, M.T, Ph.D, IPU, ASEAN Eng and Dr. Melawaty Agustien, S.Si., M.T

School of Master Program in Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Sriwijaya University.

xix, +180 Pages, 29 Picture, 32 Tables, 16 Attachments.

Queues at tollgates are still a major issue on highways. This often causes traffic jams when approaching the toll gate, as the number of incoming vehicles exceeds its service capacity. The Indonesian government will implement the Multi-Lane Free Flow (MLFF) system as an alternative so that toll road users do not need to stop their vehicles when making toll payment transactions. However, the government needs to examine more deeply the issues that may arise due to eliminating queues, such as changes in traffic characteristics and vehicle arrival times at the main toll road intersections. This research looks at the implementation plan and tries to figure out what problems might come up when MLFF is put into place. This study investigates the existing traffic volume to analyze the feasibility of MLFF implementation. This study used time series forecasting methods to forecast traffic volume, considering variables such as service time, queue systems, and toll gate capacity. A financial feasibility analysis of the project was conducted by evaluating the potential toll revenue and doing a cost-benefit analysis of the toll road construction. The research results show that the implementation of the Multi-Lane Free Flow (MLFF) system yields a Net Present Value (NPV) of Rp 9.934.643 trillion, an Internal Rate of Return (IRR) of 10.22%, and an investment payback period of 30 years. The conventional e-Toll system generates a net present value of Rp 5.731.892 trillion, a rate of back of 9.05%, and an investment payback period of 33 years. Based on the results of the study, the Keramasan toll gate's implementation of the MLFF system is physically and economically feasible. However, for the transition process, positive socialization will be required from the government and toll road investors, as well as public acceptance of the MLFF system or this new payment transaction.

Keywords: Multi-Lane Free Flow (MLFF), Gate Capacity, Queue System, Financial Viability

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	ix
HALAMAN RINGKASAN	x
HALAMAN <i>SUMMARY</i>	xi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Sejarah Jalan Tol	8
2.2. Badan Usaha Jalan Tol (BUJT)	9
2.3. Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT)	10
2.4. Standar Pelayanan Minimal (SPM)	11
2.5. Sistem Transaksi Jalan Tol	12
2.5.1. Sistem Transaksi Terbuka	13
2.5.2. Sistem Transaksi Tertutup	14
2.6. Perkembangan Metode Pembayaran Tol	14

2.6.1. <i>Pay Cash</i>	14
2.6.2. <i>Electronic Card</i>	15
2.6.3. <i>Single Lane Free Flow</i>	16
2.6.4. <i>Multi Lane Free Flow</i>	16
2.6.4.1. <i>Automatic Number Plate Recognition (ANPR)</i>	18
2.6.4.2. <i>Dedicated Short Range Communication (DSRC)</i>	18
2.6.4.3. <i>Global Navigation Satellite System (GSNS)</i>	19
2.6.4.4. <i>Radio Frequency Identification (RFID)</i>	19
2.7. <i>Prediksi Kelayakan Implementasi MLLF</i>	20
2.8. <i>Analisis Kelayakan Finansial</i>	22
2.8.1. <i>Metode Benefit Cost Ratio (BCR)</i>	22
2.8.2. <i>Metode Nett Present Value (NPV)</i>	22
2.8.3. <i>Metode Internal Rate Of Return (IRR)</i>	23
2.8.4. <i>Metode Payback Periode (PP)</i>	25
2.9. <i>Model Perhitungan Pendapatan Trafik Jalan Tol</i>	25
2.10. <i>Teori Arus Lalu Lintas</i>	26
2.11. <i>Metode Peramalan</i>	27
2.11.1. <i>Metode Peramalan Nilai Terakhir (Last Value)</i>	27
2.11.2. <i>Metode Peramalan Rata-rata (Average)</i>	28
2.11.3. <i>Metode Peramalan Rata-rata Bergerak (Moving Average)</i>	28
2.12. <i>Sistem Antrian</i>	29
2.13. <i>Kapasitas Gerbang Tol</i>	31
2.14. <i>Penelitian Terdahulu</i>	32
 BAB 3 <i>METODOLOGI PENELITIAN</i>	37
3.1. <i>Bagan Alir Penelitian</i>	37
3.2. <i>Lokasi Penelitian</i>	38
3.3. <i>Metode Pengumpulan Data</i>	39
3.3.1. <i>Data Primer</i>	40
3.3.1.1. <i>Wawancara (Expert Judgment)</i>	40
3.3.1.2. <i>Waktu Pelayanan Kendaraan</i>	41
3.3.2. <i>Data Sekunder</i>	41
3.3.2.1 <i>Data umum lokasi penelitian</i>	41
3.3.2.2. <i>Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Tol</i>	41
3.3.2.3. <i>Jumlah Antrian Kendaraan</i>	42
3.3.2.4. <i>Laju Pertumbuhan Kendaraan</i>	42

3.3.2.5. Biaya Operasional, Biaya Pemeliharaan dan Pembiayaan	
Investasi	43
3.4. Waktu Pengambilan Data.....	43
3.5. Metode Pengolahan Data.....	44
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Pengumpulan Data Sekunder	46
4.1.1. Data Umum Lokasi Penelitian	46
4.1.2. Sistem Layanan Transaksi dan Besaran Tarif Tol	50
4.1.3. Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang Tol Kramasan	51
4.1.3.1. Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Kramasan.....	52
4.1.3.2. Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Kramasan.....	54
4.1.4. Jumlah Antrian Kendaraan	56
4.1.5. Laju Pertumbuhan Kendaraan	57
4.2. Pengumpulan Data Primer	59
4.2.1. Data Wawancara	59
4.2.2. Survei Pengamatan Waktu Pelayanan.....	60
4.2.3. Penilaian Kelayakan Implementasi MLFF	60
4.2.4. Waktu Pelayanan di Gerbang Tol Kramasan.....	63
4.3. Pengolahan Data.....	65
4.3.1. Analisis Jumlah Antrian Kendaraan.....	65
4.3.2. Analisis Kelayakan Implementasi MLFF	68
4.3.3. Analisis Kelayakan Finansial.....	81
4.3.3.1 Analisis Biaya	82
4.3.3.2. Analisis Pendapatan	83
4.3.3.3. Analisis Finansial	88
4.3.3.4. Analisis Arus Kas E-Toll.....	90
4.3.3.5. Analisis Arus Kas MLFF.....	94
4.4. Pembahasan	99
 BAB 5 PENUTUP	102
5.1. Kesimpulan	102
5.2. Saran	103
 DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Sistem Transaksi Terbuka	13
2.2. Sistem Transaksi Tertutup.....	14
2.3. Pembayaran Tol Secara Tunai.....	15
2.4. Pembayaran Tol dengan E-Money	15
2.5. <i>Single Lane Free Flow</i> (SLFF).....	16
2.6. <i>Multi Lane Free Flow</i> (MLFF).....	17
2.7. <i>Automatic Number Plate Recognition</i> (ANPR).....	18
2.8. <i>Dedicated Short Range Communication</i> (DSRC).....	18
2.9. <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS).....	19
2.10. <i>Radio Frequency Identification</i> (RFID).....	20
2.11. Prediksi Implementasi MLFF.....	21
3.1. Lokasi Gerbang Tol Keramasan	38
3.2. Peta Lokasi Gerbang Tol Keramasan	38
4.1. Rencana Jaringan jalan Tol Pulau Sumatera	47
4.2. Trase Tol Kayuagung - Palembang - Betung	48
4.3. Tahapan Pekerjaan Tol Kayuagung - Palembang - Betung	49
4.4. Data Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Kramasan.....	53
4.5. Data Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Kramasan.....	55
4.6. Laju Pertumbuhan Lalu Lintas	58
4.7. Wawancara dengan <i>Expert Judgment</i>	61
4.8. Survei pengamatan waktu pelayanan.....	63
4.9. Waktu Pelayanan di Gerbang Tol Kramasan Hasil Pengamatan	66
4.10. Proyeksi Volume Lalu Lintas Jalan Tol (<i>Time Series Forecasting</i>).....	80
4.11. Proporsi Pendapatan dan Beban Operasional.....	87
4.12. Arus Kas E-Toll.....	93
4.13. Arus Kas MLFF.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Golongan Kendaraan Bermotor di Jalan Tol.....	10
2.2. Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol	11
2.3. Perkembangan Sistem Pembayaran Tol di Indonesia.....	12
2.4. Kapasitas Gerbang Tol.....	31
2.5. Penelitian Terdahulu	33
3.1. Data Penelitian.....	39
3.2. Responden Penelitian.....	40
3.3. Tahapan Perhitungan Analisis Finansial.....	45
4.1. Besaran Tarif Tol Berdasarkan Tujuan dan Golongan Kendaraan.....	50
4.2. Data Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Kramasan.....	52
4.3. Data Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Kramasan.....	54
4.4. Jumlah Antrian Kendaraan Maksimum	56
4.5. Persentase Laju Pertumbuhan Kendaraan Tahun 2022-2065	57
4.6. Penilaian Kelayakan Implementasi MLFF.....	62
4.7. Hasil Pengamatan Waktu pelayanan di Gerbang Tol Kramasan.....	64
4.8. Hasil Analisis Jumlah Antrian.....	67
4.9. Data Volume Lalu Lintas Sebelum Eksisting Tahun 2021-2024 (Kendaraan/Jam).....	69
4.10. Data Volume Lalu Lintas Setelah Eksisting Tahun 2025-2049 (Kendaraan/Jam).....	71
4.11. Proporsi Biaya Operasi dan Pemeliharaan	82
4.12. Data Volume Kendaraan Tahun 2022-2066 (Per/Unit)	83
4.13. Data Tarif Gerbang Tol Keramasan Tahun 2022-2025	84
4.14. Proyeksi Tarif Tol 2026-2066 (Disesuaikan dengan inflasi 3.5% per tahun)85	85
4.15. Proyeksi Pendapatan Tarif Tol (dalam Rp. Juta).....	86
4.16. Data Perhitungan WACC berdasarkan Komponen Biaya Modal.....	88
4.17. Tarif Tol Per Golongan Kendaraan.....	89
4.18. Akumulasi Arus Kas E-Toll pada Tahun 2016-2066 (dalam Rp. Juta).....	91
4.19. Distribusi Waktu dan Biaya Pekerjaan Konstruksi Proyek Jalan Tol (2016– 2023)	93
4.20. Indikator Finansial E-Toll	94

4.21. Akumulasi Arus Kas MLFF pada Tahun 2016-2066 (dalam Rp. Juta)	95
4.22. Proyeksi Biaya Investasi dan Operasional Sistem MLFF	97
4.23. Indikator Finansial MLLF	98
4.24. Perubahan Indikator Finansial E-Toll dan MLFF	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Jadwal Penelitian	109
2. Surat Izin Permintaan Data Tesis	110
3. Struktur Organisasi Pegawai	111
4. Standar Pelayanan Minimal	112
5. Biaya Pengadaan, Pemasangan dan Pemeliharaan Peralatan Ruas Jalan Tol Kayuagung - Palembang - Betung Tahun 2024	117
6. Biaya Jasa Pengoperasian Ruas Jalan Tol Kayuagung - Palembang -Betung (Sta 00+000 s/d Sta 42+500).....	118
7. Pembiayaan Investasi.....	119
8. Laporan LHR Ruas Tol Kayu Agung – Palembang – Betung Gerbang Tol Kramasa Tahun 2020 – 2024.....	120
9. Tabel Monitoring Panjang Antrian PT. Waskita Sriwijaya Tol Periode April 2023 – April 2024	126
10. Laporan Posisi Keuangan PT. Waskita Sriwijaya Tol.....	139
11. Discount Cash Flow	142
12. Kurva - S Pekerjaan Pembangunan Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung	146
13. Lembar Asistensi Proposal Tesis.....	149
14. Dokumentasi di Gerbang Tol Keramasan	160
15. Letter Of Acceptance	161
16. Draft Paper	162

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

ANPR	: <i>Automatic Number Plate Recognition</i>
BCR	: <i>Benefit Cost Ratio</i>
BOK	: Biaya Operasi Kendaraan
BPJT	: Badan Pengatur Jalan Tol
BUJT	: Badan Usaha Jalan Tol
DSRC	: <i>Dedicated Short Range Communication</i>
ETLE	: <i>Electronic Traffic Law Enforcement</i>
GSNS	: <i>Global Navigation Satellite System</i>
GTO	: Gerbang Tol Otomatis
IRR	: <i>Internal Rate Of Return</i>
JMTO	: <i>Jasamarga Tollroad Operator</i>
LHR	: Lalu Lintas Harian Rata-Rata
LHRT	: Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan
MLFF	: <i>Multi Lane Free Flow</i>
NPV	: <i>Nett Present Value</i>
PP	: <i>Payback Periode</i>
PPP	: <i>Public Private Partnership</i>
PUPR	: Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
RFID	: <i>Radio Frequency Identification</i>
SLFF	: <i>Single Lane Free Flow</i>
SPM	: Standar Pelayanan Minimal
WTR	: Waskita Toll Road
WST	: Waskita Sriwijaya Tol

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada awal kabinet kerja pemerintah, Pemerintah menetapkan target pembangunan jalan tol sepanjang 3.196 km pada akhir tahun 2024, sejalan dengan target yang ditetapkan dalam rencana strategis (Renstra) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2020-2024. Pada tahun 2024, realisasi tambahan jalan tol adalah 919 km, diproyeksikan mencapai 204 km pada akhir tahun 2024 (Coil, 2024). Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Jalan tol bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya (Budiharjo, 2019).

Sejak tahun 2017 di Indonesia telah dilaksanakan perubahan sistem transaksi jalan tol menjadi sistem e-Toll yaitu pembayaran tol dilakukan dengan menggunakan kartu elektronik dimana sebelumnya dilakukan secara manual dengan melakukan pembayaran secara tunai. Dengan berubahnya sistem transaksi menjadi pembayaran dengan e-Toll, maka sistem pembayaran tol bisa dilakukan dengan menempelkan kartu e-Toll pada alat mesin *reader*, kemudian saldo otomatis dipotong sesuai tarif wilayah tol tersebut. Penerapan sistem transaksi dengan e-Toll sekarang masih bisa menimbulkan antiran lalu lintas yang menyebabkan terjadinya kepadatan kendaraan yang di gerbang tol. Hal ini disebabkan karena perlu waktu untuk setiap pengemudi dalam menempelkan kartu e-Toll tersebut. Selain itu juga sering terjadi pengemudi mengalami kesulitan transaksi akibat saldo yang tidak cukup. Ini sendiri membenarkan perlunya perubahan pada sistem transaksi e-toll menjadi sistem transaksi tol yang disebut *Multi Lane Free Flow* (MLFF) yaitu sebuah sistem yang memungkinkan pengguna jalan tol untuk tidak perlu menghentikan kendaraan atau memperlambat kecepatan kendaraan saat melakukan transaksi pembayaran tol (M. D. Prasetyanto, 2023).

Data Bank dunia pada 2019, kerugian ekonomi di Indonesia akibat kemacetan berkisar 4 miliar dolar AS per tahun. Sementara studi kelayakan yang dilakukan Roatex tahun 2020 menunjukkan, kemacetan di gerbang tol mengakibatkan kerugian ekonomi di Indonesia lebih dari 300 juta dolar AS setiap tahun (Roatex, 2024). Salah satu kejadian yang membuktikan hal tersebut terjadi di jalan tol Cawang-Tomang-Cengkareng. Berdasarkan data lalu lintas Tahun 2018, volume lalu lintas kendaraan sudah mencapai angka 204 juta kendaraan per tahun dengan rata-rata kecepatan kendaraan sebesar 65,3 km/jam. Kecepatan transaksi rata-rata per gerbang tol mencapai waktu 3,09 detik dengan panjang antrian rata-rata 5 kendaraan per gerbang tol (Budiharjo, 2019). Jika dilihat dari kejadian tersebut, maka penggunaan sistem pembayaran e-toll dengan melakukan tapping di gerbang tol masih menyebabkan keterlambatan transaksi hingga kemacetan. Berkat kemajuan teknologi saat ini, suatu mekanisme transaksi pada jalan tol yang disebut *Multi Lane Free Flow* (MLFF) sedang dikembangkan. MLFF adalah suatu metode pembayaran tol tanpa mengharuskan kendaraan berhenti di gerbang tol (Sunartio, 2023).

Proses transaksi pembayaran dalam sistem MLFF adalah dengan cara mendeteksi kendaraan dan mentransaksikan pembayaran tanpa kendaraan harus berhenti, yang bertujuan untuk mempercepat proses pembayaran di gerbang tol sehingga mengurangi kemacetan dan antrian, selain itu juga dapat menghemat waktu perjalanan menjadi fleksibilitas dan kenyamanan bagi pengguna. Pada akhir tahun 2018, rencananya sistem MLFF akan diterapkan di Indonesia. Namun, belum dapat terlaksana sehubungan belum mendapat kepastian hukum, keamanan dan pendapatan tol serta kehandalan teknologi yang cocok digunakan dalam mendukung sistem MLFF di Indonesia (Budiharjo, 2019). Oleh karena itu pada penelitian ini dibahas mengenai Implementasi teknologi MLFF.

Salah satu jalan tol yang ada di Indonesia yaitu jalan tol Kayuagung - Palembang - Betung sepanjang 111,69 km berada di Provinsi Sumatera Selatan adalah Proyek Strategis Nasional (PSN) berdasarkan Perpres No. 109 Tahun 2020 yang dibangun atas prakarsa dari Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) yaitu PT. Waskita Sriwijaya Tol (WTR, 2024). Jalan Tol Kapal Betung merupakan bagian dari koridor utama (*back bone*) Jalan Tol Trans Sumatera untuk meningkatkan

konektivitas antara kota di Sumatera bagian Selatan serta mengintegrasikan konektivitas kawasan, memperlancar arus distribusi barang dari pusat industri di koridor Palembang - Jambi (PUPR, 2022). Jalan tol ini juga terkoneksi dengan jalan nasional di Sumatera, sehingga diharapkan mendukung pengembangan wilayah, khususnya Sumatera Selatan yang sekaligus merupakan pemegang konsesi pengelolaan jalan tol dimana lingkup kerjasamanya meliputi pembangunan konstruksi, pengelolaan operasional jalan tol serta pemeliharaan dengan keseluruhan pendanaan termasuk biaya pengadaan tanah berasal dari BUJT sebagai nilai investasi. Pada tahun 2020 segmen Kayuagung - Kramasan telah mulai beroperasi dengan panjang 42,50 km (PUPR, 2020). Berdasarkan keputusan Menteri PUPR NO.1508/KPTS/M/2020 gerbang tol Kramasan terhitung mulai bertarif (berbayar) pada Desember 2020 dengan menggunakan sistem transaksi terbuka (e-Toll). Berdasarkan volume lalu lintas harian maksimum yang terjadi pada bulan April tahun 2024, jumlah kendaraan yang masuk gerbang tol Kramasan sebanyak 195.808 kendaraan sedangkan pada gerbang keluar tol sebanyak 208.374 kendaraan, dengan lalu lintas jam puncak yang sama dari jam 15.00 - 15.59. Hal yang membedakan hanya total masuk dan keluar gerbang dengan kecepatan kendaraan rata-rata sebesar 80 km/jam dengan waktu transaksi rata-rata di gerbang tol selama 3,00 - 5,00 detik, serta panjang antrian rata-rata berkisar antara 4 sampai dengan 5 kendaraan di gerbang tol.

Kementerian PUPR melalui Direktorat Jenderal Bina Marga telah menetapkan Rencana Umum Jaringan Jalan Tol Jangka Panjang sebagai bagian dari jaringan jalan nasional dengan target capaian sebesar 15.404 km hingga tahun 2040 sebagaimana tercantum pada Keputusan Menteri PUPR Nomor 367/KPTS/M/2023 tentang Rencana Umum Jaringan Jalan Nasional Tahun 2020-2040. Kebijakan strategis ini menjadi landasan untuk mengakselerasi pembangunan konektivitas antar wilayah, yang diproyeksikan mendorong pertumbuhan ekonomi dan daya saing nasional. Sebagai Proyek Strategis Nasional (PSN), MLFF yang merupakan wujud inovasi digitalisasi pembayaran tarif tol ini akan memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan tol karena meniadakan antrian pada gerbang tol. Tidak adanya kendaraan yang berhenti di gerbang tol juga diharapkan akan mengurangi polusi udara. Pada saat sistem juga

tidak akan ada penambahan biaya atau perubahan tarif tol (PUPR, 2024). Dengan demikian, untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas transaksi tol secara nontunai di jalan tol, diperlukan adanya peningkatan teknologi pada sistem pembayaran non tunai berbasis teknologi tanpa *tapping* dalam upaya mendukung integrasi penarifan, menghapuskan kemacetan, dan kelancaran distribusi volume lalu lintas di jalan tol (Rahmadiratri, 2023). Maka, diperlukan adanya penggunaan teknologi MLFF dalam sistem pembayaran tol di jalan tol Kayuagung - Palembang pada gerbang tol Kramasan.

Beberapa penelitian terdahulu terkait penerapan MLFF antara lain Penelitian Budiharjo dkk (2023) menganalisis penerapan *Multi Lane Free Flow* di jalan tol Indonesia. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan analisis PEST dan analisis SWOT. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literature dan wawancara terkait penerapan *Multi Lane Free Flow* sistem pembayaran jalan tol yang diterapkan di Indonesia. Penelitian Abimanyu (2022) menganalisis kelayakan investasi pada proyek pembangunan jalan tol Pasuruan Probolinggo berdasarkan parameter kelayakan investasi NPV, BCR, IRR dan PP Serta bagaimana perbandingan biaya operasi kendaraan antara jalan tol dengan jalan arteri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif yaitu metode untuk memecahkan suatu masalah yang ada dengan cara mengumpulkan data, disusun, dijelaskan, diolah dan dianalisis sehingga diperoleh hasil akhir. Dalam penelitian tersebut, belum ada penelitian yang mengkaji mengenai kelayakan implementasi MLFF dan kelayakan finansial MLFF.

Berdasarkan potensi permasalahan antrian di gerbang tol Kramasan pada jalan tol Kayuagung - Palembang - Betung dan penelitian terdahulu maka dalam tesis ini membahas mengenai analisis kelayakan implementasi teknologi MLFF dan analisis kelayakan finansial MLFF .

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka hal-hal yang menjadi topik permasalahan dalam penelitian ini berkaitan dengan kajian implementasi *Multi Lane Free Flow* (MLFF). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana kondisi lalu lintas di gerbang tol Kramasan - Kayuagung dengan menggunakan sistem transaksi e-Toll dan sistem transaksi *Multi Lane Free Flow* (MLFF)?
2. Bagaimana rencana waktu mulai implementasi sistem transaksi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) pada gerbang tol Kramasan - Kayuagung berdasarkan waktu dan pengoperasian *Multi Lane Free Flow* (MLFF)?
3. Bagaimana kelayakan finansial menggunakan sistem *Multi Lane Free Flow* (MLFF) pada pintu keluar dan masuk pada gerbang Tol Kramasan Kayu Agung apabila ditinjau dari segi analisis finansial BUJT?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kondisi eksisting dan prediksi lalu lintas di gerbang tol Kramasan - Kayuagung dengan menggunakan sistem transaksi e-Toll dan sistem transaksi *Multi Lane Free Flow* (MLFF).
2. Mengetahui rencana waktu mulai implementasi sistem transaksi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) pada gerbang tol Kramasan - Kayuagung berdasarkan waktu dan pengoperasian *Multi Lane Free Flow* (MLFF).
3. Mengetahui kelayakan finansial menggunakan sistem *Multi Lane Free Flow* (MLFF) pada pintu keluar dan masuk pada gerbang Tol Kramasan - Kayuagung apabila ditinjau dari segi analisis finansial BUJT.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian dilakukan pada tahun 2024 di gerbang tol Kramasan ruas jalan tol Kayuagung - Palembang - Betung.

2. Menganalisis potensi dampak positif dari implementasi MLFF, termasuk dari segi efisiensi transaksi, pengurangan kemacetan, serta peningkatan pelayanan jalan tol.
3. Memberikan masukan dan strategi yang dapat digunakan oleh pihak terkait untuk mengimplementasikan teknologi MLFF secara efektif di Jalan Tol Trans Sumatera.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang transportasi dan infrastruktur jalan tol, dengan menambah literatur yang berkaitan dengan penerapan teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) di Indonesia dan menyediakan informasi yang berguna bagi Pemerintah dan Pembuat Kebijakan, sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan regulasi dan kebijakan terkait digitalisasi sistem pembayaran tol di Indonesia.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan uraian terkait dengan langkah urutan dalam menyelesaikan sebuah riset, penelitian maupun karya tulis. Berikut sistematika penulisan dalam penelitian ini sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan referensi penelitian terdahulu, dasar teori terkait implementasi MLFF, serta tinjauan literatur yang relevan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan terkait dengan kajian rencana implementasi teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) pada gerbang tol Keramasan ruas jalan tol Kayuagung - Palembang - Betung. Adapun tahapan penelitian antara lain jadwal penelitian, metode pengumpulan data, dan metode analisis data.

BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini menjelaskan data umum lokasi penelitian, survey menunjukkan waktu pelayanan, sistem layanan transaksi, jumlah kendaraan yang masuk dan keluar tol, jumlah antrian kendaraan, laju pertumbuhan kendaraan, penilaian kelayakan implementasi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) serta analisis kelayakan finansial.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa dan rekomendasi yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, Angga., Mudjanarko, Sri., & Moetriono, Hary., (2022). Analisis Investasi Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo. *Jurnal Spesialis Teknik Sipil (JSPTS)*. 3. 139-149. 10.30996/jspts.v3i2.8563.
- Abdul. (2021). Sering Lewat Jalan Tol, Tahukan Tentang Perbedaan Sistem Transaksi Terbuka Dan Tertutup. Diakses pada 23 april 2025 dari <https://mobilmo.com/pengemudian-mobil/sering-lewat-jalan-tol-tahukan-tentang-perbedaan-sistem-transaksi-terbuka-dan-tertutup-aid5756>.
- Advertorial. (2017). Sekali Tap, Bayar Tol Makin Mudah dengan Mandiri e-money. Diakses pada 23 april 2025 dari <https://news.detik.com/adv-nhl-detikcom/d-3539946/sekali-tap-bayar-tol-makin-mudah-dengan-mandiri-e-money>.
- Aleatica Labs. (2018). Multi-Lane Free-Flow tolling system (MLFF). Madrid.
- Aminah, S. 2018. Transportasi Publik dan Aksesibilitas Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 1142-1155.
- Ashari. (2011). *Peramalan untuk Perencanaan*. Yogyakarta: Andi.
- Blank, L. T., & Tarquin, A., (2012). *Engineering Economy* 7th Edition. Newyork: McGraw-Hill, Inc.
- BPJT. (2020). *Jalan Tol di Indonesia: Sejarah, Tantangan dan Inovasi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Budiharjo, A. & Margarani, S. R. (2019). Kajian Penerapan Multi Lane Fee Flow (MLFF) Di Jalan Tol Indonesia, *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 6(2), pp. 1–14. doi:10.46447/ktj.v6i2.27.
- B. Coil. (2024). Kaleidoskop 2024: Jalan Tol Operasional Terbangun Sepanjang 204,5 KM. Diakses pada 20 april 2025 : <https://kumparan.com/kumparanbisnis/kaleidoskop-2024-jalan-tol-operasional-dibangun-sepanjang-204-5-km-24BAPAY03hp>.
- Commission, European. (2016). *Technology Options and Interoperability for Urban Vehicle Access Regulation (UVAR) Schemes*. Eropa.

- Direktorat Jendral Bina Marga. (2009). Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No.007/BM/2009. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Dimiyati, T. T., & Dimiyati, A. (2011). *Operations Research (Edisi 3)*. Sinar Baru Algesindo.
- Dorimulu, P. (2019). Tol Trans-Sumatera 2.700 Km, Mengapa Tidak Sejak Dulu. Diakses pada 20 April 2025 dari https://www.beritasatu.com/ekonomi/542033/tol-transsumatera-2700-km-mengapa-tidak-sejak-dulu#google_vignette
- Eridani, D., Yuli C. dan Imam Santoso. (2011). *Simulasi Gerbang Tol Menggunakan RFID (Radio Frequency Identification)*. Semarang : TRANSMISI 13 (2).
- Hanafiah, M. H., & Sulaiman, R. (2018). *Rekayasa lalu lintas*. Jakarta: Prenadamedia Group
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Principles of Operations Management*, Tenth Edition. England : Pearson Education Limited.
- Husin, H., Prananingtyas, P., & Mahmudah, S., (2019). Analisis Pelaksanaan Pembayaran Tol Menggunakan Uang Elektronik. *Diponegoro Law J*, 8(1), 396–416,. <https://doi.org/10.14710/dlj.2019>.
- Ichsan, M. (1998). *Studi Kelayakan Proyek*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Johan, Suwinto. (2011). *Studi Kelayakan Pengembangan Bisnis*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Krajewsky, L.J., Lerry, P.R., Manoj, K.M. (2010). *Operation Management Processes and Supply Chain*. Ninth Edit. New Jersey: Pearson Education, USA; 2010. 263p.
- M. D. Prasetyanto., (2023) Dampak Penerapan Sistem Pembayaran Tol Nonstop Terhadap Arus Lalu Lintas Di Gerbang Tol Buah Batu Kota Bandung. Dalam Seminar Nasional dan Diseminasi Proyek Akhir 2023, Prosiding FTSP Series, vol. 6, 2023.
- Park, C.S., (2016). *Contemporary Engineering Economics*. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2007). Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/M/2007 tentang Penggolongan Kendaraan pada Jalan Tol. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol. Jakarta: Menteri PUPR RI.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16/PRT/M/2017 tentang Transaksi Tol Nontunai di Jalan Tol. Jakarta: Menteri PUPR RI.
- PT Jasamarga Toll. (2022). *Data Laju Pertumbuhan Kendaraan Tahun 2022–2065*. Dokumen internal PT Jasamarga Toll.
- PT Jasamarga Toll. (2024). *Data Jumlah Antrian Kendaraan Maksimum Tahun 2023–2024*. Dokumen internal PT Jasamarga Toll.
- PT. Waskita Sriwijaya Tol. (2024). *Trase Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung*. Dokumen internal PT. Waskita Sriwijaya Tol.
- PUPR. (2021). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 3 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 01/PRT/M/2017 tentang Tata Cara Pelaksanaan Pengadaan Badan Usaha untuk Pengusahaan Jalan Tol. Diakses pada 24 april 2025 dari: <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/peraturan-menteri-pekerjaan-umum-dan-perumahan-rakyat-nomor-3-tahun-2021>.
- PUPR. (2022). Dukung Konektivitas di Sumsel, Kementerian PUPR Percepat Konstruksi Ruas Tol Kayu Agung - Palembang – Betung dan Simpang Indralaya - Muara Enim. Diakses pada 20 April 2025 dari <https://pu.go.id/berita/dukung-konektivitas-di-sumsel-kementerian-pupr-percepat-konstruksi-ruas-tol-kayu-agung-palembang-betung-dan-simpang-indralaya-muara-enim>.
- PUPR. (2024). Penerapan Pembayaran Nirsentuh Jalan Tol Dimulai Bertahap. Diakses pada 20 April 2025 dari <https://binamarga.pu.go.id/balai-aceh/berita/penerapan-pembayaran-nirsentuh-jalan-tol-dimulai-bertahap>.

- PUPR. (2025). Kementerian Pekerjaan Umum Dorong Percepatan Penyelesaian Pembangunan Ruas Tol Palembang-Betung-Jambi. Diakses pada 29 April 2025 dari <https://pu.go.id/berita/kementerian-pu-dorong-percepatan-penyelesaian-konstruksi-ruas-tol-palembang-betung-jambi>.
- Rachadian, F, R., Agassi, E, A., Wahyudi, S., (2013). Analisis Kelayakan Investasi Penambahan Mesin Frais Baru Pada Cv. Xyz. Journal J@TI Undip, Vol.VIII, No.1.
- Rahmadiratri, N., Fuad, F., dan Suartini., (2023). Studi Perbandingan Sistem Hukum Transaksi Tol Nir-Tunai dan Nir-Sentuh Antara Taiwan dan Turki dengan Indonesia. *Leg. Surg. J*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.36596/jbh.v7i2
- Roatex. (2024). Menteri PUPR: Skema tol nirsentuh tak mengubah tarif tol. Diakses pada 20 April 2025 dari <https://roatex.co.id/id/post/menteri-pupr-skema-tol-nirsentuh-tak-mengubah-tarif-tol>.
- Senja, A. M. M. P. (2017). Jasa Marga Pastikan Bisa Isi Ulang Saldo "E-Toll" di Gardu Tol. diakses pada 24 april 2025 dari <https://megapolitan.kompas.com/read/2017/10/05/13354241/jasa-marga-pastikan-bisa-isi-ulang-saldo-e-toll-di-gardu-tol>.
- Sunartio, Victoria & Putranto, Leksmono., (2023). Pendapat Pengguna Jalan Tol Jabodetabek Tentang Multi Lane Free Flow. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 913-924. 10.24912/jmts.v6i3.24848.
- Suprayitno, H., Waluyo, G. P., & Muljono, S. (2020). Menuju Pembayaran Tol Tanpa Henti Secara Multilajur. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 6(1), 59-72.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Edisi II*. Bandung : Penerbit ITB.
- Wahyuni, Puji & Bernik, Merita. (2020). Analisis Sistem Antrian dalam Penggunaan E-Toll untuk Menentukan Jumlah Gardu Optimal pada Gerbang Tol. *Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan*. 8. 10.26905/jmdk.v8i2.4598.
- W. T. Road. (2024). PT Waskita Sriwijaya Tol. Diakses pada 18 april 2025 dari <https://www.wtr.co.id/id/portfolio/kayuagung-palembang-2>.
- Yescombe, E. R. (2013). *Principles of project finance*. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.