

ANALISIS *BOTTLENECK* JEMBATAN JALAN LINTAS MELAWI TERHADAP KINERJA JALAN MT. HARYONO DI KOTA SINTANG

Muhamad Rosyid Kurniwan¹, Ita Suhermin Ingsih² dan Chang-Yuan Liu³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22201051002@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: ita.suhermin@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas ST Jhon's Taiwan
e-mail: xu6503m06@gmail.com

ABSTRACT

The bottleneck at the Melawi Crossing Bridge is the primary cause of structural traffic congestion on Jalan MT. Haryono in Sintang City. This study aims to model the impact of the bottleneck on traffic characteristics and analyze the magnitude of the resulting shockwaves. A descriptive quantitative method based on field observations was employed, utilizing a comparative approach between the Greenshields and Greenberg models. Analysis results indicate that the Greenshields model is the most accurate under normal conditions (Segment A1), with maximum volumes of 1,566 smp/hour (Left Lane) and 1,452 smp/hour (Right Lane). However, the bottleneck in Segment A2 reduced capacity by over 40%—to 852 smp/hour (Left Lane) and 845 smp/hour (Right Lane)—and lowered operational speeds to below 20 km/hour. Shockwave analysis revealed the worst conditions on the Left Lane on Saturday, featuring a queue length of 1,736 meters and a delay of 1,450 vehicle/minutes, accompanied by a positive ω_{AB} anomaly (+2.488 km/hour) due to over-saturation. Conversely, the Right Lane on Monday exhibited a normal pattern, with $\omega_{AB} = -1.390$ km/hour and a queue length of 761 meters. Implementing operational management for heavy vehicles is a potential strategy to alleviate congestion. Therefore, further study is required regarding heavy vehicle scheduling models and their impact on traffic volume distribution to achieve a balance between road demand and the bridge's limited capacity.

Keyword : *Bottleneck, Shockwave, Greenshields, Greenberg, Gridlock.*

1. LATAR BELAKANG

1.1. Latar Belakang

Permasalahan transportasi merupakan tantangan multidimensi di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Pembangunan sektor ini bertujuan menciptakan pergerakan manusia dan barang secara efisien, aman, lancar, dan berkelanjutan [1]. Namun, pesatnya urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi sering kali tidak diimbangi oleh penyediaan infrastruktur yang memadai. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan antara volume kendaraan (*demand*) dan kapasitas jalan (*supply*) yang memicu kemacetan. Salah satu pemicu utama

kemacetan struktural adalah adanya *bottleneck* (penyempitan jalan), baik akibat desain geometrik maupun aktivitas hambatan samping, yang secara mendadak mereduksi kapasitas jalan dan menurunkan kinerja lalu lintas [2].

Kondisi empiris ini terjadi di Kota Sintang, Kalimantan Barat, tepatnya pada ruas Jalan MT. Haryono di sekitar Bundaran Tugu Jam. Sebagai jalan arteri primer tipe 2/2 TT dengan lebar efektif 9 meter, ruas ini merupakan jalur penghubung vital bagi Kabupaten Sekadau, Melawi, dan Kapuas Hulu [3]. Tingginya volume lalu lintas regional diperparah oleh tata guna lahan komersial yang menimbulkan hambatan samping (*side friction*) tinggi, seperti aktivitas

parkir dan bongkar muat.

Permasalahan krusial berpusat pada lengan bundaran yang menuju Jembatan Lintas Melawi (*bottleneck primer*). Tingginya akumulasi volume kendaraan menuju jembatan tersebut menghasilkan nilai derajat kejenuhan (DJ) mencapai 0,85, peluang antrean 22–49%, dan tundaan rata-rata sebesar 13,45 detik/smp [4]. Kondisi ini memicu antrean panjang yang merambat mundur (*backward queue*) hingga mengunci sirkulasi di dalam Bundaran Tugu Jam. Fenomena kemandekan total (*gridlock*) ini mengubah bundaran menjadi *bottleneck* sekunder yang melumpuhkan arus dari kaki simpang lainnya, termasuk Jalan MT. Haryono.

Secara teoretis, dampak dinamis dari *bottleneck* dapat dianalisis melalui pendekatan menggunakan Model Greenshields dan Greenberg [5]. Selain itu, mekanisme perambatan kemacetan dapat diformulasikan melalui teori gelombang kejut (*shockwave*) untuk mengukur kecepatan perambatan antrean [6]. Penelitian terdahulu membuktikan bahwa *bottleneck* mampu mereduksi kapasitas jalan hingga lebih dari 60% dan menghasilkan gelombang kejut mundur (*backward forming shockwave*) yang memperluas gangguan ke hulu jaringan jalan [5].

Meskipun analisis *bottleneck* telah banyak dilakukan, studi yang mengintegrasikan pemodelan makroskopik dan gelombang kejut pada bundaran yang mengalami *gridlock* di kawasan pertumbuhan sekunder seperti Kota Sintang masih terbatas. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk: (1) memodelkan pengaruh *bottleneck* terhadap karakteristik makroskopik lalu lintas Jalan MT. Haryono menggunakan Model Greenshields dan Greenberg, serta (2) menghitung besaran gelombang kejut (*shockwave*) yang terbentuk.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran ilmiah yang komprehensif sebagai dasar rekomendasi teknis manajemen lalu lintas berbasis data bagi pemerintah daerah.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka identifikasi masalah yang di dapat adalah:

1. Terjadi Penurunan Kinerja Jalan MT. Haryono ditandai dengan Derajat Kejenuhan tinggi (0,85), tundaan signifikan (13,45 det/SMP), dan antrean yang sering terbentuk.
2. *Bottleneck* terjadi karena penyempitan kapasitas di ruas keluar- masuk menuju Jembatan Lintas Melawi sebagai *bottleneck primer*.
3. Antrean dari *bottleneck primer* (Jembatan Jalan melawi) menyebabkan *gridlock* di Bundaran Tugu Jam, mengubahnya menjadi *bottleneck* sekunder yang melumpuhkan seluruh simpang, termasuk Jalan MT. Haryono.
4. Hubungan dan perubahan volume, kecepatan, dan kepadatan sebelum sampai di daerah *bottleneck* jalan MT. Haryono belum terukur dan termodelkan dengan pendekatan makroskopik (Greenshield dan Greenberg).
5. Gelombang kejut sebagai mekanisme dinamis perambatan kemacetan akibat *bottleneck* belum teridentifikasi dan terhitung.

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *bottleneck* pada Jembatan Jalan Lintas Melawi terhadap kinerja Jalan MT. Haryono di Kota Sintang, menggunakan Pemodelan Greenshield dan Greenberg?
2. Berapa besar gelombang kejut (*shockwave*) yang terbentuk akibat terjadinya *bottleneck* pada Jembatan Jalan Lintas Melawi?

1.4. Batasan masalah

Batasan Batasan masalah yang diambil yaitu:

1. Lokasi Penelitian ini dilaksanakan pada Jalan MT. Haryono, Kota Sintang, dengan fokus pada kondisi lalu lintas saat jam sibuk, khususnya pada bagian yang mengalami *bottleneck* akibat Jembatan Jalan Lintas Melawi.
2. Analisis hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas dilakukan dengan menggunakan

model pendekatan Greenberg dan Greenshield

3. Penentuan nilai gelombang kejut (*shockwave*) didasarkan pada model pendekatan yang paling sesuai dengan data lapangan. Analisis difokuskan pada karakteristik arus lalu lintas dan pemodelannya di ruas Jalan MT. Haryono, Sintang pada segmen tersebut.
4. Jenis kendaraan yang dihitung, yaitu:
 - a. Kendaraan Ringan (MP): mobil penumpang, minibus, pick-up, dan jeep.
 - b. Kendaraan Berat (KS): truk dan bus.
 - c. Sepeda Motor (SM).
5. Survei lalu lintas hanya dilakukan pada jam-jam berikut, yaitu:
 - a. Pagi hari: pukul 06.00 – 08.00 WIB.
 - b. Sore hari: pukul 16.00 – 18.00 WIB.
6. Survei dilakukan selama 2 minggu, pada hari Senin, Sabtu, dan Minggu.

1.5. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh *bottleneck* pada Jembatan Jalan Lintas Melawi terhadap kinerja Jalan MT. Haryono di Kota Sintang, menggunakan Pemodelan Greenshield dan Greenberg.
2. Untuk mengetahui besar gelombang kejut (*shockwave*) yang terbentuk akibat terjadinya *bottleneck* pada Jembatan Jalan Lintas Melawi.

1.6. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai masukan kepada pihak-pihak terkait terutama pemerintah Kabupaten Sintang guna membuat pemikiran dan inovasi baru yang mendukung keinginan dan kebutuhan masyarakat, sehingga dapat mengurangi kemacetan.
2. Sebagai bahan pertimbangan serta masukan kepada instansi yang terkait, seperti penanganan lebih lanjut masalah transportasi pada lokasi penelitian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Klasifikasi dan Sistem Jaringan Jalan

Berdasarkan UU RI No. 38 Tahun 2004 dan

PP No. 34 Tahun 2006, prasarana jalan dibagi menjadi dua sistem jaringan utama[7],[8]:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer: Melayani distribusi barang dan jasa untuk pengembangan nasional yang menghubungkan antar-pusat kegiatan.
2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder: Melayani jasa distribusi untuk masyarakat di dalam area perkotaan.

Berdasarkan statusnya, jalan dikelompokkan menjadi jalan nasional, provinsi, kabupaten, kota, dan desa. Sedangkan berdasarkan UU No. 22 Tahun 2009, jalan dikelompokkan menjadi Kelas I, II, III, dan Khusus berdasarkan dimensi kendaraan maksimum dan Muatan Sumbu Terberat (MST) yang diizinkan (8 hingga 10 ton)[9].

2.2. Karakteristik Makroskopik Arus Lalu Lintas

2.2.1 Volume Lalu Lintas (V)

Volume adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik tetap per satuan waktu [10]. Untuk analisis kapasitas, volume kendaraan riil dikonversikan ke Satuan Mobil Penumpang per jam (smp/jam) menggunakan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP). Nilai EMP untuk jalan perkotaan tak terbagi (2/2-TT) sebagai berikut [11]:

Tabel 1 Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi

Tipe Jalan	Volume Lalu Lintas Total 2 Arah (Kendaraan/Jam)	EMP		
		KS	SM	
			Lebar Jalur Lalu Lintas (m)	
Dua Lajur Tak Terbagi (2/2 - TT)	<1800	1,3	0,5	0,4
	≥ 1800	1,2	0,35	0,25

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023)

2.2.2 Kecepatan (S)

Kecepatan (S) merepresentasikan tingkat pergerakan kendaraan dalam jarak tempuh per satuan waktu (km/jam), yang dihitung dengan

rumus:

$$S = \frac{L}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana L adalah panjang segmen jalan (km)
dan t adalah waktu tempuh (jam).

2.2.3 Kepadatan (D) dan Derajat Kejenuhan (DJ)

Kepadatan (D) adalah jumlah kendaraan rata-rata dalam satu satuan panjang jalan (smp/km), yang dirumuskan secara makroskopik sebagai hubungan fundamental:

$$D = \frac{V}{S} \dots \dots \dots (2)$$

dimana V adalah Volume kendaraan (smp/jam)
dan S adalah Kecepatan (km/jam)

Sementara itu, Derajat Kejenuhan (D_j) adalah rasio antara volume lalu lintas (V) terhadap kapasitas jalan (C) untuk mengukur tingkat kinerja pelayanan jalan:

$$D_j = \frac{V}{C} \dots \dots \dots (3)$$

dimana V adalah Volume kendaraan (smp/jam)
dan C adalah kapasitas jalan (smp/jam)

2.3. Pemodelan Makroskopik Lalu Lintas

2.3.1 Model Linear Greenshields

Greenshields (1934) mengasumsikan hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linear [12]. Parameter aliran bebas (S_{ff}), kepadatan macet (D_m), dan volume maksimum (V_m) dihitung melalui formulasi:

$$D_m = \frac{D_j}{2} \dots \dots \dots (4)$$

$$S_m = \frac{S_{ff}}{2} \dots \dots \dots (5)$$

$$V_m = \frac{D_j S_{ff}}{4} \dots \dots \dots (6)$$

2.3.2 Model Logaritmik Greenberg

Greenberg (1959) mengasumsikan arus lalu lintas analog dengan aliran fluida kontinu [13]. Hubungannya dinyatakan dalam bentuk logaritma:

$$D_m = \frac{D_j}{e} \dots \dots \dots (7)$$

$$S_m = -b \dots \dots \dots (8)$$

$$V_m = \frac{D_j S_m}{e} \dots \dots \dots (9)$$

2.4. Teori Gelombang Kejut (Shockwave)

Gelombang kejut adalah fenomena perambatan batas perubahan kepadatan dan arus lalu lintas akibat adanya gangguan atau hambatan kapasitas (bottleneck) [14]. Kecepatan gelombang kejut (ω) dihitung

berdasarkan rasio perubahan volume (ΣV) terhadap perubahan kepadatan (ΣD)

$$\omega_{AB} = \frac{VB-VA}{DB-DA} \dots \dots \dots (10)$$

$$\omega_{AC} = \frac{DC-DA}{VB-VC} \dots \dots \dots (11)$$

$$\omega_{CB} = \frac{DB-DC}{VB-VC} \dots \dots \dots (12)$$

Berdasarkan dinamika ruang dan waktu, Soedirdjoe (2002) mengklasifikasikan gelombang kejut menjadi 6 kelas: *frontal stationary*, *rear stationary*, *forward forming*, *backward forming* (perambatan antrean mundur ke hulu), *forward recovery*, dan *backward recovery* (pemulihan kondisi arus bebas)[15]. Dampak akumulasi antrean akibat gelombang kejut ini dapat dihitung menggunakan parameter turunan berikut [5].

a. Total waktu dari pembukaan jalur ke waktu kendaraan terakhir masuk antrean

Jika r = durasi efektif penutupan lajur (t_2-t_1), maka t_3-t_2 dapat dihitung sebagai berikut lihat ΔEGI dan ΔFGJ

$$t_3 - t_2 = \frac{r}{60} \times \frac{|\omega_{AB}|}{60 \times |\omega_{CB}| - |\omega_{AB}|} \times 60 \dots \dots \dots (13)$$

Durasi efektif mulai dari 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, hingga 60 menit sebagai asumsi lamanya hambatan.

b. Panjang antrean (Q_m)

Panjang antrean dihitung sebagai berikut:

$$Q_M = \frac{r}{60} \times \frac{|\omega_{CB}| \times |\omega_{AB}|}{|\omega_{CB}| - |\omega_{AB}|} \dots \dots \dots (14)$$

c. Total dari pembukaan jalur ke kondisi normal

Menggunakan t_3-t_2 dan Q_m , total dari pembukaan jalur ke kondisi normal dirumuskan sebagai berikut :

$$t_4 - t_2 = \frac{Q_M}{\omega_{AC}} + (t_3 - t_2) \dots \dots \dots (15)$$

d. Total Tundaan (T_d)

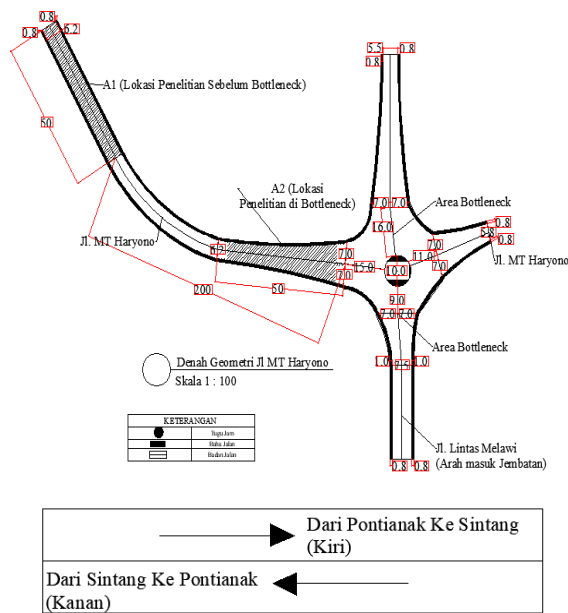
Total tundaan dihitung dengan rumus:

$$T_d = \frac{r \times Q_M}{2} (D_B - D_A) + \frac{(t_4 - t_2) \times Q_M}{2} + (D_C - D_A) \dots \dots \dots (16)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada dua lokasi pengamatan yang berbeda. lokasi pengamatan A1 dan A2, pengumpulan datanya dilakukan selama 4 jam yang dilakukan pada jam 06:00–08:00 dan 16:00–18:00 dengan bantuan rekaman kamera. Lokasi penelitian diilustrasikan pada Gambar 1.



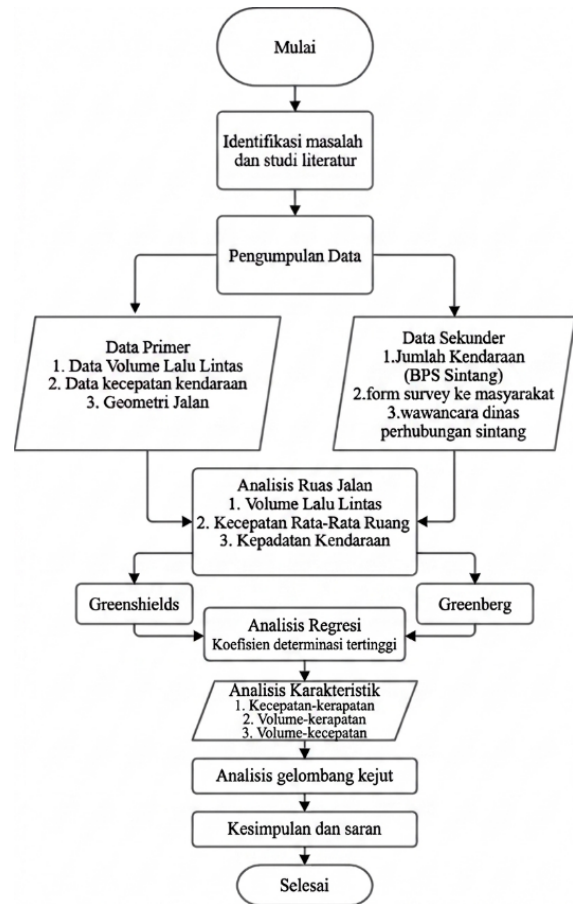
Gambar 1. Lokasi Pengamatan
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

3.2. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan observasional lapangan dan mengumpulkan keterangan dari buku atau jurnal.

3.3. Tahapan Penelitian

1. Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data: Melakukan studi pustaka komprehensif terkait teori pemodelan makroskopik dan gelombang kejut, menyusun metodologi penelitian, melaksanakan survei pendahuluan, serta melakukan pengumpulan data di lapangan.
2. Tahap Pemodelan dan Analisis Regresi: Menganalisis hubungan interaksi antara arus (*volume*), kecepatan, dan kepadatan (*kepadatan*) menggunakan analisis regresi linear dan logaritmik berbantuan *software* Microsoft Excel. Model terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi tertinggi
3. Tahap Analisis Gelombang Kejut (*Shockwave Analysis*): Menganalisis karakteristik perambatan antrean dan total tundaan menggunakan teori gelombang kejut.
4. Kesimpulan dan saran.



Gambar 2 Diagram Alir Metode Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Komparatif Karakteristik Makroskopik dan Evaluasi Model

Pemodelan makroskopik aliran lalu lintas dilakukan untuk mengevaluasi interaksi antara volume (V), kecepatan (S), dan kepadatan (D) pada dua kondisi geometrik jalan yang berbeda. Berdasarkan hasil analisis regresi, terdapat anomali performa yang signifikan antara Model Linear Greenshields dan Model Logaritmik Greenberg ketika diterapkan pada titik pengamatan normal (Lokasi A1) dan titik penyempitan (*bottleneck*) di Jembatan Lintas Melawi (Lokasi A2).

Pada Lokasi A1 (kondisi normal), meskipun model Greenberg secara statistik kadang menghasilkan koefisien determinasi (r^2) yang tinggi, estimasi parameter matematis yang dihasilkan terbukti sangat tidak realistis (*unfeasible*). Sebagai contoh, pada data Senin Kiri, model Greenberg menghasilkan nilai volume maksimum (V_m) sebesar 656.664,65

smp/jam dan kepadatan maksimum (D_m) sebesar 152.338,97 smp/km. Secara teknis engineering, angka ini mustahil dicapai oleh lajur jalan arteri perkotaan berlebar efektif 3,1 meter. Kecenderungan model Greenberg yang menghasilkan nilai parameter ekstrem ini sejalan dengan temuan Rohani (2025), di mana fungsi logaritmik cenderung melonjak hingga lebih dari empat kali lipat jika data lapangan didominasi oleh kondisi arus stabil (*steady state*) berkepadatan rendah hingga sedang [16]. Kelemahan bawaan (*inherent flaw*) dari fungsi logaritmik Greenberg adalah ketidakmampuannya mendefinisikan kecepatan arus bebas (S_{ff}), karena nilai kecepatan akan menuju tak terhingga saat kepadatan mendekati nol. Oleh karena itu, Lokasi A1 sepenuhnya dianalisis menggunakan model Greenshields karena menghasilkan parameter yang jauh lebih representatif dan logis.

Tabel 2 Volume maksimum Lokasi A1

Lokasi (A1)	Hari	Metode	V _m	r ²
			smp/jam	
Pontianak ke Sintang	Senin	Greenshield	2328,571	0,554
	Sabtu	Greenshield	1566,083	0,958
	Minggu	Greenshield	1428,203	0,911
Sintang ke Pontianak	Senin	Greenshield	1446,507	0,875
	Sabtu	Greenshield	1452,209	0,958
	Minggu	Greenshield	1446,101	0,953

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Pada Lokasi A2 (*bottleneck*), model Greenberg memberikan hasil pemodelan yang lebih stabil pada hari Senin dan Minggu karena secara teoritis model logaritmik dirancang untuk bekerja optimal pada kondisi kepadatan tinggi (*high density*). Namun, untuk menjaga konsistensi metodologi dan memungkinkan komputasi analisis gelombang kejut (*shockwave analysis*), model Greenshields tetap dipilih secara komprehensif untuk seluruh segmen studi. Pertimbangan metodologis ini didukung oleh Octaviani (2024) yang menyatakan bahwa nilai dan yang riil dari model Greenshields merupakan parameter input fundamental yang tidak tergantikan dalam mengukur parameter turunan gelombang kejut [17].

Tabel 3 Volume maksimum Lokasi A2

Lokasi (A2)	Hari	Metode	V _m	r ²
			smp/jam	
Pontianak ke Sintang	Senin	Greenberg	888,0164	0,888
	Sabtu	Greenshield	1377,989	0,918
	Minggu	Greenberg	852,0009	0,935
Sintang ke Pontianak	Senin	Greenshield	879,459	0,719
	Sabtu	Greenshield	836,713	0,712
	Minggu	Greenshield	845,452	0,766

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan model terbaik yang disepakati, keberadaan *bottleneck* Jembatan Lintas Melawi secara drastis mereduksi kemampuan daya tampung ruas Jalan MT. Haryono. Pada kondisi normal (A1), jalan ini mampu mengalirkan volume maksimum hingga 1.566,083 smp/jam (Ruas Kiri) dan 1.452,209 smp/jam (Ruas Kanan). Namun, saat memasuki area penyempitan (A2), kapasitas jalan menyusut signifikan menjadi hanya sebesar 852,001 smp/jam pada Ruas Kiri dan 845,452 smp/jam pada Ruas Kanan. Penurunan kapasitas yang mencapai lebih dari 40% ini menjadi konfirmasi empiris bahwa penyempitan lajur secara instan mereduksi kinerja jalan dan memicu penumpukan kendaraan ke arah hulu.

4.2. Analisis Dinamika Gelombang Kejut (Shockwave) dan Karakteristik Antrean

Evaluasi kinerja lalu lintas dinamis dilakukan dengan mensimulasikan skenario durasi hambatan efektif (r) selama 15 dan 30 menit, mengacu pada hasil survei persepsi masyarakat yang mengindikasikan rentang durasi kemacetan harian di kawasan tersebut. Karakteristik gelombang kejut yang terbentuk pada masing-masing ruas jalan menunjukkan perilaku aliran yang berbeda akibat variasi volume masukan (*demand*).

Pada Ruas Kanan, dinamika gelombang kejut menunjukkan pola yang sesuai dengan teori makroskopik standar. Pada hari tersibuk (Senin), dengan arus masukan (V_A) sebesar 973,669 smp/jam, hambatan *bottleneck* menghasilkan kecepatan gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) bernilai negatif sebesar -1,390 km/jam.

Tabel 4 Data Rangkuman Perhitungan Gelombang Kejut $r = 30$ menit

Ruas	Hari	DA	VA	WAB	QM	t4-t2	Td
		smp/km	smp/jam	km/jam	KM	menit	kend/ menit
Kiri	Senin	28,02	1147,91	-0,74	0,39	1,32	888,43
	Sabtu	29,26	1243,54	2,49	1,74	12,05	1450,33
	Minggu	22,74	914,21	1,14	0,62	2,69	644,18
Kanan	Senin	24,23	973,67	-1,39	0,76	2,91	807,13
	Sabtu	23,41	925,32	-1,20	0,65	2,47	754,12
	Minggu	20,37	836,36	0,12	0,06	0,23	106,41

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Nilai negatif ini merepresentasikan perambatan kemacetan yang secara fisik bergerak mundur merambat ke arah hulu (*backward forming shockwave*). Pada durasi hambatan 30 menit, kondisi ini menghasilkan panjang antrean fisik (Q_M) sejauh 761 meter, dengan total tundaan sebesar 807,130 kendaraan/menit, dan membutuhkan waktu normalisasi arus (dan) selama 2,905 menit setelah hambatan mencair. Ketika durasi hambatan direduksi menjadi 15 menit, panjang antrean berkurang secara linear menjadi 381 meter dengan waktu normalisasi 1,452 menit.

Sebaliknya, anomali transisi fase terjadi pada Ruas Kiri, di mana kondisi paling kritis tercatat pada hari Sabtu dengan arus masukan tertinggi mencapai 1.243,537 smp/jam dan kepadatan awal (D_A) sebesar 29,255 smp/km. Analisis gelombang kejut menghasilkan nilai yang tidak lazim, yaitu positif sebesar +2,488 km/jam.

Secara teoritis, nilai positif pada gelombang kejut bentukan mengindikasikan bahwa garis batas perubahan kepadatan

bergerak searah dengan aliran lalu lintas (ke arah hilir). Kondisi khusus ini terjadi disebabkan oleh fenomena *over-saturation*, di mana volume masukan riil dari data lapangan pada titik hulu (A1) tercatat lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas teoritis keluar yang dipodelkan pada area *bottleneck* (A2) pada hari Sabtu tersebut.

Meskipun nilai bergerak positif, Ruas Kiri hari Sabtu tetap menjadi titik paling kritis yang melumpuhkan sistem jaringan jalan. Durasi hambatan 30 menit pada segmen ini mengakibatkan akumulasi panjang antrean masif hingga mencapai 1.736 meter (1,73 km), dengan total tundaan ekstrim sebesar 1.450,327 kendaraan/menit, serta membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mengurai antrean (*clearance time*) yaitu selama 12,047 menit setelah pintu hambatan terbuka. Pada simulasi durasi 15 menit pun, Ruas Kiri tetap menghasilkan panjang antrean sejauh 868 meter dan tundaan sebesar 387,036 kendaraan/menit.

Tabel 5 Data Rangkuman Perhitungan Gelombang Kejut $r = 15$ menit

Ruas	Hari	DA	VA	WAB	QM	t4-t2	Td
		smp/km	smp/jam	km/jam	KM	menit	kend/ menit
Kiri	Senin	28,02	1147,91	-0,74	0,19	0,66	274,08
	Sabtu	29,26	1243,54	2,49	0,87	6,02	387,04
	Minggu	22,74	914,21	1,14	0,31	1,35	186,62
Kanan	Senin	24,23	973,67	-1,39	0,38	1,45	226,04
	Sabtu	23,41	925,32	-1,20	0,32	1,23	215,13
	Minggu	20,36	836,36	0,12	0,03	0,12	54,87

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Dampak rambatan antrean fisik yang mencapai lebih dari 1,7 km ini secara visual mengonfirmasi terjadinya fenomena kemandekan total (*gridlock*). Antrean panjang tersebut merambat mundur melampaui panjang ruang jalan bebas, mengunci sirkulasi internal pada Bundaran Tugu Jam, dan pada akhirnya menciptakan *bottleneck* sekunder yang melumpuhkan pergerakan kaki simpang lainnya di Kota Sintang.

Mengingat besarnya dampak antrean tersebut, diperlukan tindakan manajemen lalu lintas yang efektif pada ruas Jalan MT. Haryono. Salah satu rekomendasi yang dapat dilakukan adalah melalui manajemen operasional kendaraan berat, yaitu dengan menetapkan jadwal waktu melintas yang spesifik bagi kendaraan besar (seperti truk dan bus) agar tidak beroperasi pada jam-jam puncak pagi dan sore hari. Untuk itu, diperlukan studi lebih lanjut mengenai model pengaturan jadwal kendaraan berat dan pengaruhnya terhadap distribusi volume lalu lintas guna mencapai keseimbangan antara beban permintaan jalan dengan kapasitas jembatan yang terbatas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis data komparatif yang telah dilakukan pada ruas Jalan MT. Haryono, Kota Sintang, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Karakteristik Makroskopik dan Reduksi Kapasitas Jalan: Hubungan parameter makroskopik lalu lintas pada kondisi normal (Segmen A1) secara akurat direpresentasikan oleh Model Linear Greenshields, mengingat Model Logaritmik Greenberg menghasilkan estimasi parameter yang tidak realistis akibat kelemahan fungsi logaritmik dalam mendefinisikan kecepatan arus bebas (S_{ff}). Pada kondisi normal, Jalan MT. Haryono memiliki kapasitas atau volume maksimum (V_m) puncak sebesar 1.566,083 smp/jam pada Ruas Kiri dan 1.452,209 smp/jam pada Ruas Kanan. Namun, keberadaan *bottleneck* di Jembatan Lintas Melawi (Segmen A2)

secara drastis mereduksi daya tampung jalan hingga di atas 40%, di mana kapasitas melorot menjadi hanya sebesar 852,001 smp/jam pada Ruas Kiri dan 845,452 smp/jam pada Ruas Kanan. Penyempitan ini memicu penurunan kecepatan operasional secara signifikan dari rentang normal 40–48,74 km/jam menjadi konsisten di bawah 20 km/jam, dengan titik terendah mencapai 4,09 km/jam pada kondisi paling kritis.

2. Dinamika Gelombang Kejut dan Karakteristik Antrean: Analisis gelombang kejut (*shockwave analysis*) menunjukkan bahwa dampak kemacetan paling kritis terjadi pada Ruas Kiri di hari Sabtu. Pada skenario durasi hambatan 30 menit, penumpukan kendaraan menghasilkan akumulasi panjang antrean fisik masif (Q_m) mencapai 1.736 meter (1,73 km), total tundaan (T_d) sebesar 1.450,327 kendaraan-menit, serta memerlukan waktu penguraian (*clearance time*) selama 12,047 menit setelah hambatan mencair. Nilai gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) pada segmen ini menunjukkan anomali teoritis bertanda positif (+2,488 km/jam) akibat fenomena *over-saturation*, di mana arus masukan hulu tercatat lebih rendah dibandingkan pemodelan titik makro *bottleneck*. Sebaliknya, Ruas Kanan di hari Senin menunjukkan pola perambatan standar (*backward forming shockwave*) dengan nilai negatif sebesar -1,390 km/jam, menghasilkan panjang antrean sejauh 761 meter dan total tundaan 807,130 kendaraan-menit untuk durasi hambatan yang sama.

5.2. Saran

Rekomendasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi kepadatan dan panjang antrean adalah melalui manajemen operasional kendaraan berat, yaitu dengan menetapkan jadwal waktu melintas yang spesifik bagi kendaraan besar (seperti truk dan bus) agar tidak beroperasi pada jam-jam puncak pagi dan sore hari. Untuk itu, diperlukan studi lebih lanjut mengenai model pengaturan jadwal

kendaraan berat dan pengaruhnya terhadap distribusi volume lalu lintas guna mencapai keseimbangan antara beban permintaan jalan dengan kapasitas jembatan yang terbatas

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2020). *Rencana strategis Kementerian Perhubungan 2020-2024*.
- [2] Angka, A. B., Erdiansa, A., Pasmara, D., Halim, H., & Azis, A. (2022). Performance of traffic characteristics due to bottleneck on the Maros River Bridge. *The Seybold Report*, 17(110), 1648–1658.
- [3] Badan Pusat Statistik Kota Sintang. (2023). *Statistik Daerah Kota Sintang 2023*.
- [4] Makaida, L. (2023). *Upaya peningkatan kinerja Bundaran Tugu Jam di Kabupaten Sintang* (Kertas kerja wajib). Politeknik Transportasi Darat Indonesia–STTD.
- [5] Prayogi, G. R., Simatupang, M. S. F., Michael, & Yulianto, A. (2024). Analisis dampak penyempitan jalan terhadap karakteristik lalu lintas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(4), 1315–1330.
- [6] Nawal, M., & Herman. (2021). Analisis gelombang kejut (shockwave) Jalan Dr Djundjunan pada segmen penyempitan jalan akibat angkut muatan sampah menggunakan metode Greenshield. *Reka Racana: Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*.
- [7] Pemerintah Republik Indonesia. (2004). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Sekretariat Negara.
- [8] Pemerintah Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan*. Sekretariat Negara
- [9] Pemerintah Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Sekretariat Negara.
- [10] Zulrehansyah, M. (2021). *Analisis hubungan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas dengan metode Greenshield dan Greenberg (Studi kasus: Simpang Jl. Paus - Simpang Jl. Terubuk)* [Skripsi Sarjana, Universitas Islam Riau]. Perpustakaan Universitas Islam Riau.
- [11] Kementerian Pekerjaan Umum. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- [12] Ridha, M., Sismiana, M., Amalia, Zardi, M., Sriana, T., & Khalis, M. (2024). Analisis Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Jalan Dengan Model Greenshields, Greenberg Dan Underwood. *PRINCE: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(3), 478-487.
- [13] Saputra, B., & Savitri, D. (2021). Analisis hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu-lintas berdasarkan model Greenshield, Greenberg dan Underwood. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(1), 43–60.
- [14] Tamin, O. Z. (2003). *Perencanaan & pemodelan transportasi: Contoh soal dan aplikasi* (Ed. 1). Penerbit ITB.
- [15] Soedirdjo, T. L. (2002). *Rekayasa lalu lintas*. Penerbit ITB. (Dikutip pada Bab 2.4 mengenai klasifikasi 6 kelas pergerakan gelombang kejut)
- [16] Rohani, Hasyim, & Putri Salsabilah. (2025). Studi Hubungan Antara Tiga Parameter dengan Menggunakan Model Greenshield, Greenberg, Underwood dan Bell pada Ruas Jalan Dr. Sudjono Kota Mataram. *Jurnal Ganec Swara*, 19(1), 332-340.
- [17] Octaviani, R. S., Sjafruddin, A., Kusumawati, A., & Weningtyas, W. (2024). *Analisis Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang Kereta Api di Jam Sibuk (Studi Kasus: Perlintasan Sebidang Jalan Sunda, Kota Bandung)*. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.