



Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus : Jl.Sam Ratulangi – Jl.Toulour di Kota Manado)

Angelita C. Kumaat^{#a}, Samuel Y. R. Rompis^{#b}, Lucia I. R. Lefrandt^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^akumaat50@gmail.com, ^bsemrompis@unsrat.ac.id, ^clucia.lefrandt@unsrat.ac.id

Abstrak

Peningkatan populasi dan kendaraan di Kota Manado telah meningkatkan kepadatan lalu lintas, khususnya di Persimpangan Jl. Sam Ratulangi – Jl. Toulour. Persimpangan ini sering mengalami kemacetan, antrian, dan tundaan akibat lampu lalu lintas yang memicu peningkatan volume kendaraan. Lokasinya di Pasar Karombasan, pusat aktivitas kota, membuatnya menjadi titik konflik penting yang menghubungkan berbagai wilayah. Model terpilih untuk perhitungan gelombang kejut yaitu model Greenshield pada hari Rabu, 23 Agustus 2023 dengan angka koefisien determinasi (R^2) tertinggi sebesar 0,7709 dengan persamaan hubungan matematis volume – kepadatan adalah $V = 30,2244 - 0,1841D^2$ dengan volume maksimum (VM) sebesar 1240,307 skr/jam, kepadatan maksimum (DM) sebesar 82,0730 skr/km, dan kepadatan saat macet total (DJ) sebesar 164,1460 smp/jam. Analisis gelombang kejut di Jl.Sam Ratulangi lengan utara menunjukkan bahwa lampu lalu lintas sangat memengaruhi panjang antrian maksimum. Durasi lampu merah selama 64 detik menyebabkan kemacetan, dengan volume maksimum mencapai $V_A = 1117,139$ smp/jam, kepadatan maksimum 92,405 smp/km, dan arus aktual 1155,2 smp/jam mengalami penundaan $r = 40$ detik, menghasilkan panjang antrian $QM = 413,005$ meter dan waktu penormalan $T = 217,671$ detik. Waktu penormalan yang lebih lama dari lampu hijau menunjukkan bahwa tidak semua kendaraan dapat melewati garis henti saat lampu berubah menjadi merah.

Kata kunci: gelombang kejut, simpang bersinyal, Greenshield

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kota Manado merupakan kota berkembang yang mengalami peningkatan jumlah penduduk serta jumlah kendaraan secara signifikan setiap tahunnya. Peningkatan jumlah kendaraan tersebut tentu saja berbanding lurus dengan terjadinya peningkatan pengguna lalu lintas, sehingga perlu ditunjang dengan pelayanan fasilitas-fasilitas lalu lintas yang memadai, terutama pada persimpangan-persimpangan yang memiliki lalu lintas padat dimana biasanya dijumpai hambatan berupa kemacetan, kecelakaan, antrian maupun tundaan.

Persimpangan seperti Jl. Sam Ratulangi – Jl. Toulour menjadi titik konflik dengan lampu lalu lintas merah yang memicu antrian panjang. Kondisi ini dipengaruhi oleh lokasi strategis di Pasar Karombasan, area aktifitas ekonomi dan sosial di Kota Manado.

Gelombang kejut pada simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Toulour khususnya terhadap ruas Jl. Sam Ratulangi dari arah Ranotana menuju Winangun terjadi karena adanya pergantian nyala lampu lalu lintas yang menimbulkan panjang antrian kendaraan. Hubungan sebab akibat dari lampu lalu lintas yang berwarna merah mengakibatkan kendaraan akan berhenti dan menyebabkan kepadatan pada lengan simpang sebelum lampu merah dimana kecepatan kendaraan akan menurun dan mengakibatkan terjadinya antrian kendaraan.

1.2. Rumusan Masalah

Perlu dilakukan identifikasi pengaturan sebuah simpang bersinyal dari analisa karakteristik gelombang kejut terhadap arus lalu lintas, dengan rumusan masalah meliputi:

1. Bagaimanakah hubungan antara volume, kepadatan, dan kecepatan pada persimpangan bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Toulour pada lengan Jl. Sam Ratulangi dari arah Ranotana menuju Winangun di Kota Manado?
2. Berapakah panjang antrian yang disebabkan oleh lampu lalu lintas berwarna merah pada persimpangan bersinyal di lokasi studi?
3. Bagaimanakah karakteristik gelombang kejut pada simpang bersinyal di lokasi studi?

1.3. Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini perlu dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini adalah simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Toulour pada lengan Jl. Sam Ratulangi dari arah Ranotana menuju Winangun di Kota Manado.
2. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah volume kendaraan, kecepatan kendaraan, dan durasi lampu lalu lintas.
3. Model yang dipakai untuk menunjukkan hubungan matematis dari parameter dalam penelitian ini meliputi model Greenshield, model Greenberg dan Model Underwood.
4. Penentuan panjang antrian dengan menggunakan analisis gelombang kejut berdasarkan dengan model-model yang tersedia.
5. Didasarkan pada PKJI (2014) dan simulasi menggunakan software PTV VISSIM.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hubungan antara volume, kepadatan, dan kecepatan pada persimpangan bersinyal Jl.Sam Ratulangi – Jl. Toulour dari arah Ranotana menuju Winangun di Kota Manado.
2. Menganalisis panjang antrian kendaraan akibat lampu lalu lintas pada persimpangan bersinyal di lokasi studi.
3. Menganalisis karakteristik gelombang kejut pada simpang bersinyal di lokasi studi.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi tolak ukur dalam pengurangan permasalahan kemacetan yang terjadi pada simpang bersinyal tiga lengan khususnya pada simpang bersinyal Jl.Sam Ratulangi – Jl. Toulour di Kota Manado.
2. Memberikan informasi kepada pemerintah Kota Manado untuk mengoptimalkan lampu lalu lintas sehingga durasi lampu lalu lintas dapat lebih efisien dan dapat mengurangi kemacetan serta panjang antrian berlebih pada lokasi studi.
3. Menjadi bahan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan tentang gelombang kejut yang terjadi pada simpang bersinyal tiga lengan.

2. Metode

2.1. Periode dan Lokasi Pengumpulan

1. Periode Pengumpulan

Pengumpulan data lalu lintas dilaksanakan selama 3 hari yaitu pada hari Senin, Rabu dan Sabtu. Pengumpulan data dilakukan selama 12 jam dimulai dari pukul 07.00 – 19.00 WITA dengan pencacahan per periode waktu setiap 15 menit.

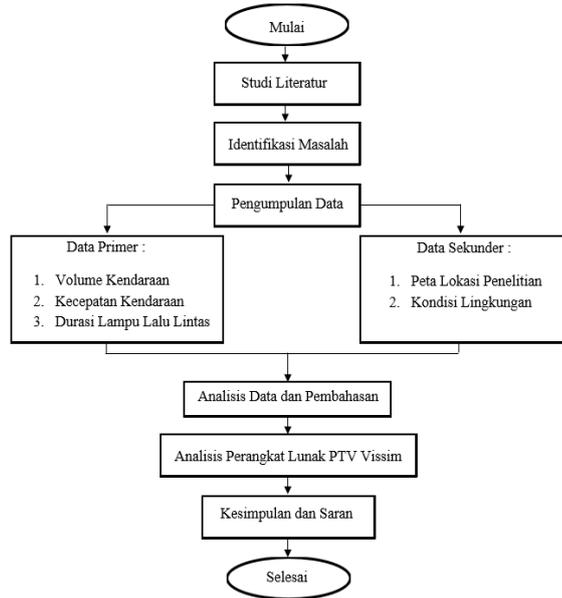
2. Lokasi Pengumpulan

Penelitian dilaksanakan pada simpang bersinyal ruas Jl. Sam Ratulangi, Karombasan Utara,

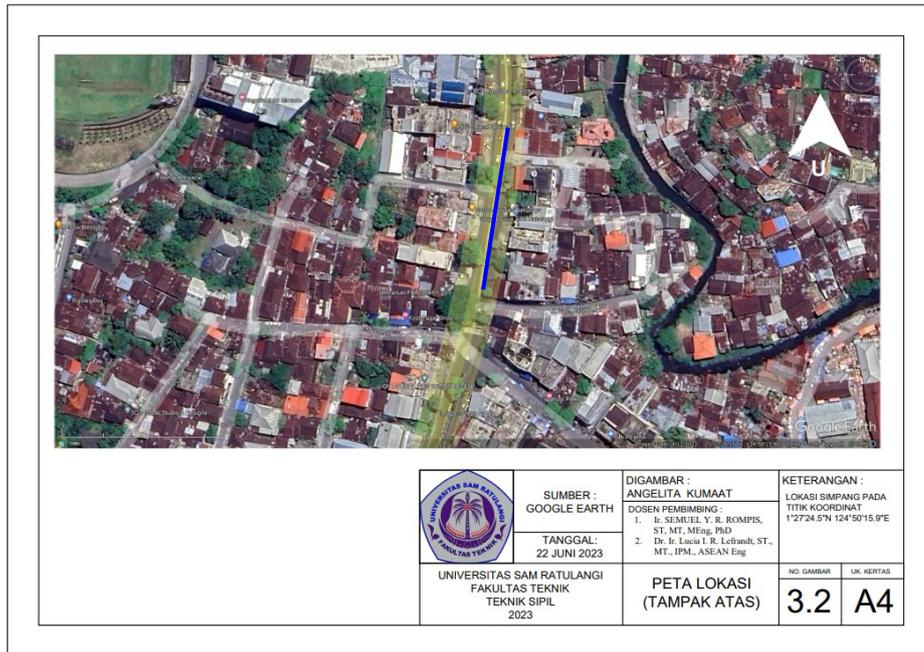
Manado yang berada pada koordinat 1°27'24.6"N 124°50'16.0"E

2.2. Bagan Alir Penelitian

Kegiatan penelitian memiliki alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Denah Lokasi Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1 Satuan Kendaraan Ringan

Satuan kendaraan ringan (skr) adalah adalah satuan untuk arus lalu lintas, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan diubah menjadi kendaraan ringan dengan menggunakan ekivalensi kendaraan ringan (ekr).

Tabel 1. Nilai Ekuivalensi Kendaraan Ringan (ekr) untuk Simpang

Jenis Kendaraan	ekr	
	Q _{TOTAL} ≥ 1000 kend/jam	Q _{TOTAL} < 1000 kend/jam
Kendaraan Ringan (KR)	1,0	1,0
Kendaraan Sedang (KS)	1,8	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,2	0,5
Kendaraan Tak Bermotor (KTB)	1	1

Sumber : PKJI 2014

3.2 Analisa Regresi dan Koefisien Determinasi

Analisis regresi linear merupakan hubungan dari dua variabel yang meminimalkan total nilai perbedaan kuadratis antara nilai observasi dan nilai perkiraan dari variable bebas dengan persamaan :

$$y = A + B . x$$

Dimana:

- y = peubah tidak bebas
- x = peubah bebas
- A = konstanta regresi
- B = koefisien regresi

Konstanta A dan B dapat dicari dengan menggunakan persamaan – persamaan berikut:

$$B = \frac{n(\sum x . y) - (\sum x) . (\sum y)}{n . (\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$A = \frac{(\sum y) . (\sum x^2) - (\sum x) . (\sum xy)}{n . (\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter dapat diketahui dengan koefisien determinasi (R²) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}$$

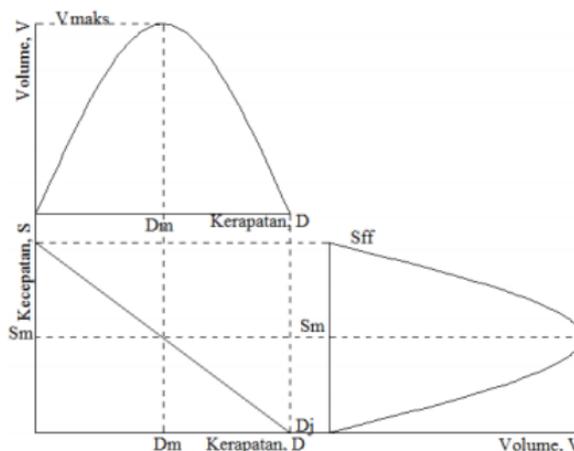
3.3 Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$V = D . S$$

Dengan:

- V = Arus (skr/jam)
- D = Kepadatan (skr/jam)
- S = Kecepatan (km/jam)



Gambar 3. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Dengan keterangan gambar:

- V_{max} = kapasitas atau volume maksimum (kend/jam)
 D_m = kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (kend/km)
 D_j = kepadatan pada kondisi volume lalu lintas macet total (kend/km)
 S_m = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (km/jam)
 S_{ff} = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 atau kecepatan arus bebas (km/jam)

3.4 Model Greenshield

Greenshield mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan digambarkan sebagai fungsi linear, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$S = \frac{S_{ff} - S_{ff}}{D_j \cdot D}$$

Dimana :

- S = Kecepatan (km/jam)
 S_{ff} = Kecepatan pada saat kondisi arus lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati nol atau kecepatan mendekati nol atau kecepatan arus bebas (km/jam)
 D_j = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total (skr/km)
 D = Kepadatan (skr/km)

3.5 Model Greenberg

Greenberg mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan bukanlah fungsi linear melainkan fungsi eksponensial, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$D = C \cdot e^{b \cdot S}$$

Dimana : C dan b sebagai konstanta

3.6 Model Underwood

Underwood mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan dan Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$S = S_{ff} \cdot e^{D/D_m}$$

Dimana:

- S_{ff} = Kecepatan arus bebas (km/jam)
 D_m = Kepadatan pada kondisi arus maksimum (skr/jam)

3.7 Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shockwave*) didefinisikan sebagai arus pergerakan yang timbul disebabkan karena adanya perbedaan kepadatan dan kecepatan lalu lintas pada suatu ruas jalan. Gelombang kejut terbentuk saat dimana sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi.

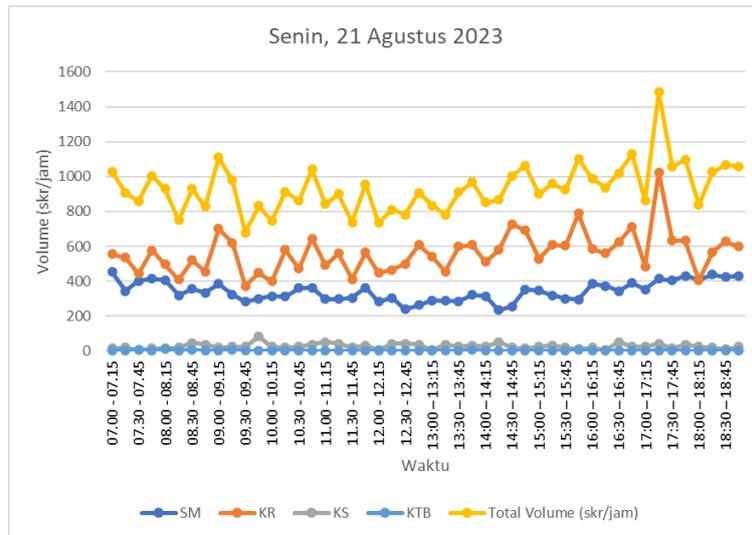
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Volume Lalu Lintas

Untuk mendapatkan volume lalu lintas dalam satuan kendaraan ringan (skr) maka data yang diperoleh dari hasil survey dalam interval lima belas menit dikalikan dengan faktor ekivalensi kendaraan ringan (Tabel 1.) untuk setiap jenis kendaraan yang diambil datanya.

Gambar 4. Memperlihatkan volume lalu lintas dari hasil survei pada hari Senin, 21 Agustus 2023. Terlihat jam paling sibuk tertinggi terdapat pada pukul 17.15 – 17.30 WITA dengan volume

total sebesar 1483 skr/jam atau 371 ske/15'. Peningkatan arus lalu lintas pada sore hari disebabkan oleh banyaknya kendaraan pada hari kerja serta puncak arus terjadi pada sore hari saat jam pulang kantor.



Gambar 4. Grafik Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas Senin, 21 Agustus 2023

4.2 Kecepatan Kendaraan

Pada penelitian ini, survey kecepatan kendaraan hanya dilakukan pada kendaraan ringan saja karena kendaraan ringan dianggap sebagai representase paling akurat dari kondisi aktual di lokasi penelitian.



Gambar 5. Grafik Hasil Perhitungan Kecepatan Kendaraan Senin, 21 Agustus 2023

Gambar 5. Memperlihatkan kecepatan kendaraan dari hasil survei pada Senin, 21 Agustus 2023. Terlihat kecepatan kendaraan paling rendah terjadi pada pukul 15.45 – 16.00 WITA yaitu 6,650 km/jam, diakibatkan oleh bertambahnya pengguna jalan khususnya pengguna kendaraan ringan yang dikarenakan waktu pulan sekolah untuk sekolah SMA sederajat. Sedangkan kecepatan paling tinggi terjadi pada pukul 14.00-14.15 WITA yaitu 27,893 km/jam.

4.3 Kepadatan

Nilai kepadatan dapat dihitung dengan membagi volume lalu lintas dengan variabel kecepatan rata-rata kendaraan. Tabel 2. Menampilkan kepadatan pada hari Senin, 21 Agustus 2023 dengan pencacahan dilakukan per periode waktu setiap 15 menit.

Tabel 2. Nilai Kepadatan Senin, 21 Agustus 2023

Waktu	Volume (skr/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (skr/km)	Waktu	Volume (skr/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (skr/km)
07.00 - 07.15	1029,60	22,95	44,87	13:00 – 13:15	835,20	18,63	44,83
07.15 - 07.30	904,80	23,42	38,64	13:15 – 13:30	780,40	24,73	31,56
07.30 - 07.45	859,20	23,59	36,42	13:30 – 13:45	910,00	18,86	48,25
07.45 - 08.00	1005,60	22,28	45,14	13:45 – 14:00	969,20	21,11	45,92
08.00 - 08.15	929,60	20,12	46,19	14:00 – 14:15	852,00	27,89	30,55
08.15 - 08.30	748,80	22,55	33,21	14:15 – 14:30	866,00	22,65	38,24
08.30 - 08.45	930,80	21,52	43,25	14:30 – 14:45	1004,80	15,57	64,53
08.45 - 09.00	826,40	21,25	38,88	14:45 – 15:00	1061,60	20,62	51,48
09.00 - 09.15	1110,80	19,11	58,14	15:00 – 15:15	900,00	18,41	48,89
09.15 - 09.30	978,00	21,16	46,23	15:15 – 15:30	959,20	15,26	62,85
09.30 - 09.45	680,00	20,82	32,67	15:30 – 15:45	924,80	13,58	68,09
09.45 - 10.00	831,20	20,57	40,41	15:45 – 16:00	1102,40	6,65	165,78
10.00 - 10.15	744,00	20,64	36,04	16:00 – 16:15	988,80	16,97	58,25
10.15 - 10.30	912,80	17,43	52,37	16:15 – 16:30	937,20	19,42	48,27
10.30 - 10.45	862,00	22,87	37,69	16:30 – 16:45	1020,00	17,01	59,96
10.45 - 11.00	1042,40	21,58	48,30	16:45 – 17:00	1128,00	18,78	60,08
11.00 - 11.15	842,00	20,62	40,83	17:00 – 17:15	864,00	19,97	43,27
11.15 - 11.30	899,60	16,45	54,69	17:15 – 17:30	1483,60	16,36	90,69
11.30 - 11.45	736,80	19,98	36,88	17:30 – 17:45	1055,60	15,81	66,78
11.45 - 12.00	957,20	20,85	45,91	17:45 – 18:00	1098,40	17,61	62,36
12.00 - 12.15	735,20	16,00	45,94	18:00 – 18:15	838,00	15,14	55,36
12.15 - 12.30	809,60	19,93	40,61	18:15 – 18:30	1026,80	13,62	75,38
12.30 - 12.45	781,60	17,99	43,44	18:30 – 18:45	1066,40	15,81	67,47
12.45 – 13.00	908,4	21,62	42,02	18:45 – 19:00	1058,00	16,83	62,86

4.4 Greenshield

Hubungan matematis fungsi linear dapat ditulis menjadi $y = A + B \cdot x$ dengan Y (variable dependent) diasumsikan sama dengan S dan X (variable independent) diasumsikan sama dengan D. Data pada Tabel 2 diolah sehingga mendapatkan nilai A, B dan R^2 berturut-turut sebagai berikut :

$$A = 26,444$$

$$B = -0,140$$

$$R^2 = 0,687$$

Kemudian didapatilah nilai dari parameter-parameter lainnya, adalah sebagai berikut :

$$SFF = A = 26,444 \text{ km/jam}$$

$$SM = 13,222 \text{ km/jam}$$

$$D_j = -\frac{A}{B} = 189,175 \text{ skr/jam}$$

$$DM = 94,587 \text{ skr/jam}$$

$$VM = 1250,637 \text{ skr/jam}$$

4.5 Greenberg

Hubungan matematis fungsi linear ditulis menjadi $y = A + Bx$ dimana Y (variable dependent) diasumsikan sama dengan S dan X (variable independent) diasumsikan sama dengan LnD. Data pada Tabel 2 diolah sehingga mendapatkan nilai A, B dan R^2 berturut-turut sebagai berikut :

$$A = 59,544$$

$$B = -10,358$$

$R^2 = 0,777$

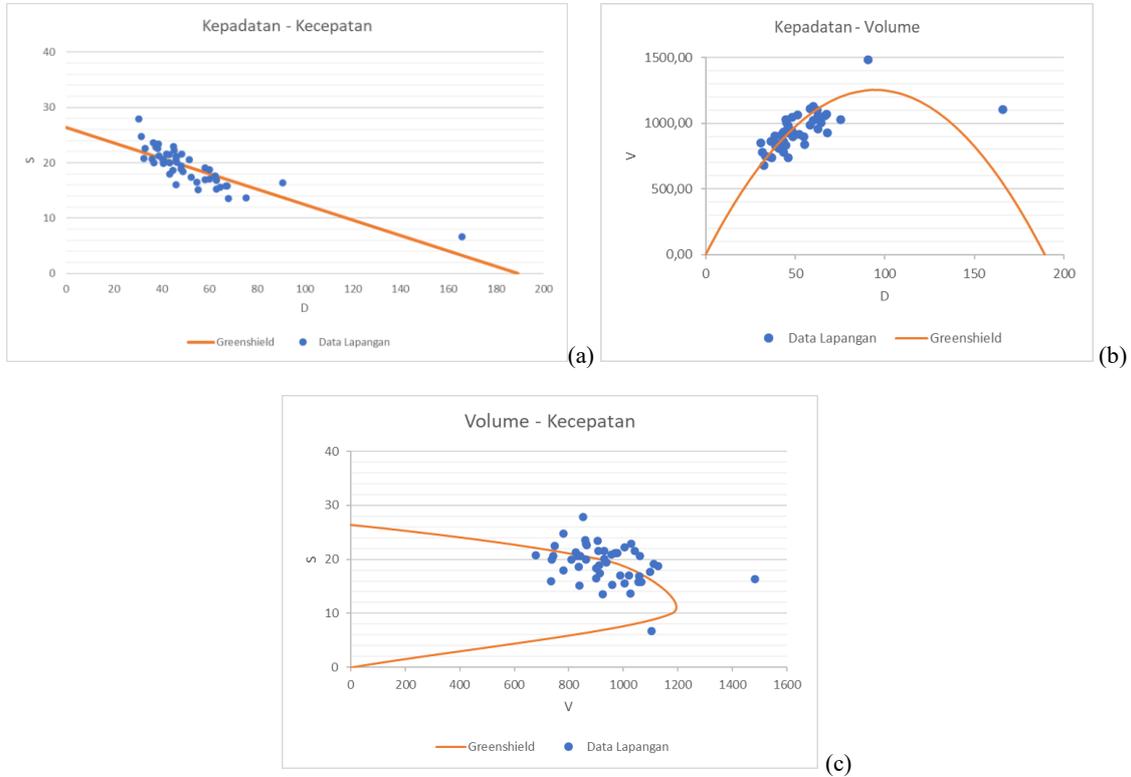
Kemudian didapatkan nilai dari parameter-parameter lainnya, adalah sebagai berikut :

$C = 10,3579$

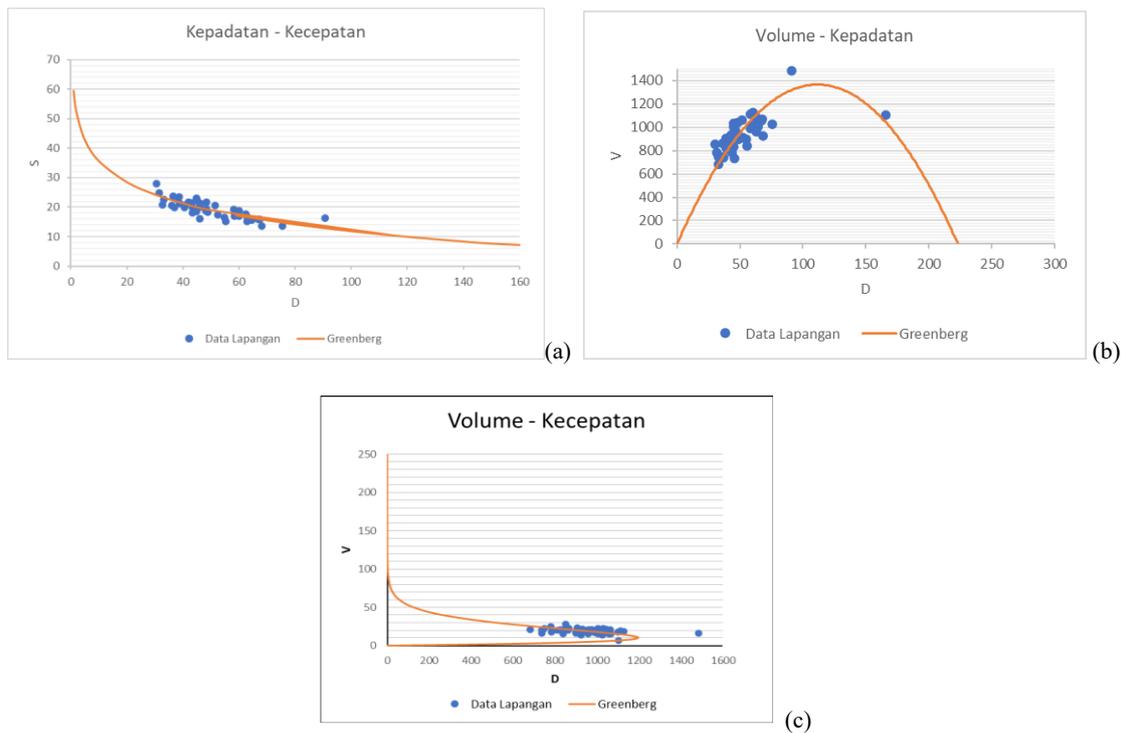
$SM = 10,3579 \text{ km/jam}$

$Dj = 313,756862 \text{ skr/km}$

$DM = 115,4246 \text{ skr/km}$



Gambar 6. Grafik Greenshield (a) Hubungan S – D; (b) Hubungan V – D; (c) Hubungan V – S Senin, 21 Agustus 2023



Gambar 7. Grafik Greenberg (a) Hubungan S – D ; (b) Hubungan V – D ; (c) Hubungan V – S Senin, 21 Agustus 2023

4.6 Underwood

Hubungan matematis fungsi linear ditulis menjadi $y = A + Bx$ dimana Y (variable dependent) diasumsikan sama dengan $\ln S$ dan X (variable independent) diasumsikan sama dengan D. Data pada Tabel 2 diolah sehingga mendapatkan nilai A, B dan R^2 berturut-turut sebagai berikut :

$A = 3,427$

$B = -0,010$

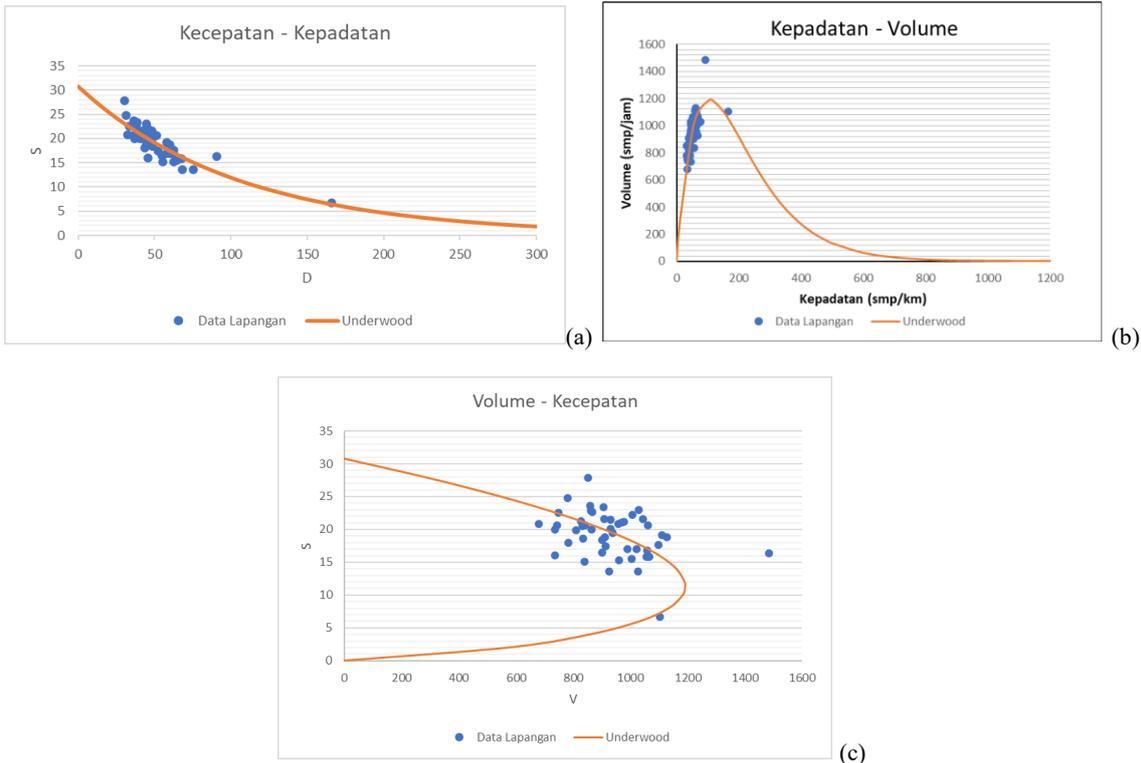
$R^2 = 0,825$

Kemudian didapatkan nilai dari parameter-parameter lainnya, adalah sebagai berikut :

$SFF = e^A = 30,7902$

$SM = 11,3271 \text{ km/jam}$

$DM = 105,1063$



Gambar 8. Grafik Underwood (a) Hubungan S – D; (b) Hubungan V – D; (c) Hubungan V – S Senin, 21 Agustus 2023

4.7 Hubungan Matematis

Hasil perhitungan hubungan matematis antara kecepatan – kepadatan, volume – kepadatan, dan volume – kecepatan untuk model greenshields, greenberg, dan underwood untuk Senin, 21 Agustus 2023 dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan Tabel 4. Memperlihatkan hasil analisa regresinya untuk setiap model.

Tabel 3. Hubungan Matematis Antara Volume, Kecepatan, Kepadatan Untuk Model Greenshield, Greenberg, dan Underwood

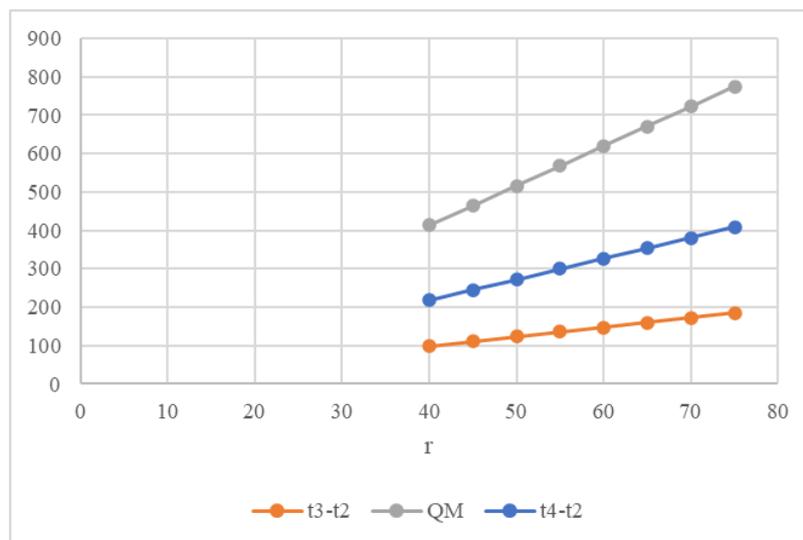
Model	Greenshield	Greenberg	Underwood
S - D	$S = 26,444 - 0,1397D$	$S = 59,544 - 10,357 \ln D$	$\ln S = 3,427 - 0,0095 D$
V - D	$V = 26,4440 - 0,1397D^2$	$V = 59,544 D - 10,357 D \ln D$	$V = 30,7902 D - e^{-0,0095 D}$
V - S	$V = 189,175 - 7,1537S^2$	$V = 313,756s \times e^{-0,0965 s}$	$V = 306,2202 - 105,106 S.Ln(S)$

Tabel 4. Hasil Analisa Regresi

	R ²	A	B
Linear	0,687	26,444	-0,140
Logarithmic	0,777	59,544	-10,358
Exponential	0,825	3,427	-0,010

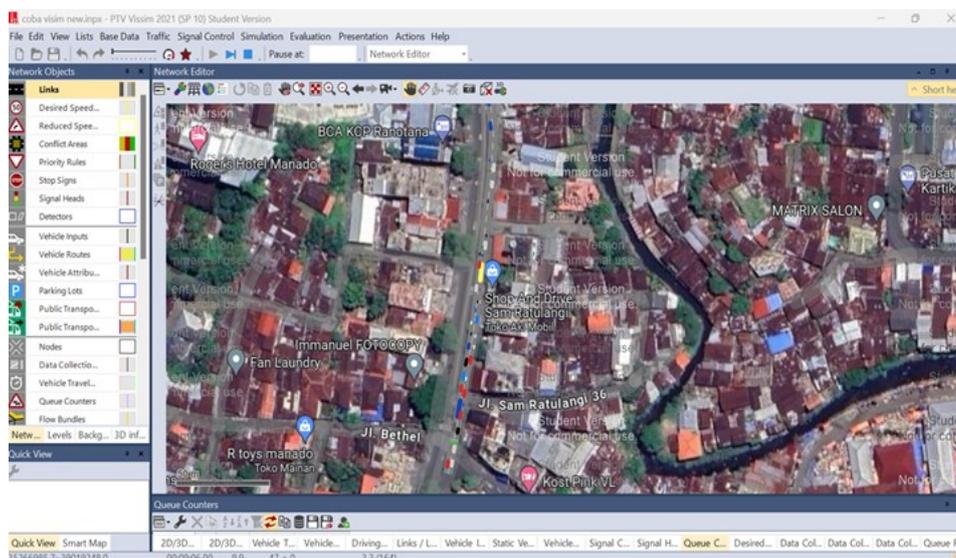
4.8 Gelombang Kejut

Variasi nilai r dilakukan untuk memperlihatkan karakteristik gelombang kejut yang terjadi yang disebabkan oleh durasi lampu lalu lintas berwarna merah yang berbeda-beda. Gambar 9. Menunjukkan bahwa semakin besarnya nilai durasi lampu merah (r), maka akan semakin meningkat pula waktu saat panjang antrian maksimum terjadi (t_3-t_2), panjang antrian maksimum (QM), serta waktu penormalan kendaraan (t_4-t_2).

**Gambar 9.** Kurva hubungan nilai r dengan t_3-t_2 , QM dan t_4-t_2

4.9 Simulasi Karakteristik Lalu Lintas

Pada penelitian ini digunakan software PTV VISSIM untuk memodelkan atau memberikan gambaran yang semirip mungkin dengan kondisi aktual pada lokasi penelitian. Simulasi yang dilakukan telah melewati tahapan kalibrasi dan validasi.

**Gambar 10.** Simulasi Lalu Lintas Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM

5. Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini, yaitu :

1. Rekapitulasi hasil analisis hubungan matematis antara volume – kecepatan – kepadatan model Greenshield, Greenberg, dan Underwood disimpulkan bahwa model underwood pada Rabu, 23 Agustus 2023 determinasi tertinggi ($R^2 = 0,9118$). Namun, model underwood dianggap kurang efektif dalam menggambarkan pola arus lalu lintas karena nilai kepadatan saat macet total tidak dapat diketahui atau pada grafiknya tidak memotong sumbu x. Sehingga dipilih model greenshield dengan angka koefisien determinasi tertinggi (R^2) sebesar 0,7709.
2. Analisis gelombang kejut pada Jalan Sam Ratulangi, khususnya arah Utara, menunjukkan bahwa aktivitas lampu lalu lintas sangat berpengaruh terhadap panjang antrian maksimum. Durasi lampu merah selama 64 detik di ruas tersebut menyebabkan kemacetan, dengan volume maksimum (V_M) mencapai 1117 smp/jam, kepadatan maksimum (D_M) 92 smp/km, dan arus aktual (VA) sebesar 1155 smp/jam mengalami penundaan selama 40 detik, menghasilkan panjang antrian (Q_M) sepanjang 413,005 meter dan waktu penormalan 217,671 detik. Waktu penormalan yang lebih besar dari durasi lampu hijau (66 detik) menunjukkan bahwa tidak semua kendaraan yang mengantri dapat melintasi garis henti saat lampu berubah menjadi merah.
3. Nilai gelombang kejut yang diperoleh untuk gelombang kejut bergerak mundur adalah -10,74 km/jam, gelombang kejut mundur pemulihan adalah -15,11 km/jam dan gelombang kejut gerak maju adalah 3,345 km/jam.

Referensi

- Bella, M. H., Timboeleng, J. A., & Rompis, S. Y. (2016). Analisa Gelombang Kejut pada Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. 17 Agustus–Jl. Babe Palar). *Jurnal Sipil Statik*, 4(9).
Direktorat Jenderal Bina Marga., 2014, Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Kasenda, N. D., Timboeleng, J. A., & Jansen, F. (2013). Analisa Gelombang Kejut dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas di Jalan Sarapung Manado. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 3(2).
- Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2003). Fundamentals of Transportation Engineering. Erlangga. Jakarta.
- Lefrandt, L. I. (2012). Kapasitas Dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Piere Tendeand Manado Pada Kondisi Arus Lalu Lintas Satu Arah. *TEKNO*, 10(57).
- Michael, G., Timboeleng, J. A., & Rompis, S. Y. (2020). Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi–Jl. Babe Palar). *Jurnal Sipil Statik*, 8(6).
- Pane, F. P., Rompis, S. Y., & Timboeleng, J. A. (2018). Analisa Perbandingan Panjang Antrian Menggunakan Teori Antrian dan Analisa Gelombang Kejut di Locket Keluar Kendaraan Kawasan Megamas Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 6(2).
- Pipit, C. W. 2016. “Analisa Simpang Bersinyal Menganakan Software Vissim” Simpang Bersinyal Pelemgurih Yogyakarta.
- PTV, A. (2011). VISSIM 5.30-05 user manual. Germany. Karlsruhe: PTV AG.
- Rompis, S. Y. (2018). Traffic flow model and shockwave analysis. *Jurnal Sipil Statik*, 6(1).
- Setijowarno, D. Frazila. 2001. Pengantar Sistem Transportasi, Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Siongke, M. R., Rompis, S. Y., & Rumayar, A. L. (2023). Analisa Karakteristik Gelombang Kejut Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado). *TEKNO*, 21(84), 481-492.
- Sirenden, A. A., Rumayar, A. L., & Kumaat, M. M. (2023). Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Yos Sudarso–Jl. Maesa). *TEKNO*, 21(83), 107-116.