

PENGARUH PERLINTASAN SEBIDANG KERETA API TERHADAP KARAKTERISTIK LALU LINTAS

Studi Kasus: Jl. Kebon Pedes Kota Bogor

(*THE EFFECT OF RAILWAY LEVEL CROSSINGS ON TRAFFIC CHARACTERISTICS*
Case Study: Kebon Pedes St., Bogor City)

Rahmad Jayanggi¹, A. R. Indra Tjahjani¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

E-mail: 4218215024@univpancasila.ac.id

Diterima 3 April 2023, Disetujui 12 Mei 2023

ABSTRAK

Satu dari sekian banyak permasalahan transportasi, yaitu antrean panjang di sekitar pintu perlintasan kereta api. Keadaan pun pun dialami pula oleh Perlintasan Kereta Api di Jalan Kebon Pedes, Kota Bogor. Kapasitas kendaraan yang melintas mendekati perlintasan antara sebidang jalan raya dan rel kereta api cukup besar sehingga memunculkan penundaan maupun antrean kendaraan yang sangat besar pada saat jam puncak di pagi maupun sore hari. Selain itu resiko kemungkinan kecelakaan cukup besar. Dari hasil analisis wilayah pengamatan awal yakni ruas yang tidak terpengaruh hambatan rumble strips nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 28,238 km per jam, nilai kerapatan macet D_j 32,720 smp per km dan volume maksimalnya 230,987 smp per jam dan pada wilayah pengamatan akhir yakni ruas yang terpengaruh hambatan rumble strips nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 20,037 km per jam, nilai kerapatan macet D_j 39,134 smp per km dan volume maksimalnya 196,032 smp per jam. Terjadinya keadaan antrean dan tundaan maksimal selama rentang waktu 08:09:07 – 08:13:24 : menciptakan waktu untuk melepaskan $t_a = 1217$ detik, waktu dalam memulihkan $t_b = 2692$ detik, panjang antrean maksimal = 2924 meter, jumlah kendaraan antre $N = 68$ smp, dan rerata tundaan selama 162 detik.

Kata Kunci: Perlintasan Sebidang Kereta Api, Volume Lalu Lintas, Tundaan, Antrian

ABSTRACT

One of the many transportation problems is the long queues around the railroad crossings. The situation was also experienced by the Railway Crossings on Jalan Kebon Pedes, Bogor City. Capacity Vehicles approaching the crossing between a highway and a railroad large enough to cause delays or very large queues of vehicles during peak hours in the morning and evening. In addition, the risk of possible accidents is quite large. From the results of the analysis of the initial observation area, namely the segment that unaffected by obstacles rumble strips rated free flow speed \bar{U}_f 28,238 km per hour, the value of the D_j jammed density is 32,720 pcu per km and the maximum volume is 230,987 pcu per hour and in the final observation area, namely sections affected by obstacle rumble strips value of free flow speed \bar{U}_f 20,037 km per hour, traffic jam density value D_j 39,134 pcu per km and a maximum volume of 196,032 pcu per hour. The occurrence of queue conditions and maximum delays during the time range 08:09:07 – 08:13:24: creates time to release $t_a = 1217$ seconds, time to recover $t_b = 2692$ seconds, maximum queue length = 2924 meters, number of vehicles queued $N = 68$ pcu, and an average delay of 162 seconds.

Keywords: Railway Level Crossings, Traffic Volume, Delays, Queues

PENDAHULUAN

Kota Bogor tergolong sebagai satu dari beberapa kota penyangga ibukota negara, mengingat Bogor dengan DKI Jakarta hanya berjarak 60 km. kota Bogor sendiri berada di antara 106°48' BT dan 6°26' LS. Kemudian, secara geografis Kota Bogor ada di tengah wilayah Kab. Bogor.

Seiring pertumbuhan jumlah penduduk, makin meningkatnya aktivitas manusia dan pergerakan, yang tentunya memerlukan sarana transportasi darat yang kian meningkat[1]. Selain itu resiko kemungkinan kecelakaan cukup besar di perlintasan sebidang jalan raya maupun rel kereta api, keselamatan dan kenyamanan harus diprioritaskan bagi pengguna sarana transportasi[2]. Kecelakaan di perlintasan sebidang kereta api bukan sekadar memicu kerugian bagi pengguna jalan, tetapi memicu kerugian pula bagi KAI dan juga pengguna kereta api JABODETABEK bisa terhambat perjalanannya dan berhentinya aktivitas transportasi kereta api[3].

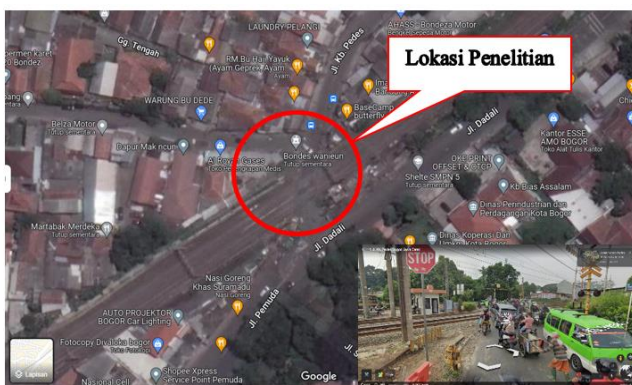
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kinerja lalu lintas yang terjadi pada perlintasan sebidang antara jalan raya dan jalan rel. sehingga dapat diketahui nilai tundaan dan antrian dengan menggunakan metode gelombang kejut (*shock wave*).

Kereta api memperoleh prioritas pada perlintasan dan pengendara yang melewati perlintasan sebidang kereta api perlu memprioritaskan kereta api sebab berdasar Pasal 91 Ayat 1 UU No. 23 Tahun 2007 mengenai Perkeretaapian, perpotongan jalur kereta api dengan jalan raya paling tidak dirancang sesuai prinsip tidak sebidang atau mempergunakan *fly over* atau *underpass*, maka tanpa mengalami persimpangan sebidang atau bisa meminimalkan potensi kecelakaan lalu-lintas[4].

METODE

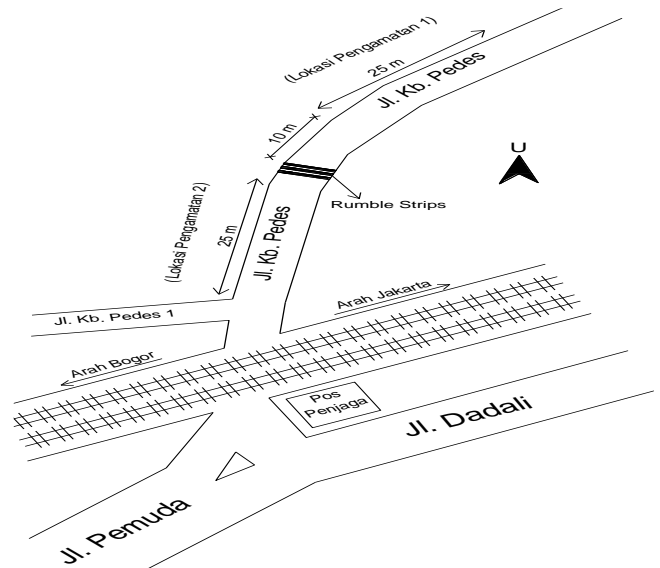
Lokasi

Penelitian ini dilakukan di perlintasan sebidang kereta api antara Jl. Kebon Pedes menuju Jalan Pemuda – Jalan Dadali Kota Bogor, sebagaimana terlihat pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Adapun sketsa yang dari lokasi penelitian disajikan sebagaimana tersaji pada gambar 2 berikut ini.

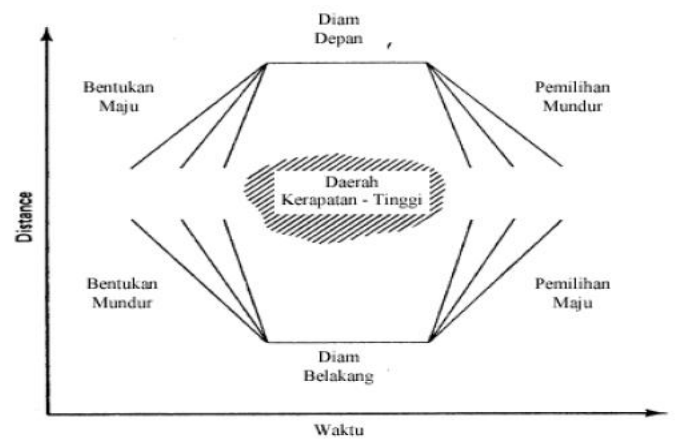


Gambar 2. Peta situasi wilayah studi.

Gelombang kejut

Gelombang kejut bisa terbagi atas enam kelas seperti: [5]

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*).
2. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*)
3. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*)
4. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*)
5. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*)
6. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*).

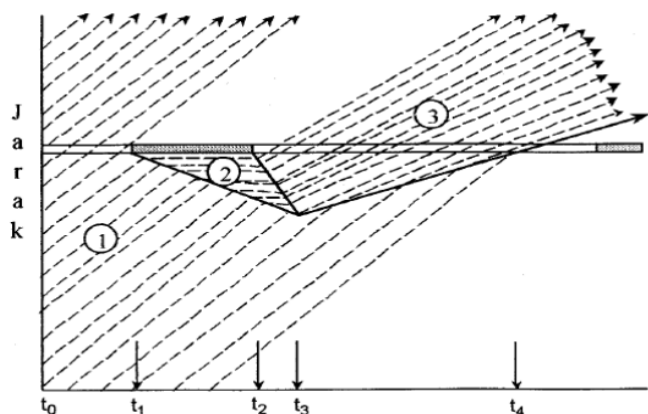


Gambar 3. Klasifikasi gelombang kejut. [5]

Keadaan ketika penutupan pintu perlintasan bisa diperjelas seperti Gambar 4:

- Jalan tertutup total. Terjadinya keadaan ini ketika kereta melintas, serta terjadi penutupan pintu perlintasan. Hal itu berakibat bahwa nilai kerapatan dalam keadaan arus masuk (volume kebutuhan = demand) secara perlahan mengalami perubahan ke kerapatan macet. Kendaraan di depan kelompok mengurangi kecepatan ketika mendekati ke perlintasan, serta menghentikan lajunya sehingga membentuk antrean di belakangnya.

- Membuka pintu perlintasan, kerapatan dalam keadaan macet berangsurangsur pulih hingga kondisi ketika kerapatan maksimal.
- Kecepatan gelombang kejut 2 (usw2) menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (usw1): kerapatan dalam keadaan macet secara perlahan akan menghilang dan kembali dalam keadaan normal sebelum menutup.



Gambar 4. Gelombang kejut dalam keadaan penutupan pintu perlintasan[6]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas waktu tempuh kendaraan didapat selama survei. Data konversikan ke satuan mobil penumpang berdasar faktor konversi untuk setiap jenis kendaraan. Contoh pukul 16.00 hingga 16.15 WIB pada lokasi pengamatan 1 ditampilkan pada tabel 1 dan tabel 2 di bawah ini.

$$Q = (MC \times emp\ MC) + (LV \times emp\ LV) + (HV \times emp\ HV)$$

$$= (330 \times 0.4) + (54 \times 1) + (2 \times 1.3)$$

$$= 188,6\ smp/15\ menit$$

Tabel 1. Volume maksimum per 15 menit pada lokasi pengamatan 1

Waktu	Kend. Berat (HV)		Kend Ringan (LV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1,3	emp = 1,0	emp = 0,4	emp = 0,4	emp = 0,4	emp = 0,4	kend	smp
7.00 - 7.15	0	0	42	42	250	100	292	142
7.15 - 7.30	0	0	45	45	283	113,2	328	158,2
7.30 - 7.45	0	0	64	64	361	144,4	425	208,4
7.45 - 8.00	6	7,8	43	43	256	102,4	305	153,2
8.00 - 8.15	3	3,9	44	44	299	119,6	346	167,5
8.15 - 8.30	1	1,3	56	56	263	105,2	320	162,5
8.30 - 8.45	5	6,5	47	47	276	110,4	328	163,9
8.45 - 9.00	1	1,3	58	58	262	104,8	321	164,1
16.00 - 16.15	2	2,6	54	54	330	132	386	188,6
16.15 - 16.30	0	0	44	44	251	100,4	295	144,4
16.30 - 16.45	4	5,2	37	37	267	106,8	308	149
17.00 - 17.15	2	2,6	45	45	235	94	282	141,6
17.15 - 17.30	5	6,5	37	37	234	93,6	276	137,1
17.30 - 17.45	2	2,6	38	38	243	97,2	283	137,8
17.45 - 18.00	0	0	28	28	265	106	293	134

Tabel 2. Volume maksimum per 15 menit pada lokasi pengamatan 2

Waktu	Kend. Berat (HV)		Kend Ringan (LV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1,3	emp = 1,0	emp = 0,4	emp = 0,4	emp = 0,4	emp = 0,4	kend	smp
7.00 - 7.15	0	0	41	41	246	98,4	287	139,4
7.15 - 7.30	0	0	44	44	279	111,6	323	155,6
7.30 - 7.45	0	0	60	60	353	141,2	413	201,2
7.45 - 8.00	6	7,8	40	40	253	101,2	299	149
8.00 - 8.15	3	3,9	45	45	295	118	343	166,9
8.15 - 8.30	1	1,3	56	56	258	103,2	315	160,5
8.30 - 8.45	5	6,5	43	43	275	110	323	159,5
8.45 - 9.00	1	1,3	55	55	261	104,4	317	160,7
16.00 - 16.15	2	2,6	53	53	321	128,4	376	184
16.15 - 16.30	0	0	45	45	247	98,8	292	143,8
16.30 - 16.45	4	5,2	37	37	259	103,6	300	145,8
16.45 - 17.00	1	1,3	51	51	236	94,4	288	146,7
17.00 - 17.15	2	2,6	43	43	234	93,6	279	139,2
17.15 - 17.30	5	6,5	35	35	229	91,6	269	133,1
17.30 - 17.45	2	2,6	36	36	241	96,4	279	135
17.45 - 18.00	0	0	28	28	263	105,2	291	133,2

Kecepatan Ruang Rata-rata Kendaraan

Diambil dari data hasil survei waktu tempuh kendaraan interval 15 menit periode waktu 16.00-16.15 WIB dengan jarak pengamatan sebesar 25 meter. Data waktu tempuh (5.99 detik) diubah menjadi kecepatan setempat sehingga diperoleh $\bar{U}_t = (25 \times 10^{-3}) / (5.99 \times 3.6 \times 10^{-3})$ km/jam = 15,03 km per jam. Dengan standar deviasi sebesar 1,40 km per jam, diperoleh $\bar{U}_{sr} = 15,03 - (1,40^2 / 15,03) = 14,89$ km per jam. Hasil perhitungan kecepatan ruang rata-rata ditampilkan pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 1

No	Waktu	Jarak (m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1)²	S	S²	Kecepatan Rata-rata Ruang	
											1
2	7.15	7.30	25	3,73	24,13	22,29	1,84	3,38	2,01	4,04	23,96
3	7.30	7.45	25	3,87	23,26	22,29	0,97	0,93	2,01	4,04	23,08
4	7.45	8.00	25	4,12	21,84	22,29	-0,45	0,20	2,01	4,04	21,66
5	8.00	8.15	25	3,55	25,35	22,29	3,06	9,38	2,01	4,04	25,19
6	8.15	8.30	25	4,23	21,28	22,29	-1,01	1,03	2,01	4,04	21,09
7	8.30	8.45	25	4,19	21,48	22,29	-0,81	0,66	2,01	4,04	21,29
8	8.45	9.00	25	3,64	24,73	22,29	2,44	5,93	2,01	4,04	24,56
9	16.00	16.15	25	4,03	22,33	22,29	0,04	0,00	2,01	4,04	22,15
10	16.15	16.30	25	3,53	25,50	22,29	3,21	10,28	2,01	4,04	25,34
11	16.30	16.45	25	3,84	23,44	22,29	1,15	1,32	2,01	4,04	23,27
12	16.45	17.00	25	4,73	19,03	22,29	-3,26	10,64	2,01	4,04	18,82
13	17.00	17.15	25	4,54	19,82	22,29	-2,47	6,08	2,01	4,04	19,62
14	17.15	17.30	25	3,96	22,73	22,29	0,44	0,19	2,01	4,04	22,55
15	17.30	17.45	25	4,21	21,38	22,29	-0,91	0,83	2,01	4,04	21,19
16	17.45	18.00	25	4,32	20,83	22,29	-1,46	2,12	2,01	4,04	20,64
						22,29		60,63			

Tabel 4. Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 2

No	Waktu	Jarak (m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1)²	S	S²	Kecepatan Rata-rata Ruang	
											1
2	7.15	7.30	25	5,91	15,23	14,74	0,49	0,24	1,40	1,96	15,10
3	7.30	7.45	25	7,01	12,84	14,74	-1,90	3,61	1,40	1,96	12,69
4	7.45	8.00	25	6,43	14,00	14,74	-0,74	0,55	1,40	1,96	13,86
5	8.00	8.15	25	5,67	15,87	14,74	1,13	1,29	1,40	1,96	15,75
6	8.15	8.30	25	5,45	16,51	14,74	1,78	3,15	1,40	1,96	16,40
7	8.30	8.45	25	5,97	15,08	14,74	0,34	0,11	1,40	1,96	14,95
8	8.45	9.00	25	6,12	14,71	14,74	-0,03	0,00	1,40	1,96	14,57
9	16.00	16.15	25	5,99	15,03	14,74	0,29	0,08	1,40	1,96	14,89
10	16.15	16.30	25	5,30	16,98	14,74	2,24	5,03	1,40	1,96	16,87
11	16.30	16.45	25	7,26	12,40	14,74	-2,34	5,48	1,40	1,96	12,24
12	16.45	17.00	25	6,28	14,33	14,74	-0,41	0,17	1,40	1,96	14,19
13	17.00	17.15	25	6,33	14,22	14,74	-0,52	0,27	1,40	1,96	14,08
14	17.15	17.30	25	5,89	15,28	14,74	0,54	0,29	1,40	1,96	15,15
15	17.30	17.45	25	7,12	12,64	14,74	-2,10	4,40	1,40	1,96	12,49
16	17.45	18.00	25	5,37	16,76	14,74	2,02	4,09	1,40	1,96	16,64
						14,74		29,38			

Kerapatan

Tabel 5 dan tabel 6 merupakan hasil perhitungan volume kecepatan dan kerapatan pada pengamatan 1 dan pengamatan 2. Diambil dari data lokasi pengamatan 1 interval 15 menit periode waktu 16.00 - 16.15 WIB dengan volume lalulintas (V) = 188,6 smp/15 menit dan kecepatan rerata ruang (Ūsr) = 22,15 km, sehingga diperoleh kerapatan (D) = (188,6/22,15) smp = 8,51 smp/15 menit.

Tabel 5. Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu	V (smp/15 menit)	Ūsr (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D ²
1	7.00 - 7.15	142,00	19,32	7,35	54,04
2	7.15 - 7.30	158,20	23,96	6,60	43,59
3	7.30 - 7.45	208,40	23,08	9,03	81,52
4	7.45 - 8.00	153,20	21,66	7,07	50,03
5	8.00 - 8.15	167,50	25,19	6,65	44,21
6	8.15 - 8.30	162,50	21,09	7,71	59,39
7	8.30 - 8.45	163,90	21,29	7,70	59,26
8	8.45 - 9.00	164,10	24,56	6,68	44,64
9	16.00 - 16.15	188,60	22,15	8,51	72,49
10	16.15 - 16.30	144,40	25,34	5,70	32,48
11	16.30 - 16.45	149,00	23,27	6,40	41,02
12	16.45 - 17.00	148,50	18,82	7,89	62,29
13	17.00 - 17.15	141,60	19,62	7,22	52,09
14	17.15 - 17.30	137,10	22,55	6,08	36,97
15	17.30 - 17.45	137,80	21,19	6,50	42,30
16	17.45 - 18.00	134,00	20,64	6,49	42,15
Total		2500,80	353,72	113,59	818,45

Tabel 6. Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu	V (smp/15 menit)	Ūsr (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D ²
1	7.00 - 7.15	139,40	13,81	10,09	101,85
2	7.15 - 7.30	155,60	15,10	10,30	106,19
3	7.30 - 7.45	201,20	12,69	15,86	251,53
4	7.45 - 8.00	149,00	13,86	10,75	115,62
5	8.00 - 8.15	166,90	15,75	10,60	112,30
6	8.15 - 8.30	160,50	16,40	9,79	95,83
7	8.30 - 8.45	159,50	14,95	10,67	113,89
8	8.45 - 9.00	160,70	14,57	11,03	121,61
9	16.00 - 16.15	184,00	14,89	12,35	152,61
10	16.15 - 16.30	143,80	16,87	8,53	72,70
11	16.30 - 16.45	145,80	12,24	11,91	141,92
12	16.45 - 17.00	146,70	14,19	10,33	106,81
13	17.00 - 17.15	139,20	14,08	9,89	97,74
14	17.15 - 17.30	133,10	15,15	8,78	77,16
15	17.30 - 17.45	135,00	12,49	10,81	116,91
16	17.45 - 18.00	133,20	16,64	8,00	64,05
Total		2453,60	233,67	169,71	1848,72

Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan

Perhitungan penutupan pintu dimulai saat pintu berada pada posisi 45° dari arah vertikal sampai pintu terbuka 45° dari arah horizontal. Tabel 7 adalah lama waktu penutupan pintu perlintasan.

Tabel 7. waktu dan lama penutupan pintu perlintasan hasil survei

No.	Waktu		Lama Penutupan (Detik)
	Awal	Akhir	
1	07:02:07	07:03:25	78
2	07:05:05	07:06:17	72
3	07:07:06	07:08:15	69
4	07:09:01	07:10:53	112
5	07:12:25	07:13:33	68
6	07:13:52	07:15:10	78
7	07:17:26	07:19:41	135
8	07:21:33	07:22:51	78
9	07:23:58	07:25:05	67
10	07:27:21	07:28:32	71
11	07:30:11	07:31:20	69
12	07:32:36	07:34:25	109
13	07:37:43	07:39:17	94
14	07:47:39	07:48:41	62
15	07:48:53	07:49:55	62
16	07:53:35	07:55:10	95
17	07:59:11	08:00:14	63
18	08:03:16	08:05:29	133
19	08:09:07	08:13:24	257
20	08:15:39	08:17:40	121
21	08:23:05	08:25:07	122
22	08:29:16	08:30:29	73
23	08:36:52	08:38:40	108
24	08:41:59	08:43:02	63
25	08:45:30	08:46:43	73
26	08:48:50	08:50:06	76
27	08:52:17	08:53:25	68
28	08:56:12	08:57:27	75

No.	Waktu		Lama Penutupan (Detik)
	Awal	Akhir	
1	16:02:46	16:06:00	194
2	16:07:27	16:08:33	66
3	16:13:13	16:14:17	64
4	16:16:44	16:17:48	64
5	16:20:56	16:23:16	140
6	16:36:18	16:37:23	65
7	16:37:33	16:38:43	70
8	16:43:44	16:44:43	59
9	16:47:13	16:48:17	64
10	16:55:17	16:57:10	113
11	16:58:30	16:59:57	87
12	17:07:50	17:08:48	58
13	17:14:11	17:15:10	59
14	17:16:54	17:17:53	59
15	17:21:43	17:22:41	58
16	17:24:04	17:25:07	63
17	17:30:35	17:31:44	69
18	17:33:17	17:34:17	60
19	17:39:08	17:40:46	98
20	17:41:29	17:42:16	47
21	17:43:27	17:44:31	64
22	17:51:36	17:53:35	119
23	17:55:25	17:57:26	121
24	17:58:34	17:59:58	84

Hubungan antara Volume Lalu Lintas, Kecepatan maupun Kerapatan

Dengan menggunakan rumus regresi linear maka perhitungan antara Ūsr dengan D dengan prosedur greenshield. Mendekati persamaan dari prosedur berbentuk persamaan linear, sesuai hubungan agar memperoleh nilai y, x, a dan b. Sehingga diperoleh:

Model	y	x	a	b
Greenshield	\bar{U}_{sr}	D	\bar{U}_f	$-\bar{U}_f/D_j$

Kecepatan berhubungan dengan kerapatan

Greenshield[7] $\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - (\bar{U}_f/D_j)D$

Diperoleh melalui data observasi :

- $\Sigma D = 113,59$
- $\Sigma V = 2500,80$
- $\Sigma \bar{U}_{sr} = 353,72$
- $\Sigma D^2 = 818,45$
- $n = 16$

Mencari nilai a

$$a = \frac{\Sigma D^2 \cdot \Sigma \bar{U}_{sr} - \Sigma D \cdot \Sigma \bar{U}_{sr}}{n \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{818,45 \cdot 353,72 - 113,59 \cdot 2500,80}{16 \cdot 818,45 - 113,59^2} = 28,238$$

Mencari nilai b

$$b = \frac{n \Sigma D \bar{U}_{sr} - \Sigma D \bar{U}_{sr}}{n \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{16 \cdot 2500,80 - 113,59 \cdot 353,72}{16 \cdot 818,45 - 113,59^2} = -0,863$$

Tabel 8 merupakan hasil pengolahan dari regresi linear yang memperjelas volume, kecepatan maupun kerapatan yang berhubungan.

Tabel 8. Hitungan regresi linear Greenshild

Lokasi Pengamatan	a	b
1	28,238	-0,863
2	20,037	-0,512

Tabel 9 merupakan persamaan hubungan Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D.

Tabel 9. Persamaan hubungan Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D

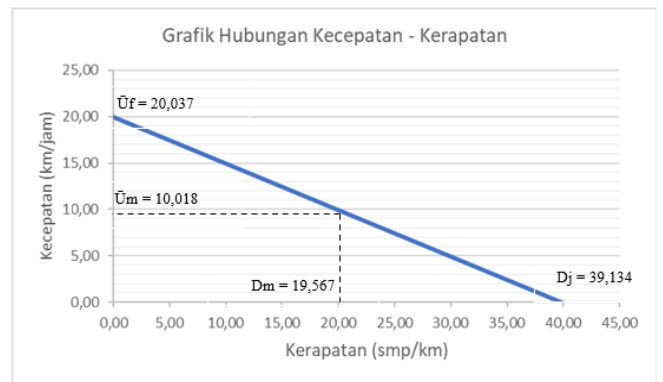
Model Hubungan	Lokasi Pengamatan	
	1	2
Kecepatan-Kerapatan	$\bar{U}_{sr} = 28,238 - 0,863 D$	$\bar{U}_{sr} = 20,037 - 0,512 D$
Volume-Kecepatan	$V = 32,720 \bar{U}_{sr} - 1,158 \bar{U}_{sr}^2$	$V = 39,134 \bar{U}_{sr} - 1,953 \bar{U}_{sr}^2$
Volume-kerapatan	$V = 42,718 - 1,778 D^2$	$V = 22,853 - 0,772 D^2$

Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan

Kecepatan dan kerapatan berhubungan terbalik, yang tampak bila kecepatan bakal mengalami penurunan bila terjadi penambahan kecepatan. Terjadinya kecepatan volume bebas (f) jika kerapatan sama seperti nol. Berbeda bila ketika kecepatan sama dengan nol, berarti muncul kerapatan macet (D_j /jam density) sebagaimana terlihat pada tabel 8. Uraian di bawah memperjelas kecepatan arus bebas dan kerapatan macet pada wilayah observasi.

Tabel 10. Kecepatan U_f dan D_j

Lokasi Pengamatan	\bar{U}_f	D_j
1	28,238	32,720
2	20,037	39,134



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan –Kerapatan

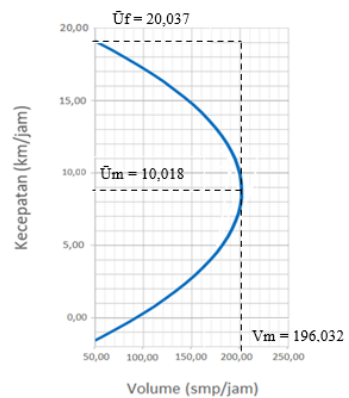
Hubungan Volume dan Kecepatan

Hubungan fundamental antara volume dengan kecepatan, sebagaimana terlihat pada tabel 11 yaitu penambahan volume lalu lintas, berarti kecepatan rerata ruang akan mengalami pengurangan hingga mencapai kerapatan kritis (volume maksimal).

Tabel 11. Nilai volume maksimum.

Persamaan Volume Maksimum	Lokasi Pengamatan	Vm
$V_m = (\bar{U}_f \cdot D_j)/4$	1	230,987
	2	196,032

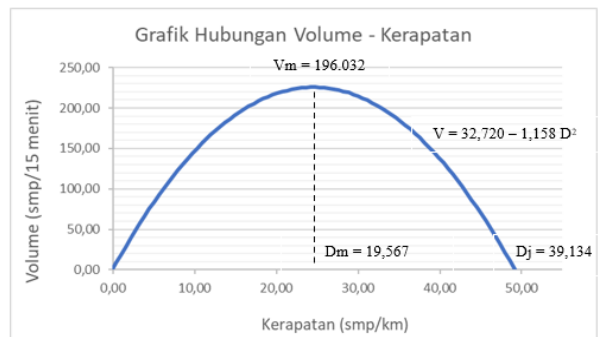
Grafik Hubungan Volume - Kecepatan



Gambar 6. Grafik Hubungan volume – Kecepatan

Hubungan Volume dan Kerapatan

Model greenshields acap merepresentasikan keadaan data sebenarnya. Kendati nilai volume maupun kerapatan maksimal maupun keadaan ketika macet mendekati ke keadaan sesungguhnya, sesuai uraian di bawah.



Gambar 7. Grafik Hubungan Volume - Kerapatan

Hitungan Antrean dan Tundaan

Dalam keadaan penutupan pintu perlintasan, memunculkan antrean akibat ada kendaraan yang tidak mendapat layanan atau tersimpan dalam rentang waktu tertentu, yakni penutupan pintu perlintasan. Tabel 12 menyajikan hitungan tundaan ketika tertutupnya pintu

menciptakan nilai tundaan karena volume terhalangi oleh pintu perlintasan yang tertutup. Pada analisis gelombang kejut, terjadinya tundaan rerata terpengaruh oleh estimasi waktu penutupan maupun waktu pelepasan antrean.

Tabel 12. Hitungan antrean maupun tundaan pada keadaan pintu perlintasan tertutup dengan analisis gelombang kejut (*shock wave*)

Interval Waktu	VA	VB	Vm	DA	DB	DC	Kecepatan Gelombang Kejut			r	ta	Xa	Xb	tb	N	Tundaan Rata-rata
	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	ωAB	ωBC	ωAC	(detik)	(detik)	(km)	(km)	(detik)	(smp)	(detik)
	a	b	c	d	e	f	$g = (a-b)/(d-e)$	$h = (b-c)/(e-f)$	$i = (a-c)/(d-f)$	j	$k=jg/(h-g)$	$l=ja/(e-d)$	$m=j/3600 * (hg/h-g)$	$n=jg/(h-g)(h/g+1)$	$o=(j+k)a/3600$	$p=(j+o)/2$
07:09:01 07:10:53	139,40	0	169,124	13,813	39,134	19,567	5,505	8,643	5,166	112	196,494	616,598	0,472	504,989	11,946	61,973
07:17:26 07:19:41	155,60	0	169,124	15,100	39,134	19,567	6,474	8,643	3,027	135	402,912	874,005	0,967	940,824	23,250	79,125
07:32:36 07:34:25	201,20	0	169,124	12,686	39,134	19,567	7,607	8,643	4,662	109	800,491	829,212	1,922	1709,981	50,830	79,915
07:53:35 07:55:10	149,00	0	169,124	13,857	39,134	19,567	5,895	8,643	3,524	95	203,734	559,994	0,489	502,468	12,364	53,682
08:09:07 08:13:24	166,90	0	169,124	15,750	39,134	19,567	7,137	8,643	0,583	257	1217,905	1834,271	2,924	2692,810	68,378	162,689
08:23:05 08:25:07	160,50	0	169,124	16,395	39,134	19,567	7,058	8,643	2,719	122	543,323	861,125	1,304	1208,645	29,662	75,831
08:36:52 08:38:40	159,50	0	169,124	14,945	39,134	19,567	6,594	8,643	2,082	108	347,511	712,155	0,834	803,023	20,182	64,091
08:48:50 08:50:06	160,70	0	169,124	14,573	39,134	19,567	6,543	8,643	1,687	76	236,729	497,254	0,568	549,458	13,960	44,980
16:02:46 16:06:00	184,00	0	169,124	14,895	39,134	19,567	7,591	8,643	3,184	194	1399,380	1472,648	3,360	2992,760	81,439	137,720
16:20:56 16:23:16	143,80	0	169,124	16,866	39,134	19,567	6,458	8,643	9,375	140	413,630	904,069	0,993	967,260	22,114	81,057
16:37:33 16:38:43	145,80	0	169,124	12,239	39,134	19,567	5,421	8,643	3,183	70	117,764	379,471	0,283	305,528	7,604	38,802
16:55:17 16:57:10	146,70	0	169,124	14,195	39,134	19,567	5,882	8,643	4,174	113	240,736	664,693	0,578	594,473	14,415	63,707
17:14:11 17:15:10	139,20	0	169,124	14,080	39,134	19,567	5,556	8,643	5,454	59	106,180	327,807	0,255	271,360	6,387	32,693
17:24:04 17:25:07	133,10	0	169,124	15,152	39,134	19,567	5,550	8,643	8,159	63	113,033	349,649	0,271	289,065	6,508	34,754
17:39:08 17:40:46	135,00	0	169,124	12,485	39,134	19,567	5,066	8,643	4,819	98	138,778	496,463	0,333	375,557	8,879	53,440
17:51:36 17:53:35	133,20	0	169,124	16,643	39,134	19,567	5,922	8,643	12,286	119	259,009	704,759	0,622	637,018	13,986	66,493

KESIMPULAN

Berdasarkan hitungan mengenai kecepatan, volume, dan kerapatan disertai dengan perhitungan tundaan dan antrean dapat dipahami bila pada wilayah pengamatan 1, pengemudi menentukan kecepatan mereka berdasarkan yang dihendakinya. Tetapi saat masuk ke wilayah pengamatan akhir, kecepatan pengemudi cenderung mengalami penurunan akibat ada hambatan lalu lintas yaitu *rumble strips*, serta himbauan dari rambu-rambu yang memperjelas jika pengemudi akan masuk ke perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api. Sesuai wilayah observasi:

Pada wilayah pengamatan awal (ruas yang tidak terpengaruh hambatan *rumble strips*) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 28,238 km per jam, nilai kerapatan macet D_j 32,720 smp per km dan volume maksimalnya (v_m) 230,987 smp per jam. Pada wilayah pengamatan akhir (ruas yang terpengaruh hambatan *rumble strips*) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 20,037 km per jam, nilai kerapatan macet D_j 39,134 smp per km dan volume maksimalnya (v_m) 196,032 smp per jam.

Sesuai analisis tundaan maupun antrean yang dilakukan menggunakan prosedur gelombang kejut, didapat hasil bila selama kurun waktu penutupan pada pukul 08:09:07 - 08:13:24 sebagai keadaan maksimal: menciptakan panjang antrean maksimal = 2924 meter, jumlah kendaraan antre $N = 68$ smp, dan rerata penundaan selama 162 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Purnomo, "Simulasi Kereta Rel Listrik Dengan Kendali Kecepatan Sistem Pwm Dan Palang Pintu Perlintasan Otomatis Berbasis Mikrokontroler," 2012.
- [2] Soedirdjoe, *Rekayasa Lalu Lintas*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2002.
- [3] *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga, 1997.
- [4] F. Hobbs, *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*, Gajahmada University press, 1995.
- [5] A. A. Alamsayah, *Rekayasa Lalu Lintas*, Malang: UMM Press, 2008.
- [6] S. Sukirman, *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya*, Bandung: Nova, 1994.
- [7] Setiyaningsih, *Karakteristik Lalu lintas Pada Persilangan sebidang jalan*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2007.