

ANALISIS GELOMBANG KEJUT PADA PERLINTASAN SEBIDANG KERETA API DI JAM SIBUK (STUDI KASUS: PERLINTASAN SEBIDANG JALAN SUNDA, KOTA BANDUNG)

Resti Sapta Octaviani

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10, Coblong, Bandung
restiocta710@gmail.com

Ade Sjafruddin

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10, Coblong, Bandung
ades-itb@itb.ac.id

Aine Kusumawati

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10, Coblong, Bandung
aine@itb.ac.id

Widyarini Weningtyas

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10, Coblong, Bandung
widyariniw@itb.ac.id

Abstract

This research examines the delays and queues at the crossing located on Jalan Sunda in Bandung City. Data collection was conducted at two distinct observation locations. At Observation Location 1, the relationship between traffic flow, speed, and density was monitored for 12 hours. At Observation Location 2, data collection focused on queue and delay analysis during peak hours. The relationship between traffic flow, speed, and density was developed using Greenshields, Greenberg, and Underwood models, with the Greenshields ultimately being selected as the best fit model. The model produced a free-flow speed value of 51.1 km/hour and jam density value of 79.2 pcu/km. Delay and queue analyses were conducted using the shockwave analysis method. Under closed gate conditions, the maximum delay was 159.7 seconds and the queue length reached 82.3 pcu/lane during the interval 16:05:30-16:08:23. In contrast, when the crossing gate was open, the average delay was reduced to 2.4 seconds.

Keywords: railway level crossing, flow, delay, queue, shock wave

Abstrak

Penelitian ini menganalisis tundaan dan antrean yang terjadi di lokasi perlintasan kereta api Jalan Sunda di Kota Bandung. Pengambilan data dilakukan pada dua lokasi pengamatan yang berbeda. Data pada lokasi pengamatan 1 dilakukan selama 12 jam ditujukan untuk membangun hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan. Sementara pengamatan 2 ditujukan untuk menganalisis antrean dan tundaan pada jam puncak. Hubungan antara arus, kecepatan, dan kerapatan dibangun menggunakan model Greenshields, Greenberg, dan Underwood, kemudian dipilih model yang terbaik. Model terbaik yang terpilih adalah model Greenshields. Dari model ini didapatkan nilai kecepatan arus bebas sebesar 51,1 km/jam dan nilai kerapatan macet sebesar 79,2 smp/km. Analisis tundaan dan antrean menggunakan metode gelombang kejut. Saat kondisi pintu perlintasan tertutup, hasil tundaan terbesar 159,7 detik dan antrean terbesar 82,3 smp/lajur pada interval waktu penutupan 16:05:30 – 16:08:23. Sementara itu, saat kondisi pintu perlintasan terbuka, hasil tundaan rata-rata sebesar 2,4 detik.

Kata Kunci: persilangan sebidang, arus, tundaan, antrean, gelombang kejut

PENDAHULUAN

Pada perlintasan sebidang jalan kereta api kerap muncul permasalahan berupa kemacetan, penurunan kecepatan kendaraan, dan peningkatan panjang antrean. Salah satu permasalahan yang muncul pada ruas Jalan Sunda ialah adanya perlintasan sebidang kereta api yang mempengaruhi lalu lintas pada ruas jalan tersebut. Kondisi saat pintu perlintasan kereta api ditutup adalah kondisi kemacetan total, sehingga secara otomatis terbentuk antrean dan tundaan yang cukup lama. Terdapat dua teknik analisis yang dapat dipakai dalam mempelajari proses tundaan dan antrean, yaitu analisis gelombang kejut dan analisis antrean. Gelombang kejut didefinisikan sebagai suatu gerakan pada arus lalu lintas yang terjadi akibat adanya perubahan nilai arus dan kerapatan lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Alasan pemilihan metode gelombang kejut dibanding metode analisis antrean ialah karena waktu sinyal kedatangan kereta bersifat deterministik (pasti) serta penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pada ruas jalan sebagai ruang yang digunakan dalam proses mengantre. Selain itu, terdapat beberapa kondisi pengaruh perlintasan sebidang kereta api yang merupakan karakteristik gelombang kejut, yaitu terjadinya perbedaan kerapatan kendaraan.

TINJAUAN PUSTAKA

Gelombang Kejut

Gelombang kejut merupakan salah satu teknik analisis tundaan dan antrean. Gelombang kejut didefinisikan sebagai suatu gerakan pada arus lalu lintas yang terjadi akibat adanya perubahan nilai arus dan kerapatan lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Berdasarkan kutipan Wohl dan Martin (1967), gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan yang rendah dan diikuti oleh arus kerapatan yang tinggi.

Pada perlintasan kereta api, gelombang kejut terjadi saat pintu perlintasan ditutup dan terbuka. Pada kondisi pintu perlintasan tertutup total, kerapatan saat arus masuk (arus kebutuhan atau *demand*) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet. Kendaraan yang berada di depan akan mengurangi kecepatan saat mendekati perlintasan dan akhirnya berhenti sehingga membentuk antrean di belakang kendaraan tersebut. Pada saat kondisi pintu perlintasan dibuka, kerapatan pada kondisi macet berangsur-angsur kembali sampai keadaan kerapatan menuju kondisi maksimum. Pada saat kondisi mulai kembali normal, kerapatan kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.

Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan analisis tundaan dan antrean pada perlintasan sebidang kereta api, di antaranya penelitian oleh Ika Setiyaningsih (2007) dengan judul "Karakteristik Lalu Lintas Pada Persilangan Sebidang Jalan Dan Jalan Rel". Pada penelitian ini dilakukan pemilihan model hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan terbaik serta metode analisis tundaan dan antrean terbaik. Model hubungan arus, kecepatan, dan

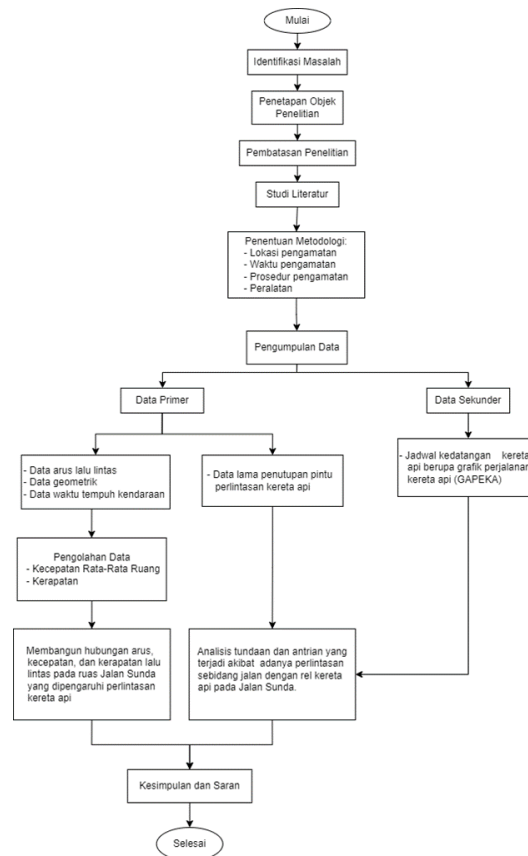
kerapatan yang dijadikan perbandingan adalah Model Greenshields, Greenberg, Underwood, dan Northwestern. Setelah menganalisis setiap model, dipilih model terbaik yaitu model Greenshields. Metode analisis tundaan dan antrean yang dijadikan perbandingan adalah metode gelombang kejut dan metode antrean. Setelah dilakukan analisis pada setiap metode, dipilih metode terbaik: metode gelombang kejut pada kondisi pintu perlintasan tertutup dan metode antrean pada kondisi pintu perlintasan terbuka. Data dikumpulkan melalui survei ke lapangan pada jam puncak (06.00 – 08.00, 12.00 – 14.00, dan 16.00 – 18.00).

Selain penelitian tersebut, penelitian oleh Fauzan Rizki Muharam (2023) berjudul "Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Ruas Jalan Nasional Terhadap Pengaruh Perlintasan Sebidang Kereta Api Pada Jam Sibuk (Studi Kasus: Perlintasan Sebidang Jl. Abdul Rahman Saleh – Jl. Nurtanio)". Penelitian ini tidak menggambarkan hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan, melainkan hanya dilakukan analisis tundaan dan antrean berdasarkan MKJI 1997. Metode pengumpulan data yang dilakukan ialah dengan survei ke lapangan pada jam puncak (06.00 – 08.00 dan 16.00 – 18.00).

Perbedaan utama antara penelitian terdahulu dengan penelitian pada penelitian ini terletak pada metode analisisnya. Secara garis besar, metode pengumpulan datanya hampir sama yaitu dengan survei ke lapangan pada jam puncak. Namun, metode pengolahan data dalam penelitian ini berbeda dari kedua penelitian yang disebutkan sebelumnya. Penelitian ini akan membangun hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan dengan Metode Greenshields, Greenberg, dan Underwood yang kemudian nantinya akan dipilih metode yang terbaik. Data untuk menghubungkan ketiganya diperoleh dari lapangan selama 12 jam penuh. Selain itu, penelitian ini menganalisis tundaan dan antrean menggunakan metode gelombang kejut saat pintu tertutup dan terbuka.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus yaitu dengan melakukan survei di lapangan dan mengumpulkan keterangan dari buku atau jurnal. Tahapan metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Metode Penelitian

1. Melakukan studi pustaka mengenai teori yang berkaitan dengan penelitian ini, kemudian dilakukan penyusunan metodologi penelitian, survei pendahuluan, dan pengumpulan data.
2. Menganalisis hubungan antara arus, kecepatan, dan kerapatan menggunakan tiga model yang nantinya akan diperoleh model terbaik. Pemodelan dilakukan dengan analisis regresi dan pemilihan model terbaik berdasarkan koefisien determinasi serta nilai F hitung dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel.
3. Menganalisis antrean dan tundaan menggunakan gelombang kejut dalam kondisi pintu tertutup dan pintu terbuka.

Analisis tundaan dan antrean saat pintu perlintasan ditutup adalah sebagai berikut:

- a. Besar nilai gelombang kejut sebagai parameter saat pintu perlintasan ditutup:

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} \quad (1)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} \quad (2)$$

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \quad (3)$$

- b. Selang waktu antara t_2 sampai t_3 (hilangnya waktu antrean):

$$t_a = r \left(\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right) \quad (4)$$

- c. Lokasi antrean dari garis henti pada waktu t_2 :

$$X_A = r \tan a = \frac{r}{3600} \left(\frac{V_A}{D_j - D_A} \right) \quad (5)$$

Lokasi hilangnya antrean dari garis henti pada waktu t_3 :

$$X_B = \frac{r}{3600} \left(\frac{\omega_{BC} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right) \quad (6)$$

d. Jumlah kendaraan yang mengalami tundaan:

$$N = X_B \times D_j \quad (7)$$

Dengan diketahuinya nilai jumlah kendaraan yang mengalami tundaan dan lokasi hilangnya antrean, maka dapat diketahui jarak antara kendaraan:

$$\text{jarak antara kendaraan} = \frac{X_B}{N} \quad (8)$$

e. Tundaan rata-rata yang terjadi sampai antrean hilang:

$$T = \frac{1}{2} (r + t_a) \quad (9)$$

Pada kondisi pintu terbuka, ada perbedaan mendasar dengan kondisi tertutup, yaitu tidak tercapainya kerapatan macet (D_j) sehingga tidak terjadi antrean. Tundaan yang dialami oleh kendaraan pada kondisi pintu perlintasan terbuka adalah berupa tundaan lalu lintas (T_{L1}) karena kecepatan tidak bisa berjalan sesuai yang diinginkan karena interaksi kendaraan lain dan berupa tundaan geometrik (T_{L2}) karena adanya hambatan ruas jalan berupa alur rel (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

$$T_{L1} = \frac{\text{panjang perlintasan kereta api}}{\text{kecepatan awal}} \quad (10)$$

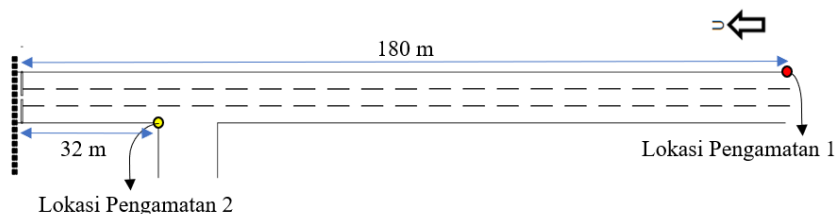
$$T_{L2} = \frac{U_A - U_B}{a} \quad (11)$$

$$T_{\text{total}} = T_{L1} + T_{L2} \quad (12)$$

4. Kesimpulan dan saran.

PENGOLAHAN DATA

Pengambilan data dilakukan pada dua lokasi pengamatan yang berbeda. Data pada lokasi pengamatan 1 ditujukan untuk membangun hubungan arus, kecepatan, dan kerapatan, yang pengumpulan datanya dilakukan selama 12 jam dengan bantuan rekaman CCTV. Data yang diambil di lokasi pengamatan 2 ditujukan untuk analisis antrean dan tundaan, dimana pengambilan datanya dilakukan pada jam puncak 07:00 – 08:00 dan 16:00 – 17:00 dengan bantuan rekaman kamera. Lokasi penelitian diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Lokasi Pengamatan

Hasil pengumpulan data primer arus diubah ke dalam satuan smp, kemudian kecepatan menjadi kecepatan rata-rata ruang, serta kerapatan diperoleh dengan membagi arus dan kecepatan. Kemudian data primer berupa durasi penutupan pintu perlintasan

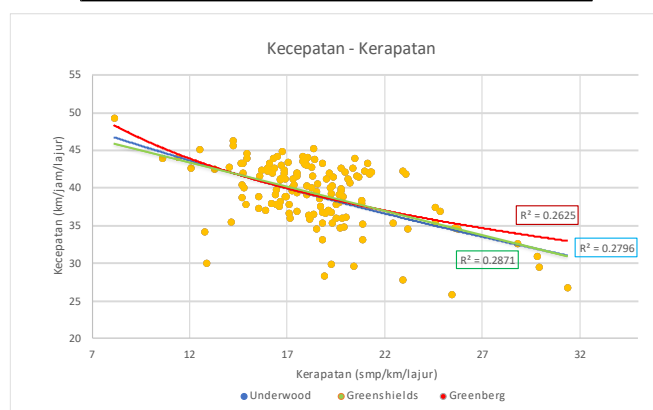
digunakan untuk menganalisis antrean dan tundaan yang diolah menggunakan metode gelombang kejut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan membangun hubungan kecepatan dan kerapatan dari tiga model, diperoleh hasil seperti pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 3.

Tabel 1 Kecepatan Arus Bebas dan Kerapatan Macet Ketiga Model

Jenis Model	U _f	D _j
	(km/jam/lajur)	(smp/km/lajur)
Greenshields	51,1	79,2
Greenberg	~	567,6
Underwood	53,9	-



Gambar 3 Hasil Regresi Ketiga Model

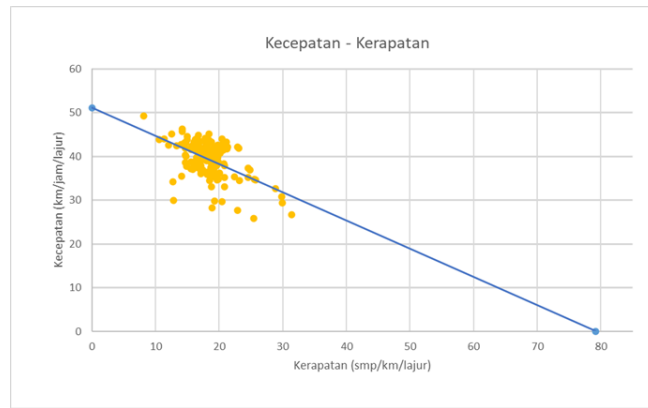
Tabel 2 Hasil Regresi Ketiga Model

Model	Persamaan U _s - D	Nilai R ²	Nilai F hitung	Nilai F kritis
Greenshields	$U_{sr} = 51,1 - 0,6 D$	0,2871	57,2	3,91
Greenberg	$U_{sr} = 11,4 \ln \frac{567,6}{D}$	0,2625	50,53	
Underwood	$U_{sr} = 53,9 e^{-\left(\frac{D}{56,8}\right)}$	0,2796	57,03	

Berdasarkan Tabel 1, Model Greenshields dipilih sebagai model terbaik karena menghasilkan nilai U_f dan D_j sebagai parameter perhitungan analisis dan tundaan, memiliki nilai R² dan F hitung terbesar, serta F hitung > F kritis sehingga memenuhi sebagai syarat regresi.

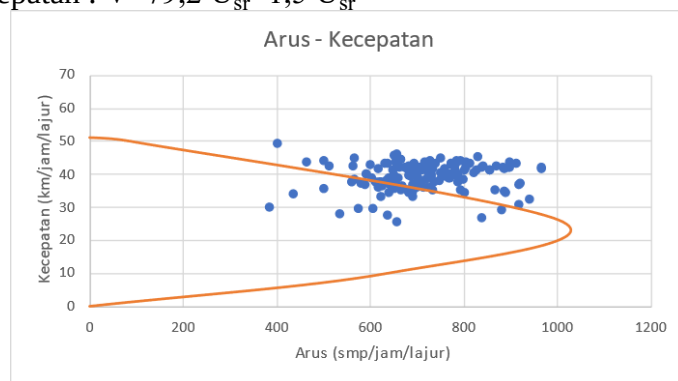
Dengan Metode Greenshields didapatkan hubungan antar parameter lalu lintas (Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6) sebagai berikut:

Hubungan Kecepatan – Kerapatan : $\bar{U}_{sr} = 51,1 - 0,6 D$ (13)



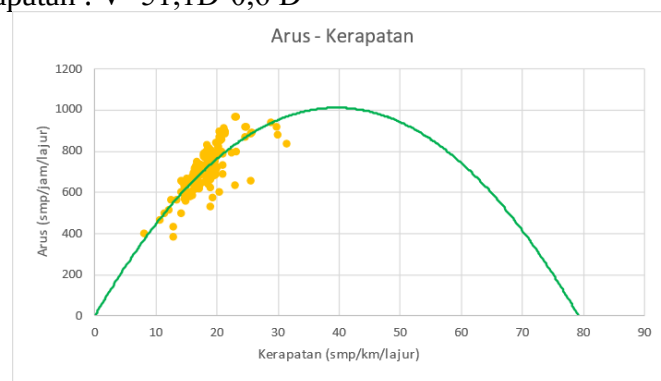
Gambar 4 Grafik Hubungan antara Kecepatan dan Kerapatan

Hubungan Arus - Kecepatan : $V = 79,2 \bar{U}_{sr} - 1,5 \bar{U}_{sr}^2$ (14)



Gambar 5 Grafik Hubungan antara Arus dan Kecepatan

Hubungan Arus – Kerapatan : $V = 51,1D - 0,6 D^2$ (15)



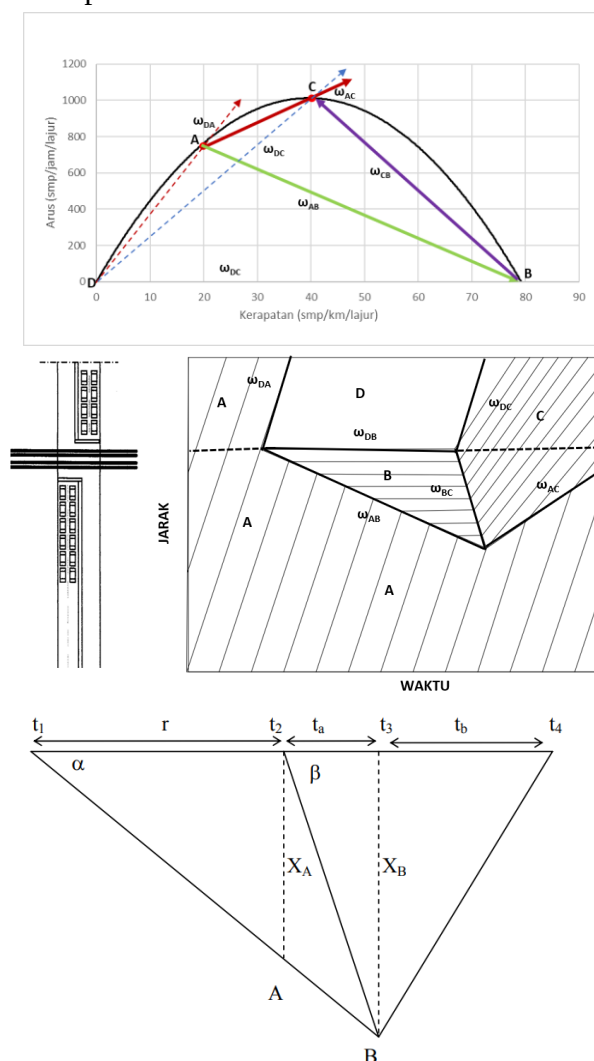
Gambar 6 Grafik Hubungan antara Arus dan Kerapatan

Gelombang kejut yang terjadi pada perlintasan jalan dan kereta api dapat dianalisis apabila hubungan matematis antara volume-kepadatan telah diketahui dan kondisi volume lalu lintas telah ditentukan. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis tundaan dan antrean metode gelombang kejut saat pintu tertutup tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Analisis Antrean dan Tundaan Kondisi Pintu Tertutup

Interval Waktu		V_A	V_B	Kapasitas	D_A	D_B	D_C	Kecepatan Gelombang Kejut			r	t_a	X_A	X_B	N		N		Tundaan	Jarak antar kendaraan
								ω_{AB}	ω_{BC}	ω_{AC}										
		(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/km)	(smp/km)	(smp/km)	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)	(detik)	(detik)	(m)	(m)	(smp/lajur)	(smp)	(kend/lajur)	(kend)	(detik)	(m)
		a	b	c	d	e	f	$g = (a-b)/(d-e)$	$h = (b-c)/(e-f)$	$i = (a-c)/(d-f)$	j	$k = jg/(h-g)$	$l = ja/(e-d)$	$m = j/3600(hg/h-g)$	$o = e \cdot m$	$p = o \cdot 3$	$r = o \cdot q$	$s = r \cdot 3$	$t = (j+k)/2$	$u = m/r$
7:08:26	- 7:10:42	530,4	0	1012,4	17,4	79,2	39,6	-8,6	-25,6	21,7	135	68,2	321,8	484,4	38,4	115,1	58	175	101,6	8,3
7:16:45	- 7:20:16	266,4	0	1012,4	8,4	79,2	39,6	-3,8	-25,6	23,9	211	36,4	220,6	258,7	20,5	61,5	31	93	123,7	8,3
7:32:33	- 7:35:05	543,2	0	1012,4	17,7	79,2	39,6	-8,8	-25,6	21,5	151	79,8	370,8	566,7	44,9	134,6	68	205	115,4	8,3
7:40:25	- 7:43:52	536	0	1012,4	17,5	79,2	39,6	-8,7	-25,6	21,5	207	106,5	499,3	756,1	59,9	179,6	91	273	156,7	8,3
7:57:26	- 7:59:55	449,6	0	1012,4	14,2	79,2	39,6	-6,9	-25,6	22,2	148	54,9	284,4	389,9	30,9	92,6	47	141	101,5	8,3
16:05:30	- 16:08:23	681,2	0	1012,4	21,1	79,2	39,6	-11,7	-25,6	17,9	173	146,4	563,1	1039,6	82,3	247,0	125	376	159,7	8,3
16:27:28	- 16:29:40	497,2	0	1012,4	15,6	79,2	39,6	-7,8	-25,6	21,5	132	58,2	286,8	413,3	32,7	98,2	50	149	95,1	8,3
16:50:01	- 16:53:01	614,8	0	1012,4	20,1	79,2	39,6	-10,4	-25,6	20,4	179	122,8	517,2	871,8	69,0	207,1	105	315	150,9	8,3

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat digambarkan diagram gelombang kejut yang terjadi sebagaimana pada Gambar 7:



Gambar 7 Diagram Gelombang Kejut

dimana,

ω_{DA} = gelombang kejut dari kondisi titik awal D ($V_D=0$) dan ($D_D=0$) ke titik A.

ω_{DB} = gelombang kejut menggambarkan pada saat pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti ($V_B=V_j=0$) dan ($D_B=D_j=0$) karena daerah B adalah kondisi saat macet.

ω_{AB} = gelombang kejut menggambarkan perubahan kecepatan dan kerapatan arus pada daerah A ke daerah B. gelombang kejut saat nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan di daerah A ($V = V_A$) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet ($D_B = D_J$).

ω_{DC} = gelombang kejut pada saat kendaraan terakhir mengantre. Pada kondisi tersebut, arus dan kerapatan nol perlahan bergerak searah dengan lalu lintas ke arah hilir sampai pada kondisi titik C.

ω_{BC} = gelombang kejut menggambarkan perubahan kecepatan dan kerapatan arus pada daerah B ke daerah C. Gelombang kejut dari kendaraan yang mengalami kondisi berhenti saat pintu ditutup mulai bergerak kemudian disusul oleh kendaraan di belakangnya sampai kendaraan terakhir tidak mengalami antrean. Kecepatan terpengaruh oleh kecepatan arus di depannya.

t_a = interval waktu antara t_2 dan t_3 (detik).

X_A = lokasi antrean dari garis henti pada waktu t_2 (km).

X_B = lokasi hilangnya antrean dari garis henti pada waktu t_3 (km).

Berdasarkan hasil perhitungan analisis gelombang kejut pada kondisi pintu tertutup, dapat disimpulkan bahwa parameter gelombang kejut yang diperlukan untuk menghitung analisis tundaan dan antrean adalah ω_{AB} , ω_{BC} , dan ω_{AC} . Rata-rata tundaan yang terjadi bernilai dalam rentang 95,1 detik sampai 159,7 detik. Nilai rata-rata tundaan terkecil terjadi pada periode penutupan 16:05:30 – 16:08:23 dan nilai tundaan terbesar terjadi pada periode penutupan 16:05:30 – 16:08:23. Nilai rata-rata tundaan menggambarkan berapa lama kendaraan awal mengantre diam sampai kendaraan terakhir mengantre bergerak karena pengaruh durasi penutupan pintu perlintasan dan waktu pelepasan. Oleh karena itu, nilai tundaan bergantung pada lamanya durasi penutupan dan waktu pelepasan. Semakin lama durasi penutupan dan/atau waktu pelepasan, maka semakin besar nilai rata-rata tundaannya.

Durasi penutupan terkecil terjadi pada periode penutupan 16:27:28 – 16:29:40 dan durasi penutupan terbesar terjadi pada periode penutupan 7:16:45 – 7:20:16, sedangkan nilai waktu pelepasan terkecil terjadi pada periode penutupan 7:16:45 – 7:20:16 dan nilai waktu pelepasan terbesar terjadi pada periode penutupan 16:05:30 – 16:08:23. Waktu pelepasan menggambarkan bahwa waktu yang dibutuhkan kendaraan mengantre pertama bergerak hingga kendaraan mengantre terakhir bergerak.

Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa nilai jumlah kendaraan mengantre dalam rentang 61,5 smp sampai 247 smp atau 20,5 smp/lajur sampai 82,3 smp/lajur, dan panjang antrean dalam rentang 258,7 meter sampai 1039,6 meter. Jumlah kendaraan mengantre paling sedikit dan panjang antrean terpendek terjadi pada periode penutupan 7:16:45 – 7:20:16, sedangkan jumlah kendaraan mengantre paling banyak dan panjang antrean terpanjang terjadi pada periode penutupan 16:06:30 – 16:08:23. Panjang antrean menunjukkan jarak dari kendaraan paling depan hingga kendaraan terakhir dalam antrean, sedangkan jumlah kendaraan dalam antrean dinyatakan dalam satuan smp.

Akan tetapi, nilai antrean yang dihasilkan pada analisis bukanlah antrean yang sebenarnya pada kondisi di lapangan. Hal tersebut terjadi karena sepeda motor diasumsikan

berperilaku sama seperti mobil setelah dikonversikan menjadi satuan smp pada penelitian ini. Dengan demikian, panjang antrean yang sebenarnya lebih pendek dibandingkan hasil analisis karena perilaku pesepeda motor di Indonesia yang cenderung memanfaatkan celah di antara kendaraan lain daripada mengantre secara berurutan di belakang mobil.

Selain itu, diperoleh hasil jarak (*distance headway*) antara kendaraan sebesar 8,3 meter, sedangkan nilai jarak antara kendaraan pada umumnya antara 5,5 – 6 meter. Dengan demikian, terdapat perbedaan jarak sebesar 2 meter. Setelah dianalisis, hal tersebut terjadi karena nilai kepadatan macet yang cukup kecil. Kepadatan macet yang bernilai kecil bisa disebabkan oleh data yang diperoleh tidak menggambarkan kondisi macet dan terdapat keterbatasan manusia dalam mengamati waktu tempuh kendaraan yang menyebabkan bias dalam menentukan kecepatan kendaraan. Nilai antrean dan tundaan juga dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang masuk serta durasi penutupan perlintasan. Akan tetapi, faktor terpenting adalah jumlah kendaraan yang masuk karena pada Jalan Sunda ini nilai tundaan dan antrean terbesar terjadi pada kondisi jumlah kendaraan terbanyak meskipun durasi penutupan bukanlah yang terlama. Antrean dan tundaan yang terjadi pada saat pintu terbuka dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Analisis Antrean dan Tundaan Kondisi Pintu Terbuka

Interval Waktu			U_A	U_B	V_A	V_B	a	Panjang Perlintasan	T_{L2}	T_{L1}	Tundaan Total	Tundaan Rata-rata
			(km/jam/lajur)	(km/jam/lajur)	(smp/jam/lajur)	(smp/jam/lajur)	(km/jam/detik)	(m)	(detik)	(detik)	(detik)	(detik)
7:08:26	-	7:10:42	30,5	25,6	530,4	1012,4	5,3	11,5	0,9	1,4	2,3	2,391309
7:16:45	-	7:20:16	31,6	25,6	266,4	1012,4	5,3	11,5	1,1	1,3	2,4	
7:32:33	-	7:35:05	30,6	25,6	543,2	1012,4	5,3	11,5	0,9	1,4	2,3	
7:40:25	-	7:43:52	30,7	25,6	536	1012,4	5,3	11,5	1,0	1,3	2,3	
7:57:26	-	7:59:55	31,6	25,6	449,6	1012,4	5,3	11,5	1,1	1,3	2,5	
16:05:30	-	16:08:23	32,3	25,6	681,2	1012,4	5,3	11,5	1,3	1,3	2,6	
16:27:28	-	16:29:40	31,8	25,6	497,2	1012,4	5,3	11,5	1,2	1,3	2,5	
16:50:01	-	16:53:01	30,6	25,6	614,8	1012,4	5,3	11,5	0,9	1,4	2,3	

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai tundaan lalu lintas (T_{L1}) dalam rentang 1,3 sampai 1,4 detik dan nilai tundaan geometri (T_{L2}) dalam rentang 0,9 sampai 1,3 detik. Pada penelitian ini terjadi beberapa periode penutupan yang menghasilkan tundaan geometri sangat kecil, yaitu bernilai di bawah 1. Hal tersebut terjadi karena kendaraan cenderung telah memperlambat kecepatannya sebelum melewati rel dan cenderung tidak ada perubahan kecepatan. Nilai tundaan rata-rata menggambarkan kendaraan setiap lajur mengalami tundaan sebesar 2,4 detik karena pengaruh tundaan lalu lintas dan geometri.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan di perlintasan Jalan Sunda serta hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hubungan antara arus, kecepatan, dan kepadatan didekati dengan model terpilih Greenshields karena memberikan kesesuaian dan hasil terbaik dibandingkan dengan model yang lainnya, yaitu $F_{hitung} > F_{tabel}$, memiliki nilai F_{hitung} terbesar, dan memiliki nilai R^2 terbesar. Model Greenshields menghasilkan nilai kecepatan arus bebas sebesar 51,1 km/jam/lajur, nilai kepadatan macet sebesar 79,2 smp/km/lajur, nilai arus

- maksimum sebesar 1012,4 smp/jam/lajur, nilai kecepatan ketika arus maksimum sebesar 25,6 km/jam/lajur, serta nilai kerapatan ketika arus maksimum sebesar 39,6 km/jam/lajur.
2. Analisis antrean gelombang kejut untuk kondisi pintu tertutup menunjukkan nilai rata-rata tundaan dalam rentang 95,1 detik sampai 159,7 detik, jumlah kendaraan mengantre dalam rentang 61,5 smp sampai 247 smp, panjang antrean dalam rentang 258,7 meter sampai 1039,6 meter, dan waktu pelepasan dalam rentang 36,4 detik sampai 146,4 detik. Nilai tundaan dan antrean tergantung pada jumlah kendaraan yang masuk serta durasi penutupan, tetapi pada jalan ini faktor terpenting adalah jumlah kendaraan yang masuk. Periode penutupan yang memiliki nilai panjang antrean, jumlah kendaraan mengantre, dan rata-rata tundaan terbesar adalah periode penutupan 16:05:30 – 16:08:23. Nilai panjang antrean dan tundaan tidak sebesar kenyataannya karena pada penelitian ini sepeda motor yang telah dikonversikan ke dalam satuan smp memiliki perilaku yang sama seperti mobil ketika mengantre. Selain itu, analisis antrean gelombang kejut untuk kondisi pintu terbuka memberikan nilai tundaan total berkisar dalam rentang 2,2 – 2,5 detik. Nilai tundaan rata-rata untuk seluruh periode penutupan ialah sebesar 2,4 detik/lajur. Nilai tundaan rata-rata menggambarkan kendaraan setiap lajur mengalami tundaan sebesar 2,4 detik karena pengaruh tundaan lalu lintas dan geometri.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Muharam, F.R. 2023. *Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Ruas Jalan Nasional Terhadap Pengaruh Perlindungan Sebidang Kereta Api Pada Jam Sibuk (Studi Kasus : Perlindungan Sebidang Jl.Abdul Rahman Saleh – Jl.Nurtanio)*. Tugas Akhir. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setiyaningsih, I. 2012. *Karakteristik Lalu Lintas pada Persilangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Soedirdjo, T. L. 2002. *Rekayasa Lalu Lintas*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wohl, M. dan Martin, B. V. 1967. *Traffic System Analysis For Engineers and Planners*. USA: McGraw-Hill.