

ANALISIS DAMPAK PENYEMPITAN JALAN TERHADAP KARAKTERISTIK LALU LINTAS JL. LETJEN ALAMSYAH RATU PRAWIRANEGARA

Galih Rio Prayogi¹, Mikhael Stefanus Filemon Simatupang², Michael³ dan Andry Yuliyanto⁴

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan
galih.prayogi@si.itera.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan
mikhaelstefanus2002@gmail.com

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan
michael@si.itera.ac.id

⁴Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan
andry.yuliyanto@si.itera.ac.id

Masuk: 21-06-2024, revisi: 28-08-2024, diterima untuk diterbitkan: 17-09-2024

ABSTRACT

The population growth in Bandar Lampung city is accompanied by an increase in vehicles, leading to a growing need for road space. The inadequate road conditions often cause traffic issues such as reduced speed and potential congestion. The bottleneck of Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara from 5.50 meters to 3.80 meters reduces the effective lane width. Macroscopic traffic analysis was conducted using four models: Greenshields, Greenberg, Underwood, and Bell. The macroscopic modeling results show that there is a reduction in capacity due to the reduction in effective lane width, accompanied by a decrease in vehicle speed considering V_M , D_j , and S_{ff} values. Shock wave analysis was also conducted, with results for Wednesday showing a demand of $VA = 952$ vehicles per hour and $DA = 45$ vehicles per kilometer, and an effective delay duration (r) of 1 minute. The wave shock analysis revealed backward forming shock wave (ω_{AB}) = -0.90 km/h, backward recovery shock wave (ω_{CB}) = -5.82 km/h, and forward forming shock wave (ω_{AC}) = 5.15 km/h. The time from peak flow to the end of congestion (t_p) was found to be 0.18 minutes, with a potential queue length (Q_M) of 17.76 meters. Given the queue length, it takes 1.44 minutes for the lane to normalize until the end of congestion.

Keywords: lane width; macroscopic; modeling; shock wave

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk kota Bandar Lampung tentu diikuti dengan pertumbuhan jumlah kendaraan. Secara tidak langsung membuat kebutuhan akan ruang gerak kendaraan semakin bertambah. Kondisi ruas jalan yang kurang memadai sering menyebabkan masalah lalu lintas seperti penurunan kecepatan dan potensi antrian. Penyempitan jalan di segmen Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara mengurangi lebar jalur efektif dari 5,50 m menjadi 3,80 m. Analisis terhadap karakteristik makroskopik lalu lintas dilakukan dengan empat model yaitu *Greenshields*, *Greenberg*, *Underwood*, dan *Bell*. Secara makro hasil pemodelan memberikan kesimpulan bahwa terjadi pengurangan kapasitas akibat pengurangan lebar jalur efektif disertai dengan berkurangnya nilai kecepatan kendaraan ditinjau dari nilai-nilai V_M , D_j , dan S_{ff} . Analisis gelombang kejut juga dilakukan, hasil analisis hari Rabu dengan permintaan arus $VA = 952$ smp/jam dan $DA = 45$ smp/km serta durasi efektif hambatan (r) = 1 menit menunjukkan adanya gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) = -0,90 km/jam, gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{CB}) = -5,82 km/jam, dan gelombang kejut maju bentukan (ω_{AC}) = 5,15 km/jam. Selang waktu dari kondisi arus jenuh hingga lokasi antrian berakhir (t_p) diperoleh sebesar 0,18 menit dengan potensi panjang antrian (Q_M) sejauh 17,76 m. Dengan kondisi panjang antrian tersebut, perlu waktu penormalan lajur hingga antrian berakhir selama 1,44 menit.

Kata kunci: lajur; makroskopik; pemodelan; gelombang kejut

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Perkembangan suatu wilayah perkotaan selalu didukung dengan kelancaran transportasi pada wilayah tersebut terutama transportasi darat. Dalam mendukung hal tersebut tentu prasarana jalan menjadi hal yang penting. Berdasarkan data terakhir yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik Lampung (2022) terkait jumlah penduduk

untuk kota Bandar Lampung saat ini berada diangka 1,20 juta penduduk atau meningkat 2,10% dari tahun sebelumnya dengan jumlah kendaraan bermotor yang dikeluarkan oleh (Polda, 2024) sebanyak 985.004 kendaraan. Dengan kondisi demikian, tentu keberadaan jalan yang memadai akan memberi ruang bagi lalu lintas perkotaan yang lancar serta nyaman. Geometrik suatu jalan tentu memengaruhi kondisi lalu lintas yang melewatinya (DJBK, 2023). Ukuran lebar jalan menjadi salah satu faktor yang memberikan kenyamanan dalam berkendara. Penyempitan pada suatu ruas jalan termasuk ke dalam bagian geometrik jalan tersebut. Ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara menjadi penghubung antara ruas Jl. Sultan Agung dengan simpang empat (Jl. Urip Sumoharjo - Jl. Arid Rahman Hakim). Dalam keberadaannya, ruas jalan ini juga menjadi alternatif lalu lintas kendaraan yang hendak mengarah ke Jl. Pangeran Antasari di mana lalu lintas kendaraan cukup tinggi akibat wilayah pusat perekonomian. Kondisi eksisting ruas jalan ini adalah 4/2 T (bagian normal) dengan lebar jalur efektif (L_{JE}) = 5,50 m yang kemudian berubah menjadi 2/2-TT (bagian menyempit) dengan lebar jalur efektif (L_{JE}) = 3,80 m. Dalam hal ini, penyempitan yang terjadi pada ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara tentu menjadi sumber permasalahan.

Di Indonesia sendiri terdapat beberapa penelitian yang membahas mengenai dampak penyempitan jalan terhadap karakteristik. Misalnya penelitian oleh Brilia, dkk. (2019) yang mana hasil dari studi tersebut menunjukkan bahwa penyempitan jalan mengurangi kapasitas jalan ditinjau dari volume maksimum pada jalan normal sebesar 1206,6 smp/jam menjadi 962,8 smp/jam pada jalan menyempit dan juga mengurangi kecepatan maksimum kendaraan saat melintas yang awalnya 38,955 km/jam mengalami penurunan menjadi 32,239 km/jam. Studi serupa dilakukan juga oleh Saputra dan Nahdalina (2020) dengan tinjauan terhadap tundaan dan antrian di mana hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa ada atau tidaknya tundaan dan antrian tergantung pada kondisi arus dan kerapatan, jika permintaan arus tinggi maka penyempitan akan berpengaruh besar terhadap tundaan dan antrian, begitu juga sebaliknya. Sementara itu Riani dan Veronika (2020) juga melakukan studi serupa di mana hasil penelitian mereka menunjukkan volume maksimum meningkat sebesar 107,8 skr/jam tetapi kecepatan maksimum mengalami penurunan dari 45 km/jam menjadi 38 km/jam pada jalan menyempit. Penelitian terkait penyempitan jalan juga pernah dilakukan oleh Dewi, dkk. (2023), studi tersebut juga membahas pengaruh parkir di badan jalan yang mengakibatkan penurunan kinerja jalan dan beberapa jam puncak memberi gambaran arus lalu lintas yang tidak stabil dengan kecepatan lalu lintas rendah sekitar 7-10 km/jam disertai dengan permintaan arus mendekati kapasitas.

Dari penjelasan sebelumnya maka diketahui bahwa penyempitan yang terjadi pada suatu ruas memberi pengaruh terhadap karakteristik lalu lintas. Oleh karena itu, untuk kepentingan analisis lanjutan maka diperlukan analisis terhadap permasalahan yang terjadi pada ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara.

Kecepatan

Dalam lalu lintas kecepatan diberi notasi “S” dengan makna berupa jarak yang dapat ditempuh oleh suatu kendaraan dalam satu satuan waktu tertentu. Parameter ini biasanya dinyatakan dalam satuan km/jam. Nilai dari kecepatan sendiri dapat diperoleh dengan melakukan survei lalu lintas, di mana terdapat dua cara survei kecepatan. Cara pertama adalah dengan survei kecepatan rerata waktu yang secara singkatnya dalam survei ini menggunakan bantuan alat *speed gun/radar gun* untuk mengukur kecepatan kendaraan yang sedang melintas. Beberapa kendaraan diukur kecepatannya sebelum kemudian dicari nilai-nilai rata-rata kecepatan untuk menggambarkan kecepatan kendaraan dalam suatu interval pengamatan. Sedangkan cara kedua atau yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei kecepatan rerata ruang yang secara singkatnya surveyor akan membuat garis khayal untuk membatasi panjang segmen tinjauan pada ruas jalan yang diamati kemudian ketika bumper depan kendaraan melewati garis awal maka alat pengukur waktu (*stopwatch*) dinyalakan dan ketika bumper depan kendaraan menyentuh garis akhir maka *stopwatch* dimatikan. Dalam pengukurannya beberapa kendaraan diambil waktu lintas nya sebelum kemudian dikonversi menjadi nilai kecepatan dengan Persamaan 1.

$$\bar{S}_s = \frac{1}{N} \times 3,6 \times \sum_{i=1}^N t_i \quad (1)$$

dengan $\bar{S}_s$ = kecepatan rerata ruang (km/jam), l = panjang segmen jalan (m), t_i = waktu perjalanan kendaraan (detik), dan N = jumlah kendaraan yang diamati.

Kerapatan

Seringkali banyak yang menyebut parameter ini sebagai kepadatan, akan tetapi sebutan tersebut lebih tepat digunakan dalam *pavement engineering* yang berkaitan dengan pemadatan jalan. Parameter ini dinotasikan “D” dengan arti jumlah kendaraan yang berada dalam satu satuan panjang jalan tertentu. Parameter ini seringkali dinyatakan dalam satuan kendaraan/km atau smp/km. Nilai kerapatan diperoleh dari perbandingan arus dengan kecepatan dapat diperoleh dengan Persamaan 2.

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

dengan D = kerapatan (smp/km), V = volume kendaraan (smp/jam), dan S = kecepatan (km/jam)

Volume

Pada lalu lintas volume dinotasikan dengan “ V ” yang menyatakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dalam suatu ruas jalan dalam satu satuan waktu tertentu. Dalam teori lalu lintas, parameter volume ini juga dapat disebut sebagai arus (*flow*) dinotasikan “ q ” yang memiliki perbedaan satuan waktu lebih singkat dalam pengambilan datanya, biasanya arus dinyatakan dalam kendaraan per 15 menit.

Hubungan Parameter Kecepatan, Kerapatan, dan Volume

Dalam (Tamin, 2008) disampaikan bahwa ada empat model yang dapat merepresentasikan hubungan karakteristik lalu lintas yaitu *Greenshields*, *Greenberg*, *Underwood*, dan *Bell*. Masing-masing model tersebut memiliki persamaan untuk menggambarkan hubungan kecepatan dengan kerapatan, arus dengan kerapatan, serta arus dengan kecepatan. Persamaan dan nilai untuk parameter karakteristik seperti volume maksimum, kecepatan arus bebas, serta kerapatan jenuh model *Greenshields* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman persamaan model *Greenshields* (Tamin, 2008)

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D$	V_M	$V_M = \frac{D_j \times S_{ff}}{4}$
V-D	$V = D \times S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D^2$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V-S	$V = D_j \times S - \frac{D_j}{S_{ff}} \times S^2$	D_M	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Persamaan dan nilai untuk parameter karakteristik seperti volume maksimum, kecepatan arus bebas, serta kerapatan jenuh model *Greenberg* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman persamaan model *Greenberg* (Tamin, 2008)

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = \frac{1}{b} \ln \frac{C}{D}$	V_M	$V_M = \frac{C}{b_e}$
V-D	$V = \frac{D}{b} \ln \frac{C}{D}$	S_M	$S_M = \frac{1}{b}$
V-S	$V = S \times C \times e^{-bs}$	D_M	$D_M = \frac{C}{e}$

Persamaan dan nilai untuk parameter karakteristik seperti volume maksimum, kecepatan arus bebas, serta kerapatan jenuh model *Underwood* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rangkuman persamaan model *Underwood* (Tamin, 2008)

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} \times e^{\frac{-D}{D_M}}$	V_M	$V_M = \frac{C}{b_e}$
V-D	$V = D \times S_{ff} \times e^{\frac{-D}{D_M}}$	S_M	$S_M = \frac{1}{b}$
V-S	$V = S \times D_M \times \ln \frac{S_{ff}}{S}$	D_M	$D_M = \frac{C}{e}$

Persamaan dan nilai untuk parameter karakteristik seperti volume maksimum, kecepatan arus bebas, serta kerapatan jenuh model *Bell* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rangkuman persamaan model *Bell* (Tamin, 2008)

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} \times e^{-0,5 \left(\frac{D}{D_M} \right)^2}$	V_M	$V_M = \frac{D_M \times S_{ff}}{e^{0,5}}$
V-D	$V = D \times S_{ff} \times e^{-0,5 \left(\frac{D}{D_M} \right)^2}$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{e^{0,5}}$
V-S	$V = \sqrt{2} S D_M \left(\ln \frac{S_{ff}}{S} \right)^{0,5}$	D_M	D_M

Rumusan masalah

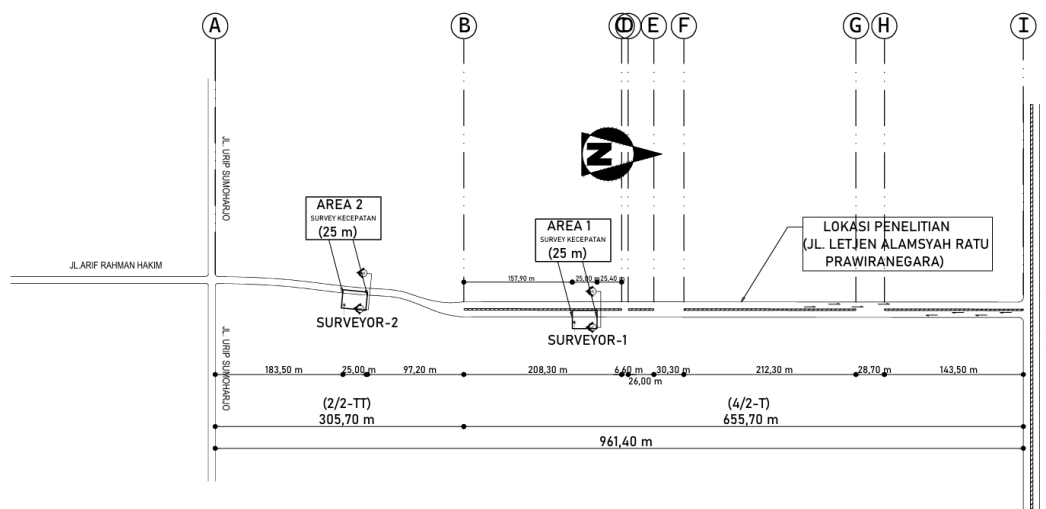
Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana hubungan karakteristik lalu lintas berupa arus, kecepatan, dan kerapatan ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara serta bagaimana pengaruh penyempitan terhadap karakteristik lalu lintas ruas jalan tersebut.

Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan karakteristik lalu lintas berupa arus, kecepatan, dan kerapatan ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara serta mengetahui pengaruh penyempitan terhadap karakteristik lalu lintas ruas jalan tersebut.

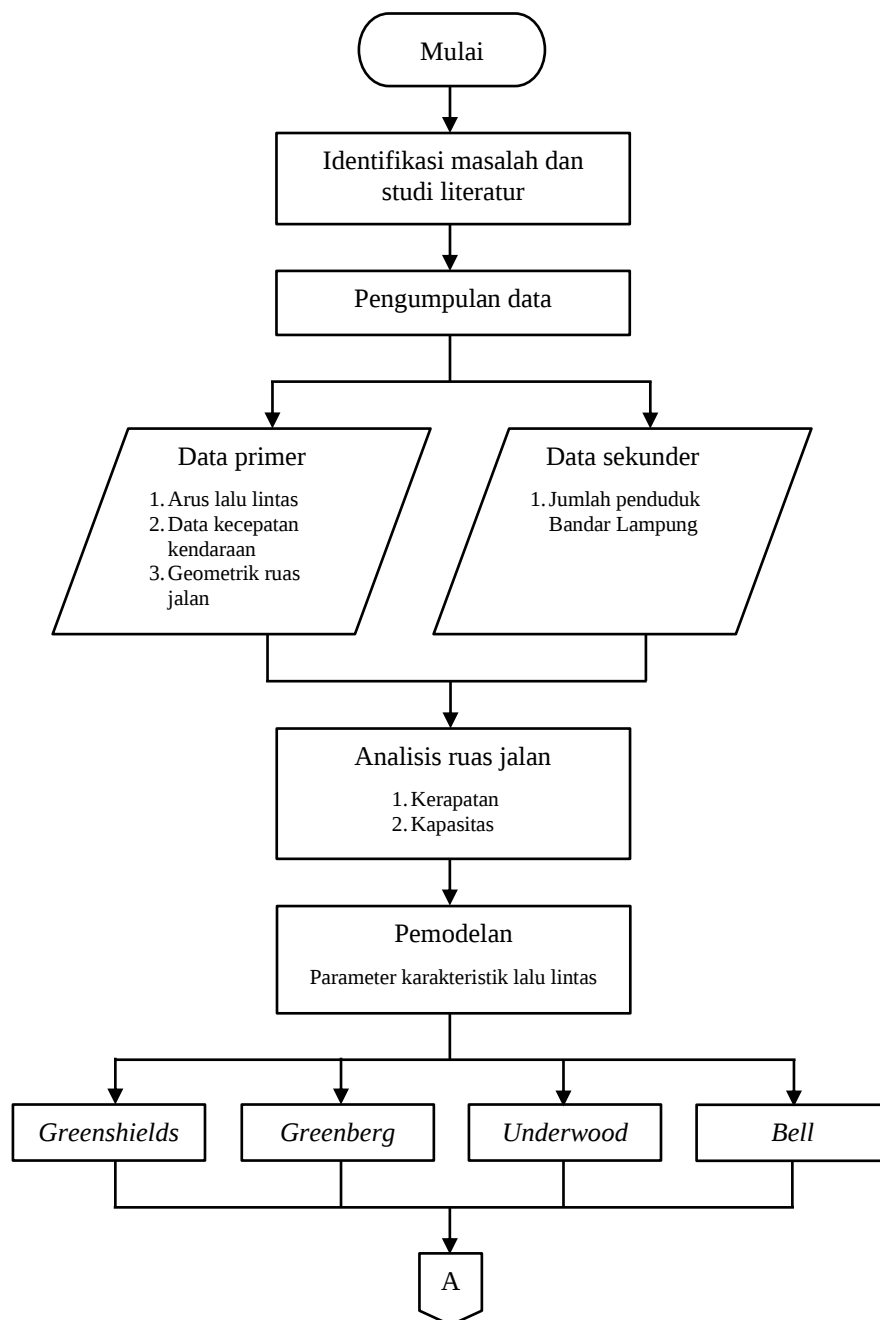
2. METODE PENELITIAN

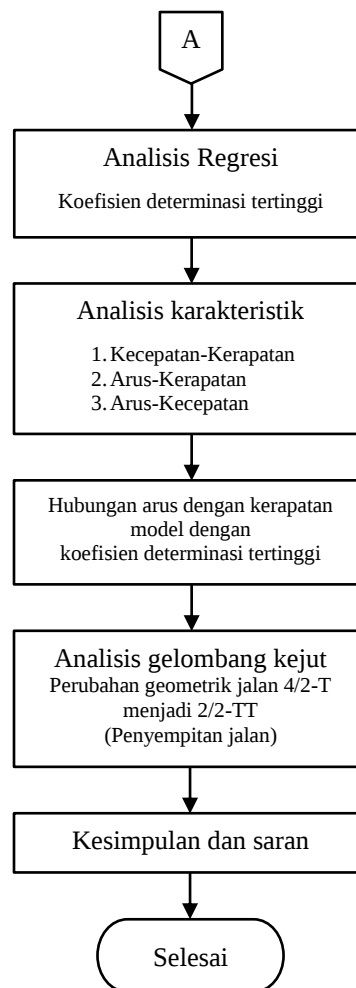
Data lalu lintas berupa tingkat arus dan kecepatan merupakan hal penting dalam penelitian ini. Untuk memperoleh data-data yang tersebut peneliti membuat rencana mulai dari menentukan jam survei hingga titik penempatan surveyor dalam sebuah *layout*. Data lalu lintas memang sebaiknya diambil sebanyak mungkin untuk memperoleh hasil pemodelan yang maksimal, tetapi dikarenakan ruas tidak dilengkapi dengan kamera pengamatan oleh dinas terkait maka peneliti menentukan jam-jam survei dengan mengambil waktu ketika masyarakat sedang sibuk beraktivitas. Penelitian ini memerlukan 4 orang surveyor tiap 2 jam pengamatan seperti terlihat pada Gambar 1. di mana survei lalu lintas dilakukan pada pukul 07.00-09.00, pukul 10.00-12.00, pukul 13.00-15.00, dan pukul 16.00-18.00. Ruas jalan ini dibagi menjadi dua segmen yaitu segmen jalan normal 4/2-T dan segmen jalan menyempit 2/2-TT. Dengan kondisi seperti ini masing-masing segmen akan diisi oleh dua orang surveyor tiap interval pengamatan dengan seorang yang bertugas menghitung tingkat arus kendaraan dan satu lagi bertugas menghitung waktu lintas mobil penumpang. Kendaraan yang diukur kecepatannya adalah mobil penumpang dikarenakan dalam analisis satuan arus akan diubah menjadi smp/jam.



Gambar 1. *Layout* jalan dan lokasi surveyor

Setelah data arus dan kecepatan diperoleh berdasarkan hasil survei, maka dilakukan analisis terkait kerapatan lalu lintas dengan membandingkan kedua parameter tersebut. Dalam analisis, faktor jam sibuk juga ditinjau untuk melihat apakah arus pada menit tertentu lebih besar nilainya dibandingkan nilai arus dalam per jam. Data untuk ketiga parameter yaitu arus, kecepatan, dan kerapatan kemudian diuji normalitasnya untuk melihat sebaran distribusi data. Jika data sudah dinyatakan normal melalui pengujian, maka selanjutnya dilakukan pemodelan menggunakan keempat model yang sudah disampaikan pada pembahasan sebelumnya. Masing-masing model akan memberikan nilai volume maksimum, kecepatan arus bebas, hingga kerapatan jenuh untuk menggambarkan kondisi eksisting ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara sehingga hubungan parameter karakteristik lalu lintas dapat diketahui. Selain itu, nilai volume maksimum juga akan memberikan nilai kapasitas untuk ruas jalan tersebut. Analisis lanjutan yang dilakukan adalah gelombang kejut. Dalam (Tamin, 2008) disampaikan bahwa model yang dapat memberikan nilai pasti kecepatan arus bebas dan kerapatan jenuh hanyalah *Greenshields*, sehingga dengan dasar tersebut hasil pemodelan *Greenshields* berupa hubungan arus dengan kerapatan pada kedua segmen jalan digunakan untuk analisis gelombang kejut. Diagram alir penelitian ini tersampaikan pada Gambar 2.





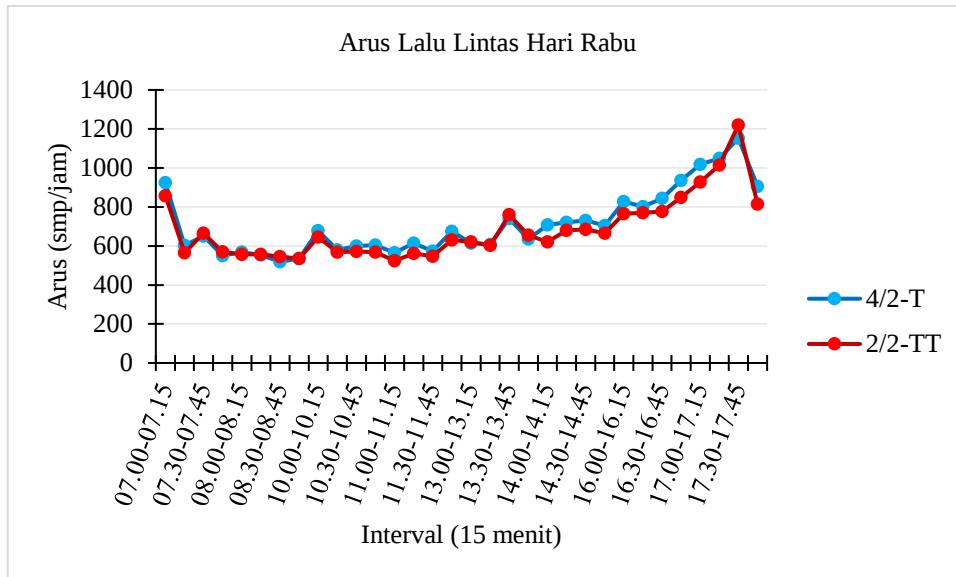
Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

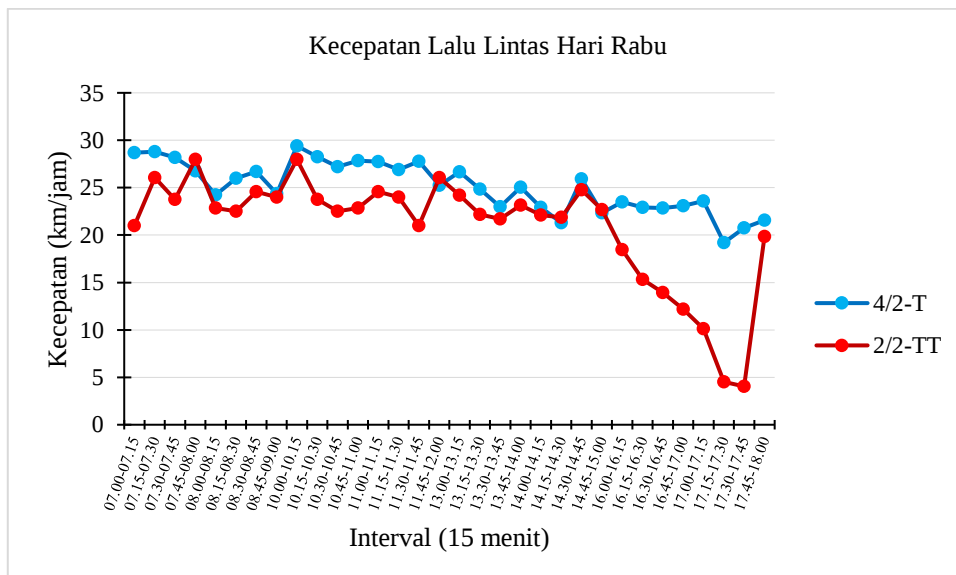
Data Survei Tingkat Arus dan Kecepatan Kendaraan

Hasil dari survei lalu lintas berupa data arus dan kecepatan pada kedua hari tinjauan dapat dilihat pada Gambar 3., di mana pola arus lalu lintas yang terbentuk pada hari Rabu (27 Maret 2024). Berdasarkan grafik yang ditampilkan maka diketahui bahwa kondisi arus maksimum terdapat pada pukul 17.30 - 17.45 baik pada jalan normal 4/2-T dengan arus sebesar 1153 smp/jam maupun pada jalan menyempit 2/2-TT dengan arus sebesar 1220 smp/jam. Perlu menjadi catatan bahwa dalam penelitian ini mengambil waktu selama bulan Ramadhan sehingga pada jam sore kegiatan masyarakat lebih beragam dan menghasilkan pergerakan lalu lintas lebih tinggi dari jam-jam tinjauan lainnya. Dengan meningkatnya arus lalu lintas maka terjadi penurunan kecepatan hal ini dapat dilihat pada Gambar 4., di mana ketika arus maksimum terjadi pada periode waktu yang disebutkan sebelumnya maka kecepatan kendaraan mengalami penurunan yang signifikan.

Dalam periode waktu yang sama dengan tinjauan arus maksimum terlihat bahwa kecepatan kendaraan pada jalan normal 4/2-T sebesar 20,74 km/jam menurun drastis setelah kendaraan memasuki jalan menyempit 2/2-TT menjadi 4,04 km/jam. Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan ketika survei, hal ini dikarenakan bertambahnya panjang antrian secara signifikan pada waktu sore hari akibat simpang bersinyal yang tidak diduga sebelumnya sehingga antrian memasuki area pengambilan kecepatan jalan 2/2-TT. Panjang antrian akibat simpang bersinyal ini sebelumnya sudah dipertimbangkan oleh peneliti sebelum menentukan area survei waktu tempuh mobil penumpang di jalan menyempit. Meningkatnya aktivitas masyarakat di sore hari selama bulan Ramadhan menjadi faktor terjadinya panjang antrian meningkat secara signifikan.

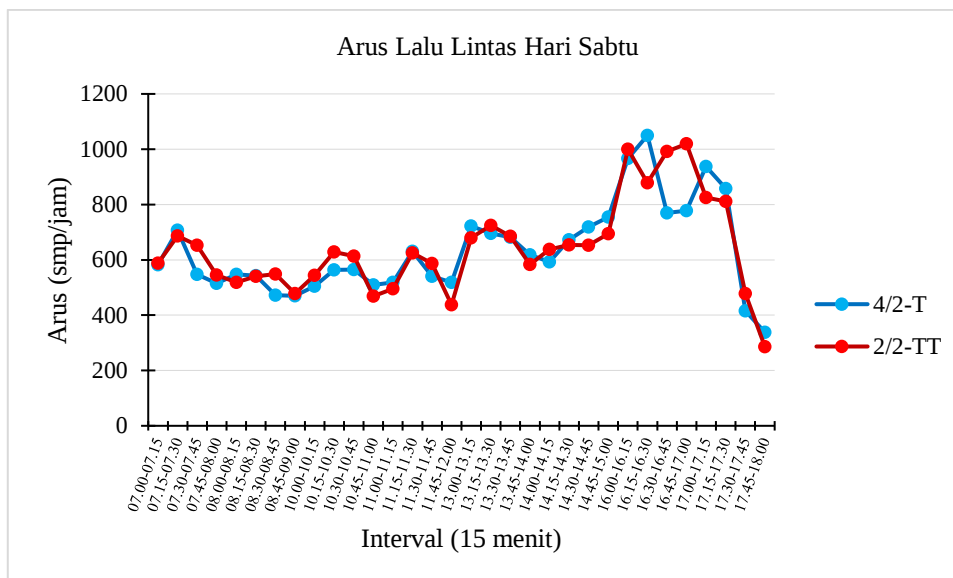


Gambar 3. Grafik arus lalu lintas hari Rabu

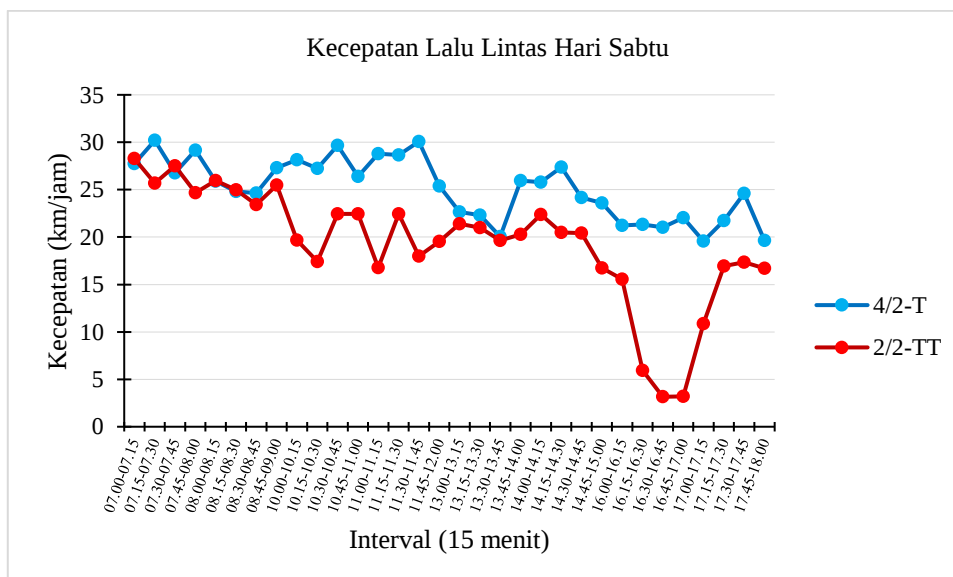


Gambar 4. Grafik kecepatan lalu lintas hari Rabu

Pada tinjauan hari yang berbeda yaitu di hari Sabtu (30 Maret 2024) seperti yang terlihat dalam Gambar 5., kondisi yang diperoleh kurang lebih mirip dengan yang diperoleh pada hari tinjauan sebelumnya. Kondisi arus maksimum untuk jalan normal dan jalan menyempit diperoleh pada periode waktu sore hari. Untuk jalan normal 4/2-T arus maksimum terjadi pada periode waktu 16.15 - 16.30 sebesar 1050 smp/jam, sedangkan untuk jalan menyempit 2/2-TT arus maksimum diperoleh pada periode waktu 16.45 - 17.00 sebesar 1020 smp/jam. Kondisi yang diperoleh berbeda antara arus maksimum jalan normal maupun jalan menyempit. Ketika periode waktu arus maksimum terjadi pada jalan 4/2-T maka di jalan 2/2-TT nilai arusnya lebih kecil dengan nilai sebesar 879 smp/jam. Kejadian sebaliknya terjadi ketika periode waktu arus maksimum terjadi pada jalan 2/2-TT maka di jalan 4/2-T nilai arusnya lebih kecil dengan nilai sebesar 778 smp/jam. Kondisi ini akan memengaruhi hasil volume maksimum (V_M) yang akan diperoleh ketika pemodelan hubungan karakteristik lalu lintas dilakukan dimana seharusnya nilai volume di segmen jalan yang memiliki lebar jalur efektif lebih (L_{JE}) besar dapat menampung volume lebih banyak dibandingkan segmen dengan L_{JE} lebih kecil. Berdasarkan tinjauan ketika survei dilakukan, hal ini dapat terjadi akibat tambahan arus dari jalan lingkungan perumahan sebelum memasuki segmen jalan 2/2-TT sehingga pada saat surveyor di segmen 2/2-TT melakukan perhitungan jumlah kendaraan, nilai yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan segmen 4/2-T.



Gambar 5. Grafik arus lalu lintas hari Sabtu



Gambar 6. Grafik kecepatan lalu lintas hari Sabtu

Untuk tinjauan kecepatan pada hari Sabtu seperti yang ditampilkan pada Gambar 6. diketahui bahwa periode waktu paling signifikan terjadi penurunan kecepatan 58 adalah waktu 16.45 - 17.00, dimana pada periode waktu tersebut ketika kendaraan melintas di segmen jalan normal 4/2-T kecepatan kendaraan sebesar 22,04 km/jam sedangkan pada saat memasuki segmen jalan menyempit 2/2-TT kecepatan kendaraan signifikan berkurang menjadi 3,21 km/jam. Penurunan kecepatan pada hari Sabtu ini terjadi secara signifikan dengan alasan yang sama seperti hari tinjauan sebelumnya, dimana terjadi penambahan panjang antrian secara signifikan pada periode waktu tersebut akibat simpang bersinyal hingga panjang antrian kendaraan masuk area pengamatan surveyor segmen 2/2 TT. Aktivitas masyarakat yang meningkat di sore hari selama bulan Ramadhan tentu meningkatkan pergerakan lalu lintas termasuk pada ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara. Kondisi ini mengakibatkan arus lalu lintas meningkat pada ruas yang ditinjau sehingga panjang antrian kendaraan akibat simpang bersinyal juga meningkat seiring dengan penambahan jumlah kendaraan. Grafik-grafik yang telah ditampilkan sebelumnya merupakan hasil plot dari tabel arus atau kecepatan sesuai dengan interval waktu pengamatan di lapangan. Tentu kedua parameter tersebut akan memengaruhi nilai kerapatan lalu lintas pada ruas jalan tinjauan baik pada segmen jalan normal 4/2-T maupun jalan menyempit 2/2-TT.

Data Outlier

Dalam penelitian ini seluruh data hasil survei lalu lintas diuji kenormalannya dengan metode *Kolmogorov Smirnov*. Menurut (Hair, 1998) jika sampel kurang dari 80 maka data yang dikategorikan sebagai *outlier* adalah data dengan nilai $z \geq 2,5$ atau $z \leq -2,5$ seperti yang disampaikan dalam (Ghozali, 2018). Dari 32 data lalu lintas untuk masing-masing hari pengamatan diperoleh bahwa terdapat beberapa data yang membuat hasil perhitungan tidak masuk secara logika sehingga analisis gelombang tidak dapat dilakukan. Tabel 5. menunjukkan data arus dan kecepatan yang dikategorikan sebagai pengganggu dan tidak digunakan dalam pemodelan hubungan karakteristik lalu lintas.

Tabel 5. Data *outlier* arus dan kecepatan

RABU									
No	Periode	4/2-T				2/2-TT			
		Arus		Kecepatan		Arus		Kecepatan	
		Data	z	Data	z	Data	z	Data	z
1	17.15-17.30	1049	2,03	19,20	-2,22	1015	2,09	4,51	-2,74
2	17.30-17.45	1153	2,66	20,74	-1,64	1220	3,38	4,04	-2,82

SABTU									
No	Periode	4/2-T				2/2-TT			
		Arus		Kecepatan		Arus		Kecepatan	
		Data	z	Data	z	Data	z	Data	z
1	16.15-16.30	1050	2,56	21,32	-1,18	879	1,41	5,93	-2,13
2	16.30-16.45	770	0,83	21,01	-1,27	993	2,10	3,16	-2,57
3	16.45-17.00	778	0,89	22,04	-0,96	1020	2,26	3,21	-2,56

Data yang ditandai dengan nilai z berwarna merah merupakan *outlier* pada kelompok data hasil survei lalu lintas untuk hari Rabu dan Sabtu. Berdasarkan tabel tersebut maka jumlah data arus dan kecepatan yang digunakan dalam pemodelan untuk masing-masing hari tinjauan adalah 30 data dan 29 data. Tabel 6. menunjukkan hasil pengujian normalitas data setelah *outlier* dihilangkan.

Tabel 6. Distribusi data arus dan kecepatan setelah *outlier* dihilangkan

Hari (Segmen)	Data	D-hitung	D-tabel	Distribusi
Rabu (4/2-T)	Arus	0,142	0,240	Normal
	Kecepatan	0,133		Normal
Rabu (2/2-TT)	Arus	0,150	0,246	Normal
	Kecepatan	0,198		Normal
Sabtu (4/2-T)	Arus	0,113	0,246	Normal
	Kecepatan	0,115		Normal
Sabtu (2/2-TT)	Arus	0,092	0,246	Normal
	Kecepatan	0,111		Normal

Model Hubungan Arus, Kecepatan, dan Kerapatan

Dengan menggunakan keempat model yang telah disampaikan sebelumnya, maka dapat diperoleh beberapa parameter untuk menggambarkan hubungan karakteristik lalu lintas berupa arus, kecepatan, dan kerapatan. Nilai-nilai yang menjadi parameter analisis adalah volume maksimum (V_M), kecepatan arus bebas (S_{ff}), dan kerapatan jenuh (D_j). Tabel 4.7 menunjukkan hasil nilai parameter-parameter tersebut untuk masing-masing model.

Tabel 7. Parameter hasil perhitungan keempat model

Parameter	Hari/Segmen	<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
V_M	Rabu (4/2-T)	1055	2366	1238	982
S_{ff}		32,20	∞	33,24	28,78
D_j		131	886	∞	∞
V_M	Rabu (2/2-TT)	911	911	886	953
S_{ff}		29,98	∞	33,98	25,46
D_j		122	229	∞	∞

Tabel 8. Parameter hasil perhitungan keempat model (Lanjutan)

Parameter	Hari/Segmen	<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
V_M	Sabtu (4/2-T)	986	2236	1143	931
S_{ff}		31,83	∞	32,84	28,41
D_j		124	858	∞	∞
V_M	Sabtu (2/2-TT)	862	1062	893	879
S_{ff}		27,78	∞	29,96	23,77
D_j		124	341	∞	∞

Keterangan: V_M = smp/jam, S_{ff} = km/jam, dan D_j = smp/km

Untuk melihat model terbaik dalam menghubungkan karakteristik lalu lintas, maka diambil berdasarkan nilai koefisien determinasi tertinggi. Tabel 9. menampilkan nilai koefisien determinasi setiap model untuk masing-masing hubungan karakteristik lalu lintas.

Tabel 9. Nilai koefisien determinasi hubungan karakteristik lalu lintas setiap model

Hari	Segmen	<i>R-Square (S-D)</i>			
		<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
Rabu	4/2-T	0,5514	0,5699	0,5661	0,5351
Rabu	2/2-TT	0,8666	0,8961	0,9288	0,8615
Sabtu	4/2-T	0,4769	0,453	0,4885	0,4882
Sabtu	2/2-TT	0,5226	0,5174	0,6016	0,582
Hari	Segmen	<i>R-Square (q-D)</i>			
		<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
Rabu	4/2-T	0,8907	0,8782	0,8919	0,8750
Rabu	2/2-TT	0,7433	0,8429	0,6985	0,5509
Sabtu	4/2-T	0,8799	0,8965	0,7894	0,7153
Sabtu	2/2-TT	0,6633	0,7298	0,5488	0,3841
Hari	Segmen	<i>R-Square (q-S)</i>			
		<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
Rabu	4/2-T	0,2373	0,2486	0,2484	0,2093
Rabu	2/2-TT	0,5663	0,5759	0,5311	0,5022
Sabtu	4/2-T	0,1706	0,1771	0,0998	0,0775
Sabtu	2/2-TT	0,0782	0,0983	0,0321	0,0223

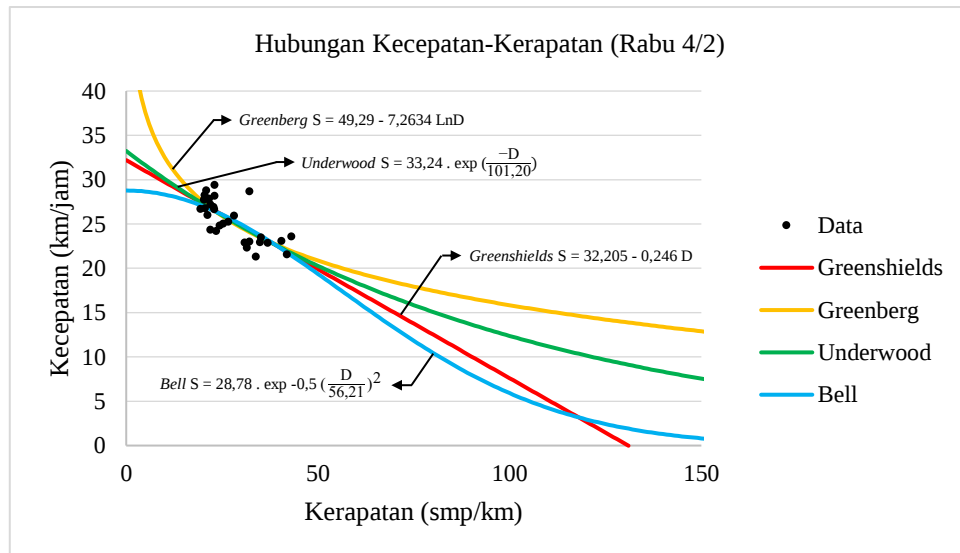
Selain itu, untuk memperkuat pemilihan model maka dalam penelitian ini digunakan juga uji homogenitas (F) dan uji signifikansi (t) sebagai tolak ukur. Tabel 10. menunjukkan contoh hasil kedua pengujian tersebut untuk hubungan kecepatan dengan kerapatan (S-D) hari Rabu pada segmen 4/2-T.

Tabel 10. Contoh hasil uji-F dan uji-t sebagai pendamping konsiderasi pemilihan model terbaik

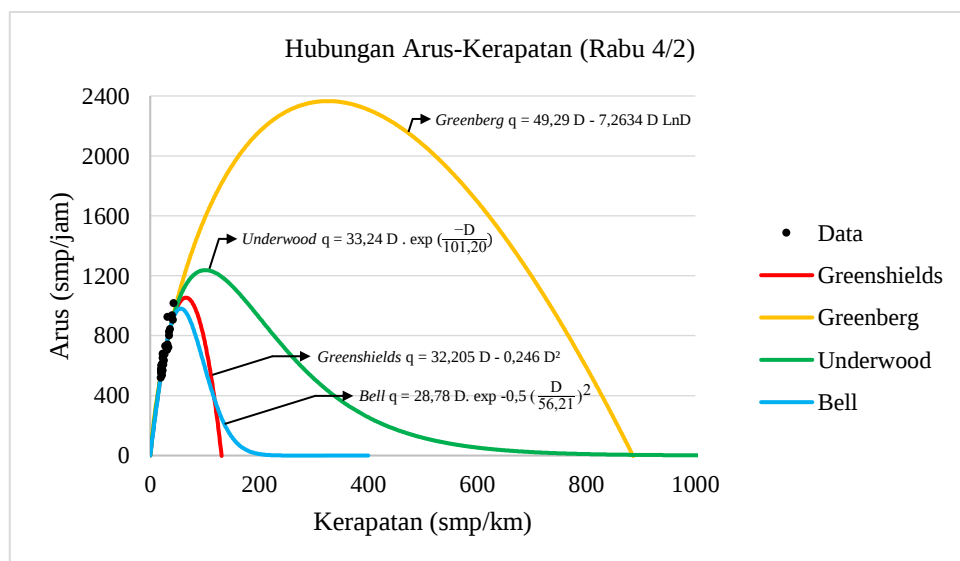
Hari	Segmen	<i>Hubungan (S-D)</i>			
		<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>	<i>Bell</i>
Rabu	4/2-T	F = 9,1129	F = 92,5805	F = 5797,6746	F = 21371256,7496
		(> F-tabel = 1,8608)	(> F-tabel = 1,8608)	(> F-tabel = 1,8608)	(> F-tabel = 1,8608)
		t = 5,8662	t = 6,0905	t = 6,0441	t = 5,6770
		(> t-tabel = 2,0484)	(> t-tabel = 2,0484)	(> t-tabel = 2,0484)	(> t-tabel = 2,0484)

Grafik Pemodelan Karakteristik Lalu Lintas

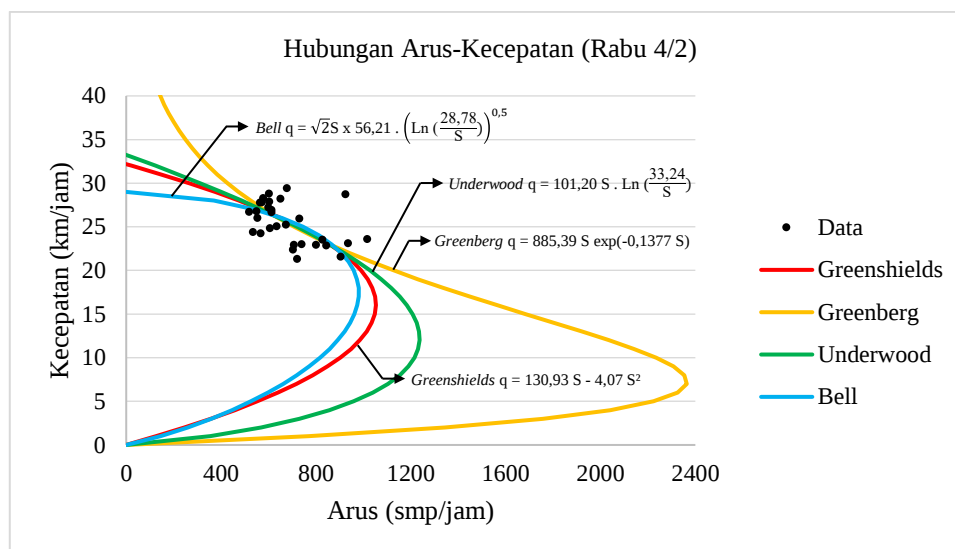
Setiap penelitian yang membahas terkait pemodelan karakteristik lalu lintas selalu identik dengan grafik yang dihasilkan dari model. Oleh karena itu, berikut ditampilkan hasil grafik pemodelan dengan tinjauan yang digunakan adalah hari Rabu (27 Maret 2024) pada segmen jalan normal 4/2-T. Gambar 7. menampilkan hubungan kecepatan dengan kepadatan, Gambar 8. menampilkan hubungan arus dengan kepadatan, dan Gambar 9. menampilkan hubungan arus dengan kecepatan.



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan dengan kepadatan 4/2-T hari Rabu



Gambar 8. Grafik hubungan arus dengan kepadatan 4/2-T hari Rabu



Gambar 9. Grafik hubungan arus dengan kecepatan 4/2-T hari Rabu

Analisis Hubungan Karakteristik Lalu Lintas

Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan diperoleh bahwa model terbaik didominasi oleh *Greenberg*, dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh model ini pada Tabel 9. serta hasil uji homogenitas dan uji signifikansi yang memenuhi. Untuk segmen jalan 4/2-T dengan lebar jalur efektif sebesar 5,50 m diperoleh nilai volume maksimum terbesar antara kedua hari tinjauan sebesar 2366 smp/jam, kecepatan arus bebas yang tidak terhingga, dan kerapatan jenuh sebesar 886 smp/km. Sedangkan untuk segmen jalan 2/2-T dengan lebar jalur efektif sebesar 3,80 m diperoleh nilai volume maksimum terbesar antara kedua hari tinjauan sebesar 1062 smp/jam, kecepatan arus bebas yang tidak terhingga, dan kerapatan jenuh sebesar 341 smp/km. Dari nilai-nilai yang disajikan diketahui bahwa pengurangan lebar jalur efektif pada segmen jalan menimbulkan penurunan kapasitas ditinjau berdasarkan nilai volume maksimum hasil pemodelan. Penurunan kapasitas tersebut akan menimbulkan perubahan nilai kerapatan, tetapi kecepatan arus bebas dalam model *Greenberg* ini tidak dapat dianalisis karena tidak diketahui nilainya. Model ini mengungkapkan logika bahwa kecepatan arus bebas tidak dapat dinilai dengan baik, karena dalam pengertiannya kecepatan arus bebas merupakan kecepatan pada saat kerapatan bernilai nol yang artinya tidak ada kendaraan melintasi segmen jalan. Namun, penyempitan jalan yang terjadi pada ruas Jl. Letjen Alamsyah menimbulkan penurunan kecepatan rata-rata pengendara ditinjau berdasarkan kecepatan hasil survei. Diperoleh bahwa rata-rata kecepatan kendaraan yang melintasi segmen 4/2-T nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kecepatan kendaraan saat melintasi segmen 2/2-TT seperti yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan kecepatan kendaraan sebelum dan sesudah terjadi penyempitan

Hari	Rata-rata kecepatan kendaraan saat survei (km/jam)	
	4/2-T	2/2-TT
Rabu	25,46	21,93
Sabtu	25,50	20,84

Analisis Gelombang Kejut

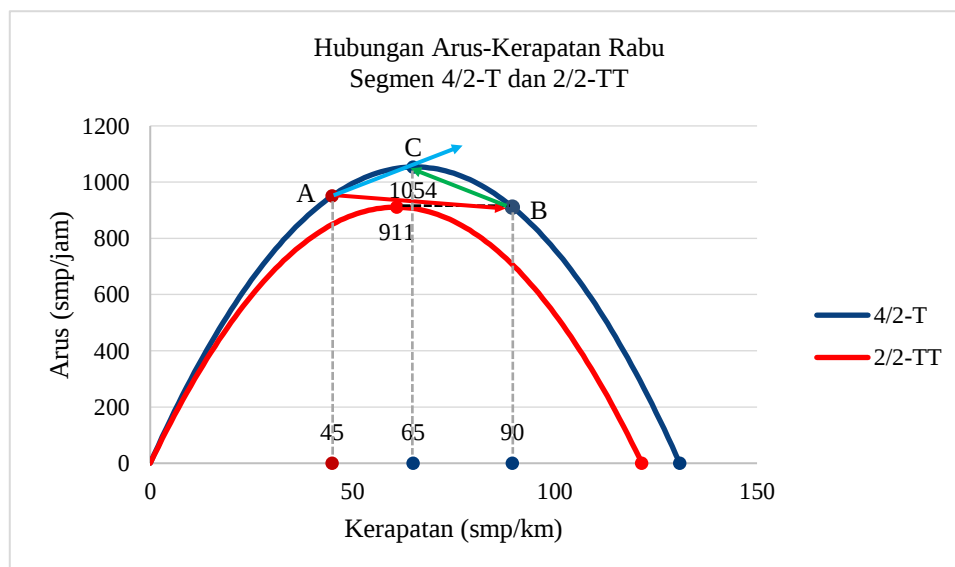
Gelombang kejut dinyatakan dalam satuan km/jam, di mana dalam (Tamin, 2008) peristiwa ini merupakan perubahan pergerakan lalu lintas. Nilai positif atau negatif yang dihasilkan dari perhitungan gelombang kejut menunjukkan arah perubahan pergerakan lalu lintas. Ketika bernilai negatif artinya gelombang kejut terjadi berlawanan arah datangnya lalu lintas atau dikenal sebagai gelombang kejut mundur. Sedangkan ketika nilainya positif artinya gelombang kejut terjadi searah dengan pergerakan lalu lintas atau dikenal sebagai gelombang kejut maju. Pada kondisi penyempitan jalan, gelombang kejut dianalisis untuk mengetahui seperti apa kondisi lalu lintas ketika permintaan arus segmen jalan normal tidak dapat sepenuhnya diterima oleh segmen jalan menyempit (Roess et al., 2015). Analisis gelombang kejut ini menggunakan hubungan arus dengan kerapatan hasil model *Greenshields*. Alasan utama digunakannya model ini adalah karena nilai kecepatan arus bebas tidak dapat didefinisikan oleh model *Greenberg*, sedangkan nilai kerapatan jenuh tidak dapat didefinisikan oleh model *Underwood* maupun *Bell*. Satu-satunya model yang dapat menghasilkan

nilai seluruh parameter tersebut adalah model *Greenshields*. Tabel 12 menunjukkan hasil perhitungan *Greenshields* untuk digunakan dalam analisis gelombang kejut hari Rabu.

Tabel 12. Parameter perhitungan *Greenshields* untuk analisis gelombang kejut hari Rabu

Hari	Parameter	Segmen	Model <i>Greenshields</i>
Rabu	V_M (smp/jam)	4/2-T	1055
	D_j (smp/km)		131
	D_M (smp/km)		66
	V_M (smp/jam)	2/2-TT	911
	D_j (smp/km)		122
	D_M (smp/km)		61

Dengan data pada Tabel 12. yang dibentuk dalam grafik hubungan arus dengan kerapatan *Greenshields* maka dapat terlihat skema terjadinya gelombang kejut. Gambar 10. menampilkan secara jelas bagaimana kapasitas oleh segmen 2/2-TT tidak dapat menampung permintaan arus segmen 4/2-T.



Gambar 10. Grafik analisis gelombang kejut hari Rabu

Penjelasan terkait gambar di atas, dapat dilihat bahwa kurva 4/2-T berwarna biru lebih tinggi puncaknya dibandingkan kurva 2/2-TT berwarna merah. Kondisi ini menandakan bahwa kapasitas segmen jalan normal 4/2-T lebih besar dibandingkan dengan kapasitas jalan menyempit 2/2-TT, sehingga ketika permintaan arus oleh segmen 4/2-T lebih besar daripada kapasitas jalan 2/2-TT artinya akan terjadi tundaan untuk kendaraan sepenuhnya masuk ke segmen jalan yang lebih kecil. Skema gelombang kejut digambarkan oleh panah pada grafik. Panah berwarna merah menunjukkan gelombang kejut pertama yang terbentuk yaitu gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) di mana dengan permintaan arus sebesar 952 smp/jam oleh segmen 4/2-T sementara kapasitas segmen 2/2-TT hanya 911 smp/jam maka terjadi gelombang kejut mundur akibat dari berkurangnya lebar jalur efektif dengan besar kecepatan gelombang kejut -0,90 km/jam. Selanjutnya akan terjadi transisi ketika permintaan arus tadi sudah masuk dan perlahan mulai pulih sehingga terbentuk yang namanya gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{CB}) dengan nilai sebesar -5,82 km/jam. Ketika seluruh permintaan arus sudah masuk ke dalam segmen 2/2-TT terbentuk gelombang kejut maju bentukan (ω_{AC}) dengan nilai sebesar 5,15 km/jam. Analisis gelombang kejut dapat mencari potensi panjang antrian yang terjadi, hal ini dapat diperoleh dengan mengasumsikan durasi efektif hambatan yang terjadi tepat pada transisi penyempitan jalan. Menurut (Tamin, 2008) durasi efektif (r) ini dapat diperoleh dari akumulasi kendaraan seperti angkot menaikkan/menurunkan penumpang, angkot ngetem, penyeberang jalan, ataupun kendaraan berhenti. Dengan demikian digunakan variasi durasi efektif mulai dari 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, hingga 60 menit sebagai asumsi lamanya hambatan dalam penelitian ini. Tabel 13. menunjukkan nilai hasil perhitungan berbagai variasi durasi efektif hambatan beserta potensi panjang antrian.

Tabel 13. Hasil perhitungan gelombang kejut hari Rabu

No	V _A smp/jam	V _B smp/jam	ω _{AB} km/jam	V _C smp/jam	ω _{CB} km/jam	ω _{AC} km/jam	r menit	t _p menit	Q _M meter	T menit
1	952	911	-0,90	1054	-5,82	5,15	1	0,18	17,76	1,44
	-	-	-	-	-	-	2	0,37	35,52	2,89
	-	-	-	-	-	-	3	0,55	53,28	4,33
	-	-	-	-	-	-	4	0,73	71,04	5,78
	-	-	-	-	-	-	5	0,92	88,79	7,22
	-	-	-	-	-	-	10	1,83	177,59	14,45
	-	-	-	-	-	-	15	2,75	266,38	21,67
	-	-	-	-	-	-	30	5,49	532,76	43,34
2	996	911	-2,13	1054	-5,82	3,91	1	0,58	56,02	16,87
	-	-	-	-	-	-	2	1,15	112,03	33,74
	-	-	-	-	-	-	3	1,73	168,05	50,61
	-	-	-	-	-	-	4	2,31	224,07	67,48
	-	-	-	-	-	-	5	2,89	280,09	84,35
	-	-	-	-	-	-	10	5,77	560,17	168,71
	-	-	-	-	-	-	15	8,66	840,26	253,06
	-	-	-	-	-	-	30	17,32	1680,52	506,13
3	1047	911	-4,59	1054	-5,82	1,46	1	3,73	362,07	671,95
	-	-	-	-	-	-	2	7,46	724,14	1343,91
	-	-	-	-	-	-	3	11,19	1086,22	2015,86
	-	-	-	-	-	-	4	14,93	1448,29	2687,82
	-	-	-	-	-	-	5	18,66	1810,36	3359,77
	-	-	-	-	-	-	10	37,32	3620,72	6719,55
	-	-	-	-	-	-	15	55,97	5431,08	10079,32
	-	-	-	-	-	-	30	111,95	10862,16	20158,64
4	1054	911	-5,82	1054	-5,82	∞	1	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	2	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	3	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	4	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	5	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	10	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	15	∞	∞	∞
	-	-	-	-	-	-	30	∞	∞	∞

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan dalam Tabel 13. untuk analisis gelombang kejut hari Rabu diketahui bahwa semakin besar permintaan arus yang diberikan oleh segmen 4/2-T terhadap segmen 2/2-TT maka akan semakin panjang juga potensi antrian yang diperoleh. Sebagai contoh, untuk permintaan arus 952 smp/jam maka potensi panjang antrian yang terjadi sepanjang 17,76 m, sedangkan ketika permintaan arus dinaikkan menjadi 996 smp/jam maka potensi panjang antrian yang terjadi meningkat menjadi 56,02 m. Perlu menjadi catatan bahwa durasi efektif hambatan yang digunakan untuk contoh perhitungan tersebut hanya 1 menit. Dari perhitungan dengan variasi durasi efektif lainnya diketahui bahwa semakin lama durasi efektif hambatan maka potensi antrian yang terjadi akan semakin panjang juga, bahkan nilainya bisa bernilai tidak terdefinisi jika permintaan arus di segmen 4/2-T sebesar kondisi kapasitas atau volume maksimum segmen 2/2-TT.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada ruas Jl. Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara, diperoleh bahwa hubungan karakteristik lalu lintas didominasi model terbaik oleh *Greenberg*, hal ini didukung juga dengan logika bahwa kecepatan arus bebas tidak dapat diperoleh nilainya karena diperoleh pada saat kerapatan bernilai nol. Parameter hasil perhitungan model tersebut:

- Rabu (Segmen 4/2-T) dengan nilai $V_M = 2366$ smp/jam, $S_{ff} = \infty$, dan $D_j = 886$ smp/km.
- Rabu (Segmen 2/2-TT) dengan nilai $V_M = 911$ smp/jam, $S_{ff} = \infty$, dan $D_j = 229$ smp/km.
- Sabtu (Segmen 4/2-T) dengan nilai $V_M = 2236$ smp/jam, $S_{ff} = \infty$, dan $D_j = 858$ smp/km.
- Sabtu (Segmen 2/2-TT) dengan nilai $V_M = 1062$ smp/jam, $S_{ff} = \infty$, dan $D_j = 341$ smp/km

Hasil perhitungan memperlihatkan terjadinya penurunan kapasitas ditinjau dari nilai volume maksimum hasil model, sehingga disimpulkan bahwa pengurangan lebar jalur efektif berdampak pada penurunan nilai kapasitas jalan. Begitu juga dengan nilai kerapatan yang mengalami penurunan nilai ketika memasuki segmen jalan menyempit, sedangkan untuk kecepatan ditinjau dari kecepatan arus bebas tidak dapat diperoleh nilainya untuk model *Greenberg* sehingga tidak dapat dianalisis. Namun, berdasarkan rata-rata kecepatan kendaraan ketika survei dilakukan diperoleh bahwa terjadi penurunan kecepatan oleh pengendara ketika melintas di segmen 2/2-TT dapat dilihat pada Tabel 11., tidak adanya median juga menjadi faktor pengendara mengurangi kecepatan menurut penulis. Selain kondisi geometrik

menyempit, hilangnya median juga membuat konflik antar kendaraan dari dua arah berlawanan semakin rentan sehingga bentuk kewaspadaan pengemudi ditandai dengan pengurangan kecepatan berkendara.

Penyempitan yang terjadi pada ruas jalan juga dianalisis berdasarkan gelombang kejut yang terjadi untuk masing-masing hari tinjauan. Pada tinjauan hari Rabu ketika diberi permintaan arus 952 smp/jam diperoleh gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) sebesar -0,90 km/jam, gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{CB}) sebesar -5,82 km/jam, dan gelombang kejut maju bentukan (ω_{AC}) sebesar 5,15 km/jam. Durasi efektif hambatan selama 1 menit juga memberikan potensi antrian sepanjang 17,76 m dengan waktu penormalan arus selama 1,44 menit. Pada tinjauan hari Sabtu ketika diberi permintaan arus 913 smp/jam diperoleh gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) sebesar -1,31 km/jam, gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{CB}) sebesar -5,67 km/jam, dan gelombang kejut maju bentukan (ω_{AC}) sebesar 4,34 km/jam. Durasi efektif hambatan selama 1 menit juga memberikan potensi antrian sepanjang 28,30 m dengan waktu penormalan arus selama 5,51 menit.

Untuk membuat penelitian ini menjadi lebih baik kedepannya, maka penulis memberi beberapa saran terkait penambahan waktu survei lalu lintas. Dalam kasus pemodelan lalu lintas, semakin banyak data yang dimiliki maka akan semakin baik juga hasil perhitungan yang diperoleh melalui model. Tentu dengan penambahan waktu survei akan memakan biaya lebih banyak dalam penelitian, oleh karenanya interval waktu pengamatan dapat diperkecil misalnya dengan melakukan survei lalu lintas per 5 menit sehingga jumlah data tingkat arus yang diperoleh lebih banyak. Sebagai perbandingan, dalam penelitian ini digunakan interval pengamatan 15 menit untuk 2 jam survei sehingga diperoleh delapan jumlah data tingkat arus untuk suatu periode pengamatan. Dengan menggunakan interval 5 menit maka untuk mengambil jam-jam lalu lintas lengkap di malam hari lebih dapat dipertimbangkan karena hanya dengan survei selama 1 jam dapat memperoleh 12 jumlah data tingkat arus.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Lampung. (2022). Jumlah Penduduk Provinsi Lampung. <https://lampung.bps.go.id/indicator/12/45/1/jumlah-penduduk.html>
- Brilia, B., Rompis, S. Y. R., & Longdong, J. (2019). Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus: Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 7(6).
- Dewi, K., Krisdiyanto, A., & Yasak, I. (2023). Analisis Pengaruh Penyempitan Jalan dan Parkir Badan Jalan Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 4. 71–89. <https://doi.org/10.36312/jcm.v4i1.1293>
- DJBM. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia.
- Ghozali, I. (2018). Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 25 Edisi 9. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hair, J. F. (1998). Multivariate Data Analysis. Prentice Hall.
- Polda, L. (2024, March 25). Electronic Registration and Identification. <http://Rc.Korlantas.Polri.Go.Id:8900/Eri2017/Laprekappolres.Php?Kdpolda=18&poldanya=LAMPUNG>.
- Riani, D., & Veronika, F. (2020). Analisis Dampak Penyempitan Jalan (Bottleneck) Terhadap Kinerja Lalu Lintas Di Ruas Jalan Rajawali Menggunakan Model Greenberg. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 3(2), 160–170. <https://doi.org/10.52868/jt.v3i2.2636>
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2015). Traffic Engineering (4th ed.). Pearson/Prentice Hall.
- Saputra, A. S., & Nahdalina. (2020). Pengaruh Pengurangan 4 Lajur Menjadi 3 Lajur Di Jalan Tol Terhadap Tundaan Dan Antrian. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 37(2), 130–144.
- Tamin, O. Z. (2008). Perencanaan, Pemodelan, dan Pemodelan Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi. Penerbit ITB, Bandung, Indonesia.

