

**ANALISIS PENGARUH JALAN SEBIDANG DAN KERETA API TERHADAP
KARAKTERISTIK LALU LINTAS
(JL RAYA BOJONG GEDE KABUPATEN BOGOR)**

Doni Haidar Nur ⁽¹⁾, Heru Parbowo ⁽²⁾

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Jayabaya
Email : Heruhercules65@gmail.com

Abstrak

Perlintasan Kereta Api di Jalan Raya Bojong Gede Jumlah kendaraan yang melintas mendekati perlintasan antara sebidang jalan raya dan rel kereta api cukup besar sehingga menyebabkan penundaan maupun antrean kendaraan yang sangat besar pada saat jam puncak di pagi maupun sore hari ketika aktivitas berangkat atau pulang kerja/sekolah. Selain itu, resiko kemungkinan kecelakaan cukup besar yang ada di perlintasan sebidang jalan raya dan rel kereta api, keselamatan dan kenyamanan harus diutamakan bagi pengguna sarana transportasi. Dari hasil analisis wilayah pengamatam awal yakni ruas yang tidak terpengaruh hambatan rumble strips nilai kecepatan arus bebas 25,277 km /jam, nilai kerapatan macet 32,720 (satuan mobil penumpang) smp per km dan volume maksimalnya 230,987 (satuan mobil penumpang) smp per km dan pada wilayah pengamatam akhir yakni ruas yang terpengaruh hambatan rumble strips nilai kecepatan arus bebas 19,450 (satuan mobil penumpang) smp/ km, nilai kerapatan macet 39, (satuan mobil penumpang) smp per km dan volume maksimalnya 196,032 (satuan mobil penumpang) smp /jam. Terjadinya keadaan antrean dan tundaan maksimal selama rentang waktu 08:09:07 – 08:13:24 : menciptakan waktu untuk melepaskan ta = 2924 detik, waktu dalam memulihkan tb = 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, penundaan, Antria

Pendahuluan

Transportasi merupakan sarana perpindahan fisik orang atau barang dari suatu tempat ke tempat lain pada waktu tertentu dengan menggunakan orang, mesin, ataupun hewan. Secara umum perkembangan transportasi berkaitan dengan perkembangan manusia, ekonomi, budaya, dan sosial di suatu wilayah. Serta kebutuhan akan transportasi bagi warga kabupaten Bogor dan sekitarnya. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah kemacetan lalu lintas akibat adanya perlintasan jalur kereta api di jalan raya Bojong Gede. Kapasitas kendaraan yang melintas di dekat jalan tol dan persimpangan kereta api sangat padat, sehingga mengakibatkan kemacetan kendaraan dan antrean panjang pada jam sibuk pagi dan sore hari untuk berangkat kerja serta sekolah. Kabupaten Bogor tergolong salah satu kabupaten yang dari beberapa penyangga ibu kota negara, mengingat Bogor dan DKI Jakarta hanya berjarak 40 km. Kabupaten Bogor sendiri berada di antara 106° BT dan 6°26 LS. Kemudian, secara geografis bojong gede Kab. Bogor dekat perbatasan dengan kota depok. Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya aktivitas serta mobilitas manusia, tentunya diperlukan peningkatan transportasi darat. Selain itu, risiko

kemungkinan terjadinya kecelakaan di perlintasan sebidang kereta api juga cukup besar sehingga menimbulkan kerugian tidak hanya bagi pengguna jalan raya, namun juga bagi KAI. Kebakaran KRL JABODETABEK juga dapat menghambat perjalanan dan menghentikan aktivitas angkutan kereta api. Kereta Api memperoleh prioritas pada perlintasan dan pengendara yang melewati perlintasan sebidang kereta api, perlu mengutamakan kereta api sebab berdasar Pasal 91 Ayat 1 UU No. 23 Tahun 2007 mengenai perkeretaapian, persimpangan jalur kereta api dan jalan raya tidak dirancang sesuai dengan ketentuan. Setidaknya prinsip tidak ada elevasi. *Flyover* dan *underpass* juga tidak digunakan. Dengan demikian, tidak akan terjadipersimpangan sebidang atau kecelakaan lalu lintas.

Rumusan Masalah

Berdasarkan perrmasalahan yang sudah peneliti jabarkan di atas, didapat rumusan seperti:

1. Bagaimana hubungan volume, kecepatan maupun kerapatan lalu-lintas yang ada di ruas jalan yang dipegaruhi hambatan akibat perlintasan kereta api mempergunakan pendekatan model linier *Greenshield* ?
2. Berapa nilai tundaan dan Panjang Aterian ketika pintu perlintasan tertutup oleh metode gelombang

kejut (*shock wave*) ?

Tujuan Penelitian

Kajian ini bermaksud guna menganalisis kinerja lalu lintas karena ada perlintasan sebidang kereta api. Jalan Raya Bojong Gede Kabupaten Bogor. Adapun kajian ini bertujuan :

1. Memperoleh hubungan volume, kecepatan ataupun kerapatan lalu lintas yang ada di ruas jalan.
2. Memperoleh nilai tundaan dan antrian ketika pintu perlintasan tertutup oleh metode gelombang kejut.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

(Sumber: *Google Maps, Google Earth*)

Pilot Survey

Kajian ini terlaksana di perlintasan sebidang Jalan raya Bojonggede Bogor. Sebelum mengambil data secara lengkap, peneliti perlu melaksanakan survei pendahuluan yang menjadi pertimbangan bersifat pencegahan dengan tahap seperti :

- Memprediksi atau mengukur kondisi kualitas data yang hendak peneliti ambil.
- Memprediksi kebutuhan terkait ukuran sampel yang hendak peneliti ambil.
- Penentuan periode observasi yang dirasa memiliki peranan vital.

Survei pendahuluan terlaksana guna mendukung tahap mengumpulkan data. Survei pendahuluan ialah survei dengan skala kecil dan memiliki peranan vital, terkhusus supaya survei bisa terlaksana seefisien maupun seefektif mungkin. Dalam tahapan ini, peneliti akan meninjau lapangan secara langsung untuk penyelidikan lokasi. Selanjutnya, sesudah seluruh tahap di atas sudah peneliti pertimbangkan, maka melaksanakan survei.

Variabel yang di Ukur

Dalam kajian ini, data yang dibutuhkan pada kondisi di lapangan ialah:

1. volume kendaraan (V) maupun waktu tempuh kendaraan selama melintasi penggal jalan tertentu. Data waktu

tempuh diperoleh besaran kecepatan rerata waktu maupun kecepatan rerata ruang. Kerapatan hendak terhitung sesuai data volume dan kecepatan kendaraaannya.

2. Besaran volume lalu lintas didapat melalui pencatatan jumlah kendaraan yang melintasi titik observasi di lokasi kajian sesuai jenis kendaraan, selanjutnya penelitian konversikan menjadi satuan mobil penumpang.
3. Mengukur kecepatan setempat kendaraan dengan pencatatan waktu tempuh guna melintasi jarak tertentu yang sudah direncanakan: Berikutnya, guna memperoleh variabel kerapatan, makabisa melaksanakan pembagian jumlah volume dengan kecepatan.

Pengumpulan Data

Alat Survey

Selama mengumpulkan data, maka memerlukan alat penunjang, meliputi:

1. *Stop watch* digital, sebagai pencatat waktu tempuh kendaraan yang melintasi penggal jalan maupun penghitung seberapa lama waktu pintu perlintasan tertutup.
2. Meteran, sebagai pengukur penggal jalan dan geometrik lokasi kajian.
3. Alat tulis sebagai pencatat data.
4. Penanda batas observasi
5. Transportasi bagi pengamat.
6. Tabel survei volume lalu lintas, sebagai penghitung seberapa banyak kendaraan yang melewati bidang observasi sesuai jenis kendaraan.

Periode Pengamatan

Data lalu lintas kerap kali diulang sesuai jam, hari maupun musim. Penentuan waktu survei yang layak bergantung ke tujuan survei. Guna merepresentasikan keadaan lalu lintas pada jam puncak, survei terlaksana selama 3 hari, yakni Senin, Jumat, dan Minggu saat jam sibuk seperti pagi (pukul 07.00 sampai 09.00 wib), dan sore (pukul 16.00 hingga 18.00 wib). Survei tidak terlaksana ketika lalu lintas terpengaruh oleh peristiwa yang tidak biasa, misal kecelakaan, hari libur, perbaikan jalan maupun terjadi bencana alam.

Mengumpulkan Data Primer

Data yang diperlukan pada kajian ini diperoleh melalui pengamatan langsung. Jenis data yang peneliti butuhkan, seperti:

1. Data volume lalu lintas
Observasi bisa terlaksana secara manual atau visual dengan penghitung manual

(*hand counter*), yaitu pencatatan jumlah kendaraan yang melintasi titik observasi yang sudah peneliti tentukan dengan interval setiap lima belas menit. Peneliti akan menyurvei jenis kendaraan dan membaginya menjadi tiga, sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV). Pencatatan terbagi di setiap wilayah periode observasi.

2. Data geometrik

Dalam memperoleh data geometric didapat melalui mengukur secara langsung di lapangan. Data yang diperlukan, seperti:

- Lebar jalan
- Jumlah maupun jarak *rumble strips*
- Denah wilayah kajian

3. Data kecepatan

Kecepatan didapat melalui pembagian jarak tempuh dengan waktu. Datanya peneliti peroleh dengan pencatatan waktu yang diperlukan kendaraan selama melintasi jarak tertentu, selanjutnya membaginya dengan panjang jarak itu. Data kecepatan didapat untuk seluruh jenis kendaraan. Prosedur dalam mengambil sampel ialah kendaraan terdepan dari suatu peleton dijadikan sampel atas dasar pertimbangan kendaraan kedua, serta memperikirakan kendaraan yang memiliki selisih kecepatan yang tidak cukup besar. Namun, supaya lebih cermat, kendaraan posisi tengah maupun paling belakang pun akan peneliti jadikan sampel.

1. Data lama waktu untuk menutup pintu perlintasan

Data ini peneliti peroleh melalui pencatatan waktu pintu tertutup 45° hingga pintu terbuka 45° . Melalui selisih waktu ini bisa diperoleh lama pintu perlintasan itu tertutup.

2. Menghitung Tundaan dan Antrean mempergunakan Metode Gelombang Kejut

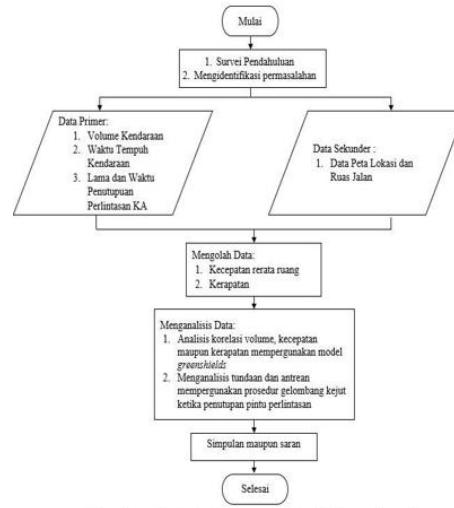
Tundaan karena pintu perlintasan yang ditutup akan peneliti hitung menggunakan metode gelombang kejut. Indikator penghitungan, yaitu kecepatan, volume kendaraan maupun estimasi waktu penutupan pintu perlintasan. Sesudah memperoleh besaran gelombang kejut, maka akan menghitung waktu pertemuan gelombang kejut 1 (U_{sw1}) dengan gelombang Kejut 2 (U_{sw2}) yang terjadi di belakang perlintasan sebidang jalan dengan jalur rel dengan simbol t_1 sebagai penghitung panjang jarak di belakang perlintasan sebidang jalan dan jalan rel: kendaraan terakhir terjadi tundaan, yang disimbolkan L dan dinyatakan ke satuan kilometer. Selanjutnya, menghitung estimasi

waktu yang dibutuhkan oleh kecepatan Gelombang 3 (U_{sw3}) melintasi segmen sepanjang L yang dinyatakan menjadi t_2 dalam satuan jam. Waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk keadaan normal, yakni t_1 , serta volume lalu lintas berguna agar bisa menentukan jumlah kendaraan yang terjadi tundaan. Berikutnya, jumlah kendaraan dan data t_1 maupun t_2 dan volume kendaraan bisa terhitung besaran tundaan satu periode waktu penutupan.

Penentuan Besar Tundaan Selama Satu Hari sesudah memperoleh nilai tundaan dalam keadaan pintu tertutup, berikutnya akan menghitung besar tundaan selama satu hari. Perihal ini peneliti lakukan dengan mempertimbangkan jumlah kereta yang melintas selama satu hari: pada kajian ini diperoleh waktu efektif dua belas jam dan variasi volume per jam. Akibat ada nilai yang bervariasi dari lama pintu perlintasan tertutup, berarti akan mengambil satu nilai untuk dijadikan unit waktu: nilai rerata lama.

Tahapan Pekerjaan

Pada sebuah kajian dibutuhkan kerangka kerja berupa diagram alir (*flowchart*) yang berisi tahapan penelitian. Maksud dari prosedur tertera pada penjelasan berikut



Gambar 3. 1 Diagram Alir (*Flowchart*)

Pembahasan

Data Lalu Lintas

Data volume lalu lintas didapat sesuai hasil observasi yang di dapatkan hasil observasi survei pendahuluan maupun pengambilan data di lapangan. Pada bab keempat ini akan menyajikan data lalu lintas hasil survei lapangan, informasi data yang kumpulkan meliputi jumlah dan waktu tempuh kendaraan. Berikutnya, menganalisis data agar mendapat data volume, kecepatan rerata ruang maupun kerapatan untuk ruas jalan yang peneliti kaji. Data lalu lintas tertera di Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Volume lalu lintas per hari selama 3 hari pengamatan

No	Hari/Tanggal Kendaraan/Hari	
	1	Minggu/02-06-2024 12063
2	Senin/19-05-2024	14136
3	Jum'at/31-05-2022	11474

Untuk perhitungan data lalu lintas di ambil yang paling tertinggi pada hari Senin, 19 Mei 2024 dengan total 114136 Kendaraan/Hari, Volume lalulintas yang ditinjau merupakan lalulintas yang melewati lokasi pengamatan 1 dan lokasi pengamatan 2, dicatat berdasarkan jenis kendaraan yang terdiri dari *Motor cycle* (MC), *Lig Vehicle* (LV) dan *Heavy Vehicle* (HV) dengan interval waktu 15 menit. Data hasil pengamatan ini mencerminkan kondisi nyata atau aktual yang di amati langsung, data lalu lintas yang ada pada hari senin dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Volume kendaraan per jam pada hari Senin tanggal 19 Mei 2024

Waktu	Kend Berat (HV)		Kend Rungau (LV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1,3		emp = 1,0		emp = 0,4			
	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
07.00 - 08.00	5	6,5	370	370	2900	1160	3336	1537
08.00 - 09.00	30	39	431	431	2500	1000	2961	1470
16.00 - 17.00	25	32,5	477	477	2824	1129,6	3326	1639,1
17.00-18.00	18	23,4	351	351	2255	902	2624	1276,4

Selanjutnya, pengambilan data satu jam maksimal, yakni pada pukul 16.00 - 17.00 sebagai tahap hitungan berikutnya, Data ini akan peneliti konversikan ke satuan mobil penumpang berdasar faktor konversi untuk setiap jenis kendaraan (Tabel 2.3). Pukul 16.00 hingga 16.15 WIB pada lokasi pengamatan 1

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times \text{EMP MC}) + (LV \times \text{EMP LV}) \\
 &\quad + (HV \times \text{EMP HV}) \\
 &= (430 \times 0,4) + (65 \times 1) + (6 \times 1,3) \\
 &= 244,8 \text{ smp/15 menit,}
 \end{aligned}$$

data selengkapnya pada Tabel 4.3.

Pukul 16.00 hingga 16.15 WIB pada lokasi pengamatan 2

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times \text{EMP MC}) + (LV \times \text{EMP LV}) \\
 &\quad + (HV \times \text{EMP HV}) \\
 &= (420 \times 0,4) + (60 \times 1) + (2 \times 1,3) \\
 &= 230,6 \text{ smp/15 menit, data} \\
 &\text{selengkapnya pada Tabel 4.4.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 3 Volume maksimum per 15 menit pada lokasi pengamatan 1

Waktu	Kend Berat (HV)		Kend Rungau (LV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1,3		emp = 1,0		emp = 0,4			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
7.00 - 7.15	0	0	40	40	250	100	290	140
7.15 - 7.30	0	0	50	50	283	113,2	333	163,2
7.30 - 7.45	1	1,3	66	66	361	144,4	428	211,4
7.45 - 8.00	4	5,2	46	46	256	102,4	306	149,7
8.00 - 8.15	3	3,9	44	44	315	126	346	173,9
8.15 - 8.30	1	1,3	60	60	263	105,2	324	166,5
8.30 - 8.45	7	9,1	47	47	276	110,4	330	166,5
8.45 - 9.00	0	0	58	58	262	104,8	320	162,8
16.00-16.15	3	3,9	60	60	420	168	482	231,9

16.15 - 16.30	0	0	44	44	251	100,4	295	144,4
16.30 - 16.45	2	2,6	32	32	260	104	308	138,6
16.45 - 17.00	0	0	52	52	239	95,6	291	147,6
17.00 - 17.15	2	2,6	55	55	235	94	292	151,6
17.15 - 17.30	4	5,2	38	38	234	93,6	276	126
17.30 - 17.45	2	2,6	36	36	243	97,2	282	137,8
17.45 - 18.00	0	0	28	28	270	108	298	136

Tabel 4. 4 Volume maksimum per 15 menit pada lokasi pengamatan 2

Waktu	Kend Berat (HV)		Kend Rungau (LV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1,3		emp = 1,0		emp = 0,4			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
7.00 - 7.15	0	0	55	55	260	104	315	159
7.15 - 7.30	0	0	50	50	287	114,8	342	164,8
7.30 - 7.45	0	0	66	66	365	146	431	212
7.45 - 8.00	2	2,6	43	43	260	104	305	149,6
8.00 - 8.15	0	0	44	44	299	119,6	343	163,6
8.15 - 8.30	1	1,3	60	60	263	105,2	324	166,5
8.30 - 8.45	5	6,5	47	47	276	110,4	328	163,9
8.45 - 9.00	1	1,3	58	58	266	104	319	163,3
16.00 - 16.15	0	0	54	54	330	132	382	186,6
16.15 - 16.30	0	0	60	60	351	140,4	441	200,4
16.30 - 16.45	1	1,3	40	40	289	115,6	330	156,9
16.45 - 17.00	2	2,6	52	52	265	106	319	160,6
17.00 - 17.15	3	3,9	45	45	240	96	285	144,9
17.15 - 17.30	5	6,5	40	40	234	93,6	279	140,1
17.30 - 17.45	2	2,6	38	38	245	98	285	138,6
17.45 - 18.00	1	1,3	30	30	265	106	295	137,3

Data Kecepatan Ruang Rata-rata Kendaraan

Parameter kecepatan selama menganalisis hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas merupakan kecepatan rerata ruang (\bar{U}_{sr}). Kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}) didapat melalui hubungan antara kecepatan setempat (\bar{U}_t) dengan standar deviasi (S) dimana $\bar{U}_{sr} = \bar{U}_t - (S^2/\bar{U}_t)$. Data kecepatan setempat diperoleh dari hasil bagi antara jarak pengamatan yang dilakukan dengan waktu tempuh kendaraan. Data waktu tempuh survei lapangan terlaksana dengan pencatatan waktu yang diperlukan kendaraan untuk melintasi jarak pengamatan. Adalah data kecepatan sesaat atau titik spoot. Sesuai survei pendahuluan didapatkan kecepatan rerata kendaraan < 40 km/jam sehingga berdasarkan Tabel 2.1 panjang lintasan pengamatan yang dianjurkan adalah 25 m.

Survey waktu tempuh kendaraan dalam periode 15 menit dari pukul 16:00 hingga 16:15 WIB dengan jarak Pengamatan 25 m. Data waktu tempuh (5,99 detik) dikonversi menjadi kecepatan setempat sehingga diperoleh $\bar{U}_t = (25*10^{-3}) / (5,99*3,6*10^{-3})$ 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.

Sesuai hasil yang didapat terkait kecepatan rata-rata ruang tersebut, dapat dianalisis bilapada lokasi observasi yang terletak jauh sebelum perlintasan dan pada ruas yang belum mengalami hambatan, pengendara dapat menentukan kecepatan sesuai keinginannya.

Perkiraan kecepatan di kisar 18,82 km per jam – 25,34 km/ per jam. Sementara itu lokasi pengamatan kedua, pengemudi mengalami hambatan karena adanya alat pengendali kecepatan (misalnya *rumble strip*) dan akan memasuki area perlintasan kereta api sehingga kecepatan menjadi berkurang. Rentang kecepatan yang terjadi antara 12,24 km/jam – 16,87 km/jam.

Tabel 4. 5 Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu	Jarak (m)	Waktu Tempuh (x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	S	S ²	Kecepatan Rata-rata		
1	7.00	7.15	25	4.61	19,52	22,29	-2,77	7,66	2,01	4,04	19,32
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	23,55	22,29	3,06	9,38	2,01	4,04	25,18
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	9.00	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	19,82
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. 6 Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu	Jarak (m)	Waktu Tempuh (x)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	S	S ²	Kecepatan Rata-rata	
1	7.00	7.15	25	6,45	13,95	14,74	-0,79	0,62	1,40	1,96	13,81
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	9.00	16.15	25	5,96	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	-3,34	5,48	1,40	1,96	12,24
12	16.45	17.00	25	6,28	14,35	14,74	-0,41	0,17	1,40	1,96	14,19
13	17.00	17.15	25	6,35	14,22	14,74	0,37	0,27	1,40	1,96	14,08
14	17.15	17.30	25	5,89	14,28	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

Perhitungan Kerapatan

Setelah volume lalulintas (V) dan kecepatan rata rata ruang (\bar{U}_r), diketahui, dapat dihitung kerapatan yang terjadi yaitu dengan membagi volume lalulintas dengan kecepatan.

Berdasarkan data dari lokasi pengamatan 1 selama interval 15 menit periode waktu

16.00 - 16.15 WIB dengan volume lalulintas (V) = 186,6 smp/15 menit dan kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_r) = 22,15 km, sehingga diperoleh kerapatan (D) = (186,6/22,15) smp = 8,4 smp/15menit.

Data volume lalulintas, kecepatan dan kerapatan selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.7 – 4.8

Tabel 4. 7 Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 1

No	Waktu	V (smp/15 menit)	Usr (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D ²
1	7.00 - 7.15	140	19,32	7,4	52,50
2	7.15 - 7.30	163,2	23,96	6,8	46,36
3	7.30 - 7.45	211,4	23,08	9,1	83,89
4	7.45 - 8.00	149,7	21,66	6,9	47,76
5	8.00 - 8.15	173,9	25,19	6,90	47,65
6	8.15 - 8.30	166,5	21,09	7,89	62,32
7	8.30 - 8.45	166,5	21,29	7,8	61,16
8	8.45 - 9.00	162,8	24,56	6,62	43,93
9	16.00 - 16.15	231,9	22,15	10,4	109,6
10	16.15 - 16.30	144,4	25,34	5,69	32,47
11	16.30 - 16.45	138,6	23,27	5,9	35,47
12	16.45 - 17.00	147,6	18,82	7,84	61,50
13	17.00 - 17.15	151,6	19,62	7,72	59,70
14	17.15 - 17.30	276	22,55	12,2	149,8
15	17.30 - 17.45	137,8	21,19	6,50	42,28
16	17.45 - 18.00	136	20,64	6,58	43,41
	Total	2697,9	353,72	122,40	979,94

Tabel 4. 8 Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 2

No	Waktu	V (smp/15 menit)	Usr (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D ²
1	7.00 - 7.15	159	13,81	11,51	132,55
2	7.15 - 7.30	164,8	15,10	10,91	119,11
3	7.30 - 7.45	212	12,69	16,70	279,09
4	7.45 - 8.00	149,6	13,86	10,79	116,50
5	8.00 - 8.15	163,6	15,75	10,38	107,89
6	8.15 - 8.30	166,5	16,40	10,15	103,07
7	8.30 - 8.45	163,9	14,95	10,96	120,19
8	8.45 - 9.00	163,3	14,57	11,20	125,61
9	16.00 - 16.15	186,6	14,89	12,53	157,04
10	16.15 - 16.30	200,4	16,87	11,87	141,11
11	16.30 - 16.45	156,9	12,24	12,81	164,31
12	16.45 - 17.00	160,6	14,19	10,29	128,09
13	17.00 - 17.15	144,9	14,08	9,24	105,90
14	17.15 - 17.30	140,1	15,15	11,09	85,51
15	17.30 - 17.45	138,6	12,49	10,81	123,14
16	17.45 - 18.00	137,3	16,64	8,25	68,08
	Total	2608,1	233,68	180,07	2077,26

Data Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan

Waktu dan durasi penutupan pintu perlintasan diperoleh melalui pengamatan selama jam penelitian yaitu pagi hari pukul 07.00 – 09.00 dan sore hari pukul 16.00 – 18.00 dilokasi penelitian, dari pengamatan ini dapat diketahui kapan waktu pintu perlintasan kereta api ditutup (dari mulai ditutup hingga dibuka kembali). Perhitungan durasi penutupan pintu dimulai saat pintu berada pada posisi 45° dari arah vertikal hingga pintu terbuka 45° dari arah horizontal. Selanjutnya data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan hasil survei

No	Waktu	Lama Penutupan (Detik)	
No	Awal	Akhir	Lama Penutupan (Detik)
1	07.02.07	07.03.25	79
2	07.05.05	07.06.17	73
3	07.07.06	07.08.15	70
4	07.09.01	07.10.53	115
5	07.12.25	07.13.33	68
6	07.13.52	07.15.10	117
7	07.17.26	07.19.41	134
8	07.21.33	07.22.51	79
9	07.23.58	07.25.05	68
10	07.27.21	07.28.32	70
11	07.30.11	07.31.20	70
12	07.32.36	07.34.25	110
13	07.37.43	07.39.17	95
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	65
18	08.03.16	08.05.29	135
19	08.09.07	08.11.24	250
20	08.15.39	08.17.40	122
21	08.23.05	08.25.07	122
22	08.29.16	08.30.29	74
23	08.36.52	08.38.40	109
24			

Hubungan antara Volume Lalu Lintas, Kecepatan maupun Kerapatan

Untuk memperoleh hubungan antara tiga variabel, maka data terkait volume, kecepatan, dan kerapatan lalu lintas, data yang terkait pada dua arah tersusun ke daftar (Tabel 4.11 hingga 4.12). selanjutnya, hubungan antara volume lalu lintas (V), kecepatan (\bar{U}_{sr}) dan kerapatan (D) dianalisis dengan menggunakan pemodelan *greenshield*. Perhitungan dilakukan secara regresi linear menggunakan Microsoft Excel 2019.

Menganalisis perhitungan melalui Analis regresi linear antara \bar{U}_{sr} dengan D menggunakan prosedur *greenshield*. Mencari persamaan yang mendekati dari prosedur bentuk linear, sesuai hubungan yang ada di Pers. 2.9 - 2.10 agar memperoleh nilai y, x, a dan b.

Tabel 4. 10 Variabel dan konstanta regresi linier.

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

Kecepatan berhubungan dengan kerapatan:

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

Diperoleh melalui data observasi (Tabel 4.7) : $\Sigma D = 122,40$

$$\Sigma V = 2697,9$$

$$\Sigma \bar{U}_{sr} = 353,72$$

$$\Sigma D^2 = 979,94$$

$$n = 16$$

- Mencari nilai a

$$a = \frac{\Sigma D^2 \cdot \bar{U}_{sr} - \Sigma D \cdot \Sigma \bar{U}_{sr}}{n \cdot \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{979,94 \cdot 353,72 - 122,40 \cdot 2697,9}{16 \cdot 979,94 - 122,40^2} = 25,277$$

- Mencari nilai b

$$b = \frac{n \cdot \Sigma D \cdot \bar{U}_{sr} - \Sigma D \cdot \Sigma \bar{U}_{sr}}{n \cdot \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{16 \cdot 2697,9 - 122,40 \cdot 353,72}{16 \cdot 979,94 - 122,40^2} = -0,184$$

Diperoleh melalui data observasi (Tabel 4.8) :

$$\Sigma D = 180,07$$

$$\Sigma V = 2608,1$$

$$\Sigma \bar{U}_{sr} = 233,68$$

$$\Sigma D^2 = 2077,26$$

$$n = 16$$

- Mencari nilai a

$$a = \frac{\Sigma D^2 \cdot \bar{U}_{sr} - \Sigma D \cdot \Sigma \bar{U}_{sr}}{n \cdot \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{2077,26 \cdot 233,68 - 180,07 \cdot 2608,01}{16 \cdot 2077,26 - 180,07^2} = 19,450$$

- Mencari nilai b

$$b = \frac{n \cdot \Sigma D \cdot \bar{U}_{sr} - \Sigma D \cdot \Sigma \bar{U}_{sr}}{n \cdot \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2} = \frac{16 \cdot 2608,01 - 180,07 \cdot 233,68}{16 \cdot 2077,26 - 180,07^2} = -0,430$$

Proses analisis regresi linear akan menghasilkan sebuah persamaan yang menjelaskan antara volume, kecepatan dan kerapatan.

Tabel 4. 11 Hitungan regresi linear Greenshield.

Lokasi Pengamatan	a	b
1	25,277	-0,184
2	19,450	-0,430

Tabel 4. 12 Persamaan hubungan Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D.

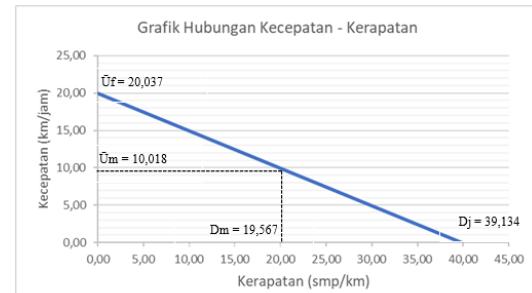
Model Hubungan	Lokasi Pengamatan	
	1	2
Kecepatan-Kerapatan	$\bar{U}_{sr} = 25,277 - 0,184 D$	$\bar{U}_{sr} = 19,450 - 0,430 D$
Volume-Kecepatan	$V = 32,720 \bar{U}_{sr}$ $V = 1,158 \bar{U}_{sr}^2$	$V = 39,134 \bar{U}_{sr}$ $V = 1,953 \bar{U}_{sr}^2$
Volume-kerapatan	$V = 42,718 - 1,778 D^2$	$V = 22,853 - 0,772 D^2$

Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan

Kecepatan dan kerapatan berhubungan terbalik, yang terlihat bila penurunan kecepatan saat kerapatan meningkat. Terjadinya kecepatan volume bebas (f) terjadi ketika kerapatan sama seperti nol. Sebaliknya kecepatan sama dengan nol, kerapatan sampai kondisi macet ($D_j/jam density$). Uraian di bawah memperjelas hubungan antara kecepatan arus bebas dan kerapatan macet pada wilayah observasi.

Tabel 4. 13 Kecepatan U_f dan D_j .

Lokasi Pengamatan	U_f	D_j
1	25,277	32,720
2	19,450	39,134



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Kecepatan – Kerapatan

Hubungan Volume dan Kecepatan

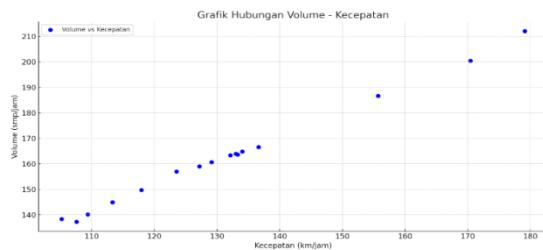
Hubungan fundamental antara volume dan kecepatan, yaitu penambahan volume lalu lintas, menunjukkan kecepatan rata-rata ruang akan mengalami penurunan hingga mencapai kerapatan kriris (volume

maksimal).

Tabel 4. 14 Nilai volume maksimum.

Persamaan volume Maksimum	Lokasi pengamatan	Vm
$Vm = (UfDj)/4$	1	230,987
	2	196,032

Interval Waktu	VA		VB		Vm		DA		DB		DC		Kecepatan Gelombang Kejut			r	ta	N	Tundaan Rata-rata
	(smp/jam)		(smp/jam)		(smp/jam)		(smp/jam)		(smp/jam)		(smp/jam)		ωAB	ωBC	ωAC				
	a	b	c	d	e	f	g = (s- b)/(d-e)	h = (s- c)/(d-f)	i = (s- b)/(d-f)	j	ta = (b-g) 3600	tb = (c-h) 3600	tr = (b-g) 3600						
07:09:01	07:10:55	159	0	169,124	13,913	39,134	19,567	119,866	8,643	127,189,172	112	1433,4131,05	19,0225	171,31125					
07:12:26	07:19:41	164,8	0	169,124	15,1	39,134	19,567	125,666	8,643	134,032,735	135	1837,1837,0	42,4418	206,7209					
07:23:26	07:34:25	212	0	169,124	12,69	39,134	19,567	172,866	8,643	179,105,656	109	2007,2096,68	21,8444	169,3222					
07:53:33	07:55:10	149,9	0	169,124	13,86	39,134	19,567	110,576	8,643	117,920,691	95	3104,4262,28	20,22419	145,6121					
08:00:07	08:13:04	161,6	0	169,124	13,75	39,134	19,567	124,466	8,643	139,294,980	237	3076,3160,84	24,442471	386,21738					
08:23:05	08:25:07	166,5	0	169,124	16,4	39,134	19,567	127,366	8,643	136,620,561	122	1670,1648,64	19,7065	186,83031					
08:36:32	08:38:40	163,9	0	169,124	14,95	39,134	19,567	124,766	8,643	139,020,930	108	1444,2676,69	15,462	165,731					
08:48:30	08:50:06	163,3	0	169,124	14,73	39,134	19,567	124,166	8,643	132,127,703	76	987,932,111	20,47149	117,7073					
16:02:46	16:06:06	186,6	0	169,124	14,89	39,134	19,567	147,466	8,643	155,674,773	194	3162,3425,62	20,5721	295,83805					
16:20:56	16:23:16	204,4	0	169,124	16,24	39,134	19,567	161,266	8,643	170,419,660	140	2450,2534,69	51,1556	215,5778					
16:37:33	16:38:43	134,9	0	169,124	12,259	39,134	19,567	117,766	8,643	129,514,653	70	169,0255,078	9,833225	108,43911					
16:55:17	16:57:10	160,6	0	169,124	14,199	39,134	19,567	121,466	8,643	129,118,664	113	1466,1600,412	20,44584	173,02227					
17:04:11	17:15:10	144,9	0	169,124	14,08	39,134	19,567	105,766	8,643	115,321,952	59	616,2279,56	44,833225	91,49103					
17:24:04	17:25:07	140,1	0	169,124	15,152	39,134	19,567	100,966	8,643	109,371,773	63	634,989,878	48,452225	77,220813					
17:39:08	17:40:46	138,3	0	169,124	12,487	39,134	19,567	99,166	8,643	105,188,625	98	1025,2431,17	10,33160	148,65851					
17:51:16	17:53:35	137,3	0	169,124	16,643	39,134	19,567	98,166	8,643	107,571,13	119	2351,2195,61	24,234647	181,11823					

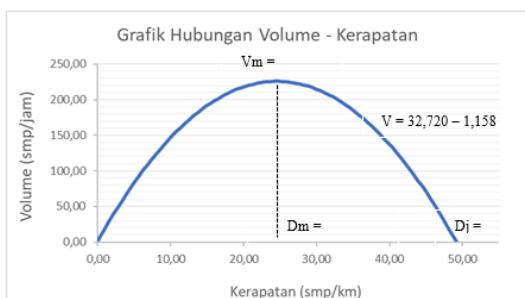


Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Volume – Kecepatan

Berikut adalah grafik hubungan volume (VA) dengan kecepatan (ω AC). Grafik ini menunjukkan bahwa umumnya volume lalu lintas cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan.

Hubungan Volume dan Kerapatan

Model *Greenshield* sering merepresentasikan keadaan data sebenarnya. Meskipun nilai volume maupun kerapatan maksimal serta kondisi ketika macet mendekati keadaan sesunggunya, sesuai uraian di bawah.



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Volume - Kerapatan

Hitungan Antrean dan Tundaan

Dalam kondisi penutupan pintu perlintasan, terjadi antrean akibat ada kendaraan yang tidak bisa melintas atau tertahan dalam rentang waktu tertentu, yakni selama perlintasan penutupan pintu. Perhitungan tundaan selama tertutupnya pintu menciptakan nilai tundaan karena volume terhalang oleh pintu perlintasan yang tertutup. Pada analisis gelombang kejut, tundaan rata rata terpengaruh oleh perkiraan waktu penutupan maupun waktu pelepasan antrean.

Tabel 4. 15 Hitungan antrean maupun tundaan pada keadaan pintu perlintasan tertutup dengan analisis gelombang kejut. Berdasarkan perhitungan mempergunakan *gelombang kejut* dalam keadaan penutupan pintu perlintasan kereta api, maka bisa memberi simpulan seperti:

1. Rentang waktu penutupan maksimal, kondisi antrean, dan tundaan maksimal:

- a. Terjadinya keadaan antrean dan tundaan maksimal selama rentang waktu 08:09:07

– 08:13:24 : menghasilkan waktu untuk pelepaskan ta = 3576 detik, waktu dalam pemulihkan tb = 2692 detik, panjang antrean maksimal = 3693 meter, jumlah kendaraan antre N = 68 smp, dan rerata tundaan selama 389 detik. menunjukkan bahwa kecepatan di segmen ini sangat lambat, menunjukkan kemacetan parah. Tundaan rata-rata juga tinggi, yang menunjukkan kendaraan membutuhkan waktu lama untuk bergerak.

2. Kondisi antrean dan penundaan bergantung jumlah kendaraan yang masuk dan estimasi waktu perlintasan tertutup. Semakin banyak kendaraan yang masuk, semakin lama estimasi waktu penutupan, sehingga mengakibatkan waktu panjang antrean, dan tundaan yang dirasakan pengendara kian besar.
3. Untuk menganalisis lebih detail dan memberikan hasil yang lebih akurat, data harus mencakup waktu-waktu di mana kecepatan gelombang kejut tinggi, kepadatan rendah, dan tundaan rendah, dengan tundaan kurang dari 100 detik
4. Berikut adalah beberapa langkah untuk evaluasi antrian:
 - a. Analisis Volume Kendaraan (VA) dan Kecepatan (ω AC): Volume kendaraan yang tinggi dan kecepatan rendah biasanya mengindikasikan adanya antrian.
 - b. Analisis Waktu Tundaan (ta, tb): Waktu tundaan yang tinggi juga merupakan indikasi adanya masalah dalam aliran lalu lintas
 - c. Panjang Antrian (N): Kita bisa menghitung panjang antrian rata-rata dan membandingkannya pada interval waktu yang berbeda untuk melihat kapan dan di mana antrian terpanjang terjadi.

Simpulan

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan mengenai kecepatan, volume, dan kerapatan serta analisis tundaan dan antrean dapat dipahami bila pada wilayah pengamatan awal pengemudi dapat menentukan kecepatan mereka sesuai yang

dihendakinya. Namun saat memasuki ke wilayah pengamatan akhir, kecepatan pengemudi cenderung menurun akibat ada hambatan lalu lintas yaitu *rumble strips*, dan himbauan akan memasuki dari rambu-rambu perlintasan sebidang dan rel kereta api Sesuai wilayah observasi :

- a. Pada wilayah pengamatan awal (ruas yang tidak terpengaruh hambatan *rumble strips*) nilai kecepatan arus bebas (\bar{U}_f) adalah 25,277 km/ jam, nilai kerapatan macet (D_f) 32,720 satuan Mobil Penumpang (smp) per km dan volume maksimalnya (vm) 230,987 satuan Mobil Penumpang (smp) per jam. Pada wilayah pengamatan akhir (ruas yang terpengaruh hambatan *rumble strips*) nilai kecepatan arus bebas (\bar{U}_f) 19,450 km/ jam, nilai kerapatan macet (D_f) 39,134 satuan Mobil Penumpang (smp) per km dan volume maksimalnya (vm) 196,032 satuan Mobil Penumpang (smp) per jam.
- b. 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 $N = 68$ satuan Mobil Penumpang (smp) , dan rerata penundaan selama 162 detik.

Saran

Mengukur kecepatan menggunakan prosedur *stopwatch* cukup bergantung pada respons dan ketepatan pengamat, sehingga diperlukan metode pengukuran yang lebih baik. Bagi peneliti yang akan menguji terkait topikini, diharapkan dapat bekerja lebih optimal serta memiliki niat yang kuat untuk mendapatkan data yang real di lapangan presisi dan akurat. Harapan hasil perhitungan yang dibuat dari data yang akurat dapat membantu dan memberikan masukan terkait ide-ide serta solusi terhadap permasalahan yang timbul terkait perlintasan sebidang jalur rel kereta api.

Daftar Pustaka

- A. Alamsyah, 2008, Rekayasa Lalu Lintas, Malang: UMM Press,
- Purnomo, 2012,"Simulasi Kereta Rel Listrik Dengan Kendali Kecepatan Sistem PWM Dan Palang Pintu Perlintasan Otomatis Berbasis Mikrokontroller. .
- Arsalia Insyaraa, ,2023, Analisis Akibat Perlintasan Sebidang Rel Kerta Api.
- E. K. MORLOK, 1991, Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi, Jakarta: Erlangga,
- F. Hobbs, 1995. Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas, Gajahmada University
- press.
- Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997, Direktorat Jendral Bina Marga.
- N. R. Voigt,2012, Transportation Depth Reference Manual for the Civil PE Exam, UnitedStates of America.
- Rahmad Jayanggi,2023,Pengaruh Perlintasan Sebidang Kereta Api Terhadap Karekteristik Lalu Lintas.Universitas Pancasila
- Setiyaningsih,2007, Karakteristik Lalu lintas Pada Persilangan sebidang jalan, Bandung:Institut Teknologi Bandung.
- Soedirdjoe,2002 Rekayasa Lalu Lintas, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Soedirdjoe,2002 Rekayasa Lalu Lintas, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- S. Sukirman,1994, Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya, Bandung: Nova.
- UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 38 TAHUN 2004TENTANG JALAN, 2004.
- Undang-Undang No. 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian, 2007.