

ANALISIS GELOMBANG KEJUT PADA LENGAN PERSIMPANGAN BERSINYAL (STUDI KASUS: JL. SAM RATULANGI – JL. BABE PALAR)

Greggy Michael

James A. Timboeleng, Samuel Y. R. Rompis

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: greggyombeng@gmail.com

ABSTRAK

Pergerakan kendaraan di persimpangan adalah permasalahan transportasi yang paling sering dijumpai. Lampu lalu lintas merupakan sarana lalu lintas yang digunakan untuk mengatur pergerakan kendaraan pada persimpangan. Selain itu lampu lalu lintas juga membantu untuk mengurangi terjadinya kecelakaan. Lampu lalu lintas juga dapat menjadi pengaruh terjadinya kemacetan akibat lamanya fase lampu lalu lintas berwarna merah, seperti yang terjadi di persimpangan bersinyal Jl. Sam Ratulangi - Jl. Babe Palar pada lengan yang akan ke arah rike yang sering terjadi antrian kendaraan yang disebabkan oleh lampu lalu lintas.

Nilai panjang antrian diperoleh dengan menggunakan metode Analisis Gelombang Kejut. Data yang diambil langsung di lapangan seperti, volume, kecepatan kendaraan dan durasi lampu lalu lintas. Lalu kemudian data yang diperoleh dihitung nilai kepadatan untuk mencari model matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan. Model yang digunakan adalah Greenshield, Greenberg, dan Underwood, model yang akan terpilih adalah yang memiliki angka koefisien determinasi (R^2) tertinggi dan memiliki kriteria yang tepat.

Model yang terpilih untuk menghitung gelombang kejut adalah model Greenshield dengan nilai R^2 adalah 0.8037 pada hari sabtu, 18 Januari 2020 dengan hubungan kecepatan dan kepadatan $S = 58,987 - 0,8406 D$, hubungan volume dan kepadatannya adalah $V = 58,987 - 0,8406D^2$, dan hubungan volume dan kekecepatannya adalah $V = 67,793 - 1,189S^2$. Nilai gelombang kejut yang diperoleh untuk gelombang kejut bergerak mundur adalah -16.022 km/jam ; gelombang kejut mundur pemulihan adalah -28.4935 km/jam dan gelombang kejut gerak maju adalah 12.471 km/jam. Pengaruh lampu lalu lintas dengan siklus lampu lalu lintas berwarna merah selama 55 detik yang membuat panjang antrian maksimum kendaraan sepanjang 324,359 meter.

Kata Kunci: Lampu Lalu Lintas, Persimpangan Bersinyal, Gelombang Kejut, Greenshield

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Permasalahan transportasi seperti kemacetan, kecelakaan, antrian maupun tundaan biasa dijumpai pada persimpangan. Kota Manado yang merupakan ibu kota propinsi Sulawesi Utara selalu mengalami peningkatan jumlah penduduk dan jumlah kendaraan setiap tahunnya, sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan pengguna lalu lintas, untuk itu perlu ditunjang dengan pelayanan fasilitas-fasilitas yang memadai, terutama pada persimpangan-persimpangan yang padat lalu lintasnya

Pada beberapa persimpangan dapat dijumpai lampu lalu lintas, dimana lampu lalu lintas berfungsi untuk mengurangi terjadinya kecelakaan, perlambatan kendaraan, dan

meningkatkan kapasitas pada simpang tersebut. Dimana aktivitas lampu merah seringkali membuat ruas jalan dari simpang tersebut mengalami peningkatan jumlah kendaraan sehingga mengakibatkan panjang antrian yang berlebih. oleh karena itu harus ada perhatian terhadap simpang tersebut.

Meningkatnya jumlah kendaraan pada simpang Jl. Sam Ratulangi - Jl. Babe Palar diakibatkan oleh fase lampu lalu lintas warna merah yang cukup lama, sehingga mengakibatkan panjang antrian yang cukup panjang. Pada persimpangan Jl. Sam Ratulangi - Jl. Babe Palar pada lengan yang ke arah rike sering dijumpai kemacetan karena durasi lampu lalu lintas yang membuat ruas jalan tersebut mengalami panjang antrian berlebih.

Penelitian ini akan menganalisa panjang antrian yang disebabkan oleh simpang

bersinyal tiga lengan Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar terhadap ruas Jl. Sam Ratulangi yang ke arah Rike.

Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah “Bagaimana pengaruh lampu lalu lintas pada simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar terhadap kinerja salah satu lengannya dengan menggunakan analisis gelombang kejut ?

Batasan Masalah

Penelitian ini pun memiliki batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini adalah simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi- Jl. Babe Palar pada lengan Jl. Sam Ratulangi yang menuju ke arah Rike
2. Parameter yang di ukur dalam penelitian ini adalah arus (Volume), Kecepatan (Speed), dan durasi lampu Lalu lintas Model yang dipakai untuk menunjukkan hubungan matematis dari parameter yang ada yaitu model Greenshield, model Greenberg dan Model Underwood
3. Analisa yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan panjang antrian dengan menggunakan analisis gelombang kejut berdasarkan dengan model-model yang tersedia

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hubungan antara arus, kepadatan, dan kecepatan pada persimpangan bersinyal Jl.Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar.
2. Mengetahui panjang antrian yang disebabkan saat adanya lampu lalu lintas pada simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar
3. Pengaruh fase lampu lalu lintas pada simpang bersinyal, terhadap panjang antrian kendaraan yang terjadi di simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi- Jl. Babe Palar.

Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bisa menjadi tolok ukur dalam pengurangan permasalahan kemacetan yang terjadi pada simpang bersinyal tiga lengan khususnya pada simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar dan untuk acuan untuk

meningkatkan pelayanan lampu lalu lintas pada simpang di lokasi penelitian ini.

2. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan tentang gelombang kejut yang terjadi pada simpang bersinyal tiga lengan .
3. Agar dapat membantu pengguna jalan dapat terhindar dari kemacetan yang disebabkan oleh antrian yang panjang pada persimpangan tersebut.

LANDASAN TEORI

Karakteristik Arus Lalu-Lintas

Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan (*Speed*) lalu-lintas didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, seperti jarak per satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam satuan mil/jam (mph) atau km/jam (Khisty & Lall, 1990). Karena kecepatan individual di dalam aliran lalu-lintas ada begitu beragam, maka yang digunakan adalah kecepatan tempuh rata-rata.

$$s = \frac{n \cdot L}{\sum_{i=1}^n t_1}$$

Dimana:

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

Arus (*Volume*)

Arus (*Volume*) lalu-lintas adalah 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 (*Density*)

Kepadatan (*Density*) lalu-lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau jalan, biasanya dinyatakan dengan kendaraan/km (Khisty & Lall, 1990). Perhitungan untuk kepadatan dapat didapatkan langsung melalui

foto udara, tetapi umumnya yang dipakai adalah dengan menghitung menggunakan persamaan berikut apabila kecepatan dan tingkat arus diketahui.

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

Dimana :

D = Kepadatan lalu-lintas (smp/km)

V = Volume lalu-lintas/kapasitas lalu lintas (smp/jam)

S = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Persimpangan

Persimpangan adalah simpul dalam jaringan transportasi dimana 2 (dua) atau lebih ruas jalan bertemu. Disini arus lalu lintas mengalami konflik. Untuk mengendalikan konglik ini ditetapkan aturan lalu lintas untuk menetapkan siapa yang mempunyai hak terlebih dahulu untuk menggunakan persimpangan.

Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas (menurut UU No. 22/2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan: alat pemberi isyarat lalu lintas atau APILL) adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki (*zebra cross*), dan tempat arus lalu lintas lainnya. Lampu ini yang menandakan kapan kendaraan harus berjalan dan berhenti secara bergantian dari berbagai arah. Pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan dimaksudkan untuk mengatur pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan agar dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar-arus yang ada.

Tundaan

Menurut PKJI 2014, Tundaan disebut sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan kendaraan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang.

Antrian Kendaraan

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang dapat kita lihat sehari-hari di jalan raya yang padat. Antrian dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014, didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang.

Sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan meter. Gerakan kendaraan yang berada dalam antrian akan dikontrol oleh gerakan yang didepannya atau kendaraan tersebut dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalu lintas.

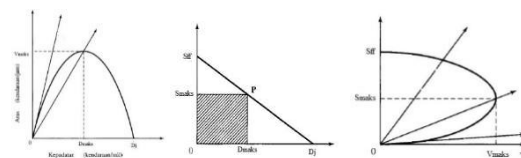
Hubungan antar Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas

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.

$$V=D.S$$

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 (V_{maks}) menunjukkan kepadatan "optimal" (D_{maks}). Dari titik ini menuju ke kanan, arus menurun ketika kepadatan meningkat. Pada kepadatan macet (D_j) 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 antara volume, kecepatan dan kepadatan

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

V_{maks} = 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

Analisa Persamaan Regresi Linier

Analisa yang umum dipakai untuk mengolah data volume lalu lintas guna menentukan karakteristik kecepatan dan kepadatan adalah analisis regresi linier. Analisis ini dilakukan dengan meminimalkan total nilai perbedaan kuadratis antara nilai observasi dan nilai perkiraan dari variable bebas, maka hubungan dari kedua variable itu dikenal dengan analisis regresi linier (Lefrandt, 2012). Bila hubungan tidak bebas y dan variable bebas mempunyai hubungan linier, maka fungsi regresinya

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R²) 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 (Lefrandt, 2012). Koefisien determinasi yang dinyatakan digunakan untuk menentukan model terbaik

yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter.

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

Dimana:

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

Gelombang Kejut Pada Persimpangan

Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas (Soedirdjo & Titi Liliani, 2002) Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalu lintas pada saat memasuki jalan menyempit, pada simpang bersinyal ketika nyala lampu merah. Pada simpang bersinyal, diskontinuitas terjadi saat lampu lalu lintas menyalah merah dan adanya perlambatan sebagai akibat pengurangan kecepatan oleh kendaraan dijalur sebelah karena adanya hambatan berupa pengendali kecepatan (*rumble strips*).

Gelombang Kejut Pada Persimpangan

Gelombang Kejut Simpang Bersinyal, menurut (Tamin, 2003) gelombang kejut pada persimpangan berlampu lalu-lintas dapat dianalisis apabila diketahui hubungan antara arus dengan kerapatan pada lengan persimpangan dan keadaan arus lalu-lintas yang datang pada persimpangan adalah tertentu.

METODOLOGI PENELITIAN

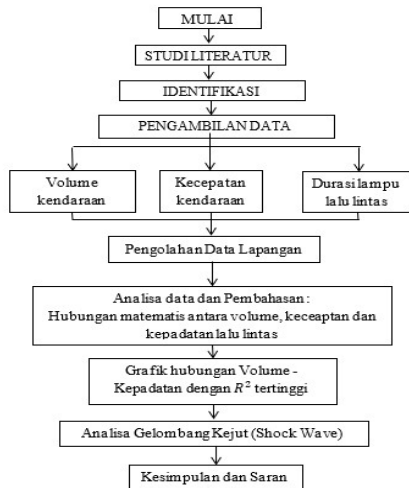
Flow Chart (Bagan Alir)

Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.

Pengolahan Data

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 (*shock wave*).



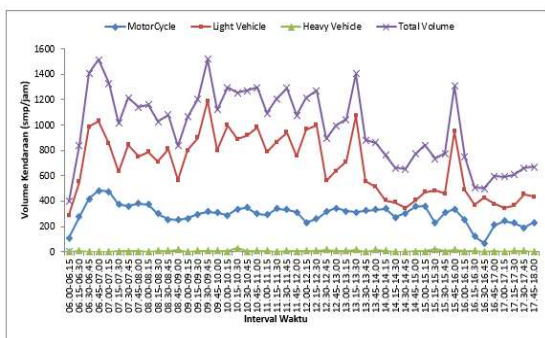
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah di pesimpangan Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar yang dimana proses pengabilan datanya selama 4 hari, pada hari Jumat, 17 Januari 2020 hingga Senin, 20 Januari 2020 dengan interval waktu 15 menit..

Data yang didapatkan di lapangan dikalikan dengan ekivalen mobil penumpang (emp) untuk setiap jenis kendaraan agar didapat volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp). Untuk setiap ekivalen mobil penumpang (emp) menurut MKJI 1998, didapat nilai sebagai berikut:

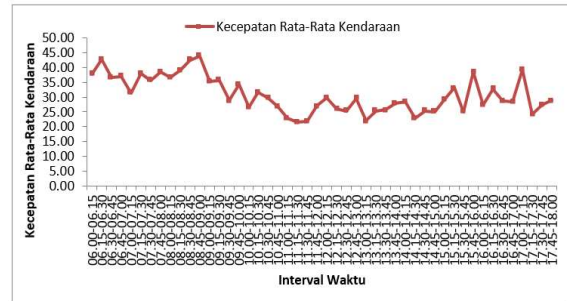
- Unmotorized (UM) = 0,1 - 0,2
- Sepeda Motor (MC) = 0,25 - 0,4
- Kendaraan Ringan (LV) = 1,0
- Kendaraan Berat (HV) = 1,2 - 1,5



Gambar 3. Volume Kendaraan

Kecepatan Kendaraan

Gambar 4 adalah perhitungan kecepatan kendaraan rata-rata pada persimpangan Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar.



Gambar 4. Kecepatan Kendaraan

Kepadatan Kendaraan

Kepadatan yang diperoleh dari hasil survey selama 4 hari pada persimpangan bersinyal Jl. Sam Ratulangi- Jl. Babe Palar berkisar antara 30,89 smp/km hingga 101,2 smp/km. Kepadatan tertinggi yang didapat di lapangan adalah pada hari senin, 20 Januari 2020 sebesar 101,2 smp/km.

Tabel 1 Resume Total Kepadatan

Hari	Kepadatan (smp/km)
Jumat, 17 Januari 2020	58.91
Sabtu, 18 Januari 2020	69.65
Minggu, 19 Januari 2020	30.89
Senin, 20 Januari 2020	101.20

Durasi Siklus Lampu Lalu Lintas

Lamanya durasi lampu lalu lintas pada simpang bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar diperoleh secara langsung dari lokasi penelitian. Dari hasil survey diperoleh lamanya lampu lalu lintas berwarna merah adalah 55 detik, berwarna hijau selama 24 detik dan berwarna kuning selama 3 detik. Maka, lama durasi lampu lalu lintas pada persimpangan Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar adalah selama 82 detik.

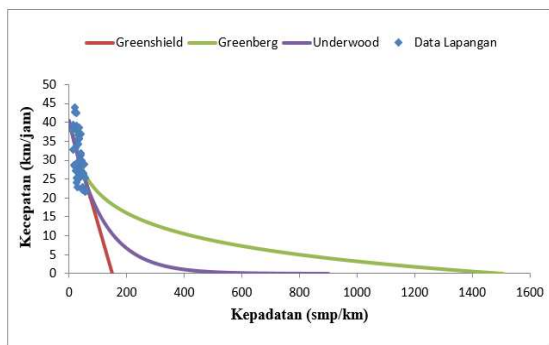
Hubungan Matematis Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas pada Lengan Persimpang Bersinyal Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar

Tabel 2. Resume Model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk Hubungan Karakteristik Volume, Kecepatan, dan Kepadatan hari Jumat, 17 Januari 2020

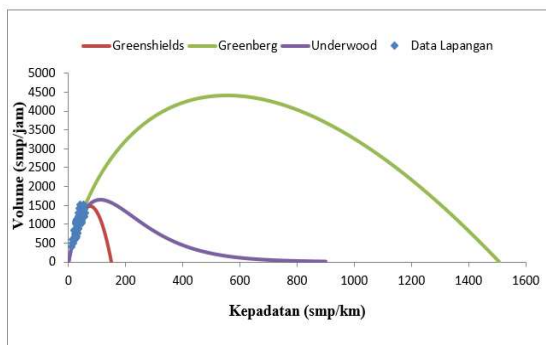
Model	Hubungan Karakteristik	Model Hubungan Matematis
Greenshield	Kepadatan-Kecepatan	$S=39,622 - 0,2646D$
	Volume - Kepadatan	$V=39,622D - 0,2646D^2$
	Kecepatan - Volume	$V=149,743S - 3,779S^2$
Greenberg	Kepadatan-Kecepatan	$S=58,167 - 7,948\ln D$
	Volume - Kepadatan	$V=58,167D - 7,948D\ln D$
	Kecepatan - Volume	$V=121,9639S \cdot e^{-0,128S}$
Underwood	Kepadatan-Kecepatan	$\ln S=3,697 - 0,009D$
	Volume - Kepadatan	$V=40,32D \cdot e^{-0,009D}$
	Kecepatan - Volume	$V=410,76 - 111,11\ln S$

Tabel 3 Rekapitan Hasil Perhitungan VM, SM, dan DM pada hari Jumat, 17 Januari 2020

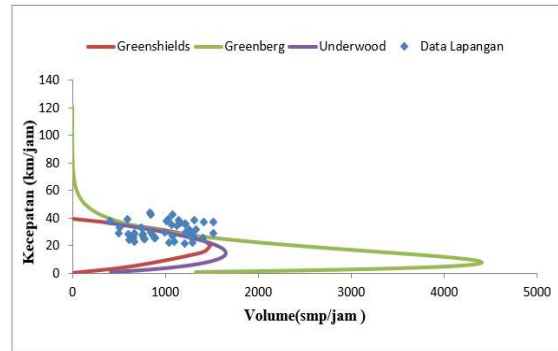
Model	Vm (smp/jam)	Sm (km/jam)	Dm (smp/km)
Greenshield	1483.28	19.811	74.872
Greenberg	4408.83	7.95	554.71
Underwood	846.16	14.83	111.11



Gambar 5. Grafik Hubungan Matematis Kepadatan-Kecepatan Untuk Model Greenshield, Greenberg dan Underwood Pada Hari Jumat, 17 Januari 2020



Gambar 6. Grafik Hubungan Matematis Kepadatan-Volume Untuk Model Greenshield, Greenberg dan Underwood Pada Hari Jumat, 17 Januari 2020



Gambar 8. Grafik Hubungan Matematis Kecepatan-Volume Untuk Model Greenshield, Greenberg dan Underwood Pada Hari Jumat, 17 Januari 2020.

Analisis Gelombang Kejut Pada Lengan Persimpangan Bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar

Gelombang kejut akibat aktivitas lampu lalu lintas pada lenga persimpangan bisa dianalisa jika hubungan matematis antara kepadatan dan volume kendaraan untuk lengan persimpangan Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar yang menuju ke arah rike telah di ketahui dan Kondisi arus lalu lintas telah ditentukan.

Penentuan Model Terpilih Untuk Analisis Gelombang Kejut

Untuk penentuan model terpilih untuk perhitungan gelombang kejut (*shock wave*) adalah berdasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi. Nilai ini ditentukan dalam persamaan (2.61). Selain pertimbangan tersebut perlu dikaji beberapa kondisi khusus yang dimiliki pada masing-masing model, yaitu:

1. Nilai kecepatan arus bebas hanya bisa dihitung dengan metode Greenshields dan Underwood karena metode Greenberg tidak bisa memberikan nilai yang pasti karena grafik memotong sumbu kecepatan pada nilai tak terhingga.
2. 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 diperoleh melalui grafik hubungan kepadatan dan kecepatan dengan Microsoft Excel.

Tabel 4. Nilai Koefisien Determinasi (R²) Model Greenshield, Greenberg, dan Underwood

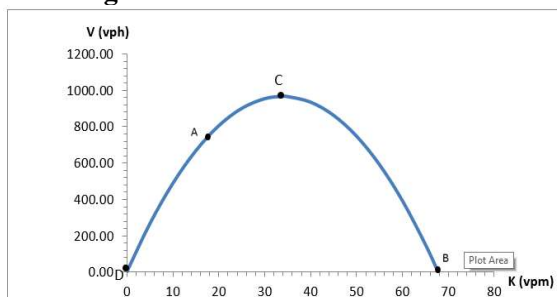
Tanggal	R ²		
	Linier	Logaritmik	Eksponensial
Jumat, 17 Januari 2020	0.2515	0.2359	0.2614
Sabtu, 18 Januari 2020	0.8037	0.8399	0.9053
Minggu, 19 Januari 2020	0.6425	0.5808	0.6724
Senin, 20 Januari 2020	0.5596	0.6432	0.6459

Tabel 4. adalah tabel nilai koefisien determinasi (R²) untuk model Greenshield, model Greenberg, dan model Underwood. Dimana, nilai koefisien determinasi berkisar antara 0,2359 sampai 0,9053.

Berdasarkan Tabel 4. di atas dapat diketahui model terpilih yang dapat mewakili hubungan matematis antara Kepadatan dan Volume dengan nilai Koefisien Determinasi (R²) tertinggi adalah model Greenberg pada Hari Sabtu, 18 Januari 2020 dengan nilai R² = 0,8399 dengan persamaan $V = 86,402D - 16,57D \ln D$. Tetapi, pada analisis ini akan menggunakan model greenshield pada Sabtu, 18 Januari 2020.

Tidak menggunakan model Greenberg karena pada garis sumbu kecepatan model Greenberg memiliki sifat asimtot. Dalam artian, pada garis kurva untuk kecepatan semakin lama semakin kecil mendekati angka nol sehingga nilai kecepatan ada pada nilai tidak terhingga dan tidak dapat memberikan angka pasti untuk kecepatan pada grafik model Greenberg. Sehingga persamaan model Greenshield yang digunakan adalah $V = 56,987D - 0,8406 D^2$.

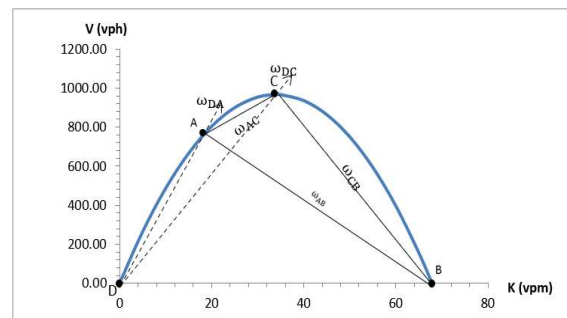
Nilai Gelombang Kejut pada Lengan Simpang Bersinyal di Simpang Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar



Gambar 6. Kurva Volume-Kepadatan

Titik D, merupakan kondisi $V_D = 0$ dan $D_D = 0$. Titik C adalah kondisi dimana volume mencapai nilai maksimum ($V=V_M$) dan kepadatan maksimum ($D=D_M$) $D_m = \frac{D_j}{2} =$

$\frac{67,793}{2} = 33,897$ smp/km dan nilai volume maksimum didapat dengan memasukkan nilai D_m ke persamaan $V = 56.987D - 0.8406D^2$, didapat $V_m = 965,833$ smp/jam. Titik B, kondisi dimana $V_B = 0$ smp/jam maka $D_B = 67,793$ smp/km dan titik A diasumsikan berdasarkan arus lalu lintas pada jam sibuk yaitu $V_A = 780,8$ smp/jam dan $D_A = 19,06$ Smp/km. Nilai volume, kecepatan, dan kepadatan pada Titik B, D, C didapat dari hasil analisis hubungan matematis volume, kecepatan, dan kepadatan model Greenshield pada hari Sabtu, 18 Januari 2020.



Gambar 7. Gelombang Kejut pada Persimpang

Dari gambar, dapat dilihat pada waktu antara t_1 sampai t_2 , lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas pada lengan persimpangan bergerak melewati persimpangan kearah hilir dengan kondisi A (V_A, D_A dan S_A). Pada waktu t_2 lampu lalu lintas berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti (*stop-line*) berubah menjadi kondisi B, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan kearah hilir pada kondisi D, tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai t_1 pada garis henti adalah ω_{DA}, ω_{DB} dan ω_{AB} .

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A$$

$$\omega_{DA} = \frac{780,8 - 0}{19,06 - 0} = 40,965 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = S_B$$

$$\omega_{DB} = \frac{0 - 0}{67,793 - 0} = 0 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A}$$

$$\omega_{AB} = \frac{0 - 780,8}{67,793 - 19,06} = -16,022 \text{ km/jam}$$

Tanda negatif pada perhitungan gelombang kejut diatas menunjukkan gelombang kejut bergerak mundur ke belakang berlawanan

arah dengan pergerakan arus lalu lintas. ω_{AB} adalah gelombang kejut mundur bentukan yang terjadi pada belakang garis henti.

Pada saat t_2 lampu berubah dari merah menjadi hijau, maka sebuah arus lalu lintas akan membentuk kondisi baru yaitu arus lalu lintas kondisi kondisi C dimana arus lalu lintas pada garis henti akan meningkat dari 0 (nol) menjadi jenuh (*saturated*). Sehingga menyebabkan 2 (dua) gelombang kejut baru yakni ω_{DC} dan ω_{CB}

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D}$$

$$\omega_{DC} = \frac{965,833-0}{33,896-0} = 28,494 \text{ km/jam}$$

ω_{DC} adalah gelombang kejut gerak maju yang terjadi di depan garis henti

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C}$$

$$\omega_{CB} = \frac{0-965,833}{67,793-33,896} = -28,493 \text{ km/jam}$$

ω_{CB} adalah gelombang kejut mundur pemulihan yang terjadi pada garis henti. Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B dan S menerus terjadi sampai dengan ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 . Selang waktu antara t_2 sampai t_3 dapat dihitung dengan persamaan. Dimana, r merupakan durasi efektif (detik) nyala lampu berwarna merah.

$$t_3-t_2 = r \cdot \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right|$$

$$t_3-t_2 = 55 \cdot \left| \frac{-16,022}{-28,493 - (-16,022)} \right|$$

$$t_3-t_2 = 70,657 \text{ detik}$$

Panjang antrian maksimum (QM) dapat terjadi apabila waktu t_3 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut dimana r adalah durasi efektif lampu merah (detik)

$$QM = \frac{r}{3600} \times \left| \frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right|$$

$$QM = \frac{55}{3600} \times \left| \frac{-28,493 \cdot (-16,022)}{-28,493 - (-16,022)} \right|$$

$$QM = 0,559 \text{ Km} = 559,241 \text{ Meter}$$

Panjang antrian yang didapat adalah 185,4 meter merupakan panjang antrian dari volume di ruas jalan Fista oleh karena itu untuk mendapat panjang antrian kendaraan yang berbelok kiri ke rike maka nilai yang didapat dikalikan dengan presentasi volume kendaraan yang berbelok ke kiri ke arah rike maka:

$$QM = 559,241 \times 58,3 \%$$

$$QM = 324,359 \text{ Meter}$$

Ketika waktu t_3 , maka terbentuklah 1 (satu) gelombang kejut baru yaitu gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}) sedangkan 2 (dua) gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A}$$

$$\omega_{AC} = \frac{965,833 - 780,8}{33,896 - 19,06} = 12,471 \text{ km/jam}$$

Tanda positif menunjukkan gelombang kejut bergerak maju. Arus lalu lintas pada kondisi D, C dan A akan terus terjadi sampai dengan t_5 , yaitu pada saat lampu merah menyala. Di waktu t_4 , gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}) memotong garis henti dan arus lalu lintas pada garis henti berubah dari arus lalu lintas maksimum V_C menjadi V_A . Waktu mulainya lampu hijau sampai (t_2) sampai (t_4) dapat dihitung dengan persamaan.

$$t_4 - t_2 = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AB}} + 1 \right|$$

$$t_4 - t_2 = \frac{55 \cdot (-16,022)}{-28,493 - (-16,022)} \cdot \left| \frac{-28,493}{-16,022} + 1 \right| = 196,314 \text{ detik}$$

$t_4 - t_2 = T$ adalah waktu penormalan, yang adalah total waktu sejak diberlakukan penormalan lajur hingga antrian terakhir.

Tabel 5. Variasi nilai r

Va	Da	Sa	Vb	Db	Sb	Wab	Vc	De	Sc	Wcb	Wac	r	t3-t2	Qm	Qm	t4-t2	T
smp/jam	smp/km	km/jam	smp/jam	smp/km	km/jam	km/jam	smp/jam	KM/Jam	KM/Jam	KM/Jam	KM/Jam	Detik	Detik	KM	M	Detik	Detik
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	55	70.66	0.326	326.037	196.314	475.057
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	60	77.08	0.356	355.677	214.161	565.358
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	65	83.50	0.385	385.317	232.008	663.510
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	70	89.93	0.415	414.957	249.854	769.514
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	75	96.35	0.445	444.597	267.701	883.371
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	80	102.77	0.474	474.236	285.548	1005.080
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	85	109.20	0.504	503.876	303.395	1134.641
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	90	115.62	0.534	533.516	321.241	1272.054
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	95	122.04	0.563	563.156	339.088	1417.520
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.83	33.90	28.49	-28.493	12.47	100	128.47	0.593	592.795	356.935	1570.438

Tabel 6. Variasi nilai Va

Va	Da	Sa	Vb	Db	Sb	Wab	Vc	Dc	Sc	Wcb	Wac	r	t3-t2	Qm	Qm	t4-t2	T
smp/jam	smp/km	km/jam	smp/jam	smp/km	km/jam	km/jam	smp/jam	KM/Jam	KM/Jam	KM/Jam	KM/Jam	Detik	Detik	KM	M	Detik	Detik
780.8	19.06	40.965	0	67.793	0	-16.022	965.833	33.896	28.494	-28.493	12.471	55	70.657	0.326	326.037	196.314	475.057
730.8	17.180	42.549	0	67.793	0	-14.439	965.833	33.896	28.494	-28.493	14.060	55	56.504	0.261	260.730	168.008	366.335
680.8	19.060	43.972	0	67.793	0	-13.970	965.833	33.896	28.494	-28.493	19.211	55	52.903	0.244	244.116	160.807	291.391
630.8	13.930	45.275	0	67.793	0	-11.711	965.833	33.896	28.494	-28.493	16.780	55	38.380	0.177	177.101	131.761	233.106
580.8	12.490	46.484	0	67.793	0	-10.502	965.833	33.896	28.494	-28.493	17.987	55	32.105	0.148	148.144	119.210	189.149
530.8	11.150	47.616	0	67.793	0	-9.371	965.833	33.896	28.494	-28.493	19.125	55	26.953	0.124	124.369	108.905	154.152
480.8	9.880	48.686	0	67.793	0	-8.302	965.833	33.896	28.494	-28.493	20.196	55	22.614	0.104	104.350	100.229	125.686
430.8	8.860	49.590	0	67.793	0	-7.310	965.833	33.896	28.494	-28.493	21.370	55	18.979	0.088	87.577	92.959	101.991

Selanjutnya perhitungan gelombang kejut untuk berbagai variasi nilai r dapat dihitung gelombang kejut dengan berbagai kondisi A yang berbeda.

Pada tabel 5 dan tabel 6 adalah tabel variasi nilai r dan variasi nilai Va. Dapat dilihat pada tabel 5 untuk varian nilai r. Nilai durasi lampu lalu lintas berwarna merah ditambahkan maka akan berpengaruh pada nilai panjang antrian. Nilai r ditambahkan maka akan semakin besar nilai dari panjang antrian (Q_m). Pada tabel 6 untuk variasi nilai Va. Dimana, nilai Va ditambahkan dan nilai Durasi lampu merah (r) tetap. Maka, dapat dilihat pada tabel nilai gelombang kejut bergerak mundur (ω_{AB}) dan gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}) semakin bertambah. Namun, nilai Q_m semakin mengecil.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada lokasi penelitian persimpangan bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar jalur yang berbelok kanan ke arah rike, selama 4 hari mulai dari hari Jumat, 17 Januari 2020 sampai dengan hari Senin, 20 Januari 2020, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model greenshield adalah model yang terpilih yang digunakan untuk menganalisis gelombang kejut, dan persamaan yang digunakan adalah yang memiliki nilai koefisien determinasi (R²) tertinggi yaitu hari Sabtu, 18 Januari 2020 dengan R² sebesar 0.8037, dengan hubungan antar parameter sebagai berikut:

- Hubungan Kepadatan dan Kecepatan: $S = 58,987 - 0,8406 D$

- Hubungan Volume dan Kepadatan : $V = 58,987 - 0,8406 D^2$
 - Hubungan Volume dan Kecepatan: $V = 67,793S - 1.189 S^2$
2. Nilai gelombang kejut yang diperoleh untuk gelombang kejut bergerak mundur adalah -16.022 km/jam; gelombang kejut mundur pemulihan adalah -28.4935 km/jam dan gelombang kejut gerak maju adalah 12.471 km/jam.
3. Pengaruh fase lampu lalu lintas pada lengan simpang Jl. Sam Ratulangi-Jl. Babe Palar lebih tepatnya, pada lengan yang mengarah ke rike dari arah patung Sam Ratulangi dengan durasi lampu lalu lintas berwarna merah selama 55 detik berpengaruh pada kemacetan pada ruas tersebut karena pada analisis gelombang kejut didapat, volume maksimum (V_M) adalah sebesar 965.833 smp/jam, kepadatan maksimum (D_M) adalah 33.896 smp/km dan diambil kondisi arus V_A = 780,8 smp/jam yang mengalami penundaan selama 55 detik di dapat panjang antrian (Q_M) 324,359 meter dan waktu penormalan 196,314 detik, dimana waktu penormalan lebih besar dari durasi lampu hijau yaitu 24 detik, artinya pada saat lampu berubah hijau ke merah semua kendaraan yang mengantri belum melewati garis henti.

Saran

Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa lampu lalu lintas pada persimpangan Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar tidak mampu untuk melayani kendaraan yang melintas pada persimpangan tersebut. Oleh karena itu, saran penulis untuk pemerintah untuk mengoptimalkan lampu lalu lintas berwarna hijau agar beroperasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bella, M. H. L. A., Timboeleng, J. A., Rompis, S. Y. R., 2016. *Analisa Gelombang Kejut pada Persimpangan Bersinyal (Studi Kasus: Jl. 17 Agustus - Jl. Babe Palar)*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.9 September 2016 (559-566) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hobbs, F. D., 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kementrian Pekerjaan Umum, 2014. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta.
- Khisty, C. J., Lall, B. K., 1990. *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi (Jilid 1)*.
- Lefrandt, L. I. R., 2012. *Kapasitas dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Piere Tendeand Manado pada Kondisi Arus Lalu Lintas Satu Arah*. TEKNO, 10(57). Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Pane, Fanto Pardomuan., 2018. *Analisa Perbandingan Panjang Antrian Menggunakan Teori Antrian dan Analisis Gelombang Kejut di Loker Keluar Kendaraan Kawasan Megamas Manado*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.2 Februari 2018 (101-112) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Pesik, B. S., Rompis, S. Y. R., Pandey, S. V., 2017. *Studi Pemanfaatan Lampu Lalu Lintas untuk Penyeberangan Jalan dan Pengaruhnya terhadap Panjang Antrian Kendaraan (Studi Kasus: Pelican Depan Manado Town Square)*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.2 April 2017 (67-82) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Soedirdjo, Titi Liliani., 2002. *Rekayasa lalu lintas*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas. Jakarta.
- Tamin, O. Z., 2003. *Perencanaan, Pemodelan dan Rekayasa Transportasi contoh soal dan aplikasi*. ITB, Bandung.
- Tungka, F. R., 2006. *Analisis Gelombang Kejut pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi dengan Jl. Baru Karombasan*, Skripsi, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Wowor, Stella., Rompis, S. Y. R., Lefrandt, L. I. R., 2019. *Analisa Gelombang Kejut Akibat Aktivitas Angkutan Kota (Studi Kasus: Jl Sam Ratulangi – Ranotana, MAanado)*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.7 Juli 2019 (787-796) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.