

Analisis Karakteristik Lalu Lintas Dengan Pemodelan *Greenshield*, *Greenberg* Dan *Underwood* (Studi Kasus: Ruas Jalan Pierre Tendean, Kota Manado)

Prylita Rombot^{1*}, dan Samuel Butar Butar²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado, Tondano

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prisma, Manado

Abstrak. Meningkatnya pertumbuhan transportasi yang tidak seimbang dengan pertumbuhan prasarana transportasi secara tidak langsung memperbesar resiko permasalahan lalu lintas, salah satunya adalah masalah kemacetan yang mengakibatkan terganggunya suatu perjalanan. Salah satu cara untuk mengatasi masalah kemacetan ini diperlukan sistem transportasi yang baik dalam perencanaan, perancangan maupun dalam menetapkan berbagai kebijakan sistem transportasi. Ada beberapa parameter yang dapat digunakan dalam manajemen lalu lintas salah satunya adalah karakteristik lalu lintas dengan menggunakan metode pendekatan matematis dan untuk dapat menganalisa perilaku lalu lintas pada ruas jalan Jendral Ahmad Yani di Kota Manado maka dilakukan analisa dengan merepresentasikan hubungan karakteristik lalu lintas yaitu hubungan antara volume (*Flow*), kecepatan (*Speed*), serta kepadatan (*Density*) dengan pemodelan *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood*. Hasil penelitian menunjukkan jam sibuk pada lokasi studi ruas jalan Jendral Ahmad Yani adalah jam 18:30-18.45, jumlah kendaraan bermotor didominasi oleh LV (52.343%), diikuti oleh MC (47.021%) dan yang paling kecil HV (0.636%), volume lalu lintas maksimum 3364 smp/jam dan volume minimum 1848 smp/ jam. Dari hasil pemodelan lalu lintas *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood* untuk ketiga model memiliki $R^2 > 0.75$ yang berarti ketiga model tersebut dapat dipakai untuk merepresentasikan model arus lalu lintas di lokasi studi.

Kata kunci: karakteristik lalu lintas; *Greenshield*; *Greenberg*; *Underwood*.

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur Jaringan Jalan perlu dioperasikan dengan baik. Infrastruktur Jaringan Jalan pada dasarnya diadakan untuk mengalirkan Lalu-Lintas[1]. Permasalahan lalu lintas jalan raya merupakan suatu permasalahan yang kompleks dalam dunia transportasi darat terutama untuk transportasi perkotaan. Setiap diselesaikan satu permasalahan akan muncul permasalahan yang lain, dan tidak menutup kemungkinan bahwa masalah yang berhasil diselesaikan dikemudian hari akan muncul karena adanya perubahan. Problem transportasi diperkotaan tersebut timbul terutama disebabkan oleh tingginya tingkat urbanisasi, pertumbuhan jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan pertumbuhan prasarana transportasi [2]. Informasi mengenai pergerakan arus lalu lintas sangat penting untuk diketahui di daerah perkotaan. Hal ini dikarenakan populasi dan pergerakan arus lalu lintas di daerah perkotaan meningkat pesat setiap harinya. Menurut Utama (2016) [3], teori pergerakan arus lalu lintas memegang peranan sangat penting dalam perencanaan, perancangan, dan penetapan berbagai kebijakan sistem transportasi. Menurut Widodo, dkk. (2012) [4] yang menyatakan bahwa peningkatan volume lalu lintas dapat menyebabkan berubahnya perilaku lalu lintas, sehingga secara teoritis terdapat hubungan yang mendasar antara volume (*flow*) dengan kecepatan (*speed*) serta kepadatan (*density*). Oleh karena itu, dalam artikel ini akan dikaji tentang analisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas. Untuk merepresentasikan hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas digunakan tiga model diantaranya model *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood*.

Dalam RTRW Kota Manado Jalan Piere Tendean merupakan jalan kolektor sekunder ciri-ciri kecepatan rata-rata 20 km/jam, lebar badan jalan 7meter, kendaraan angkutan barang berat tidak diizinkan melalui

* Corresponding author: 1. Prylitarombot@gmail.com

fungsi jalan, lokasi parkir pada badan jalan dibatasi. Sebagai pusat berbagai pelayanan jasa, perkantoran dan kegiatan lainnya, karena hal tersebut menimbulkan pergerakan yang relatif lebih besar dan kemacetan. Berbagai upaya telah dilakukan misalnya, penertiban lalu lintas dan juga perubahan arus lalu lintas menjadi satu arah namun seiring dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi ditambah lagi banyaknya bangunan komersial yang ada di Jalan Piere Tendean, maka kebutuhan akan transportasi pun meningkat, sehingga akan mempengaruhi lalu lintas di ruas jalan tersebut. Perkembangan pembangunan Kota Manado khususnya di kawasan Boulevard yang semakin pesat ditandai dengan maraknya bangunan komersial di satu sisi yang menunjukkan adanya pertumbuhan ekonomi, pada sisi lain menimbulkan persoalan dalam transportasi khususnya kemacetan [5].

Berangkat dari hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan hubungan karakteristik lalulintas dan membuat model arus lalu lintas di lokasi wilayah studi dengan menggunakan 3 buah model, yaitu Greenshield, Greenberg, dan Underwood. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menjadi analisis dasar untuk penelitian selanjutnya yang mengkaji kebutuhan perbaikan kinerja lalu lintas. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk melengkapi daftar kinerja lalu lintas di kota Manado menggunakan Model Greenshield, Greenberg, dan Underwood. Beberapa penelitian sejenis yang menggunakan 3 model untuk menghasilkan persamaan pengaruh lalu lintas di Kota Manado antara lain. Timpal dkk tahun 2018 [6] menggunakan 3 model untuk menganalisis kapasitas dan kinerja ruas Jalan Sam Ratulangi, Brilia dkk tahun 2019 [7] menganalisis pengaruh penyempitan jalan terhadap karakteristik lalu lintas dengan 3 model lalu lintas, Maer dkk tahun 2022 [8] menyusun 3 model lalu lintas untuk menganalisis pengaruh U-Turn terhadap ruas jalan, Siongke dkk tahun 2022 [9] menganalisis pengaruh gelombang kejut terhadap kinerja lalu lintas menggunakan 3 model tersebut, Tahir dkk tahun 2023 [10] menyusun 3 model lalu lintas untuk menganalisis pengaruh hambatan samping.

Volume Lalu Lintas

Menurut Sukirman (1994), Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Jenis kendaraan dalam perhitungan ini diklasifikasikan dalam 3 macam kendaraan yaitu:

- a. Kendaraan ringan (*Light Vehicles = LV*)
Indeks untuk kendaraan bermotor dengan empat roda (mobil penumpang)
- b. Kendaraan berat (*Heavy Vehicles = HV*)
Indeks untuk kendaraan bermotor dengan roda lebih dari empat (bus, truck dua gandar, truck tiga gandar dan kombinasi yang sesuai)
- c. Sepeda motor (*Motor Cycle = MC*)
Indeks untuk kendaraan bermotor dengan roda dua
Kendaraan tak bermotor (sepeda, becak dan kereta dorong) parkir pada badan jalan dan pejalan kaki dianggap sebagai hambatan samping.

Model Greenshield

Model greenshield adalah model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati karakteristik arus lalu lintas di jalan raya. Pada Tahun 1934, Greenshield mengadakan studi pada jalur jalan di luar Kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas. Greenshield mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linier. Hubungan linier kecepatan dan kepadatan ini menjadi hubungan yang populer dalam tinjauan pergerakan arus lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Model ini dapat dituliskan:

$$S = S_f - (S_f/D_j) D \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- S = Kecepatan rata-rata (km/ jam)
- S_f = Kecepatan arus bebas(km/ jam)
- D = Kepadatan rata-rata (smp/ km)
- D_j = Kepadatan saat macet (smp/ km)

Jika $S = V/D$ disubstitusi kedalam formula (1), maka didapat hubungan volume (V) dengan kerapatan (D):
 $V/D = S_f - (S_f / D_j) D$

$$V = Sf \cdot D - (Sf / Dj) \cdot D^2 \dots\dots\dots (2)$$

Jika $D = V/S$ disubstitusikan ke dalam formula (2), maka didapat hubungan volume arus dengan (V) dengan Kecepatan (S) sebagai berikut:

$$S = Sf - (Sf / Dj) \cdot V/S$$

$$V = Dj \cdot S - (Dj / Sf) \cdot S^2 \dots\dots\dots (3)$$

Volume maksimum terjadi pada saat nilai kepadatan optimum (D_o) yaitu jika turunan pertama formula (2) sama dengan nol.

$$V/D = Sf - 2 \cdot D (Sf/Dj) = 0 \text{ sehingga:}$$

$$D = Dj/2 \dots\dots\dots (4)$$

Jika nilai D_o disubstitusikan ke dalam formula (2) maka, Volume maksimum (V_{max}) bisa didapatkan:

$$V_{max} = (Sf \cdot Dj) / 4 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- D_j = kepadatan macet (smp/ km)
- S_f = Arus bebas (km/ jam)
- V_{maks} = Kapasitas (smp/ jam)

Model Greenberg

Model greenberg mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. Greenberg pada Tahun 1959 mengadakan studi yang dilakukan di terowongan dan menganalisis hubungan antara kecepatan dan kepadatan dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan gerakan benda cair. Dengan asumsi tersebut, Greenberg mendapatkan hubungan antara Kecepatan - Kepadatan dalam bentuk logaritma.

$$S = S_o \cdot \ln (D_j / D) \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- S_o = Kecepatan optimum (km/jam)

Jika $S = V/D$ disubstitusikan ke dalam formula (6) maka akan didapatkan model hubungan antara volume/ arus dengan Kecepatan arus lalu lintas seperti pada formula (10).

$$V/D = S_o \cdot \ln (D_j / D)$$

$$V = S_o \cdot D \cdot \ln (D_j / D) \dots\dots\dots (7)$$

Jika $D = V/S$ disubstitusikan ke dalam formula (6) maka akan didapatkan suatu model hubungan antara volume dengan kecepatan.

$$S = S_o \cdot \ln (D_j / D) \text{ sehingga:}$$

$$V = Dj \cdot S \cdot e^{-(S/S_o)} \dots\dots\dots (8)$$

Arus maksimum terjadi pada saat tercapainya nilai kepadatan optimum (D_o), yaitu jika turunan pertama formula (7) sama dengan nol yaitu:

$$V/D = S_o \cdot \ln (D_j / D) - S_o = 0 \text{ sehingga:}$$

$$D = D_o = Dj / e \dots\dots\dots (9)$$

Selanjutnya bila nilai $D_o = Dj/e$ disubstitusikan ke formula (8) maka akan didapatkan nilai volume yang maksimum sehingga:

$$V_{maks} = S_o \cdot D_o \dots\dots\dots (10)$$

Model Underwood

Model Underwood mengemukakan hubungan antara kecepatan dan kepadatan arus lalu lintas mengikuti fungsi eksponensial dengan bentuk formula:

$$S = S_f \cdot e^{-(D/D_o)} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan mengubah formula (11) ke dalam bentuk linear $Y = a + bX$ maka:

$$\ln S = \ln S_f - D / D_o \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

- Y = ln S
- A = ln Sf
- B = - 1/Do

Jika $V = S \times D$ disubstitusikan ke dalam formula (9) maka akan didapatkan suatu model hubungan antara volume dengan kerapatan arus lalu lintas, yaitu:

$$\begin{aligned} V/D &= Sf \cdot e^{-(D/Do)} \\ V &= Sf \cdot D \cdot e^{-(D/Do)} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

Jika $D = V/S$ disubstitusikan ke dalam formula (9) maka, akan didapatkan suatu model hubungan antara volume dengan kecepatan arus lalu lintas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S &= Sf \cdot e^{-((V/S)/Do)} \text{ sehingga:} \\ V &= Do \cdot S \cdot \ln(Sf/S) \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

Pada saat nilai kepadatan optimum (Do), maka Volume Arus maksimum (V_{maks}) juga terjadi sehingga secara matematik didapatkan bahwa kondisi V_{maks} jika turunan pertama formula (14) sama dengan nol sehingga:

$$V_{max} = Sf \cdot Do/e \dots\dots\dots (15)$$

2. METODE

Penelitian ini mengambil data dengan menggunakan survey lalu lintas selama tiga hari yaitu hari sabtu, minggu dan senin dan penelitian dimulai dari pukul 07:00 – 22:00 pada lokasi ruas jalan pierre tendean kota manado. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode penelitian jenis survey untuk mendapatkan data kecepatan dan volume lalu lintas yang kemudian dianalisis dengan menggunakan pemodelan greenshield, greenberg dan underwood, Penyajian hasil penelitian ditunjukkan melalui kurva dan tabel berupa data volume, data kecepatan, data kecepatan rata-rata, dan hasil analisis pemodelan lalu lintas. Berikut ini adalah gambar lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mempersiapkan alat dan bahan survey, kemudian melakukan pengambilan data kecepatan dan volume lalu lintas setelah data didapatkan selanjutnya dilakukan analisa data dan kalibrasi data dengan metode pemodelan Greenshields, Greenberg, dan underwood. Hasil kalibrasi data mendapatkan karakteristik lalu lintas serta hubungan antara volume (*Flow*), kecepatan (*Speed*), serta kepadatan (*Density*). Berdasarkan hasil analisa data tersebut dapat diambil kesimpulan bagaimana karakteristik lalu lintas pada ruas jalan Pierre Tedeau, oleh karena itu diperlukan gambaran hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan, serta pemodelan manakah yang paling tepat untuk diterapkan pada ruas jalan Pierre Tedeau.

Bagan alir penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut.



- Dimulai dengan perumusan masalah dari kondisi aktual di lapangan, kemudian melakukan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap permasalahan di lapangan serta solusi dan penyelesaiannya yang berasal dari artikel ilmiah yang telah terbit di Jurnal maupun di textbook.
- Setelah itu dilanjutkan dengan perancangan metodologi penelitian yang mengidentifikasi tahapan pelaksanaan penelitian, kebutuhan data dan metode pengumpulan data penelitian, dan mengidentifikasi metode analisis data yang dapat menjawab tujuan dari penelitian.
- Selanjutnya adalah pengumpulan data sesuai dengan hasil rancangan metodologi.
- Data yang terkumpul kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode analisis dan alat bantu/ software seperti yang sudah direncanakan.
- Hasil analisis kemudian akan dibahas dan disimpulkan untuk menjawab penelitian ini. Berikut adalah bagan alir pelaksanaan penelitian.

Gambar 2. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

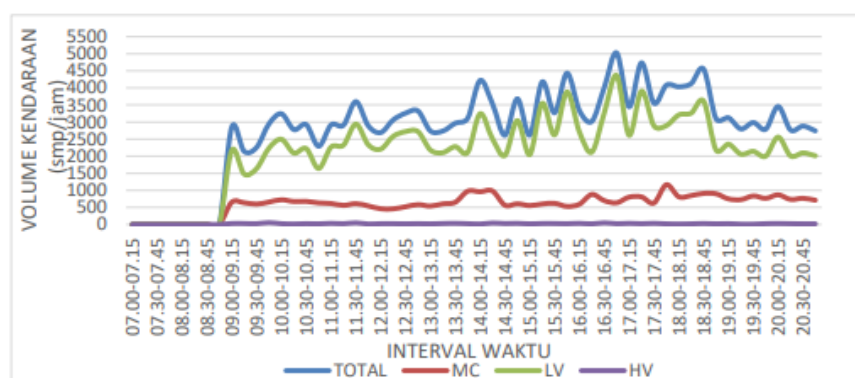
3. HASIL

Pada penelitian ini data volume lalu lintas diambil masing-masing setiap 15 menit dan kemudian jumlah tersebut dikalikan dengan nilai ekivalensi mobil penumpang kendaraan berdasarkan jenis kendaraan. Nilai ekivalensi di ambil dari MKJI 1997 yaitu sepeda motor (MC) = 0.4 , kendaraan ringan (LV) = 1.0 , kendaraan berat (HV) = 1.3 selanjutnya volume masing – masing dijumlahkan untuk mendapatkan nilai volume yang sebenarnya dalam satuan smp/menit dan dikonversi kedalam satuan smp/ jam.

Tabel 1. Nilai Satuan Mobil Penumpang Jalan Perkotaan terbagi atau jalur satu arah/jalan satu arah.

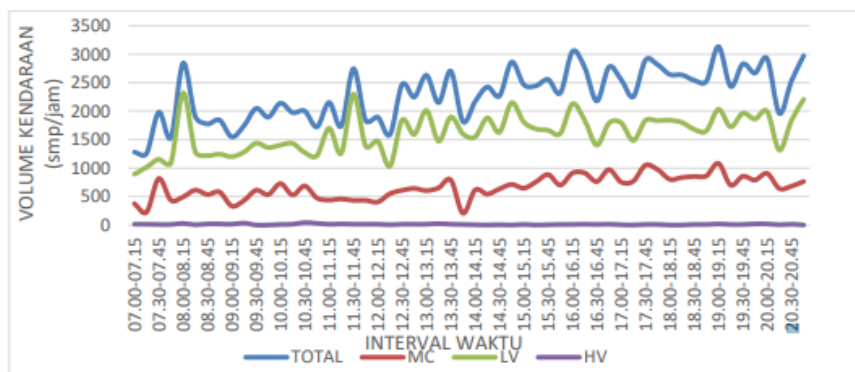
Tipe Jalan	Arus lalu lintas per jalur (kend/jam)	LV	HV	MC
Dua Lajur satu arah (2/1) dan Empat Lajur Dua Arah	0 ≥ 1050		1.3 1.2	0.4 0.25
Tiga Lajur satu arah (3/1) dan Enam lajur dua arah (6/2)D	0 ≥ 1100	1.0	1.3 1.2	0.4 0.25

Volume kendaraan pada ruas jalan pierre tendean berdasarkan hasil survey pada hari sabrtu tanggal 5 Agustus 2023 dapat dilihat pada grafik di bawah ini dimana digambarkan pada hari Sabtu nilai volume yang tinggi terjadi pada sore hari yaitu pada pukul 16:30-16:45. Hasil survey dapat dilihat bahwa variasi arus kendaraan ringan dan sepeda motor sangat mendominasi, sebaliknya arus kendaraan berat tidak menunjukkan peningkatan yang cukup berarti.



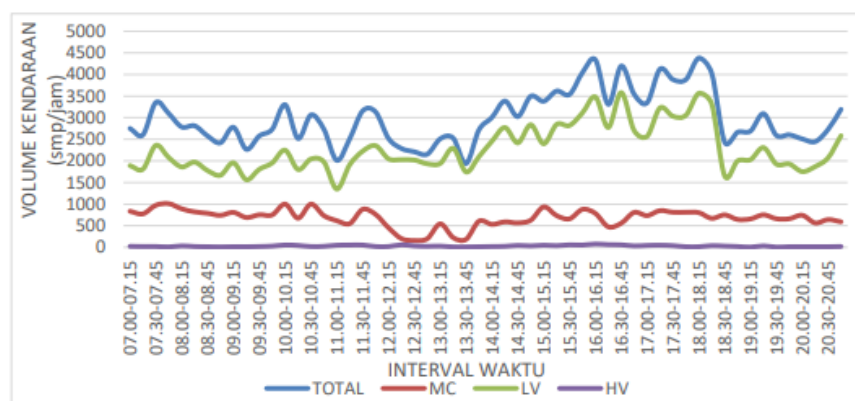
Gambar 3. Volume Lalu Lintas Ruas Jalan Pierre Tendeau Sabtu 5 Agustus 2023

Grafik dibawah ini menggambarkan volume setiap jenis kendaraan yang melewati ruas jalan pierre tendean kendaraan ringan (LV) lebih mendominasi dan diikuti oleh kendaraan bermotor (MC).



Gambar 4. Volume Lalu Lintas Ruas Jalan Pierre Tendean Minggu 6 Agustus 2023

Grafik dibawah ini merupakan grafik volume kendaraan lalu lintas yang di ambil dari survey pada hari seni tanggal 7 Agustus 2023 dimana volume lalu lintas pada ruas jalan pierre tendean nilai volume maksimum cenderung terjadi pada waktu sore dan malam hari sedngkan volume minimum terjadi pada waktu pagi dan siang hari.



Gambar 5. Volume Lalu Lintas Ruas Jalan Pierre Tendean Senin 7 Agustus 2023

Tabel 2. Volume maksimum dan minimum kendaraan pada ruas jalan Pierre Tendean

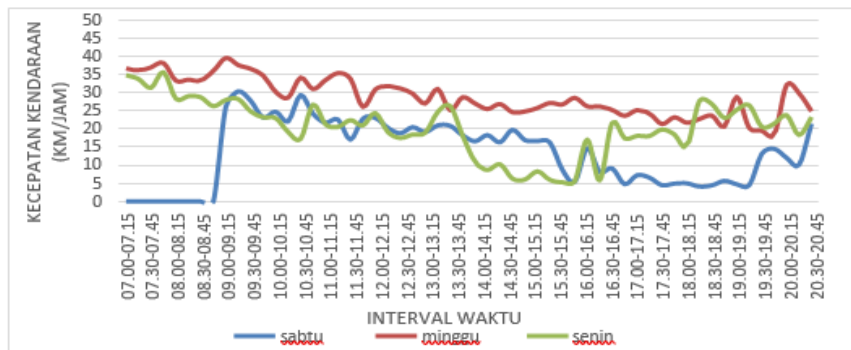
Waktu	Maks	Min
Sabtu, 5 Agustus 2023	(16.45-17.00) 5024.8 smp/jam	(09.15-09.30) 2141.6 smp/jam
Minggu, 6 Agustus 2023	(19.00-19.15) 3134.4 smp/jam	(07.15-07.30) 1257.6 smp/jam
Senin, 7 Agustus 2023	(16.00 -16.15) 4340.8 smp/jam	(13.30.-13.45) 1939.2 smp/jam

Perhitungan Kecepatan

Menurut MKJI (1997) Kecepatan tempuh dinyatakan sebagai ukuran utama dalam suatu segmen jalan, kecepatan pada penelitian terdapat dua kecepatan pertama kecepatan kendaraan yang didapat berdasarkan survey lalu lintas dan kecepatan rata-rata yang dimana variable kecepatan ini digunakan untuk menganalisa hubungan kecepatan, volume dan kepadatan. Dalam suatu aliran lalu lintas yang bergerak setiap kendaraan mempunyai kecepatan yang berbeda sehingga aliran lalu lintas tidak mempunyai sifat kecepatan yang tunggal akan tetapi dalam bentuk distribusi kecepatan kendaraan individual.

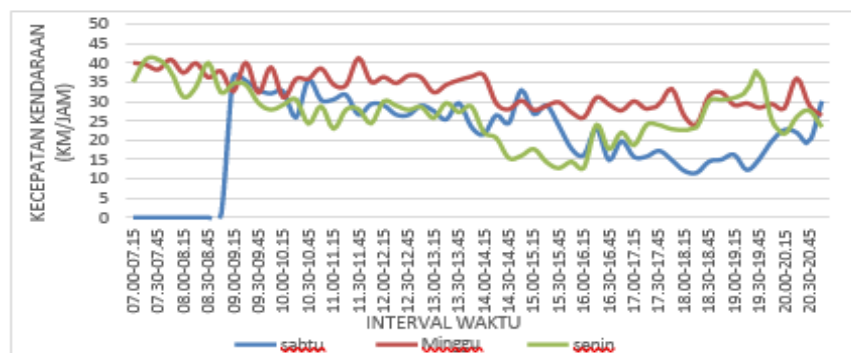
Kecepatan kendaraan pada ruas jalan Pieere tendean berdasarkan hasil suvey kecepatan kendaran ringan (LV) nilai kecepatan yang tinggi terjadi pada hari minggu pada pukul 09.00-09:15 dengan kecepatan 39.57 km/jam dan nilai kecepatan yang rendah terjadi pada hari sabtu pada pukul 18:30-18:45 dimana kecepatan terendahnya adalah 4.12 km/jam, untuk kecepatan kendaraan bermotor memiliki nilai yang tinggi pada hari

minggu pada pukul 07:45-08:00 dengan kecepatan 40.87 km/jam dan memiliki nilai yang rendah pada hari sabtu yaitu sekitar pukul 18:15-18:30 dengan kecepatan 11.5 km/jam. Kecepatan hasil survey dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 6. Grafik kecepatan kendaraan ringan (LV) pada ruas jalan Pierre Tendean

Kecepatan kendaraan LV paling rendah dicapai di Hari Sabtu pada jam 18.00-19.00 (saat dimana aktivitas malam minggu warga Kota Manado), sementara untuk kecepatan kendaraan LV paling tinggi dicapai di hari Minggu pada jam 07.00-08.00 pagi.



Gambar 7. Grafik kecepatan kendaraan motor (MC) pada ruas jalan

Kecepatan kendaraan MC memiliki karakteristik serupa dengan kendaraan LV, dimana paling rendah dicapai di Hari Sabtu pada jam 18.00-19.00 (saat dimana aktivitas malam minggu warga Kota Manado), sementara untuk kecepatan kendaraan LV paling tinggi dicapai di hari Minggu pada jam 07.00-08.00 pagi.

Dari gambar grafik kecepatan dapat didapatkan kecepatan maksimum dan minimum kendaraan ringan yang disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3. Kecepatan maksimum dan Minimum Kendaraan Ringan (LV)

Waktu	Maks	Min
Sabtu, 5 Agustus 2023	(09.15-09.30) 30.41 km/jam	(18.30-18.45) 4.12 km/jam
Minggu, 6 Agustus 2023	(09.00-09.15) 39.57 km/jam	(20.00-20.15) 18.24 km/jam
Senin, 7 Agustus 2023	(07.45-08.00) 35.7 km/jam	(15.45-16.00) 5.3 km/jam

Tabel 4. Kecepatan maksimum dan Minimum Kendaraan Motor (MC)

Waktu	Maks	Min
Sabtu, 5 Agustus 2023	(09.00-09.15) 36.42 km/jam	(18.15-18.30) 11.5 km/jam
Minggu, 6 Agustus 2023	(07.45-08.00) 40.87 km/jam	(18.15-18.30) 24.07 km/jam
Senin, 7 Agustus 2023	(07.30-07.45) 40.85 km/jam	(15.30-15.45) 12.73 km/jam

Untuk mendapatkan parameter karakteristik lalu lintas Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan dianalisis dengan menggunakan tiga pemodelan yaitu Greenshield dimana hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan linear, Greenberg mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan – kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik, dan Underwood mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan – kepadatan bukan merupakan fungsi logaritmik, dari hasil kalibrasi didapatkan nilai A, B dan R2 seperti pada table di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai A, B, dan R2 pada ruas jalan Pierre Tendean

Hari/ Tanggal	Greenshield			Greenberg			Underwood		
	A	B	R2	A	B	R2	A	B	R2
Sabtu, 5 Agustus 2023	4.067	-0.026	0.794	70.417	-9.984	0.937	3.317	-0.002	0.904
Minggu, 6 Agustus 2023	2.453	-0.161	0.851	85.753	-13.028	0.856	3.832	-0.006	0.875
Senin, 7 Agustus 2023	7.894	-0.037	0.719	77.565	-11.269	0.893	3.457	-0.003	0.894

Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan yang didapat dari hasil kalibrasi pada pemodelan Greenshield, Greenberg, dan Underwood dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Pada ruas Jalan Pierre Tendean

Hari/ Tanggal	Pemodelan	Kecepatan-Kepadatan	Volume-Kepadatan	Volume-Kecepatan
Sabtu, 5 Agustus 2023	Greenshields	$S = 24.067 - 0.026D$	$V = 24.067D - 0.026D^2$	$V = 922.310S - 38.323S^2$
Minggu, 6 Agustus 2023		$S = 42.453 - 0.161D$	$V = 42.453D - 0.161D^2$	$V = 263.384S - 6.204$
Senin, 7 Agustus 2023		$S = 27.894 - 0.037D$	$V = 27.894D - 0.037D^2$	$V = 762.632S - 27.340S^2$

Hari/ Tanggal	Pemodelan	Kecepatan-Kepadatan	Volume-Kepadatan	Volume-Kecepatan
Sabtu, 5 Agustus 2023	Greenberg	$S = 70.417 - 9.985LnD$	$V = 70.417 - 9.985DLnD$	$V = 1155.435S e^{-0,1005S}$
Minggu, 6 Agustus 2023		$S = 85.753 - 13.028LnD$	$V = 85.753D - 13.028DLnD$	$V = 722.159S e^{-0,1007S}$
Senin, 7 Agustus 2023		$S = 77.565 - 11.270LnD$	$V = 77.565D - 11.270DLnD$	$V = 974.986S e^{-0,0887S}$

Hari/ Tanggal	Pemodelan	Kecepatan-Kepadatan	Volume-Kepadatan	Volume-Kecepatan
Sabtu, 5 Agustus 2023	Underwood	$S = 27.571 e^{-0,002D}$	$V = 27.571D e^{-0,002D}$	$V = 1465.054S - 441.711SLnS$
Minggu, 6 Agustus 2023		$S = 46.175 e^{-0,006D}$	$V = 46.175D e^{-0,006D}$	$V = 663.384S - 173.025SLnS$
Senin, 7 Agustus 2023		$S = 31.710 e^{-0,003D}$	$V = 31.710D e^{-0,003D}$	$V = 1302.33S - 376.762SLnS$

Analisis menunjukkan bahwa kecepatan dan kepadatan di hari Sabtu dan Senin memiliki kecepatan paling rendah dan kepadatan yang paling besar dibandingkan hari Minggu. Hal ini dikarenakan arus kendaraan yang sangat padat menyebabkan penurunan kecepatan dan meningkatkan kepadatan. Hal yang sama juga terjadi untuk variabel Volume kendaraan dan kepadatan. Sementara untuk hubungan volume dan kecepatan, hari Sabtu dan Senin memiliki volume kendaraan terbesar dan kecepatan terendah, hal ini karena pada hari Sabtu dan Senin, volume kendaraan yang melalui ruas jalan cukup besar akibat pengaruh *weekend* dan hari pertama *weekday*.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisis menunjukkan bahwa jam sibuk pada ruas jalan Pierre Tendean adalah pukul 16:00-16:15 jumlah kendaraan didominasi oleh LV (56.94%), diikuti oleh MC (42.45%), dan yang paling kecil HV (0.611%), Volume lalu lintas maksimum 4340.8 smp/ jam dan volume minimum 1939.2 smp/ jam. Pemodelan arus lalu lintas Greenshield, Greenberg, dan Underwood memiliki hasil R2 > 0.75 dengan

demikian ketiga model tersebut dapat dipakai untuk merepresentasikan model arus lalu lintas pada ruas jalan pierre tendean, namun dalam penelitian ini model yang terpilih adalah pemodelan greenshield hal ini berdasarkan pertimbangan kelemahan dan kekurangan dari model Greenberg dan underwood.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputra, B., Savitri, D., (2021). Analisis Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Berdasarkan Model Greenshield, Greenberg dan Underwood. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, Vol. 5, No. 1, pp. 43-57.
- [2] Tamin, O., Z., (2000). Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Penerbit ITB Press, Ganesha, Bandung
- [3] Utama, G. P. (2016). Analisa Perhitungan Hubungan Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Arus Kendaraan pada Ruas Jalan Muhamad Yamin Kota Samarinda. *Kurva S Jurnal Mahasiswa*, Vol. 2, No. 1, 1567
- [4] Widodo, W., Wicaksono, N., dan Harwin, H. (2012). Analisis Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalu Lintas dengan Metode Greenshield dan Greenberg. *Semesta Teknika*, Vol. 15, No. 2, pp. 178-184.
- [5] Abidjulu, I. N., Hanny, P., Timboeleng, J., (2017). Pengaruh Kawasan Komersial terhadap Lalu Lintas Jalan Pierre Tendean. *Jurnal Spasial*, Vo. 4, No. 3, pp. 178-185.
- [6] Timpal, G. S., Sendow T. K., Rumayar, A. L. E., 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
- [7] Brilia, Rompis, S. Y. R., Jefferson, L., (2019). Pengaruh Penyempitan Jalan terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus: Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado). *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 6, pp. 733-742.
- [8] Maer, J., Lefrand, L. I. R., Timboeleng, J. A., (2019). Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Robert Wolter Monginsidi Kota Manado, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 12, pp. 1569-1584.
- [9] Siongke, M. R. C., Rompis, S. Y. R., Rumayar, A. L. E., (2023). Analisa Karakteristik Gelombang Kejut Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Jl. Yos Sudarso, Paal Dua, Manado). *Jurnal Tekno*, Vol. 21, No. 84, pp. 481-492.
- [10] Tahir, C. N. N., Lefrandt, L. I. R., Rompis, S. Y. R., (2022). Analisis Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Lalu Lintas Pada Jalan Satu Arah (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi Kota Manado), *Jurnal Tekno*, Vol. 20, No. 82, pp. 1241-1252