

PENGARUH PENYEMPITAN JALAN TERHADAP KARAKTERISTIK LALU LINTAS (STUDI KASUS: JALAN WOLTER MONGINSIDI, MALALAYANG II, KOTA MANADO)

Brilia

Semuel Y. R. Rompis, Longdong Jefferson

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: briliapoluan@gmail.com

ABSTRAK

Pergerakan masyarakat yang terjadi di Kota Manado semakin meningkat seiring dengan perkembangan yang ada hingga menyebabkan meningkatnya arus lalu lintas. Salah satu permasalahan yang mempengaruhi kondisi lalu lintas yaitu adanya penyempitan jalan, seperti pada ruas Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado. Pada lokasi tersebut sering terjadi kemacetan lalu lintas sehingga menyebabkan antrian panjang terutama pada jam-jam sibuk.

Data parameter lalu lintas volume dan kecepatan kendaraan diambil langsung dari lokasi penelitian, kemudian dihitung nilai kepadatan untuk membentuk model hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan. Model hubungan matematis yang digunakan untuk analisis data yaitu, Greenshields, Greenberg dan Underwood, model terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi untuk digunakan dalam analisis gelombang kejut.

Model terpilih untuk kondisi jalan normal dan menyempit adalah model Greenshields dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada jalan normal sebesar 72.44% dan pada jalan menyempit 89.73%. Dari model hubungan matematis yang ada diperoleh nilai volume maksimum (V_m) dan kepadatan maksimum (D_m) untuk kondisi jalan normal $V_m = 1594.138$ smp/jam ; $D_m = 95.498$ smp/km dan pada kondisi menyempit $V_m = 759.057$ smp/jam ; $D_m = 50.744$ smp/km. Nilai gelombang kejut yang didapat $\omega_{AB} = -1.692$ km/jam ; $\omega_{CB} = -12.102$ km/jam ; $\omega_{EF} = -14.948$ km/jam dan $\omega_{AC} = 10.414$ km/jam.

Potensi panjang antrian akibat penyempitan jalan menyebabkan panjang antrian maksimum (Q_M) kendaraan sepanjang 158.99meter dan setiap bertambah 5 menit kondisi volume jalan normal lebih besar dari volume maksimum jalan menyempit, maka panjang antrian juga bertambah sebesar 159 meter

Kata Kunci: *Penyempitan Jalan, Gelombang Kejut, Karakteristik Lalu Lintas*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Manado adalah ibu kota provinsi Sulawesi Utara yang merupakan pusat kegiatan perekonomian, pendidikan bahkan kegiatan lainnya. Pergerakan masyarakat yang terjadi di Kota Manado semakin meningkat seiring dengan perkembangan yang ada hingga menyebabkan meningkatnya arus lalu lintas.

Salah satu permasalahan yang mempengaruhi kondisi lalu lintas yaitu, akibat adanya penyempitan jalan. Penyempitan jalan merupakan kondisi dimana terjadi perbedaan kapasitas jalan sebelum dan sesudah penyempitan, sehingga pada kondisi seperti ini terjadi antrian yang diakibatkan karena adanya perubahan arus, kecepatan, dan kepadatan.

Kondisi jalan seperti ini terjadi di ruas Jl. Wolter Monginsidi. Ruas jalan ini merupakan jalan yang menghubungkan Kota Manado dengan Kabupaten Minahasa dan merupakan akses transportasi yang menghubungkan antar provinsi yang pada umumnya harus melayani arus lalu lintas yang besar. Jl. Wolter Monginsidi juga merupakan salah satu kawasan komersil yang sering dikunjungi masyarakat, namun pada saat ini dengan adanya penyempitan jalan di ruas Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II arah ke Kabupaten Minahasa maka, kecepatan kendaraan secara tidak langsung berkurang karena adanya pengurangan lajur dari 2 lajur menyempit menjadi 1 lajur.

Pengurangan lajur pada ruas jalan ini mengakibatkan kepadatan lalu lintas meningkat sehingga, menimbulkan antrian karena kecepatan

akan menurun saat memasuki lokasi jalan menyempit. Informasi mengenai potensi panjang antrian sangat diperlukan untuk manajemen lalu lintas yang baik.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pertanyaan yang hendak dijawab dalam penelitian ini yaitu, bagaimana pengaruh penyempitan jalan terhadap volume, kecepatan dan kepadatan pada ruas Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui karakteristik lalu lintas pada lokasi penelitian di ruas jalan normal dan jalan menyempit
2. Mengetahui hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan akibat adanya penyempitan jalan di Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado (arah ke Kabupaten Minahasa)
3. Mengetahui kapasitas dan kepadatan yang terjadi pada kondisi jalan normal dan jalan menyempit
4. Mengetahui potensi panjang antrian akibat penyempitan jalan pada ruas Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado (arah ke Kabupaten Minahasa)

Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan manfaat yang bisa didapat yaitu:

1. Menjadi masukan bagi pemerintah dalam merencanakan dan mengatur lalu lintas agar lebih efektif
2. Dapat menambah pengetahuan pada bidang teknik sipil khususnya dalam bidang transportasi
3. Dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai pengaruh penyempitan jalan

Batasan Masalah

Mengingat adanya keterbatasan waktu, tenaga, serta biaya maka lingkup permasalahan dalam penelitian ini dibatasi oleh:

1. Lokasi penelitian pada ruas Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado (arah ke Kabupaten Minahasa)
2. Jalan keluar masuk terminal diabaikan
3. Parameter yang diukur adalah volume dan kecepatan

4. Analisis data untuk hubungan volume, kecepatan dan kepadatan menggunakan model Greenshield, Greenberg dan Underwood
5. Analisis gelombang kejut berdasarkan pada model terpilih

LANDASAN TEORI

Bottleneck (Penyempitan Jalan)

Bottleneck merupakan kondisi suatu jalan yang mengalami penyempitan sehingga kapasitas lalu lintas sesudahnya lebih kecil dari sebelumnya. (Indrajaya, 2002)

Karakteristik Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas merupakan fenomena yang kompleks, pada saat arus lalu lintas meningkat pada umumnya kecepatan akan menurun. Karakteristik utama arus lalu lintas yang digunakan untuk menjelaskan karakteristik lalu lintas adalah, kecepatan (*v*), volume (*q*), dan kepadatan (*k*).

Volume

Volume adalah total jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan atau segmen jalan pada ruas jalan selama interval waktu pengamatan, biasa dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam atau kendaraan/hari.

Kecepatan

Kecepatan merupakan tingkat pergerakan dalam suatu jarak tertentu dengan satu satuan waktu km/jam. Tiap kendaraan berjalan dengan kecepatan yang berbeda, maka dalam perhitungannya kecepatan rata-rata dibedakan menjadi dua, yaitu Time Mean speed (TMS) dan Space Mean Speed (SMS). Kecepatan tempuh rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan (1)

$$s = \frac{n.L}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots (1)$$

dimana:

- S= kecepatan rata-rata (km/jam)
- L= panjang segmen jalan (km)
- N= jumlah kendaraan yang diamati
- t= waktu tempuh kendaraan (jam)

Kepadatan

Kepadatan merupakan jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur tertentu. Kepadatan dapat diperoleh melalui foto di udara, tetapi pada umumnya dihitung dengan

menggunakan persamaan (2) apabila kecepatan dan tingkat arus diketahui.

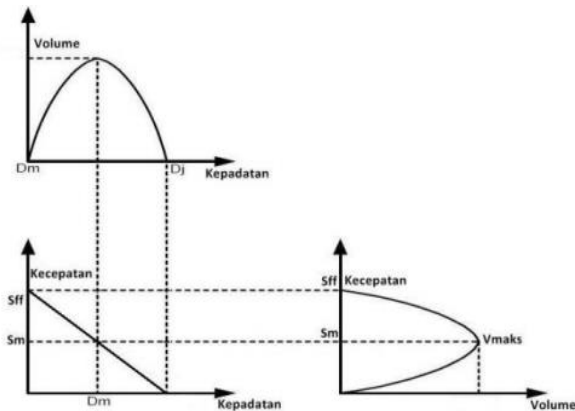
$$D = \frac{V}{S} \dots\dots (2)$$

dimana:

- D= kepadatan lalu lintas (smp/km)
- V= volume lalu lintas (smp/jam)
- S= kecepatan kendaraan (km/jam)

Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Volume, kecepatan dan kepadatan merupakan tiga parameter dalam aliran lalu lintas untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas. Hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut, dinyatakan dalam persamaan (3)



Gambar 1. Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Sumber: MGH, Bell et al., 1997

$$V = D.S \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- Vmaks= kapasitas atau volume maksimum (kend/jam)
- Sm = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum(km/jam)
- Dm = Kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (kend/jam)
- Dj = Kepadatan pada kondisi volume lalu lintas macet total
- SFF = Kecepatan pada saat kondisi volume lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati nol (0).

Dalam menentukan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut dapat digunakan 3 model berikut:

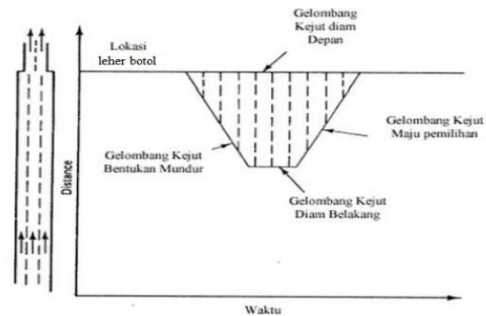
1. Model Greenshield
2. Model Greenberg
3. Model Underwood

Analisa Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas yang merupakan dasar dari penentuan panjang antrian dan waktu penormalan yang diakibatkan oleh adanya hambatan.

Gelombang Kejut pada Jalan Menyempit

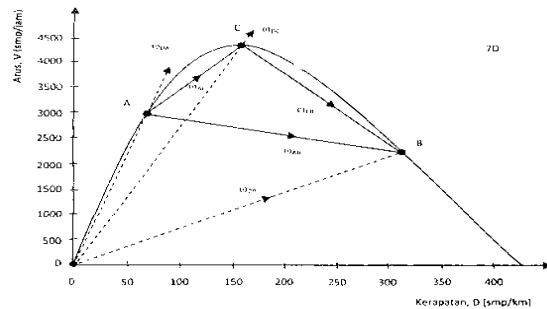
Gelombang kejut pada penyempitan jalan dimulai ketika arus lalulintas mengalami hambatan yang menyebabkan penyempitan atau efek leher botol (*bottleneck*) sehingga mengakibatkan terjadi antrian dan proses pemulihannya setelah arus lalulintas tidak mengalami hambatan (Tamin, 2003).



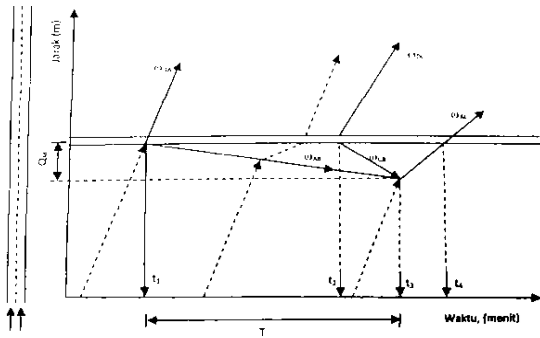
Gambar 2. Gelombang Kejut Pada Jalan Menyempit
Sumber: May, 1990

Nilai Gelombang Kejut pada Jalan Menyempit

Gambar 3 merupakan contoh kurva arus-kepadatan dengan titik tinjauan A, B, C, dan D. Keadaan arus lalu lintas pada kondisi A merupakan arus lalu lintas ketika akan memasuki kondisi B yang merupakan kondisi arus lalu lintas yang sedang mengalami hambatan. Kondisi C adalah volume lalu lintas maksimum yang melalui ruas tinjauan, yang diperoleh sesuai dengan kurva volume-kepadatan. Gambar 4 Merupakan diagram jarak-waktu dimana kemiringan garis mewakili kecepatan kendaraan.



Gambar 3. Gelombang Kejut Pada Penyempitan Jalan (Arus-Kepadatan)
Sumber: Tamin, 2003



Gambar 4. Gelombang Kejut Pada Penyempitan Jalan (Jarak-Waktu)
Sumber: Tamin, 2003

Analisa Persamaan Regresi

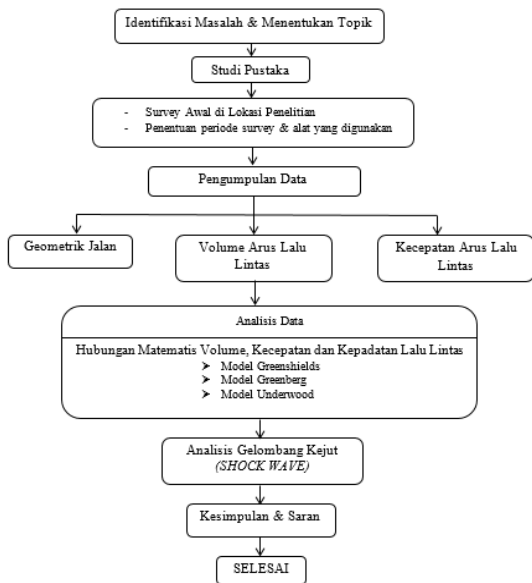
Analisa yang sering dipakai untuk mengolah volume lalu lintas dalam menentukan karakteristik kecepatan dan kepadatan adalah analisa regresi linier

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (r^2) atau koefisien penentu sampel menyatakan proporsi variasi dalam nilai y yang disebabkan oleh hubungan linier dengan x berdasarkan persamaan (model matematis) regresi yang didapat.

METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar, penelitian yang dilakukan seperti pada gambar 5



Gambar 5. Bagan Air Penelitian

Pengolahan Data

Dari hasil pengambilan data volume dan kecepatan yang di dapat pada kondisi jalan normal dan kondisi jalan menyempit maka dapat dihitung kepadatan kedua kondisi jalan tersebut, selanjutnya setelah ketiga variabel tersebut diketahui maka dapat dihitung hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan (*diagram fundamental*) yang didalamnya terdapat tiga model, yaitu Model Greenshield, Model Greenberg dan Model Underwood. Dari hasil hubungan matematis tersebut akan didapat model yang nantinya dipakai sebagai dasar perhitungan gelombang kejut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

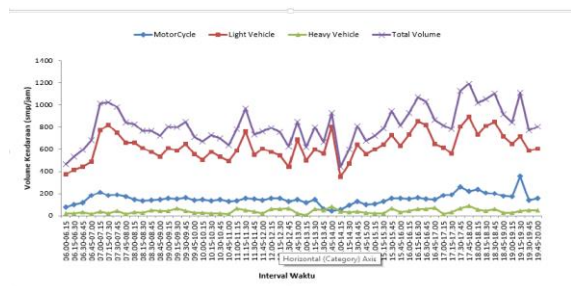
Perhitungan Volume Kendaraan

Pengambilan data volume lalu lintas di Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II dilakukan selama 4 hari pada dua kondisi jalan dengan interval waktu 15 menit selama 14 jam per hari. Untuk mendapatkan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp), maka data volume kendaraan hasil survey tiap interval 15 menit harus dikalikan dengan faktor ekivalensi (emp) untuk setiap jenis kendaraan kemudian di jumlahkan, maka diperoleh volume lalu lintas tiap 15 menit.

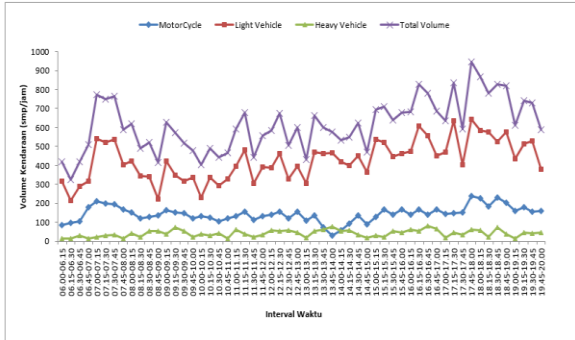
Tabel 1. Volume Kendaraan Kondisi Jalan Normal dan Kondisi Jalan Menyempit Pada Jam Sibuk

Hari	Kondisi Jalan	Pagi		Siang		Malam	
		Waktu	Volume smp/jam	Waktu	Volume smp/jam	Waktu	Volume smp/jam
Jumat, 8 Maret 2019	Normal	08.00-08.15	845.4	14.45-15.00	935	17.00-17.15	1164
	Menyempit	08.00-08.15	667.2	14.45-15.00	636.8	17.00-17.15	892.8
Sabtu, 9 Maret 2019	Normal	09.30-09.45	951.2	14.00-14.15	968	18.45-19.00	1206.6
	Menyempit	09.30-09.45	747	14.00-14.15	619.2	18.45-19.00	685.6
Minggu, 10 Maret 2019	Normal	10.45-11.00	835.2	13.15-13.30	975	15.30-15.45	976.2
	Menyempit	10.45-11.00	601.6	13.15-13.30	962.8	15.30-15.45	855.4
Senin, 11 Maret 2019	Normal	07.15-07.30	1021.2	11.15-11.30	963	17.45-18.00	1192.4
	Menyempit	07.15-07.30	748.8	11.15-11.30	679.4	17.45-18.00	946.4

Sumber: Hasil Analisis, 2019



Grafik 1. Volume Kendaraan Jalan Normal

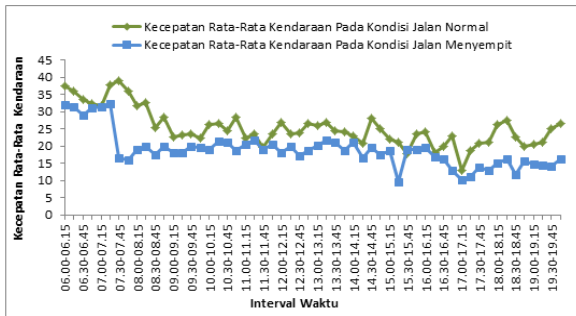


Grafik 2. Volume Kendaraan Jalan Menyempit

Perhitungan Kecepatan Kendaraan

Dari hasil survey kecepatan rata-rata kendaraan diambil data pada kedua kondisi jalan sebanyak 15 sampel, sepanjang 50 meter tiap interval waktu 15 menit dalam satuan meter/detik, kemudian dikonversikan dalam km/jam.

Grafik 3 merupakan contoh hasil perhitungan kecepatan rata-rata yang menunjukkan variasi kecepatan kendaraan pada kondisi jalan normal dan kondisi jalan menyempit



Grafik 3. Kecepatan Kendaraan Jalan Normal dan Menyempit

Perhitungan Kecepatan Kendaraan

Kepadatan dihitung dengan membagi volume lalu lintas dengan kecepatan rata-rata, dengan menggunakan rumus:

$$D = \frac{V}{S}$$

Tabel 2. Kepadatan Maksimum Pada Kondisi Jalan Normal Dan Kondisi Jalan Menyempit

Hari	Kepadatan (smp/km)	
	Jalan Normal	Jalan Menyempit
Jumat, 8 Maret 2019	89.193	86.945
Sabtu, 9 Maret 2019	62.118	68.458
Minggu, 10 Maret 2019	198.342	111.016
Senin, 11 Maret 2019	195.957	246.764

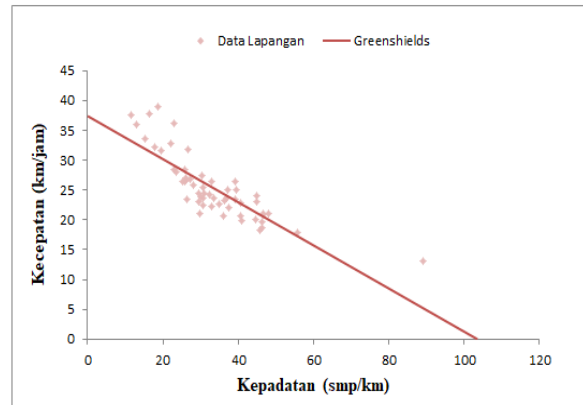
Kepadatan maksimum tertinggi yang terjadi berdasarkan Tabel 2 pada jalan normal terdapat pada hari Senin dengan kepadatan 195,957 smp/km dan pada jalan menyempit kepadatan tertinggi juga terjadi pada hari Senin sebesar 246,764 smp/km.

Model Greenshields

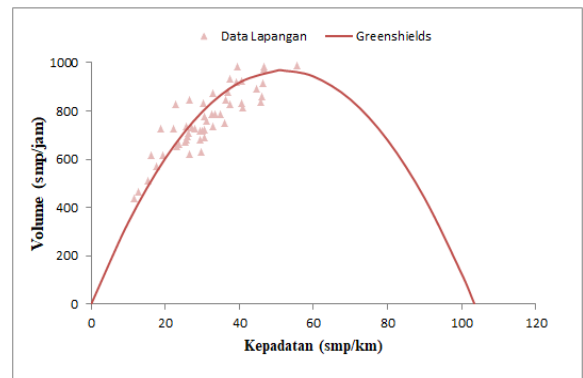
Greenshield merumuskan bahwa hubungan matematis kecepatan dan kepadatan diasumsikan linier

Tabel 3. Hasil Perhitungan Model Greenshields

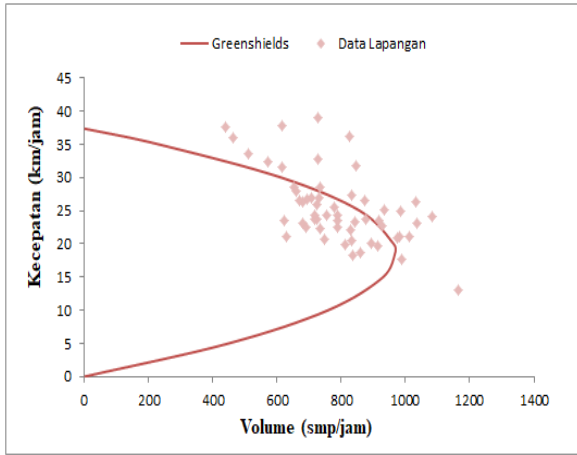
Jumat, 8 Maret 2019	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	37.403	28.424
B	-0.361	-0.250
Dj (smp/km)	103.499	113.865
Sff (km/jam)	37.403	28.424
D-S	S = 37.403 - 0.361 D	S = 28.424 - 0.250 D
D-V	V = 37.403 D - 0.361D ²	V = 28.424 D - 0.250 D ²
S-V	V = 103.499 S - 2.767 S ²	V = 113.865 S - 4.006 S ²



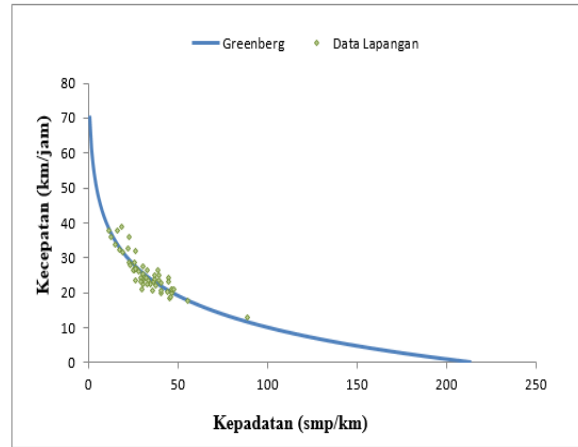
Grafik 4. Hubungan Kepadatan-Kecepatan pada jalan normal Model Greenshield hari Jumat, 8 Maret 2019



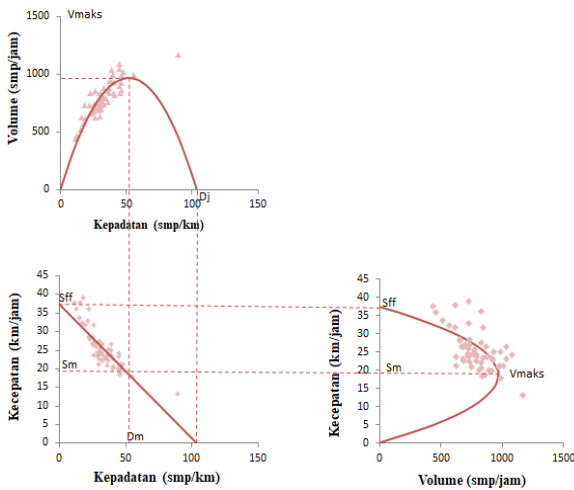
Grafik 5. Hubungan Kepadatan-Volume pada jalan normal Model Greenshield hari Jumat, 8 Maret 2019



Grafik 6. Hubungan Kecepatan-Volume pada jalan normal Model Greenshield hari Jumat, 8 Maret 2019



Grafik 7. Hubungan Kecepatan-Kepadatan pada jalan normal Model Greenberg hari Jumat, 8 Maret 2019



Gambar 6. Bentuk Umum Hubungan Volume, kecepatan dan Kepadatan Model Greenshields Pada Kondisi Jalan Normal (Jumat, 8 Maret 2019)
Sumber: Hasil Analisis, 2019

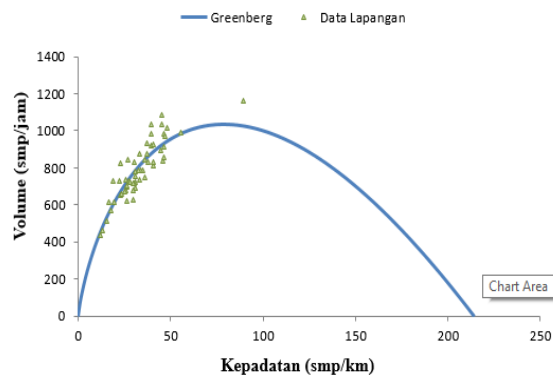
Model Greenberg

Greenberg merumuskan bahwa hubungan matematis kecepatan dan kepadatan bukan merupakan fungsi linier tetapi fungsi logaritmik.

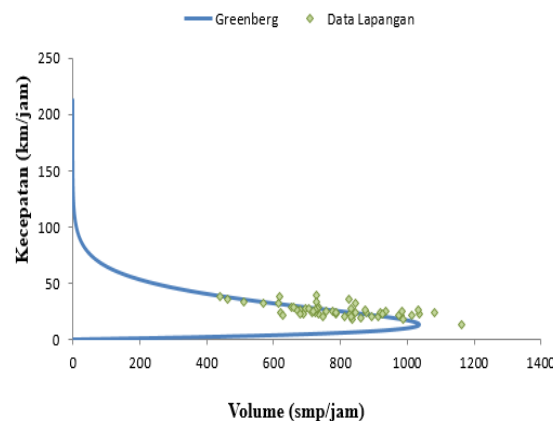
Tabel 4. Hasil Perhitungan Model Greenberg

Jumat, 8 Maret 2019	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	70.674	57.585
B	-13.17	-10.91
Dj (smp/km)	214.067	196.014
D-S	$S = 70.674 D - 13.17 \text{ Ln}D$	$S = 57.585 - 10.91 \text{ Ln}D$
D-V	$V = 70.674 D - 13.17 D \text{ Ln}D$	$V = 57.585 D - 10.91 D \text{ Ln}D$
S-V	$V = 214.067 S \times e^{-0.076S}$	$V = 196.014 S \times e^{-0.091S}$

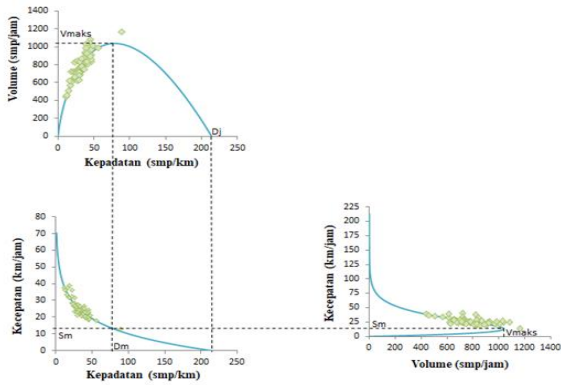
Sumber: Hasil Analisis, 2019



Grafik 8. Hubungan Kepadatan-Volume pada jalan normal Model Greenberg hari Jumat, 8 Maret 2019



Grafik 9. Hubungan Kecepatan-Volume pada jalan normal Model Greenberg hari Jumat, 8 Maret 2019



Gambar 7. Bentuk Umum Hubungan Volume, kecepatan dan Kepadatan Model Greenberg Pada Kondisi Jalan Normal (Jumat, 8 Maret 2019)
Sumber: Hasil Analisis, 2019

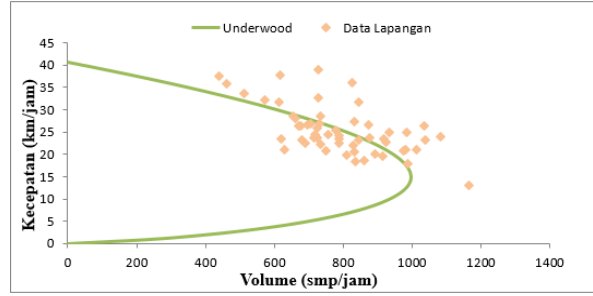
Model Underwood

Underwood merumuskan bahwa hubungan matematis kecepatan dan kepadatan diasumsikan eksponensial

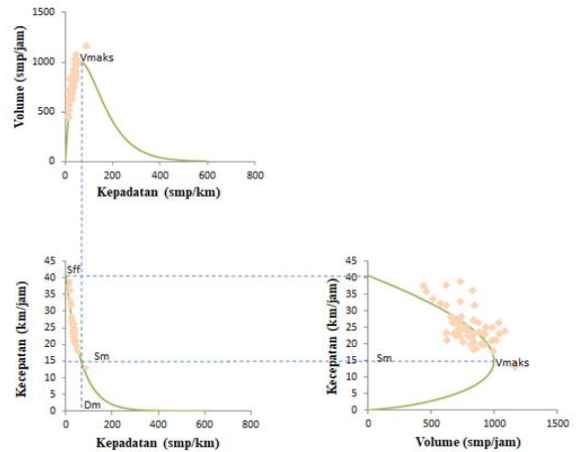
Tabel 5. Hasil Perhitungan Model Underwood

Jumat, 8 Maret 2019	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	3.705	3.430
B	-0.015	-0.014
Sff (km/jam)	40.644	30.878
D-S	$\text{Ln}S = 3.705 - 0.015 D$	$\text{Ln}S = 3.430 - 0.014 D$
D-V	$V = 40.644 D \times e^{-0.015 D}$	$V = 30.787 D \times e^{-0.014 D}$
S-V	$V = 246.990 S - 66.67 S \text{ Ln} S$	$V = 245.003 S - 71.43 S \text{ Ln} S$

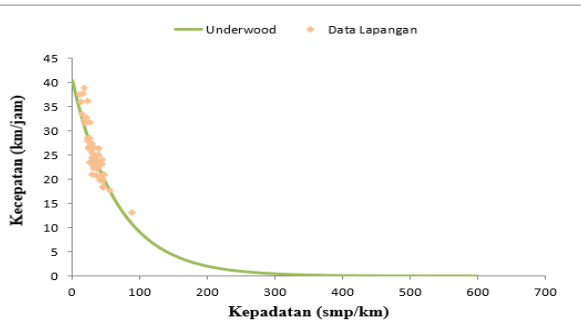
Sumber: Hasil Analisis, 2019



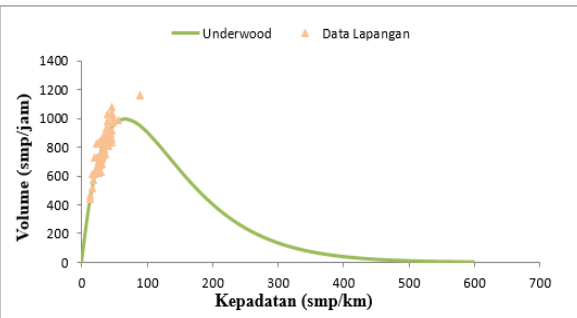
Grafik 12. Hubungan Kecepatan-Volume pada jalan normal Model Underwood hari Jumat, 8 Maret 2019



Gambar 8. Bentuk Umum Hubungan Volume, kecepatan dan Kepadatan Model Underwood Pada Kondisi Jalan Normal (Jumat, 8 Maret 2019)
Sumber: Hasil Analisis, 2019



Grafik 10. Hubungan Kecepatan-Kepadatan pada jalan normal Model Underwood hari Jumat, 8 Maret 2019



Grafik 11. Hubungan Kepadatan-Volume pada jalan normal Model Underwood hari Jumat, 8 Maret 2019

Tabel 6. Rekapitulasi Hubungan Matematis Antar Parameter Hari Jumat, 8 Maret 2019

Jenis Model	Kondisi Jalan	Hubungan Matematis Antar Parameter		
		D-S	D-V	S-V
Greenshields	Normal	$S = 37.403 - 0.361 D$	$V = 37.403 D - 0.3601 D^2$	$V = 103.499 S - 2.767 S^2$
	Menyempit	$S = 28.424 - 0.249627 D$	$V = 28.424 D - 0.249627 D^2$	$V = 113.865 S - 4.005983 S^2$
Greenberg	Normal	$S = 70.674 D - 13.17 \text{ Ln} D$	$V = 70.674 D - 13.17 D \text{ Ln} D$	$V = 214.067 S \times e^{-0.076 S}$
	Menyempit	$S = 57.585 - 10.91 \text{ Ln} D$	$V = 57.585 D - 10.91 D \text{ Ln} D$	$V = 196.014 S \times e^{-0.091 S}$
Underwood	Normal	$\text{Ln}S = 3.7049 - 0.015 D$	$V = 40.644 D \times e^{-0.015 D}$	$V = 246.99 S - 66.67 S \text{ Ln} S$
	Menyempit	$\text{Ln}S = 3.43004 - 0.014 D$	$V = 30.787 D \times e^{-0.014 D}$	$V = 245.003 S - 71.43 S \text{ Ln} S$

Tabel 7. Rekapitulasi hasil Perhitungan V_M , S_M dan D_M , Hari Jumat, 8 Maret 2019

Jenis Model	Kondisi Jalan	V_M (smp/jam)	S_M (km/jam)	D_M (smp/km)
Greenshields	Normal	967.789	51.749	18.701
	Menyempit	809.119	56.933	14.212
Greenberg	Normal	1037.147	78.751	13.170
	Menyempit	786.714	72.109	10.910
Underwood	Normal	996.806	66.667	14.952
	Menyempit	811.384	71.429	11.359

Penentuan Model Terpilih

Model terpilih yang digunakan untuk perhitungan gelombang kejut didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) yang terbesar, selain pertimbangan tersebut juga dikaji beberapa kondisi khusus yang dimiliki pada masing-masing model.

Table 8. Nilai Koefisien Determinasi R^2 Model Greenshields, Greenberg dan Underwood Pada Kondisi Jalan Normal

Hari / Tanggal	Koefisien Determinasi R^2		
	Greenshields	Greenberg	Underwood
Jumat, 8 Maret 2019	0.694	0.8082	0.7792
Sabtu, 9 Maret 2019	0.6733	0.5788	0.6776
Minggu, 10 Maret 2019	0.7244	0.7771	0.9347
Senin, 11 Maret 2019	0.6573	0.7338	0.8918

Table 9. Nilai Koefisien Determinasi R^2 Model Greenshields, Greenberg dan Underwood Pada Kondisi Jalan Menyempit

Hari / Tanggal	Koefisien Determinasi R^2		
	linier	Logaritmik	Eksponensial
Jumat, 8 Maret 2019	0.6964	0.8645	0.825
Sabtu, 9 Maret 2019	0.8973	0.8806	0.9007
Minggu, 10 Maret 2019	0.7603	0.8765	0.8289
Senin, 11 Maret 2019	0.63	0.7805	0.905

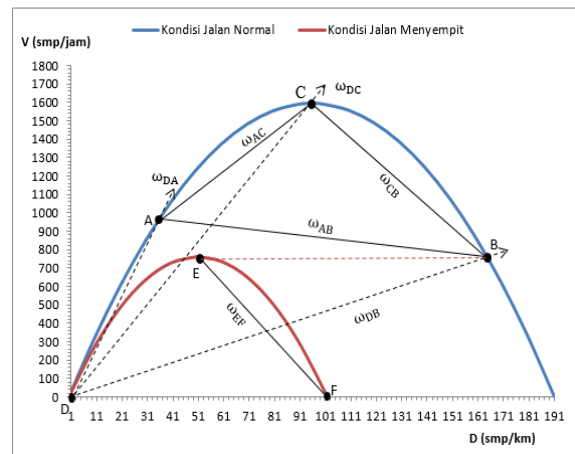
Model terpilih yang akan digunakan untuk perhitungan gelombang kejut adalah model Greenshields. Pada kondisi jalan normal R^2 terbesar terdapat pada hari Minggu, 8 Maret 2019 dengan $R^2 = 0.7244$ dengan persamaan $V = 33.386 D - 0.175D^2$ dan untuk jalan menyempit digunakan juga model Greenshields pada hari Sabtu, 9 Maret 2019 dengan nilai $R^2 = 0.8973$ dan persamaannya $V = 29.917D - 0.295 D^2$.

Nilai Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan (Jl. Wolter Monginsidi, Malalayang II)

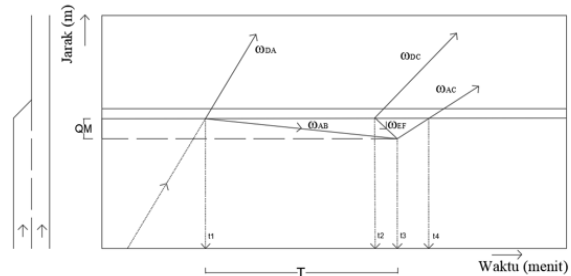
Perhitungan gelombang kejut akibat penyempitan jalan dari 2 (dua) lajur menjadi 1 (satu) lajur dengan durasi berulangnya kondisi volume jalan normal lebih besar dari volume maksimum jalan menyempit (r) divariasikan.

- Kondisi A
 $V_A = 976,2$ smp/jam
 $DA = 36,053$ smp/km
- Kondisi B
 Nilai $V_B = V_E = 759,057$ smp/km $DB = 164,392$ smp/km

- Kondisi C
 Nilai $V_C = 1594,138$ smp/jam
 $DC = 95,498$ smp/km
- Kondisi D
 Nilai $V_D = 0$ smp/jam
 $DD = 0$ smp/km
- Kondisi E
 Nilai $V_E = V_B = 759,057$ smp/km
 $DE = 50,707$ smp/km
- Kondisi F
 Nilai $V_F = 0$ smp/km
 $DF = DJ2 = 101,488$ smp/km



Gambar 9. Gelombang Kejut



Gambar 10. Diagram Jarak dan Waktu

Gambar 10 menunjukkan bahwa kemiringan garis menggambarkan kecepatan kendaraan. Pada saat waktu t_0 sampai t_1 tidak terjadi hambatan sehingga arus lalu lintas yang bergerak searah lalu lintas dengan kondisi A. Pada waktu t_1 terjadi hambatan akibat adanya penyempitan jalan (*bottleneck*) kondisi arus lalu lintas berubah menjadi kondisi B dan mulai terbentuk antrian kendaraan, saat kondisi arus lalu lintas setelah penyempitan kembali normal maka berubah menjadi kondisi D. Ada 3 (tiga) gelombang kejut yang terbentuk saat t_1 pada garis henti :

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = SA = 27,086 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = SB = 4,617 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = -1,692 \text{ km/jam}$$

Pada waktu t_2 arus lalu lintas tidak mengalami hambatan, akan terbentuk arus lalu lintas dengan kondisi C dan terbentuk 2 (dua) gelombang kejut baru, yaitu ω_{DC} dan ω_{CB} , kemudian gelombang kejut ω_{DB} berakhir.

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} = 16,712 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = -12,102 \text{ km/jam}$$

Arus lalu lintas pada kondisi D, C, B dan A terjadi menerus sampai ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 , selang waktu t_2 hingga t_3 bisa dihitung dengan persamaan:

$$t_3 - t_2 = r \cdot \frac{\omega_{AB}}{\omega_{EF} - \omega_{AB}} = 0,638 \text{ menit}$$

$t_3 - t_2$ merupakan selang waktu antar kendaraan pertama yang mengantri masuk jalan menyempit sampai dengan kendaraan terakhir bergabung dengan antrian.

r merupakan durasi efektif (menit) terjadinya hambatan dimana lamanya kondisi volume jalan normal lebih besar dari volume maksimum jalan menyempit. Pada waktu t_3 panjang antrian maksimum (QM) terjadi dan bisa dihitung dengan persamaan:

$$QM = \frac{r}{60} \times \frac{\omega_{EF} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{EF} - \omega_{AB}} = 0,15899 \text{ Km} = 158,99 \text{ meter}$$

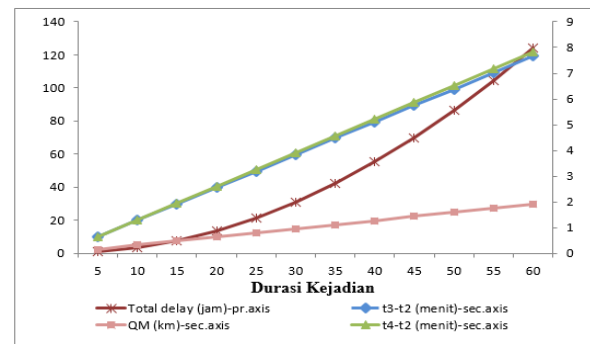
Saat waktu t_3 , terbentuk 1 (satu) gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut bergerak maju ω_{AC} sedangkan gelombang kejut bergerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} berakhir. Gelombang Kejut bergerak maju ω_{AC} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} = 10,414 \text{ km/jam}$$

Rentang waktu dari sebelum terjadi hambatan sampai pada garis henti adalah nilai maksimum $t_4 - t_2$. $t_4 - t_2 = T$ atau waktu penormalan dan dihitung dengan persamaan:

$$t_4 - t_2 = \frac{Q_M}{\omega_{AC}} + (t_3 - t_2) = 0,653 \text{ menit}$$

Grafik 13 menunjukkan bahwa $t_3 - t_2$ diperoleh 0,638 menit setiap penambahan 5 menit saat kendaraan pertama masuk jalan menyempit sampai dengan kendaraan terakhir bergabung dengan antrian. Q_M diperoleh 158.99 meter dan $t_4 - t_2$ adalah saat volume jalan normal lebih kecil atau sama dengan volume maksimum pada jalan menyempit, diperoleh 0.653 menit.



Grafik 13. Analisis Gelombang Kejut

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume kendaraan tertinggi pada ruas jalan normal diperoleh sebesar 1206,6 smp/jam dan untuk jalan menyempit volume kendaraan tertinggi diperoleh sebesar 962,8 smp/jam. Kecepatan maksimum pada jalan normal sebesar 38,955 km/jam dan pada jalan menyempit kecepatan maksimum sebesar 32,239 km/jam begitu pun dengan kepadatan, pada kondisi jalan normal kepadatan maksimum sebesar 195,957 smp/km dan pada jalan menyempit kepadatan maksimum sebesar 246,764 smp/km. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa karakteristik lalu lintas pada lokasi penelitian memiliki perbedaan mendasar karena berbedanya geometrik jalan dimana pada ruas jalan normal memiliki 2 lajur sedangkan ruas jalan menyempit hanya 1 lajur.
2. Model terpilih untuk menganalisis gelombang kejut pada kondisi jalan normal dan menyempit yaitu, model Greenshields dimana model ini merupakan fungsi linier sedangkan model Greenberg tidak dipilih karena tidak berpotongan dengan sumbu y dan untuk model Underwood tidak berpotongan dengan sumbu x. Pada jalan normal model Greenshields dipilih sesuai nilai koefisien

determinasi R^2 terbesar yang diperoleh pada hari Minggu, 10 Maret 2019 dengan nilai koefisien sebesar 72,44% dan untuk jalan menyempit dipilih nilai koefisien sebesar 89,73% pada hari Sabtu, 9 Maret 2019.

Kondisi jalan normal, model Greenshields dengan hubungan antar parameter:

- Hubungan Kepadatan-Kecepatan,
 $S = 33,386 - 0,175 D$
- Hubungan Kepadatan-Volume,
 $V = 33,386 D - 0,175 D^2$
- Hubungan Kecepatan-Volume,
 $V = 190,966 S - 5,721 S^2$

Kondisi jalan menyempit, model Greenshields dengan hubungan antar parameter:

- Hubungan Kepadatan-Kecepatan,
 $S = 29,917 - 0,295 D$
- Hubungan Kepadatan-Volume,
 $V = 29,917 D - 0,295 D^2$
- Hubungan Kecepatan-Volume,
 $V = 101,488 S - 3,392 S^2$

3. Kapasitas ruas jalan normal sebesar 1594,138 smp/jam dan pada ruas jalan menyempit 759,057 smp/jam, dan untuk kepadatan pada ruas jalan normal sebesar 95,498 smp/km dan pada ruas jalan menyempit 50,744 smp/km.
4. Potensi panjang antrian akibat penyempitan jalan menyebabkan panjang antrian maksimum (QM) kendaraan sepanjang 158,99 meter dan setiap bertambah 5 menit kondisi volume jalan normal lebih besar dari volume maksimum jalan menyempit, maka panjang antrian juga bertambah sebesar 159 meter.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disarankan:

1. Pemerintah melakukan pelebaran pada ruas jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang penyempitan jalan dengan melakukan skenario

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, O. L., Timboeleng, J. A., Jansen, F., 2013. *Analisa Gelombang Kejut terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas di Jalan Walanda Maramis Bitung*. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol 3 No. 2, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Indrajaya, Y., 2002. *Pengaruh Penyempitan Jalan terhadap Karakteristik LaluLintas (Studi Kasus Pada Ruas Jalan Kota Demak—Kudus, km. 5)* (PhD Thesis). Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice-Hall, Inc
- Nooh, R., Timboeleng, J. A., & Longdong, J. (2018). *Pengaruh Parkir Pada Badan Jalan Terhadap Biaya Kehilangan Waktu Dan Penurunan Kinerja Jalan (Studi Kasus: Jalan Raya Tomohon)*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 6 No.10. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado
- Pesik, B. S., Rompis, S. Y., & Pandey, S. V. (2017). *Studi Pemanfaatan Lampu Lalu Lintas untuk Penyeberang Jalan dan Pengaruhnya terhadap Panjang Antrian Kendaraan (Studi Kasus: Pelican Depan Manado Town Square)*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 5 No.2. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado
- Tamin, O. Z., 2003. *Perencanaan, Pemodelan dan Rekayasa Transportasi contoh soal dan aplikasi*. ITB, Bandung.
- Timpal, G. S., Theo K. Sendow, Rumayar, A. L., 2018. *Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan Greenshield, Greenberg dan Underwood dan Analisa Kinerja Jalan pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 6 No.8. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado
- Tinumbia, N. (2011). *Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Volume, Kecepatan dan Kerapatan Lalu Lintas*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.