



Analisis Gelombang Kejut (*Shockwave*) Akibat *U-Turn* Pada Jalan Perkotaan (Studi Kasus: Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado)

Injillia Christy Moningka^{#a}, Samuel Y. R. Rompis^{#b}, Lucia I. R. Lefrandt^{#c}

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

Abstrak

Ruas jalan Paal Dua, Kota Manado terutama arus lalu lintas dari Jalan R E Martadinata menuju Jalan Yos Sudarso, menjadi salah satu titik padat di Kota Manado, terutama selama jam sibuk atau pada waktu puncak. Gelombang Kejut (*Shockwave*) pada Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso disebabkan oleh adanya aktivitas kendaraan yang melakukan putaran balik (*U-Turn*) sehingga mengganggu aliran lalu lintas yang sedang berlangsung dan dapat menyebabkan peningkatan kepadatan kendaraan, bahkan membentuk antrian. Berdasarkan hasil analisis untuk model terbaik yang diperoleh dari hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yaitu model *Greenshields* pada hari Jumat, 17 November 2023 ditunjukkan dengan nilai Koefisien Determinasi ($R^2 = 0,780914452$) dan persamaan hubungan Volume – Kepadatan yaitu $V = 24,8506635 D - 0,110026 D^2$ dengan volume maksimum (V_c) sebesar 1403,202638 smp/jam, kepadatan maksimum (D_c) sebesar 112,9308 smp/jam, dan kecepatan saat macet total (D_B) sebesar 225,862 smp/km. Karakteristik Gelombang Kejut yang terjadi untuk arus $V_A = 1363,515$ smp/jam adalah Gelombang Kejut maju bentukan ($\omega_{DA} = 14,514$ km/jam), Gelombang Kejut diam depan ($\omega_{DB} = 3,106$ km/jam), Gelombang Kejut mundur bentukan ($\omega_{AB} = -5,018$ km/jam), Gelombang Kejut maju pemulihan ($\omega_{DC} = 12,425$ km/jam), Gelombang Kejut mundur pemulihan ($\omega_{CB} = -6,213$ km/jam), Gelombang Kejut bergerak maju searah pergerakan lalu lintas ($\omega_{AC} = 2,090$ km/jam). Pengaruh kendaraan yang melakukan *U-Turn* selama 60 detik membuat panjang antrian maksimum ($Q_M = 434,79$ meter).

Kata kunci: Gelombang Kejut (Shockwave), U-Turn, lalu lintas

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kota Manado yang merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Utara dengan jumlah penduduk sebanyak 454.606 jiwa menurut Badan Pusat Statistik tahun 2022. Pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat setiap tahunnya memiliki dampak signifikan pada masalah lalu lintas. Hal ini terutama terlihat dalam peningkatan jumlah kendaraan dan pengguna jalan yang sayangnya tidak diimbangi dengan perkembangan prasarana jalan yang memadai.

Salah satu jalan yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas di Kota Manado adalah Paal Dua terutama saat arus lalu lintas dari Jl. R E Martadinata melakukan putaran balik (*U-Turn*) menuju Jl. Yos Sudarso. Kepadatan ini terutama terjadi selama jam sibuk atau pada waktu puncak. Keadaan ini disebabkan oleh status ruas jalan Paal Dua, Manado yang merupakan jalan nasional.

Gelombang Kejut (*Shockwave*) yang terjadi di Jl. R E Martadinata, Manado disebabkan oleh adanya jalan putar balik (*U-Turn*) pada ruas jalan tersebut. Ketika arah lalu lintas dari arah Jl. R E Martadinata menggunakan fasilitas jalan putar balik (*U-Turn*) untuk mengubah arah ke Jl. Yos Sudarso membuat aliran lalu lintas yang sedang berlangsung terganggu. Gangguan ini kemudian dapat menyebabkan peningkatan kepadatan kendaraan di ruas jalan tersebut, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan penurunan kecepatan bahkan membentuk antrian.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik lalu lintas di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado?
2. Bagaimana hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yang dikarenakan (*Shockwave*) akibat *U-Turn* di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado?
3. Berapa panjang antrian yang terjadi akibat kendaraan yang melakukan *U-Turn* pada Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado?

1.3. Batasan Masalah

Adapun untuk mempermudah penelitian ini, maka penulis membuat batasan sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian difokuskan pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado.
2. Hubungan volume, kecepatan dan kepadatan arus lalu lintas menggunakan hubungan matematis Model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood*.
3. Penelitian ini hanya meninjau kendaraan yang mengalami (*Shockwave*) akibat *U-Turn* pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik lalu lintas di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado.
2. Menganalisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yang dikarenakan (*Shockwave*) akibat *U-Turn* di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado
3. Menganalisis panjang antrian yang terjadi akibat kendaraan yang melakukan *U-Turn* di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi solusi untuk mengurangi kemacetan di area yang sering digunakan untuk *U-Turn*.
2. Memandu perancangan dan pembaruan infrastruktur jalan, termasuk penempatan yang lebih tepat untuk titik *U-Turn* yang aman dan efisien.
3. Menjadi bahan referensi pengembangan dan penelitian selanjutnya.

2. Metode

2.1. Periode dan Lokasi Penelitian

1. Periode Penelitian

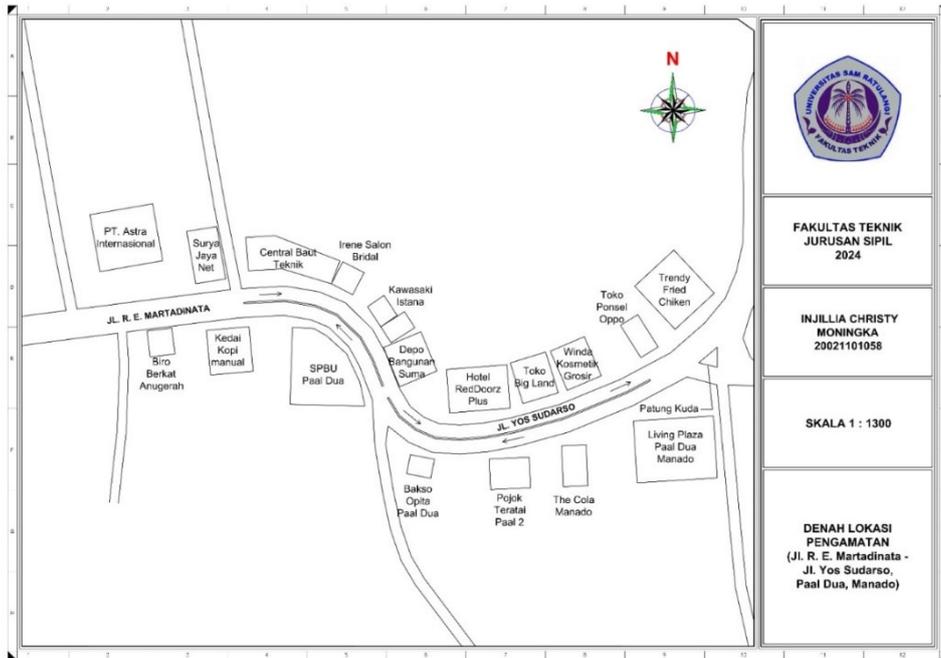
Periode penelitian lalu lintas dilakukan selama 3 (tiga) hari yaitu; Senin, Rabu, dan Jumat. Pengumpulan data dilakukan selama 12 jam mulai pukul 07.00 - 19.00 WITA dengan interval waktu selama 15 menit.

2. Lokasi Penelitian

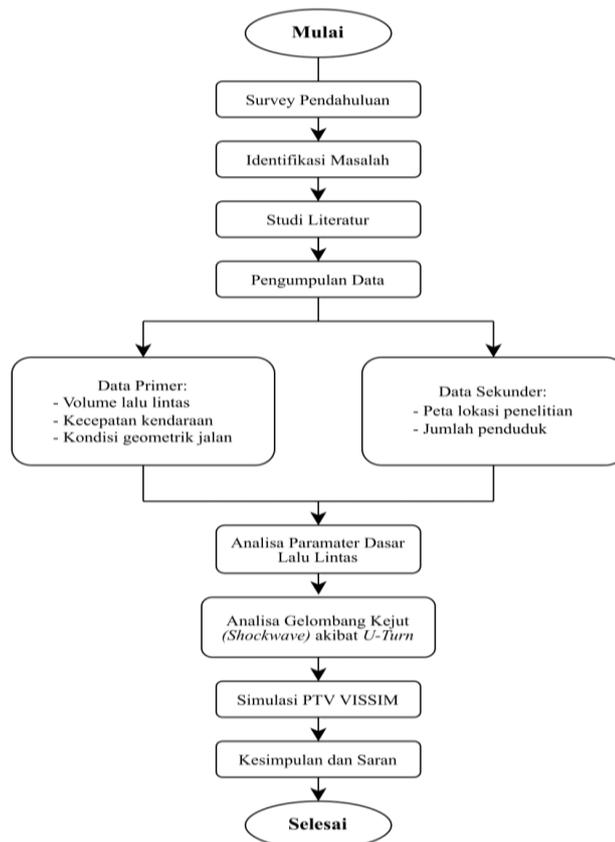
Lokasi penelitian dilaksanakan pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado dengan koordinat 1°29'12.5"N 124°51'34.4"E yang ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2. Bagan Alir Penelitian

Secara keseluruhan kegiatan penelitian ini dapat digambarkan kedalam bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

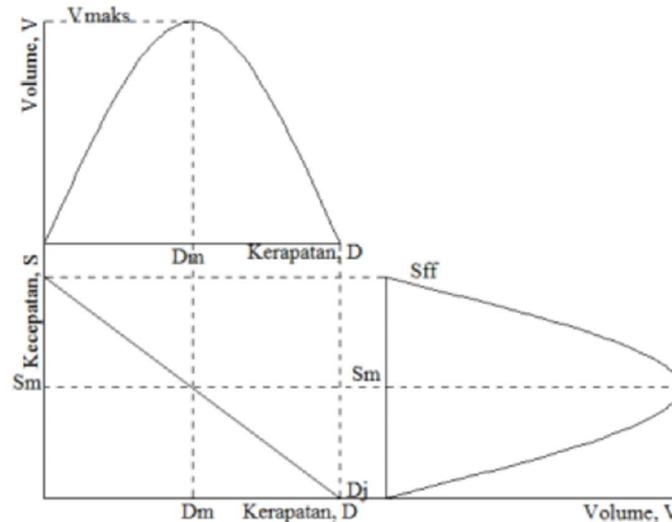
Analisis karakteristik lalu lintas dapat dilakukan jika hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan telah didapatkan. Hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat ditunjukkan pada Gambar 3 dan dinyatakan dalam persamaan

berikut:

$$V = D \cdot S$$

Dengan:

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



Gambar 3. Hubungan Matematis Antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Dengan:

- Vm = kapasitas atau volume maksimum (kend/jam)
- Dm = kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (kend/km)
- Dj = kepadatan pada kondisi volume lalu lintas macet total (kend/km)
- Sm = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (km/jam)
- Sff = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 atau kecepatan arus bebas (km/jam)

3.2. Analisa Regresi, Koefisien Korelasi, dan Koefisien Determinasi

Analisis regresi linier digunakan untuk mengidentifikasi persamaan yang dapat memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen, serta mengukur kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$y = A + Bx$$

Dengan:

- y = Variable dependent
- x = Variable independent
- A = Konstanta regresi
- B = Koefisien regresi

Dimana konstanta A dan B dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

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

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

Analisis regresi non linier adalah pendekatan yang digunakan ketika regresi linear tidak dapat ditemukan, yang bisa dilihat dari penyebaran titik-titik yang sangat berbeda dengan garis linear yang diharapkan dalam diagram, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$y = AB^x$$

Koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengukur hubungan antara variabel dependen dan variabel independen, atau antara variabel independen yang satu dengan yang lain. Koefisien korelasi (r) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$r = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{\sqrt{(n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2) \cdot (n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)}}$$

Koefisien determinasi (R^2) disebut juga dengan koefisien penentu sampel artinya menyatakan proporsi variasi dalam nilai y (peubah tidak bebas) yang disebabkan oleh hubungan linier dengan x (peubah bebas) berdasarkan persamaan (model matematis) regresi yang didapat. Angka koefisien determinasi akan digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter, dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$R^2 = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{(n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2) \cdot (n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)}$$

Dengan:

r = Nilai uji koefisien determinasi

X = Nilai dependen

Y = Nilai independen

n = Jumlah data

3.3. Model Greenshields

Greenshields merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan – Kepadatan diasumsikan linier seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$S = Sff - Sff / Dj \cdot D$$

Dengan:

S = Kecepatan (km/jam)

Sff = Kecepatan pada saat kondisi arus lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi Kepadatan mendekati 0 atau kecepatan arus bebas (km/jam)

Dj = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total (smp/km)

D = Kepadatan (smp/km)

3.4. Model Greenberg

Greenberg merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan – Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$D = C \cdot e^{bS}$$

Dimana: C dan b sebagai konstanta

3.5. Model Underwood

Underwood merumuskan bahwa hubungan matematis antaran Kecepatan – Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi eksponensial seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$S = Sff \cdot e^{-\frac{D}{DM}}$$

Dengan:

Sff = Kecepatan arus bebas(km/jam)

DM = Kepadatan pada kondisi arus maksimum/kapasitas (smp/jam)

3.6. Gelombang Kejut (Shockwave)

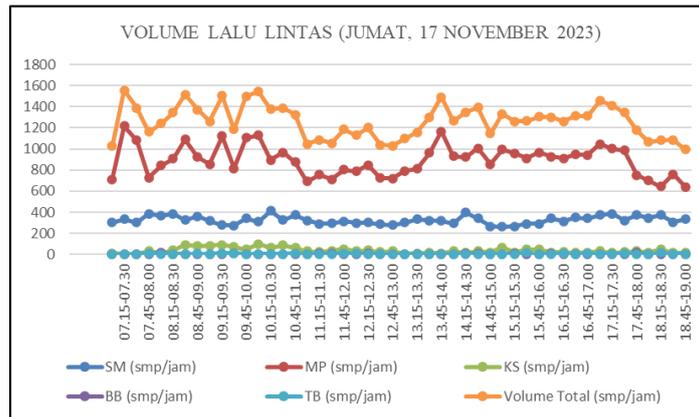
Gelombang Kejut (*Shockwave*) didefinisikan sebagai proses pergerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kepadatan dan volume lalu lintas. Gelombang Kejut terbentuk ketika arus lalu lintas mengalami hambatan yang menyebabkan penyempitan sehingga mengakibatkan terjadi antrian dan proses pemulihannya setelah arus lalu lintas tidak mengalami hambatan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Volume Lalu Lintas

Pengolahan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp) dilakukan dengan menghitung setiap kendaraan yang melalui titik/pos pengamatan pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 (PKJI 2014) untuk nilai ekivalensi yaitu sebagai berikut :

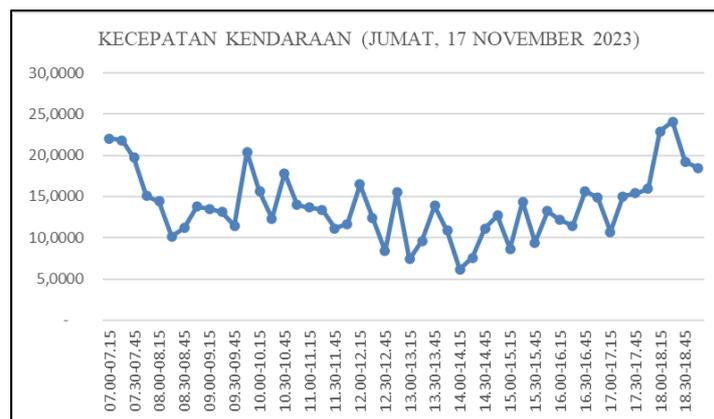
- Mobil Penumpang (MP) : 1,00
- Kendaraan Sedang (KS) : 1.2
- Sepeda Motor (SM) : 0.25



Gambar 4. Grafik Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas (Jumat, 17 November 2023)

Gambar 4 memperlihatkan grafik hasil perhitungan volume pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso untuk hari Jumat, 17 November 2023. Jam sibuk paling tinggi terdapat pada pukul 07:15 – 07:30 WITA yang ditunjukkan dengan volume total kendaraan mencapai 1555 smp/jam atau 388,75 smp/15’. Peningkatan arus lalu lintas disebabkan oleh banyaknya pergerakan kendaraan, terlebih di pagi hari adalah jam sibuk yang merupakan waktu memulai aktivitas.

4.2. Kecepatan Kendaraan



Gambar 5. Grafik Hasil Perhitungan Kecepatan Kendaraan (Jumat, 17 November 2023)

Gambar 5 memperlihatkan grafik hasil perhitungan kecepatan pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso untuk hari Jumat, 17 November 2023. Kecepatan paling rendah terjadi pada pukul 14:00 – 14:15 WITA yaitu 6,1527 km/jam sedangkan kecepatan paling tinggi terjadi pada pukul 18.15 – 18.30 WITA yaitu 24,0921 km/jam.

4.3. Kepadatan

Hasil perhitungan kepadatan (D) untuk hari Jumat, 17 November 2023 pada ruas Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kepadatan (Jumat, 17 November 2023)

Waktu	V (smp/j)	S (km/j)	D (smp/km)	Waktu	V smp/j	S (km/j)	D (smp/km)
07.00-07.15	1024,80	22,02	46,53	13.00-13.15	1099,60	7,42	148,14
07.15-07.30	1555,60	21,83	71,25	13.15-13.30	1156,80	9,63	120,16
07.30-07.45	1390,20	19,70	70,59	13.30-13.45	1300,60	13,88	93,70
07.45-08.00	1161,20	15,09	76,95	13.45-14.00	1492,80	10,84	137,68
08.00-08.15	1240,40	14,44	85,90	14.00-14.15	1263,20	6,15	205,31
08.15-08.30	1343,60	10,17	132,10	14.15-14.30	1347,60	7,57	178,09
08.30-08.45	1515,60	11,21	135,16	14.30-14.45	1393,60	11,15	124,96
08.45-09.00	1371,00	13,80	99,34	14.45-15.00	1147,80	12,68	90,50
09.00-09.15	1261,20	13,53	93,24	15.00-15.15	1331,60	8,66	153,74
09.15-09.30	1503,60	13,15	114,31	15.15-15.30	1259,80	14,39	87,52
09.30-09.45	1186,80	11,47	103,50	15.30-15.45	1263,80	9,41	134,34
09.45-10.00	1499,80	20,42	73,45	15.45-16.00	1304,80	13,23	98,65
10.00-10.15	1542,80	15,62	98,78	16.00-16.15	1301,80	12,17	106,94
10.15-10.30	1376,80	12,34	111,57	16.15-16.30	1261,00	11,45	110,12
10.30-10.45	1388,40	17,81	77,96	16.30-16.45	1313,60	15,66	83,88
10.45-11.00	1324,80	14,02	94,51	16.45-17.00	1314,80	14,84	88,58
11.00-11.15	1046,40	13,67	76,55	17.00-17.15	1456,20	10,68	136,29
11.15-11.30	1085,00	13,41	80,92	17.15-17.30	1410,60	15,02	93,95
11.30-11.45	1055,40	11,12	94,94	17.30-17.45	1346,00	15,42	87,28
11.45-12.00	1186,00	11,69	101,41	17.45-18.00	1177,20	15,95	73,80
12.00-12.15	1129,20	16,48	68,53	18.00-18.15	1067,80	22,89	46,65
12.15-12.30	1202,60	12,43	96,77	18.15-18.30	1080,80	24,09	44,86
12.30-12.45	1039,00	8,39	123,88	18.30-18.45	1084,60	19,22	56,44
12.45-13.00	1030,20	15,51	66,41	18.45-19.00	995,60	18,48	53,89

4.4. Greenshields

Hubungan matematis fungsi linear dapat dirumuskan menjadi $y = A + Bx$, dengan $S = y$ (variable dependent) dan $D = x$ (variable independent). Dari hasil survey diketahui nilai S dan D , dengan persamaan regresi linier parameter A dan B dapat dihitung. Perhitungan hubungan matematis model *Greenshields* untuk hari Jumat, 17 November 2023 dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = 24,85066$$

$$B = -0,110026$$

$$R^2 = 0,780914452$$

Sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

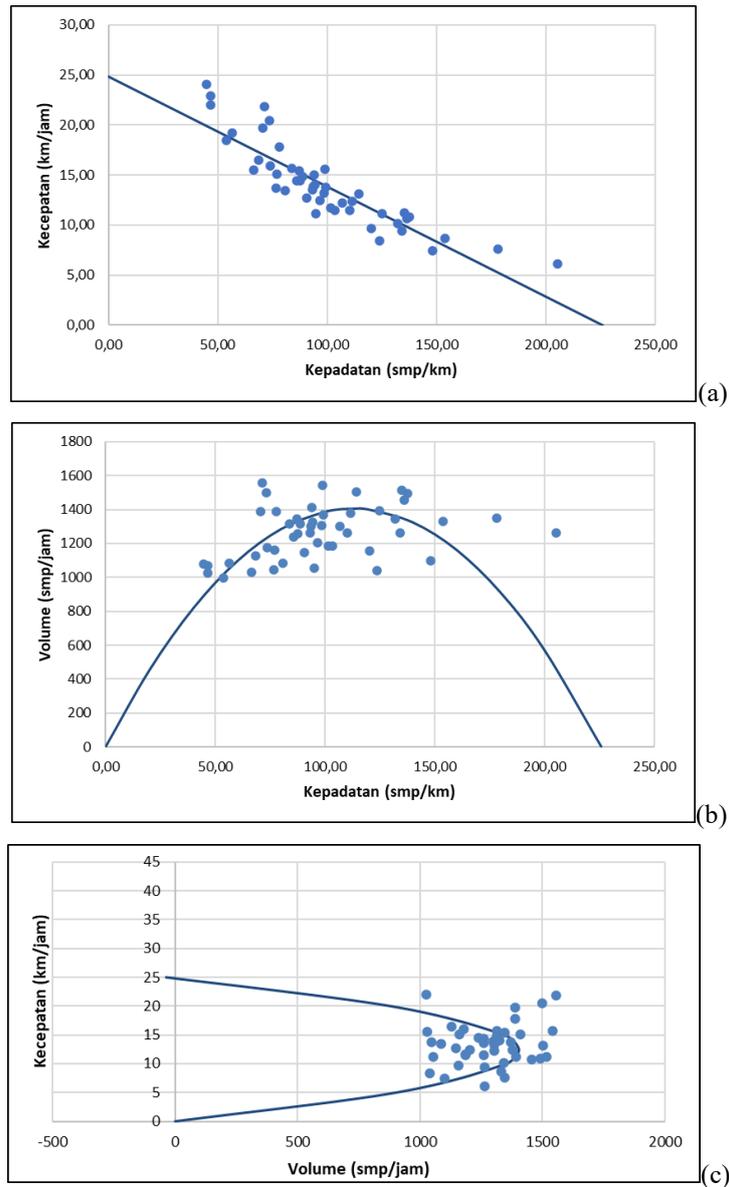
$$S_{ff} = A = 24,85066 \text{ km/jam}$$

$$SM = 12,42533 \text{ km/jam}$$

$$D_j = 225,861597 \text{ smp/km}$$

$$DM = 112,930799 \text{ smp/km}$$

$$VM = 1.403,202638 \text{ smp/jam}$$



Gambar 6. Grafik *Greenshields* (a) Hubungan S - D (b) Hubungan V - D (c) Hubungan V - S (Jumat, 17 November 2023)

4.5. Greenberg

Hubungan matematis fungsi linear dapat ditulis menjadi $y = A + Bx$, dengan $S = y$ (variable dependent) dan $\text{Log} \epsilon \cdot D = x$ (variable independent). Dari hasil survey diketahui nilai S dan D , dengan persamaan regresi linier parameter A dan B dapat dihitung. Perhitungan hubungan matematis model *Greenberg* untuk hari Jumat, 17 November 2023 dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = 65,83826909$$

$$B = -11,424$$

$$R^2 = 0,855355698$$

Sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

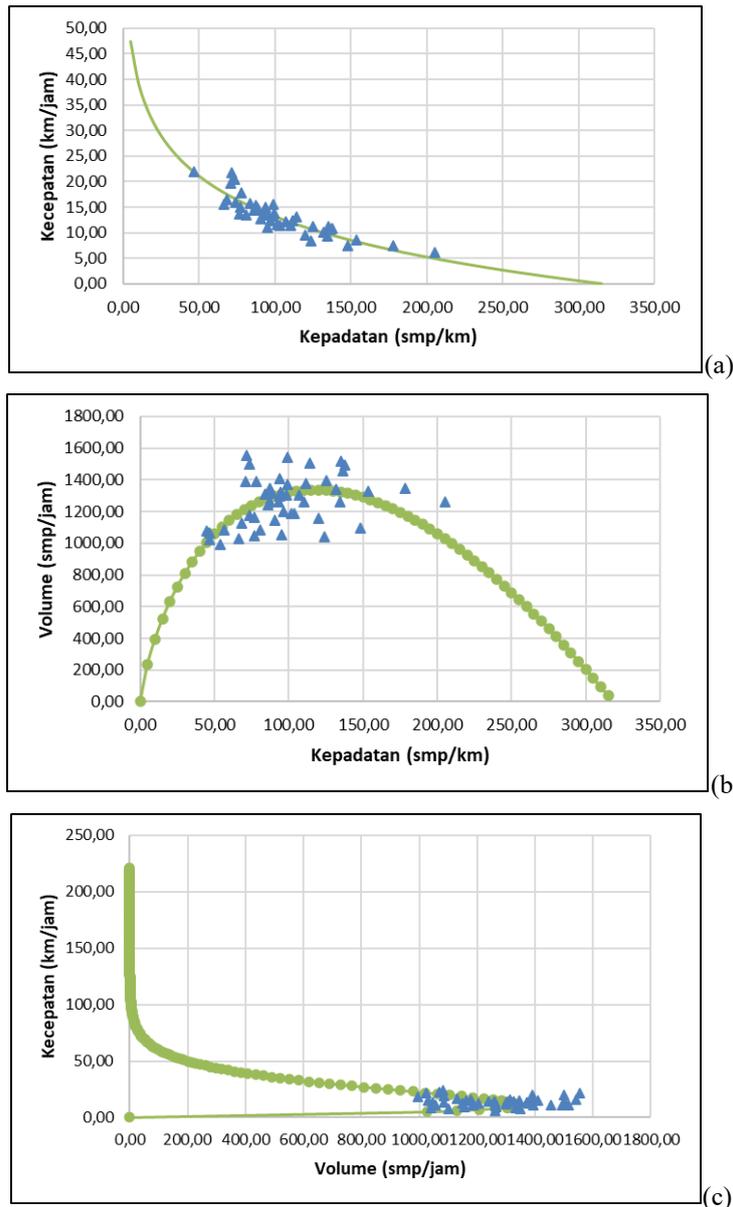
$$C = 318,3272069$$

$$b = -0,088$$

$$D_j = C = 318,3272069 \text{ smp/jam}$$

$$DM = 117,106035 \text{ smp/km}$$

SM = 11,424 km/jam
 VM = 1337,836522 smp/jam



Gambar 7. Grafik *Greenberg* (a) Hubungan S - D (b) Hubungan V - D (c) Hubungan V - S (Jumat, 17 November 2023)

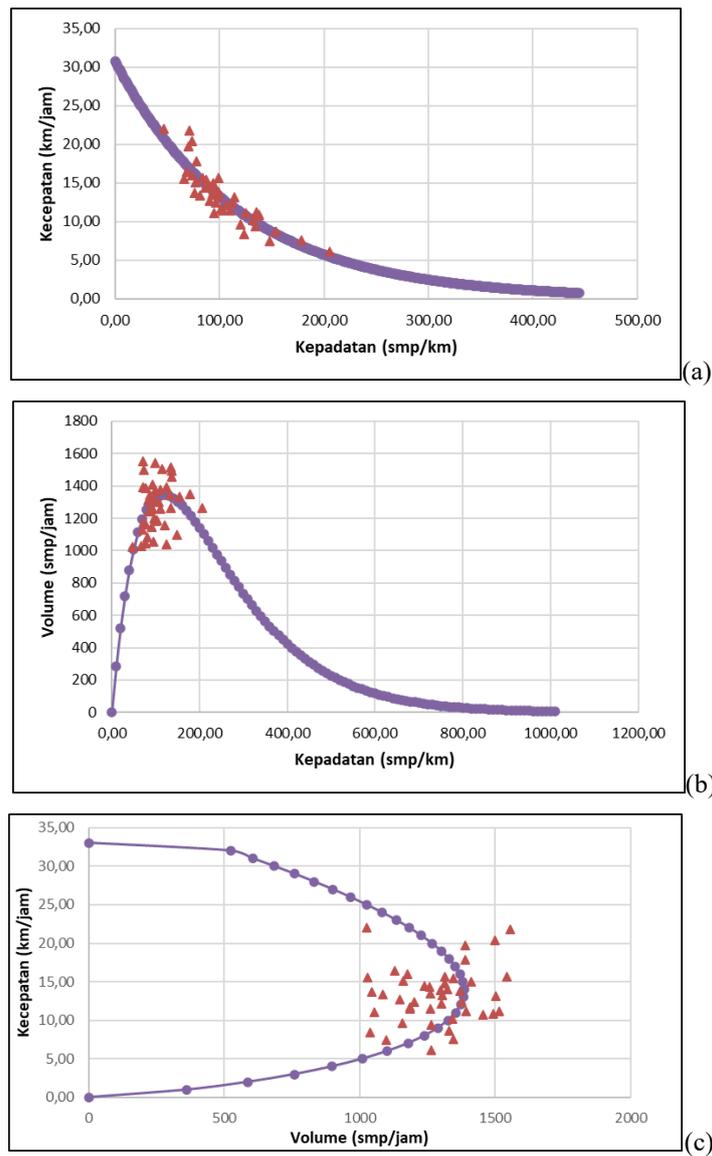
4.6. *Underwood*

Hubungan matematis fungsi linear dapat ditulis menjadi $y = A + Bx$, dengan mengasumsikan $\ln(S) = y$ (variable dependent) dan $D = x$ (variable independent). Dari hasil survey diketahui nilai S dan D, dengan persamaan regresi linier parameter A dan B dapat dihitung. Perhitungan hubungan matematis model *Underwood* untuk hari Jumat, 17 November 2023 dapat dihitung sebagai berikut:

A = 3,42702
 B = -0,008427
 $R^2 = 0,86184453$

Sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

Sff = 3,427
 SM = 1,261 km/jam
 DM = 118,6637785 smp/km
 VM = 199,5378275 smp/jam



Gambar 8. Grafik *Underwood* (a) Hubungan S - D (b) Hubungan V - D (c) Hubungan V - S (Jumat, 17 November 2023)

4.7. Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Tabel 2. Hubungan Matematis Antara Volume, Kecepatan, Kepadatan Untuk Model Greenshields, Greenberg, dan Underwood (Jumat, 17 November 2023)

Model	<i>Greenshields</i>	<i>Greenberg</i>	<i>Underwood</i>
S-D	$S = 24,850 - 0,1100 D$	$S = 65,838 - 11,424 \ln D$	$\ln S = 1,23169 - 0,008427 D$
V-D	$V = 24,850 - 0,1100 D^2$	$V = 65,838 D - 11,424 D \ln D$	$V = 3,427 D - e^{-0,008427 D}$
V-S	$V = 225,861 S - 9,088 S^2$	$V = 318,327 S \cdot e^{-0,087 S}$	$V = 146,157 S - 118,6638 S \ln S$

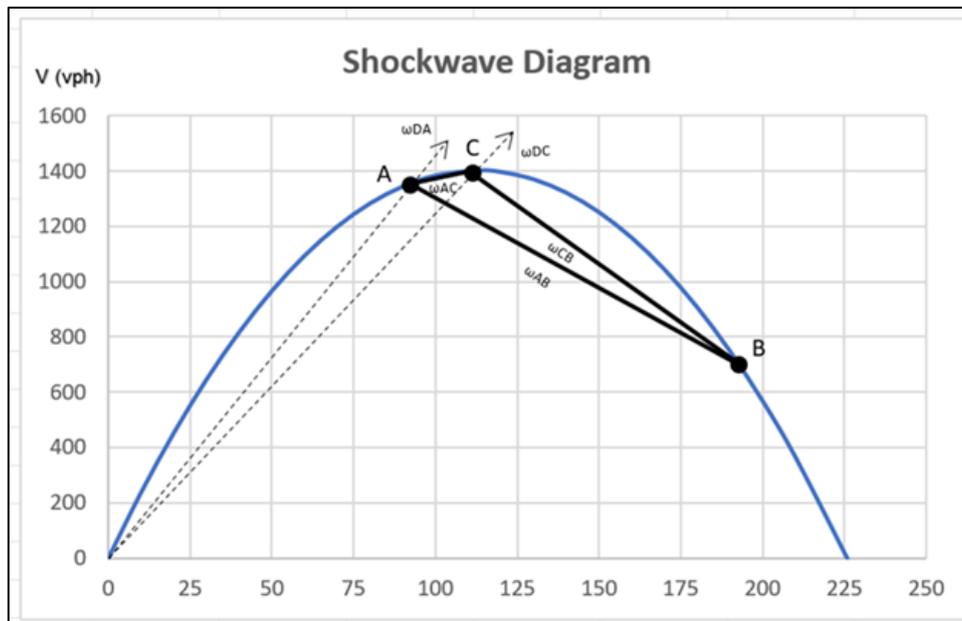
Tabel 3. Hasil Analisa Regresi (Jumat, 17 November 2023)

	R ²	A	B
Linear	0,780914452	24,8506635	-0,110026068
Logarithmic	0,855355698	65,83826909	-11,42414669
Exponential	0,86184453	3,427024519	-0,008427171

4.8. Gelombang Kejut (Shockwave)

Gelombang Kejut (*Shockwave*) pada ruas Jl. R E Martadinata - Jl. Yos Sudarso dapat dianalisis ketika diperoleh hubungan matematis antara Volume – Kepadatan. Perhitungan Gelombang Kejut (*Shockwave*) menggunakan analisis hubungan matematis Volume – Kepadatan titik *U-Turn* pertama yang dipilih dari salah satu tiga titik *U-Turn* dengan Koefisien Determinasi (R^2) tertinggi dari tiga hari survey.

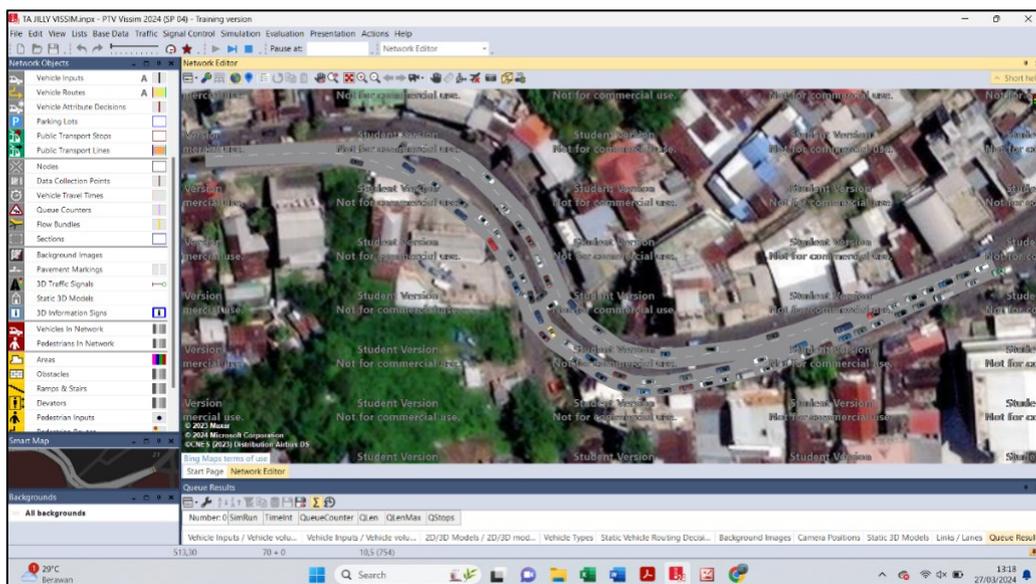
Angka Koefisien Determinasi (R^2) tertinggi diperoleh pada hari Jumat, 17 November 2023 dengan nilai $R^2 = 0,780914452$ dengan Model *Greenshields* yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva Gelombang Kejut: $V = 24,8506635 D - 0,110026 D^2$

4.9. Simulasi Karakteristik Arus Lalu Lintas

Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* PTV VISSIM yang dapat menggambarkan situasi di mana terjadi kemacetan lalu lintas yang cukup signifikan di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado.



Gambar 10. Simulasi Lalu Lintas Menggunakan *Software* PTV VISSIM

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil survey dari tiga hari penelitian di Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado maka dapat disimpulkan:

1. Volume tertinggi untuk Jl. R E Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado terdapat pada hari Jumat, 17 November 2023 mencapai 1556 smp/jam pada pukul 07:15 – 07:30 WITA, sedangkan untuk kecepatan terendah yaitu 6,1527 km/jam pada pukul 14:00 – 14:15 WITA WITA.
2. Hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yang dikarenakan (*Shockwave*) akibat *U-Turn* di Jl. R E. Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado dapat disimpulkan bahwa angka koefisien determinasi tertinggi didapati sebesar 0,780914452 ($R^2 = 0,780914452$) pada hari Jumat, 17 November 2023 menggunakan model Greenshields.
3. Panjang antrian yang terjadi akibat kendaraan yang melakukan *U-Turn* di Jl. Martadinata – Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado untuk variasi nilai r selama 60 detik didapatkan panjang antrian mencapai 434,79 meter.

Referensi

- Adam, Octaviani Litwina. "Analisa Gelombang Kejut Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Jalan Walanda Maramis Bitung." *Jurnal Ilmiah Media*, 2013.
- Direktorat Jendral Bina Marga (2005). "Pedoman Perencanaan Putaran Balik (*U-Turn*)".
- Direktorat Jendral Bina Marga (2014). "Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)".
- Haryadi, D., Tajudin, I., dan Muchlisin, 2017, Modul Pembelajaran *Traffic Micro-Simulation Program* PTV Vissim 9, Laboratorium Transportasi Dan Jalan Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Kasenda, Natalia Diane, James A. Timboeleng, and Freddy Jansen. "Analisa Gelombang Kejut dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas di Jalan Sarapung Manado." *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 3, no. 2 (2013).
- Kementerian Pekerjaan Umum. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. 2014.
- Kurniawan, Ronny. Karakteristik Gelombang Kejut (*Shockwave*) Pada Persimpangan Bersignal (Studi Kasus: Simpang Bersignal Jalan Martadinata). Manado: Universitas Sam Ratulangi, 2006.
- Lefrandt, L.I.R., 2012. Kapasitas Dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Piere Tendeand Manado Pada Kondisi Arus Lalu Lintas Satu Arah. Tekno-Sipil Vol 10. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Michael, Greggy, James A. Timboeleng, And Samuel Yr Rompis. "Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi - Jl. Babe Palar)." *Jurnal Sipil Statik* 8, No. 6 (2020).
- Siongke, Margetty RC, Samuel YR Rompis, and Audie LE Rumayar. "Analisa Karakteristik Gelombang Kejut Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado)." *TEKNO* 21, no. 84 (2023): 481-492.
- Sirenden, Abia Appu, Audie LE Rumayar, and Meike M. Kumaat. "Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Yos Sudarso–Jl. Maesa)." *TEKNO* 21, no. 83 (2023): 107-116.
- Rompis, Samuel YR. "*Traffic Flow Model and (Shockwave) Analysis.*" *Jurnal Sipil Statik* 6, no. 1 (2018).