

ANALISA GELOMBANG KEJUT AKIBAT AKTIVITAS ANGKUTAN KOTA (STUDI KASUS: JLN SAM RATULANGI – RANOTANA, MANADO)

Stella Kathrine Gracia Wowor

Semuel Y. R. Rompis, Lucia I. R. Lefrandt

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: stellawowor97@gmail.com

ABSTRAK

Kota Manado merupakan Ibu Kota dari provinsi Sulawesi Utara yang memiliki pertumbuhan ekonomi sebesar 6,75%. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi mengakibatkan bertambahnya juga aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat yang membutuhkan angkutan kota sebagai sarana transportasi. Angkutan kota merupakan salah satu transportasi umum yang berguna sebagai sebuah layanan angkutan bersama. Aktivitas angkutan kota yang menaikkan atau menurunkan penumpang dengan sembarangan di Jalan Sam Ratulangi, Ranotana, Manado khususnya didepan Multimart Ranotana sering menyebabkan terjadi antrian kendaraan di ruas jalan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan matematis dari volume, kecepatan dan kepadatan di ruas jalan tersebut, mengetahui nilai gelombang kejut-nya, dan mengetahui pengaruh aktivitas angkutan kota terhadap panjang antrian kendaraan.

Penelitian ini mengambil data primer dari survey di lapangan berupa volume kendaraan, kecepatan kendaraan, dan durasi angkutan kota berhenti. Analisa data untuk menghitung hubungan matematis dari 3 (tiga) parameter yaitu volume, kecepatan, dan kendaraan menggunakan model hubungan matematis yaitu model Greenshield, Greenberg, dan Underwood, yang nantinya dipilih salah satu yang koefisien determinasi-nya paling besar dan berdasarkan karakteristik model tersebut. Model yang terpilih lalu digunakan dalam analisis gelombang kejut.

Hasil analisis diperoleh bahwa model yang terpilih adalah model Greenshield karena model Greenberg tidak berpotongan dengan sumbu y yang mengakibatkan susah untuk mendapatkan nilai S_{ff} (Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah) dan model Underwood tidak berpotongan dengan sumbu x yang mengakibatkan susah untuk mendapatkan nilai D_j (Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total). Dan yang dipilih adalah yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) terbesar yaitu hari Sabtu, 16 Maret 2019 dengan R^2 sebesar 80% dengan hubungan antara kepadatan dan kecepatan $S = 32,953 - 0,3072 D$, hubungan antara volume dan kepadatan $V = 32,953 D - 0,3072 D^2$, dan hubungan antara volume dan kecepatan $V = 107,2689 S - 3,25521S^2$. Pengaruh angkutan kota yang berhenti sembarangan membuat panjang antrian maksimum (QM) kendaraan sepanjang 40,24 meter. Setiap bertambah 30 detik durasi angkutan kota berhenti akan bertambah juga panjang antriannya sebesar 40,24 meter.

Kata Kunci: Angkutan Kota, Gelombang Kejut, Greenshield, Greenberg, Underwood

PENDAHULUAN

Latar belakang

Kota Manado merupakan Ibu Kota dari provinsi Sulawesi Utara yang memiliki luas wilayah sebesar 157,26 km² dengan jumlah penduduk 430.133 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Manado, 2018) yang menjadikannya kota terbesar kedua di Sulawesi setelah Makassar. Kota Manado memiliki pertumbuhan ekonomi sebesar 6,75% seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi mengakibatkan bertambahnya juga aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat

yang membutuhkan angkutan kota sebagai sarana transportasi.

Angkutan kota merupakan salah satu transportasi umum yang berguna sebagai sebuah layanan angkutan bersama yang tersedia untuk digunakan oleh masyarakat umum. Aktivitas angkutan kota adalah menaikkan dan menurunkan penumpang di sembarang tempat. Perilaku angkutan kota yang kurang disiplin ini, menjadi penghalang kelancaran arus lalu lintas sehingga menyebabkan kemacetan kendaraan.

Meningkatnya jumlah kendaraan bukanlah satu-satunya faktor yang menjadi penyebab

terjadinya kemacetan. Ada beberapa faktor lain seperti perilaku angkutan kota yang berhenti sembarangan yang mempengaruhi panjang antrian kendaraan yang terjadi di ruas jalan tersebut. Panjang antrian kendaraan ini dapat berdampak hingga ke ruas jalan yang lain. Untuk itu, adanya perilaku yang tidak disiplin dari angkutan kota merupakan masalah yang harusnya mendapat perhatian serius.

Masalah kemacetan perlu diidentifikasi sejak awal, pemicu terjadinya kemacetan perlu diantisipasi secepat mungkin dan solusi serta kebijakan yang tepat perlu dilakukan. Latar belakang inilah yang menjadi motivasi untuk meneliti pengaruh dari aktivitas angkutan kota terhadap panjang antrian kendaraan.

Rumusan Masalah

Pertanyaan yang hendak dijawab melalui penelitian ini adalah: “Bagaimana pengaruh aktivitas angkutan kota, terhadap panjang antrian kendaraan yang terjadi di Jalan Sam Ratulangi, khususnya di depan Multimart Ranotana?”

Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan dan memudahkan dalam menganalisis, maka perlu dibuat batasan-batasan. Adapun pembatasan masalah ini meliputi:

1. Lokasi penelitian adalah ruas jalan depan Multimart Ranotana, jalur diteliti adalah jalur yang lebih banyak trayek angkutan kota lewat dan yang lebih bermasalah yaitu jalur yang mengarah ke pusat kota (Pasar 45).
2. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah arus (*volume*), kecepatan (*speed*), kepadatan (*density*), dan durasi angkutan kota berhenti. Model yang dipakai untuk menunjukkan hubungan matematis antara parameter-parameter di atas adalah model Greenshields, Greenberg, dan Underwood.
3. Analisa yang digunakan untuk menghitung panjang antrian kendaraan adalah menggunakan analisis gelombang kejut berdasarkan dengan model yang terpilih.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Mengetahui model hubungan matematis dari volume, kecepatan dan kepadatan
2. Mengetahui pengaruh aktivitas angkutan kota terhadap panjang antrian kendaraan

Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan manfaat yang bisa didapat adalah:

1. Dapat menjadi bahan masukan untuk masalah yang terjadi akibat aktivitas angkutan kota yang berhenti sembarangan khususnya di depan Multimart Ranotana
2. Memberi wawasan dan pengetahuan yang bermanfaat mengenai pengaruh aktivitas angkutan kota terhadap panjang antrian kendaraan.
3. Menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan aktivitas angkutan kota dan pengaruhnya terhadap panjang antrian kendaraan.

LANDASAN TEORI

Angkutan Umum Penumpang

Angkutan umum penumpang adalah angkutan penumpang yang dilakukan dengan system sewa dan bayar. Termasuk dalam pengertian angkutan umum penumpang adalah angkutan kota, bus, kereta api, kapal dan pesawat. (Ritonga dkk, 2015).

Angkutan umum merupakan sarana penting yang dibutuhkan oleh masyarakat. Sarana ini digunakan oleh sebagian besar masyarakat untuk menunjang kegiatan sehari-hari. (Warouw dkk, 2013)

Kecepatan Lalu Lintas

Didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, yang biasanya dinyatakan dalam kilometer/jam (Adam dkk, 2018). Karena kecepatan individual di dalam aliran lalu-lintas ada begitu beragam, maka yang digunakan adalah kecepatan tempuh rata-rata. Persamaan (1) adalah persamaan untuk menghitung kecepatan.

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

dimana:

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

Volume Lalu Lintas

Didefinisikan sebagai jumlah sebenarnya dari kendaraan yang diamati atau diperkirakan melalui suatu titik selama rentang waktu tertentu (Khisty & Lall, 1990), biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam dan notasi V. Volume pada

suatu jalan berbeda-beda, yang menyebabkan volume dari suatu jalan dapat berbeda-beda itu karena arah lalu-lintas di jalan tersebut atau karena komposisi kendaraan yang lewat atau tergantung volume yang dicari adalah volume harian atau volume bulanan atau volume tahunan dari jalan tersebut.

Kepadatan Lalu Lintas

Didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau jalan, biasanya dinyatakan dengan kendaraan/km. Perhitungan untuk kepadatan dapat didapatkan langsung melalui foto udara, tetapi umumnya yang dipakai adalah dengan menghitung menggunakan persamaan (2) apabila kecepatan dan tingkat arus diketahui

$$D = \frac{V}{S} \tag{2}$$

dimana:

- D = Kepadatan lalu-lintas (smp/km)
- V = Volume lalu-lintas/kapasitas lalu lintas (smp/jam)
- S = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Hubungan Kecepatan, Volume, Kepadatan Lalu Lintas

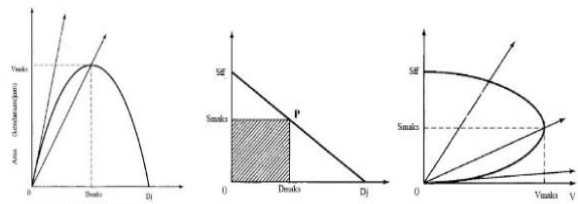
Jika hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan lalu-lintas yang terjadi pada suatu ruas jalan sudah didapatkan, maka analisis karakteristik lalu lintas sudah dapat dilakukan. Hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan dapat dinyatakan dengan persamaan (3).

$$V = D \cdot S \tag{3}$$

Hubungan matematis antar parameter tersebut dapat dijelaskan menggunakan Gambar 1 yang memperlihatkan bentuk umum hubungan matematis antara Arus-Kepadatan (V-D), Kecepatan-Kepadatan (S-D), dan Kecepatan-Arus (S-V).

Seiring meningkatnya arus, kepadatan pun meningkat, sampai kapasitas lajur jalan raya tersebut tercapai. Titik arus maksimum (Vmaks) menunjukkan kepadatan “optimal” (Dmaks). Dari titik ini menuju ke kanan, arus menurun ketika kepadatan meningkat. Pada kepadatan macet (Dj) arusnya hampir 0 (nol). Kondisi ini dikenal dengan kondisi macet total. Pada kondisi kepadatan 0 (nol), tidak terdapat kendaraan di ruas jalan sehingga arus lalu lintas juga 0 (nol).

Perilaku arus lalu lintas yang berada diantara kedua nilai ini perlu untuk dipelajari.



Gambar 1. Hubungan Matematis antara Kecepatan, Volume, dan Kepadatan

Beberapa parameter penting arus lalu lintas yang dapat didefinisikan dari Gambar 1. adalah sebagai berikut:

- Vmaks = Kapasitas atau volume maksimum (kendaraan/jam)
- Dmaks = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (kendaraan/km)
- Dj = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total (kendaraan/km)
- Smaks = Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (km/jam)
- Sff = Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 (nol) atau kecepatan arus bebas (km/jam)

Kecepatan arus bebas (Sff) tidak dapat diamati dilapangan karena kondisi tersebut terjadi pada saat tidak ada kendaraan (D=0). Nilai kecepatan arus bebas bisa didapatkan secara matematis yang diturunkan dari hubungan matematis antara Arus-Kecepatan yang terjadi di lapangan. Data yang dibutuhkan adalah arus dan kecepatan lalu-lintas. Satuan yang digunakan dalam data arus lalu-lintas adalah satuan mobil penumpang (smp) karena jenis kendaraan yang lewat bermacam-macam.

Untuk mempresentasikan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut bisa menggunakan 3 (tiga) model, yaitu: (Khisty & Lall, 1990)

- a. Model Greenshield
- b. Model Greenberg
- c. Model Underwood

Analisis Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas yang merupakan dasar dari penentuan panjang antrian dan waktu penormalan yang diakibatkan oleh adanya hambatan berupa

pengurangan kapasitas jalan ataupun penutupan jalur (Tungka, 2006).

Dalam kondisi arus bebas (*free-flow*), kendaraan akan melaju dengan kecepatan tertentu. Apabila arus tersebut mendapat hambatan atau gangguan, maka akan terjadi pengurangan arus yang dapat melewati lokasi hambatan tersebut. Pengurangan arus ini akan mengakibatkan kepadatan kendaraan pada daerah sebelum terjadi hambatan menjadi meningkat yang pada akhirnya mengakibatkan kecepatan turun dan menjadi antrian.

Hambatan pada arus lalu lintas tersebut dapat juga berupa penutupan sebagian atau seluruh jalur suatu ruas jalan akibat kecelakaan atau perbaikan jalan atau dapat juga akibat hambatan saat lampu merah pada persimpangan berlampu lalu lintas (Tungka, 2006).

Analisa Persamaan Regresi Linier

Analisa yang biasa dipakai untuk mengolah data volume lalu lintas untuk menentukan karakteristik dan kepadatan adalah analisis regresi linier

Koefisien Determinasi

Didefinisikan sebagai 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.

Koefisien determinasi yang dinyatakan dengan persamaan (4) digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter.

$$r^2 = \frac{(n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y)^2}{(n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2) \cdot (n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2)} \quad (4)$$

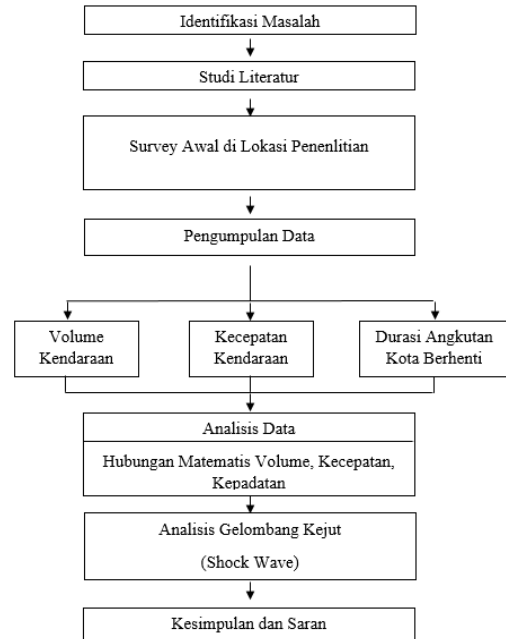
dimana:

- y_i = Nilai hasil estimasi (pemodelan)
- \hat{y} = Nilai hasil observasi (pengamatan)
- \bar{y}_i = Rata-rata hasil obeservasi (pengamatan)

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah Penelitian

Secara garis besar penelitian yang akan dilaksanakan mengikuti langkah-langkah seperti yang diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Pengolahan Data

Data volume dan kecepatan diambil langsung dari lapangan. Setelah data volume dan kecepatan kendaraan sudah didapat, maka kepadatan sudah bisa dihitung dengan cara volume dibagi dengan kecepatan. Selanjutnya setelah volume, kecepatan, dan kepadatan sudah diketahui maka dapat dihitung hubungan antara volume kecepatan dan kepadatan dengan menggunakan tiga model yaitu model Greenshields, model Greenberg, dan model Underwood. Dari hasil hubungan matematis tersebut akan didapat model yang nantinya akan digunakan di analisis gelombang kejut (shockwave).

HASIL DAN PEMBAHASAN

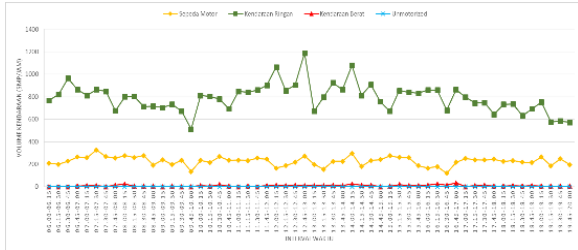
Perhitungan Volume Kendaraan

Survey kendaraan dan perhitungan volume lalu lintas di Jalan Sam Ratulangi depan Multimart Ranotana dilakukan per 15 menit selama 4 hari dari tanggal 15 Maret 2019 sampai dengan tanggal 18 Maret 2019.

Data kendaraan tiap 15 menit dari hasil survey di Jalan Sam Ratulangi depan Multimart Ranotana dikalikan dengan faktor ekivalensi (emp) untuk tiap jenis kendaraan dan dijumlahkan agar diperoleh volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp). Ekivalensi mobil penumpang (emp) masing-masing kendaraan

untuk jalan dua arah terbagi menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 adalah sebagai berikut:

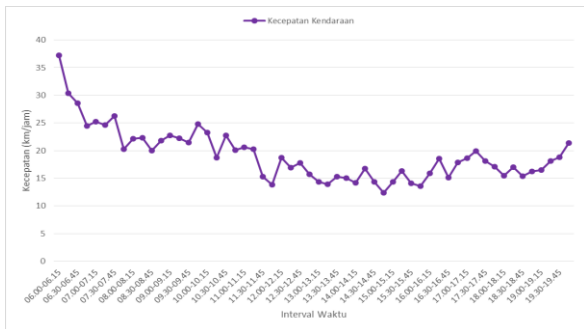
1. Kendaraan Berat (HV) = 1,2 - 1,5
2. Kendaraan Ringan (LV) = 1,0
3. Sepeda Motor (MC) = 0,25 - 0,4
4. Unmotorized (UM) = 0,1 - 0,2



Grafik 1. Volume Kendaraan

Perhitungan Kecepatan Kendaraan

Grafik 2 adalah contoh hasil perhitungan kecepatan rata-rata di Jalan Sam Ratulangi, depan Multimart Ranotana.



Grafik 2. Kecepatan Kendaraan

Perhitungan Kepadatan Kendaraan

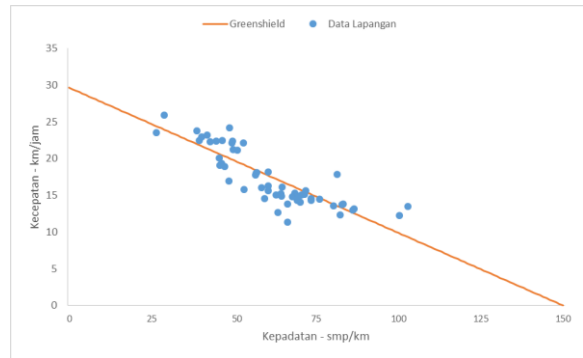
Kepadatan maksimum yang terjadi dari hari Jumat, 15 Maret 2019 sampai hari Senin, 18 Maret 2019 berkisar antara 57,342 smp/km hingga 102,791 smp/km. kepadatan tertinggi berdasarkan Tabel 4.2 terjadi pada hari Senin dengan kepadatan sebesar 122,791 smp/km

Tabel 1. Resume Kepadatan Maksimum

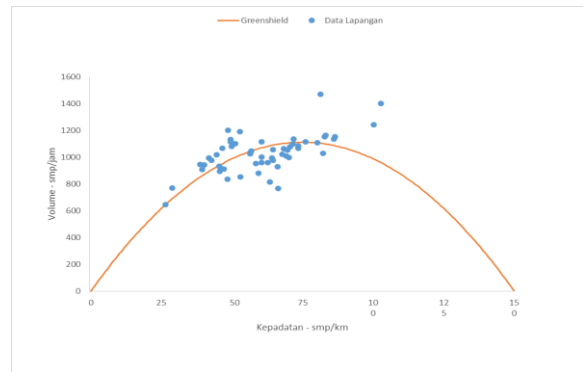
Hari	Kepadatan (smp/km)
Jumat, 15 Maret 2019	103.884
Sabtu, 16 Maret 2019	78.229
Minggu, 17 Maret 2019	57.342
Senin, 18 Maret 2019	122.791

Model Greenshield

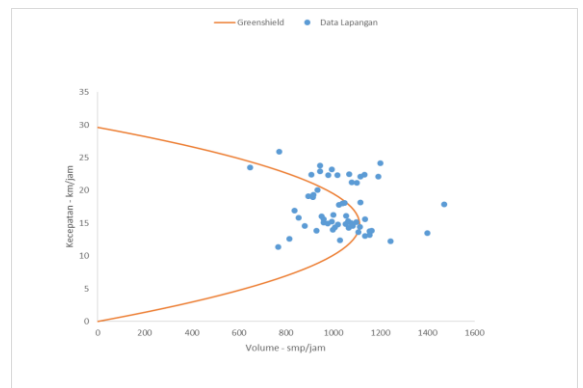
Menurut Greenshield, hubungan matematis antara kepadatan dan kecepatan merupakan fungsi linier



Grafik 3. Hubungan Kepadatan-Kecepatan Model Greenshield hari Jumat, 15 Maret 2019



Grafik 4. Hubungan Kepadatan-Volume Model Greenshield hari Jumat, 15 Maret 2019



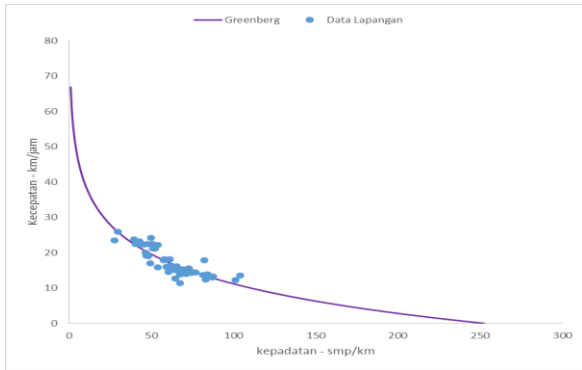
Grafik 5. Hubungan Volume-Kecepatan Model Greenshield hari Jumat, 15 Maret 2019

Tabel 2. Perhitungan Model Greenshield

Jumat, 15 Maret 2019	Greenshield
A	29.631804
B	-0.19738
S _{ff} (km/jam)	29.631804
D _j (smp/km)	150.1256662
D-S	S = 29,6318 - 0,1973 D
D-V	V = 29,6318 D - 0,1973 D ²
S-V	V = 150,126 S - 5,06637 S ²

Model Greenberg

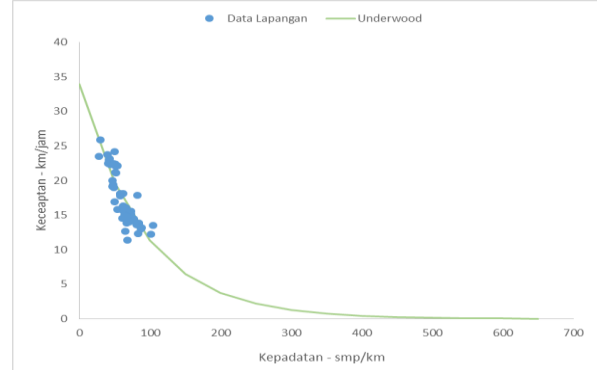
Menurut Greenberg, hubungan matematis antara kepadatan dan kecepatan merupakan fungsi logaritmik.



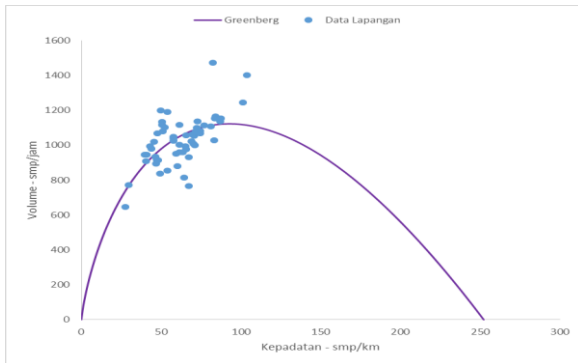
Grafik 6. Hubungan Kepadatan-Kecepatan Model Greenberg hari Jumat, 15 Maret 2019

Model Underwood

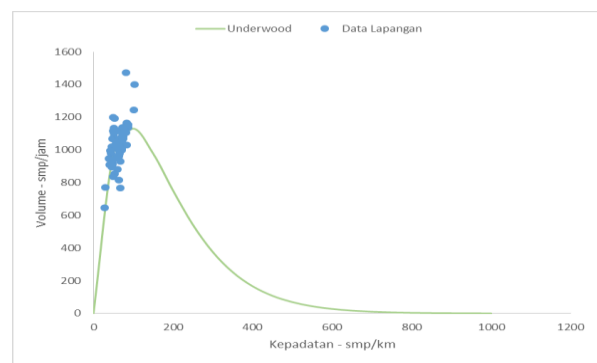
Menurut Underwood, hubungan matematis antara kepadatan dan kecepatan merupakan fungsi eksponensial.



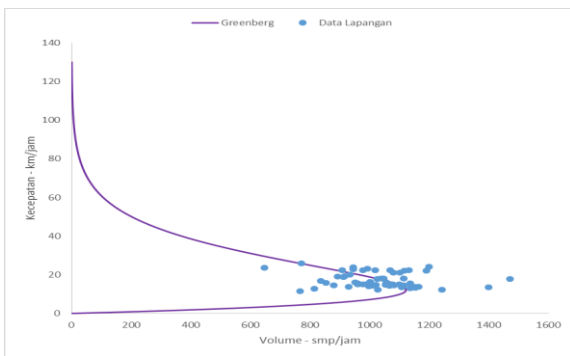
Grafik 9. Hubungan Kepadatan-Kecepatan Model Underwood hari Jumat, 15 Maret 2019



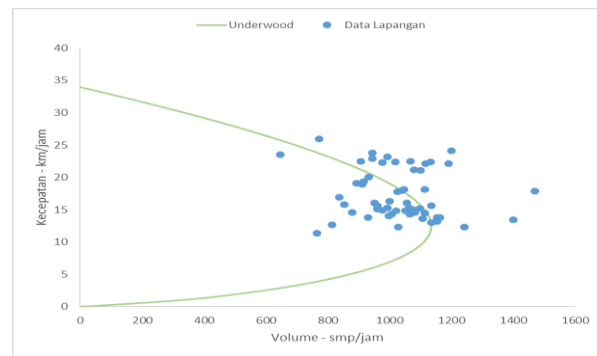
Grafik 7. Hubungan Kepadatan-Volume Model Greenberg hari Jumat, 15 Maret 2019



Grafik 10. Hubungan Kepadatan-Volume Model Underwood hari Jumat, 15 Maret 2019



Grafik 8. Hubungan Volume-Kecepatan Model Greenberg hari Jumat, 15 Maret 2019



Grafik 11. Hubungan Volume-Kecepatan Model Underwood hari Jumat, 15 Maret 2019

Tabel 3. Perhitungan Model Greenberg
 Jumat, 15
 Maret 2019

Greenberg	
A	66.865
B	-12.09
Dj (smp/km)	252.296
D-S	$S = 66,865 - 12,09 \ln D$
D-V	$V = 66,865 D - 12,09 D \ln D$
S-V	$V = 252,296 S \cdot e^{-0,08271 \cdot S}$

Tabel 4. Perhitungan Model Underwood
 Jumat, 15
 Maret 2019

Underwood	
A	3.524947762
B	-0.011
Sff (km/jam)	33.952
D-S	$\ln S = 3,52494 - 0,011 D$
D-V	$V = 33,952 D \cdot e^{-0,011 \cdot D}$
S-V	$V = 320,449 S - 90,909 S \ln S$

Penentuan Model Terpilih

Koefisien Determinasi (R^2) yang dinyatakan dengan persamaan (4) digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter. Pertimbangan tersebut perlu juga dikaji terhadap beberapa kondisi khusus yang dimiliki oleh masing-masing model yaitu:

- Nilai kecepatan arus bebas, hanya bisa dihitung menggunakan model Greenshield dan model Underwood. Model Greenberg tidak dapat memberikan nilai yang jelas karena grafik tidak berpotongan dengan sumbu y sehingga kecepatan berada pada nilai yang tak terhingga.
- Nilai kepadatan pada kondisi macet total, hanya bisa dihitung menggunakan model Greenshield dan model Greenberg. Model Underwood tidak dapat memberikan nilai yang jelas karena grafik tidak berpotongan dengan sumbu x sehingga nilai pada kondisi macet total terdapat pada nilai yang tak terhingga.

Nilai R^2 didapat melalui grafik hubungan kepadatan dan kecepatan menggunakan Microsoft Excel.

Tabel 5. Nilai R^2

Hari/Tanggal	Koefisien Determinasi (R^2)		
	Linear	Logaritma	Exponensial
Jumat, 15 Maret 2019	0.7132	0.7572	0.7206
Sabtu, 16 Maret 2019	0.8052	0.8517	0.8273
Minggu, 17 Maret 2019	0.759	0.7891	0.7782
Senin, 18 Maret 2019	0.7216	0.7166	0.7608

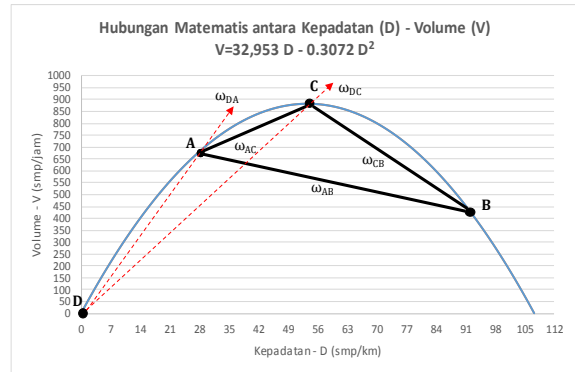
Tabel 5 adalah tabel nilai koefisien determinasi (R^2) untuk model Greenshield, model Greenberg, dan model Underwood. Kisaran nilai koefisien determinasi adalah 0,7132 sampai 0,8517. Berdasarkan Tabel 5. di atas dapat diketahui model terpilih yang dapat mewakili hubungan matematis antara Kepadatan dan Volume dengan nilai Koefisien Determinasi (R^2) tertinggi adalah model Greenshield pada Hari Sabtu, 16 Maret 2019 dengan nilai $R^2 = 0,8052$ dengan persamaan $V = 32,953 D - 0,3072.D^2$.

Nilai Gelombang Kejut di Jalan Sam Ratulangi depan Multimart Ranotana

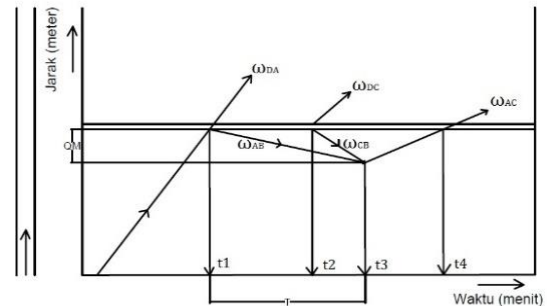
Perhitungan gelombang kejut untuk Jalan Sam Ratulangi depan Multimart Ranotana dengan durasi angkutan kota berhenti (r) divariasikan, karena angkutan kota yang berhenti dianggap menutupi 1 lajur, sehingga kendaraan lain hanya

bisa melewati di lajur yang tidak ditutupi oleh angkutan kota yang sedang berhenti.

- Kondisi A dengan nilai $V_A = 663$ smp/jam dan $D_A = 26,83$ smp/km
- Kondisi B dengan nilai $V_B = 442$ smp/jam dan $D_B = 91,55$ smp/km
- Kondisi C dengan nilai $V_C = 884$ smp/jam dan $D_C = 53,634$ smp/km
- Kondisi D dengan nilai $V_D = 0$ smp/jam dan $D_D = 0$ smp/km



Gambar 3. Gelombang Kejut



Gambar 4. Diagram Jarak dan Waktu

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada saat t_0 sampai t_1 tidak terjadi hambatan sehingga arus lalu lintas yang bergerak searah dengan kondisi A (V_A , D_A , dan S_A). Pada saat t_1 terjadi hambatan berupa angkutan kota berhenti sehingga kondisi arus lalu lintas berubah menjadi kondisi B dan mulai terbentuk antrian kendaraan, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah angkutan kota berhenti berada pada kondisi D.

Tiga gelombang kejut yang terbentuk saat t_1 pada garis henti adalah ω_{DA} , ω_{DB} , dan ω_{AB} .

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A = \frac{663 - 0}{26,83 - 0} = 24,71 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = S_B = \frac{442 - 0}{91,55 - 0} = 4,83 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = \frac{442 - 663}{91,55 - 26,83} = -3,41 \text{ km/jam}$$

Tanda positif berarti gelombang kejut bergerak maju ke depan searah dengan pergerakan lalu lintas. Tanda negatif berarti gelombang kejut bergerak mundur ke belakang berlawanan dengan pergerakan arus lalu lintas dimana antrian kendaraan mulai terbentuk.

Pada saat t2 dimana angkutan kota yang berhenti sudah mulai bergerak lagi, dan kendaraan yang mengantri mulai berjalan, akan terbentuk dua gelombang kejut baru yang adalah:

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} = S_C = \frac{884 - 0}{53,634 - 0} = 16,47 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{442 - 884}{91,55 - 53,634} = -11,66 \text{ km/jam}$$

Arus lalu lintas dengan kondisi ini menerus terjadi dengan ω_{AB} dengan ω_{CB} mencapai t3, selang waktu antara t2 sampai t3 dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$t3 - t2 = r \cdot \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] = 3 \cdot \left[\frac{-3,41}{-11,66 - (-3,41)} \right] = 1,24 \text{ menit}$$

t3 - t2 adalah selang waktu antara kendaraan yang pertama mengantri mulai bergerak dengan kendaraan yang paling belakang mengantri mulai berjalan kembali.

r adalah durasi angkutan kota berhenti. Panjang antrian maksimum (Q_M) akan terjadi pada waktu t3 dan dapat dihiutng dengan persamaan berikut:

$$Q_M = \frac{r \cdot |\omega_{CB}| \cdot |\omega_{AB}|}{60 \cdot |\omega_{CB}| - |\omega_{AB}|}$$

$$Q_M = \frac{r \cdot |-11,66| \cdot |-3,41|}{60 \cdot |-11,66| - |-3,41|} = 0,24 \text{ km} = 241,46 \text{ m}$$

Pada waktu t3, terbentuk satu gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan dua buah gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} yang menyebabkan antrian berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} = \frac{884 - 663}{53,634 - 26,83} = 8,25 \text{ km/jam}$$

waktu penormalan t4-t2 = T dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$t4 - t2 = \frac{Q_M}{\omega_{AC}} + (t3 - t2) = \frac{0,24}{8,25} + 1,24 = 1,27 \text{ menit}$$

Waktu penormalan t4 - t2 merupakan selang waktu yang dibutuhkan kendaraan yang pertama

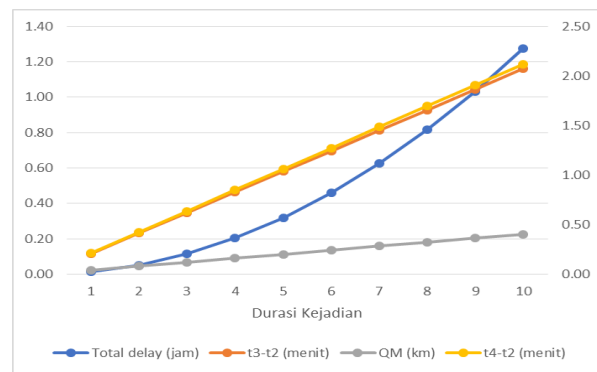
sampai yang paling belakang mengantri melewati garis henti. Pada waktu t4 dicapai semua kendaraan yang mengantri sudah melewati garis henti.

Selanjutnya perhitungan gelombang kejut untuk berbagai variasi nilai r dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Gelombang Kejut

r	t3-t2	QM	QM	t4-t2
menit	menit	km	m	menit
0.5	0.08	0.02	15.11	0.08
1	0.16	0.03	30.23	0.16
1.5	0.23	0.05	45.34	0.24
2	0.31	0.06	60.45	0.32
2.5	0.39	0.08	75.56	0.40
3	0.47	0.09	90.68	0.48
3.5	0.54	0.11	105.79	0.56
4	0.62	0.12	120.90	0.63
4.5	0.70	0.14	136.01	0.71
5	0.78	0.15	151.13	0.79

Grafik 12 menunjukkan total waktu dari saat angkutan kota mulai berjalan sampai pada waktu kendaraan terakhir yang bergabung dalam antrian (t3-t2) adalah 0,20 menit setiap penambahan 0,5 menit. Panjang antrian (Q_M) yang terjadi setiap 0,5 menit adalah 40,24 meter, dan total waktu dari saat angkutan kota mulai berjalan sampai pada kondisi normal adalah 0,21 menit.



Grafik 12. Analisis Gelombang Kejut

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang sudah dilakukan untuk lokasi penelitian Jalan Sam Ratulangi, Ranotana, Manado tepatnya di depan Multimart Ranotana, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model hubungan matematis yang digunakan dalam analisis gelombang kejut adalah model Greenshield, karena model Greenberg tidak berpotongan dengan sumbu y yang mengakibatkan susah untuk mendapatkan nilai S_{ff} (Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah) dan model Underwood tidak berpotongan dengan sumbu x yang mengakibatkan susah untuk mendapatkan nilai D_j (Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total). Dan yang dipilih adalah yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) terbesar yaitu hari Sabtu, 16 Maret 2019 dengan R^2 sebesar 80% dengan hubungan antar parameter sebagai berikut:
 - Hubungan Kepadatan dan Kecepatan:
 $S = 32,953 - 0,3072 D$
 - Hubungan Volume dan Kepadatan:
 $V = 32,953 D - 0,3072 D^2$
 - Hubungan Volume dan Kecepatan:
 $V = 107,2689 S - 3,25521 S^2$
2. Pengaruh angkutan kota yang berhenti sembarangan untuk menaikkan atau menurunkan penumpang membuat panjang antrian maksimum (QM) kendaraan sepanjang 40,24 meter. Semakin besar durasi angkutan kota berhenti, maka panjang antrian maksimum (QM) kendaraan akan semakin bertambah pula. Setiap bertambah 30 detik durasi angkutan kota yang berhenti untuk menaikkan atau menurunkan penumpang akan bertambah sebesar 40 meter juga panjang antrian kendaraan yang terjadi.

Saran

Sosialisasi perlu dilakukan oleh pemerintah kepada supir angkutan kota untuk tidak berhenti di tengah jalan jika akan menaikkan atau menurunkan penumpang karena sudah disediakan tempat berhenti khusus untuk angkutan kota, tetapi menurut penelitian tempat khusus berhenti angkutan kota tersebut tidak pernah digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Rompis, S. Y., Palenewen, S. Ch. N., 2018. *Dampak Fasilitas Parkir di Badan Jalan Terhadap Kinerja Jalan (Studi Kasus: Jalan Satsuit Tubun)*. Jurnal Sipil Statik, Vol 6. No 12. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Anonimous, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Badan Pusat Statistik Kota Manado., 2018. *Kota Manado Dalam Angka*.
- Khisty, C. J., Lall, B. K., 1990. *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi (Jilid 1)*. Jakarta.
- Lefrandt, L. I., 2012. *Kapasitas dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Piere Tendeand Manado pada Kondisi Arus Lalu lintas Satu Arah*. Universitas Sam Ratulangi Manado
- Pane, F. P., Rompis, S. Y., & Timboeleng, J. A., 2018. *Analisa Perbandingan Panjang Antrian Menggunakan Teori Antrian dan Analisa Gelombang Kejut di Loker Keluar Kendaraan Kawasan Megamas Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol 6. No 2. 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.
- Ritonga, D., Timboeleng, J. A., & Kaseke, O. H., 2015. *Analisa Biaya Transportasi Angkutan Umum Dalam Kota Manado Akibat Kemacetan Lalu Lintas (Studi Kasus: Angkutan Umum Trayek Pusat Kota 45-Malalayang)*. Jurnal Sipil Statik, Vol 3. No 1. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Tungka, F. R., 2006. *Analisis Gelombang Kejut pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi dengan Jl. Baru Karombasan)*. Universitas Sam Ratulangi Manado

Warouw, S. A., Sendow, T. K., Longdong, J., & Manoppo, M. R., 2013. Analisa Kelayakan Tarif Angkutan Umum Dalam Kota Manado (Studi Kasus: Trayek Pusat Kota 45–Malalayang). Jurnal Sipil Statik, Vol 1. No 4. ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.