

PENGARUH HAMBATAN SAMPING TERHADAP KINERJA JALAN (STUDI KASUS: JL. LEMBONG, KOTA MANADO)

Military Christi Nangaro¹⁾,

Lucia I. R. Lefrandt²⁾, James A. Timboeleng

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: militarychristinangaro@gmail.com¹⁾ lucia.lefrandt@unsrat.ac.id²⁾

ABSTRAK

Jalan menjadi prasarana transportasi darat yang sangat penting dalam menunjang aktivitas masyarakat, sehingga dapat memberikan akses yang mudah bagi masyarakat baik mobilitas maupun ke tata guna lahan. Pertambahan penduduk mengakibatkan adanya peningkatan terhadap penggunaan transportasi darat, sehingga kapasitas dan kinerja jalan pada jalan berkurang. Pada kondisi ini kemacetan pun terjadi, salah satu faktor penyebabnya adalah aktivitas pada sisi jalan atau hambatan samping

Analisa pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan lalu lintas. Dalam menganalisa data ini terbagi menjadi dua bagian yaitu volume, kecepatan dan kecepatan arus bebas menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Sedangkan analisis kapasitas untuk derajat kejenuhan diperoleh melalui model linear Greenshield, model logaritmik Greenberg, dan exponential Underwood sebagai tinjauan tingkat pelayanan jalan. Pengaruh hambatan samping dianalisis menggunakan regresi linier berganda serta tundaan dengan bantuan Microsoft Excel. Kemudian analisis melalui simulasi dari software Simulation Of Urban Mobility (SUMO).

Model terpilih untuk mendapatkan nilai kapasitas model linier Greenshield dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi yaitu pada hari Kamis, 5 November 2020 sebesar 0,7701 sehingga didapat nilai kapasitas sebesar 426,624 smp/jam dan volume pada jam puncak sebesar 494,4 smp/jam sehingga nilai derajat kejenuhan sebesar 1,159 dengan tingkat pelayanan jalan LOS F, dan tundaan sebesar 58,951 detik. Hambatan samping mempengaruhi kinerja jalan sebesar 74,8967% terhadap kecepatan. Kemudian, analisis dengan simulasi melalui software SUMO dilakukan pelebaran jalan menjadi 3 lajur sehingga saat hambatan samping rendah nilai kecepatan sebesar 13,414 km/jam dan hambatan samping tinggi nilai kecepatan sebesar 8,42 km/jam..

Kata kunci: *Hambatan Samping, Kinerja Jalan, Greenshield, Greenberg, Underwood, Level Of Service (LOS), Simulation Of Urban Mobility (SUMO)*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Manado adalah Ibu Kota dari Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis terletak pada koordinat 1° 30' - 1° 40' Lintang utara, dan 124° 40' - 126° 50' Bujur Timur dengan luas total wilayah sebesar 162,53 Km². Jumlah penduduk pada tahun 2019 berjumlah 433.635 jiwa (Kota Manado Dalam Angka, Badan Pusat Statistik, 2020).

Pada perkembangannya Kota Manado terus mengalami peningkatan dalam berbagai sektor, antara lain perekonomian, pembangunan, kesehatan, pariwisata, pendidikan, dan lain-lain, sehingga jalan menjadi prasarana transportasi

darat yang sangat penting dalam menunjang aktivitas masyarakat, sehingga dapat memberikan akses yang mudah bagi masyarakat baik mobilitas maupun ke tata guna lahan.

Jumlah penduduk yang semakin bertambah setiap tahunnya membuat aktivitas masyarakat dan kebutuhan terhadap transportasi darat semakin meningkat, sehingga mengakibatkan adanya pertambahan volume kendaraan yang tidak sesuai dengan kapasitas jalan dan sangat berdampak bagi keseimbangan kinerja arus lalu lintas. Hal ini mengakibatkan adanya kemacetan pada beberapa ruas jalan di Kota Manado salah satunya pada ruas Jalan Lembong, Kecamatan Wenang, Kota Manado.

Jalan Lembong berada pada salah satu kawasan tersibuk di Kota Manado yaitu Pasar 45, dimana sepanjang sisi ruas jalan ini terdapat pertokoan, warung makan, *Automatic Teller Machine* (ATM), serta loket-loket penjualan tiket kapal, karena jalan ini juga merupakan akses yang dilewati untuk menuju ke Pelabuhan Manado. Sehingga mengakibatkan adanya aktivitas hambatan samping yang cukup tinggi pada ruas Jl. Lembong.

Dalam upaya mengatasi permasalahan lalu lintas yaitu kemacetan akibat adanya aktivitas hambatan samping yang mempengaruhi kinerja jalan, maka perlu dilakukan percobaan dalam bentuk simulasi dengan menggunakan software SUMO (*Simulation Of Urban Mobility*) sebagai salah satu solusi alternatif untuk mengurai permasalahan lalu lintas tersebut.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan hasil indentifikasi masalah maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan kinerja jalan pada ruas Jl. Lembong ?
2. Bagaimana besarnya pengaruh hambatan samping dan hambatan samping apa yang paling memberikan pengaruh terhadap kinerja jalan ?
3. Bagaimana cara mengatasi permasalahan arus lalu lintas berdasarkan simulasi ?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja jalan berdasarkan kapasitas, derajat kejenuhan dan tingkat pelayanan jalan pada ruas Jl. Lembong.
2. Menganalisis seberapa besar pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan dan untuk mengetahui hambatan samping yang paling memberikan pengaruh terhadap kinerja jalan menggunakan regresi linier berganda pada ruas Jl. Lembong.
3. Menganalisis arus lalu lintas dalam meningkatkan kinerja jalan berdasarkan simulasi menggunakan *software* SUMO (*Simulation Of Urban Mobility*).

Batasan Masalah

Pada penelitian ini ruang lingkup pembatasan masalah adalah sebagai berikut:

- a. Arus lalu lintas yang ditinjau adalah ruas Jl. Lembong Barat sepanjang 140 meter.
- b. Jenis hambatan samping yang diteliti :
 - Kendaraan parkir dan berhenti
 - Kendaraan keluar dan masuk segmen jalan
 - Kendaraan lambat
 - Penyebrang jalan
- c. Analisis kapasitas untuk kinerja jalan ditentukan dari tiga model yaitu Greenshields, Greenberg dan Underwood.
- d. Pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan digunakan analisa regresi linier berganda.
- e. Analisa arus lalu lintas dengan menggunakan software SUMO (*Simulation Of Urban Mobility*).

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pembelajaran dan bahan referensi penelitian lanjutan bagi mahasiswa Teknik Sipil tentang pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan, serta sebagai bahan masukan dan tinjauan bagi Pemerintah Kota Manado, perencana maupun kontraktor dalam perencanaan dan pengembangan sistem transportasi, ataupun membantu Pemerintah untuk penataan lalu lintas jalan dimasa yang akan datang.

LANDASAN TEORI

Hambatan Samping

Hambatan samping adalah aktivitas di samping segmen jalan yang menimbulkan masalah di sepanjang jalan dengan menghambat kinerja lalu lintas untuk berfungsi secara maksimal (Tamin, 2000). Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), hambatan samping adalah dampak terhadap kinerja lalu lintas dari aktifitas samping segmen jalan. Banyaknya aktifitas samping jalan sering menimbulkan berbagai konflik yang sangat besar pengaruhnya terhadap kelancaran lalu lintas yaitu parkir pada badan jalan.

Menurut Dirjen Perhubungan Darat (1998) pengertian parkir pada badan jalan mempunyai kesamaan dengan pengertian kawasan parkir. Parkir badan jalan adalah Parkir yang menggunakan pinggir/tepi badan jalan. Parkir

pada badan jalan areal yang memanfaatkan badan jalan sebagai fasilitas parkir, hanya pada kawasan parkir terdapat pengendalian parkir melalui pintu masuk.

Tabel 1. Kelas Hambatan Samping Untuk Jalan Perkotaan

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot kejadian per 200 m per jam (dua sisi)	Kondisi khusus
Sangat Rendah	VL	< 100	Daerah pemukiman; jalan dengan jalan samping
Rendah	L	100 – 299	Daerah pemukiman; beberapa jalan umum dsb
Sedang	M	300 – 499	Daerah industry, beberapa toko di sisi jalan
Tinggi	H	500 – 899	Daerah komersial, aktivitas sisi jalan tinggi
Sangat Tinggi	VH	> 900	Daerah komersial dengan aktivitas pasar di samping jalan

Hambatan samping dibagi menjadi empat jenis kejadian yang masing-masing memiliki bobot pengaruh yang berbeda terhadap kapasitas jalan.

Tabel 2. Faktor Bobot Hambatan Samping

Tipe Kejadian Hambatan Samping	Simbol	Faktor Bobot	
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota
Pejalan kaki	PED	0.5	0.6
Parkir, kendaraan berhenti	PSV	1.0	0.8
Kendaraan masuk + keluar	EEV	0.7	1.0
Kendaraan lambat	SMV	0.4	0.4

Volume Lalu Lintas (V)

Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 menjelaskan volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik pada pada jalan per satuan waktu, yang dinyatakan dalam kendaraan/jam. Volume lalu lintas pada suatu jalan bervariasi tergantung pada arah lalu lintas, volume harian, bulanan, tahunan dan pada komposisi kendaraan.

Semua nilai arus lalu-lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (smp) yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan berikut :

- Kendaraan ringan (LV) termasuk mobil penumpang, minibus, pick up dan jeep.
- Kendaraan berat (HV) termasuk truk dan bus.
- Sepeda motor (MC).

Ekivalensi mobil penumpang untuk beberapa kondisi jalan perkotaan dapat di lihat di tabel berikut:

Tabel 3. Emp Untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi

Tipe jalan: Jalan tak terbagi	Arus lalu-lintas total dua arah (kend/jam)	emp		
		HV	MC	
			Lebar jalur lalu-lintas Wc(m)	
			≤6	>6
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	0 ≥ 1800	1,3 1,2	0,5 0,35	0,40 0,25
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	0 ≥ 3700	1,3 1,2	0,40 0,25	

Tabel 4. Emp Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe jalan: Jalan satu arah dan jalan terbagi	Arus lalu-lintas per lajur (kend/jam)	emp	
		HV	MC
Dua-lajur satu-arah (2/1) dan Empat-lajur terbagi (4/2D)	0 ≥ 1050	1,3 1,2	0,40 0,25
Tiga-lajur satu-arah (3/1) dan Enam-lajur terbagi (6/2D)	0 ≥ 1100	1,3 1,2	0,40 0,25

Kecepatan Waktu Tempuh (S)

Kecepatan kendaraan adalah jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada suatu ruas jalan dalam satu satuan waktu tertentu. Kecepatan didapat melalui persamaan (1).

$$S = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Dimana :

- S = Kecepatan (km/jam)
- d = Jarak tempuh (km)
- t = Waktu tempuh (jam)

Kepadatan Lalu Lintas (D)

Kepadatan (*density*) lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu ruas jalan atau lajur tertentu. Kepadatan biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/km (Morlok, 1991), kepadatan lalu lintas dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau jalur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer per lajur. Kepadatan lalu lintas cukup sukar diukur secara langsung tetapi dapat dihitung dari data kecepatan dan volume lalu lintas, dengan persamaan (2).

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

Dimana :

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

Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kecepatan arus bebas (FV) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata teoritis (km/jam) lalu-lintas pada kerapatan = 0, yaitu tidak ada kendaraan yang lewat yaitu kecepatan yang akan dipilih pengemudi jika mengendarai kendaraan bermotor tanpa dipengaruhi kendaraan lain di jalan. Kecepatan arus bebas telah diamati melalui pengumpulan data lapangan, hubungan antara kecepatan arus bebas dengan kondisi geometrik dan lingkungan telah ditentukan dengan metode regresi. Kecepatan arus bebas kendaraan ringan telah dipilih sebagai kriteria dasar untuk kinerja arus jalan pada arus = 0 (nol). Kecepatan arus bebas untuk mobil penumpang biasanya (10-15)% lebih tinggi dari tipe kendaraan ringan lain (MKJI,1997). Untuk menentukan kecepatan arus bebas maka digunakan persamaan (3).

$$FV = (FV_o + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS} \quad (3)$$

Dimana :

- FV = Kecepatan arus bebas kendaraan pada kondisi lapangan (km/jam)
- FV_o = Kecepatan arus bebas dasar kendaraan pada jalan yang diamati (km/jam)
- FV_w = Faktor penyesuaian kecepatan untuk lebar jalan (km/jam)
- FFV_{SF} = Faktor penyesuaian kecepatan untuk hambatan samping dan lebar bahu atau jarak kereb penghalang (km/jam)
- FFV_{CS} = Faktor penyesuaian kecepatan untuk ukuran kota (km/jam)

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas. Derajat kejenuhan digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan, nilai derajat kejenuhan akan menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan (DS) dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam pada persamaan (4).

$$DS = \frac{Q}{C} \quad (4)$$

Dimana :

- DS = Derajat kejenuhan
- Q = Arus lalu lintas (smp/jam)
- C = Kapasitas (smp/jam)

Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan adalah suatu ketentuan atau ukuran dalam mengukur kualitas perjalanan. Tingkat pelayanan (*level of service*, LOS) adalah gambaran kondisi operasional arus lalu lintas dan pengendara dalam kecepatan, waktu tempuh, kenyamanan, kebebasan bergerak, kemandirian dan keselamatan. Nilai dari tingkat pelayanan akan berubah seiring dengan adanya peningkatan volume lalu lintas di suatu ruas jalan dan perubahan dari kondisi geometrik jalan tersebut.

Kriteria tingkat pelayanan untuk simpang bersignal dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Standar Tingkat Pelayanan Jalan

V/C	Tingkat Pelayanan Jalan	Keterangan
0.00-0.19	A	Arus lancar, volume rendah, kecepatan tinggi
0.20-0.44	B	Arus stabil, kecepatan terbatas, volume sesuai untuk luar kota
0.45-0.74	C	Arus stabil, kecepatan dipengaruhi oleh lalu lintas, volume sesuai untuk jalan kota
0.75-0.84	D	Mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah
0.85-1.00	E	Arus tidak stabil, kecepatan rendah, volume padat atau mendekati kapasitas
> 1.00	F	Arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas

Tundaan (Delay)

Tundaan adalah waktu yang hilang akibat adanya gangguan lalu-lintas yang berada diluar kemampuan pengemudi untuk mengontrolnya. Tundaan terbagi atas dua jenis, yaitu tundaan tetap (*fixed delay*) dan tundaan operasional (*operational delay*), (Tamin 2000).

Besarnya tundaan dapat diperkirakan dengan analisis waktu tempuh. Besarnya tundaan dapat diperoleh dengan persamaan (5).

$$D = Tq - T_o \quad (5)$$

Dimana :

- D = Tundaan (detik)
- Tq = Waktu tempuh pada arus q
- T_o = Waktu tempuh pelayanan atau saat kecepatan arus bebas

Analisa Kapasitas Berdasarkan Hubungan Matematis Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat dinyatakan dengan persamaan (6) berikut:

$$V = D.S \quad (6)$$

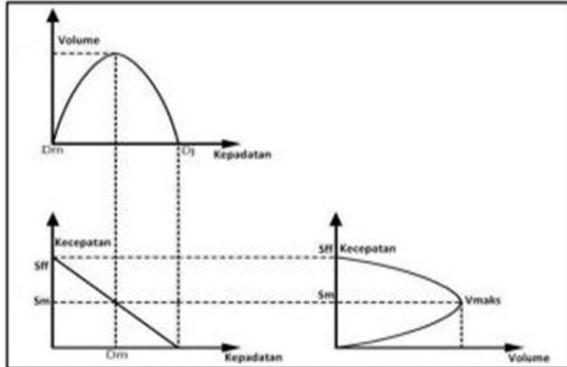
Dimana :

V = Volume (smp/jam)

D = Kepadatan (smp/km)

S = Kecepatan (km/jam)

Bentuk umum hubungan matematis antara Kecepatan–Kepadatan (S – D), Volume Kepadatan (V – D), dan Volume–Kecepatan (V – S) dapat dilihat pada Gambar 1.



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

Dimana :

V_{maks} = Kapasitas atau volume maksimum

S_m = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum

D_m = Kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum

S_{ff} = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah

D_j = Kepadatan pada kondisi volume lalu lintas macet total

Hubungan matematis antara kecepatan–kepadatan monoton ke bawah yang menyatakan bahwa apabila kepadatan lalu lintas meningkat, maka kecepatan akan menurun. Volume lalu lintas akan menjadi nol apabila kepadatan sangat tinggi sedemikian rupa sehingga tidak memungkinkan kendaraan untuk bergerak lagi. Kondisi seperti ini dikenal dengan kondisi macet total. Apabila kepadatan meningkat dari nol, maka kecepatan akan menurun sedangkan volume lalu lintas akan meningkat. Apabila kepadatan terus meningkat, maka akan dicapai suatu kondisi dimana peningkatan kepadatan tidak akan meningkatkan volume lalu lintas, malah sebaliknya akan menurunkan volume lalu

lintas titik maksimum volume lalu lintas tersebut dinyatakan dengan kapasitas arus.

Ada tiga model yang dapat digunakan untuk mempresentasikan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut, yaitu :

1. Model Greenshields
2. Model Greenberg
3. Model Underwood

Analisa Statistik

Analisa yang umum dipakai untuk mengolah data volume lalu lintas guna menentukan karakteristik kecepatan dan kepadatan adalah analisis regresi linier.

Analisis regresi linier berganda memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memasukkan lebih dari satu variabel prediktor hingga p variabel prediktor dimana banyaknya p kurang dari jumlah observasi (n).

1. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) pada persamaan regresi tunggal, menilai keterkaitan antara peubah tidak bebas (Y) dengan peubah bebas (X).

2. Koefisien Korelasi

Untuk mengetahui kuatnya hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen diukur dengan koefisien korelasi (R) adalah suatu ukuran relatif dari asosiasi diantara dua variabel. Koefisien ini bervariasi, dari -1 sampai dengan +1 ($-1 < r < 1$).

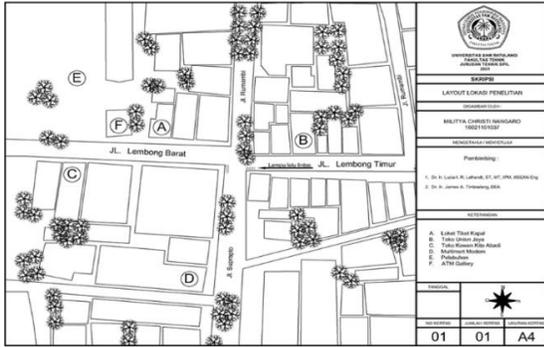
Simulation Of Urban Mobility (SUMO)

SUMO adalah software rangkaian simulasi lalu lintas bebas dan terbuka yang tersedia sejak tahun 2001. *Software* SUMO merupakan aplikasi simulasi lalu lintas *open source*, yang sangat *portable*, mikroskopis, dan berkelanjutan, yang dirancang untuk menangani jaringan jalan besar. Hal ini memungkinkan untuk mensimulasikan berbagai permintaan lalu lintas tertentu yang terdiri dari kendaraan tunggal yang bergerak melalui jaringan jalan tertentu. Simulasi ini memungkinkan untuk mengatasi berbagai topik manajemen lalu lintas. Karena murni mikroskopis, setiap kendaraan dimodelkan secara eksplisit, memiliki rute sendiri, dan bergerak secara individu melalui jaringan. Simulasi ini bersifat deterministik secara *default* tetapi ada berbagai opsi untuk memperkenalkan keacakan.

METODE PENELITIAN

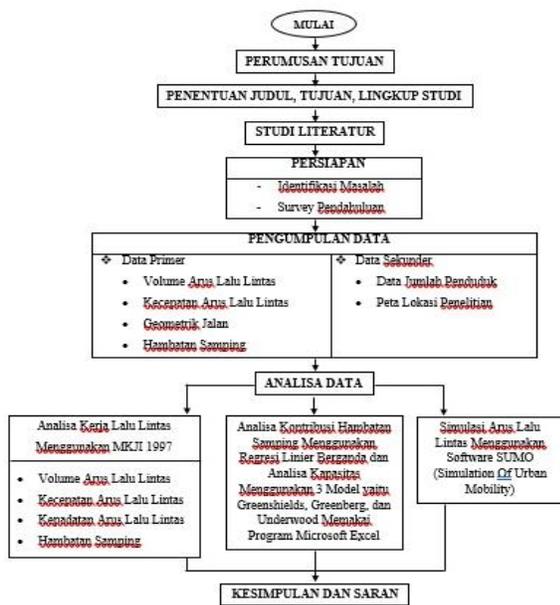
Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini lokasi yang diambil sebagai sampel pengumpulan data adalah Jalan Lembong, Kecamatan Wenang, Kota Manado.



Gambar 2. Layout Jalan Penelitian

Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengamatan

Data ini diperoleh melalui Badan Pusat Statistik Kota Manado dan survey lapangan di Jl. Lembong Barat, Kec. Wenang, Kota Manado. Pengambilan data ini dilakukan selama 4 hari yaitu hari Rabu, 4 November sampai Sabtu, 7

November 2020 pada jam-jam sibuk yaitu pukul 05.00-19.00 WITA dan dibagi menjadi 3 shift. Jl. Lembong Barat ini memiliki ruas jalan sepanjang 140 meter. Data yang ditinjau antara lain:

Kondisi Geometrik dan Fasilitas Jalan

Data kondisi geometrik dan fasilitas jalan yang diperoleh dari hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Geometrik dan Fasilitas Jalan

No.	Data	Keterangan
1	Pendekat jalan	Jl. Lembong Barat
2	Tipe jalan	2 lajur 1 arah (2/1)
3	Panjang segmen	140 m
4	Lebar badan jalan	10,3 m \approx 10 m
5	Lebar kendaraan maksimum	3,5 (per lajur)
5	Lebar jalur efektif	10 m - 7 m (2 lajur) = 3 m
6	Bahu jalan	Ada
7	Lebar bahu jalan	0,97 m
8	Kereb	Tidak ada
9	Tinggi lebar kereb	-
10	Trotoar	Ada
11	Kondisi Medan	Lurus dan datar
12	Rambu lalu lintas	Tidak ada
13	Median	Tidak ada
14	Tipe lengkungan	Area pertokoan dan pelabuhan

Data Jumlah Penduduk

Data ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Manado, dimana jumlah penduduk digunakan untuk meninjau adanya pertambahan penduduk setiap tahunnya dan untuk menentukan penyesuaian ukuran kota berdasarkan MKJI 1997 sebagai penganalisaan data selanjutnya.

Tabel 7. Jumlah Penduduk Kota Manado Tahun 2015-2019

Tahun	Jumlah penduduk (Jiwa)
2015	425.634
2016	427.906
2017	430.133
2018	431.880
2019	433.635

Volume Kendaraan (V)

Untuk mendapatkan volume kendaraan maka dilakukan penyetaraan satuan kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp), dengan cara mengalikan jumlah kendaraan (kend/jam) dengan nilai ekivalen mobil penumpang (emp) sesuai dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia

(MKJI) 1997 pada Tabel 4 berdasarkan klasifikasi jenis kendaraannya.

Rekapitulasi volume kendaraan pada jam puncak dari hari Rabu, 4 November sampai Sabtu, 7 November 2020, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Volume Kendaraan Pada Jam Puncak

Hari/tanggal	Waktu (WITA)	Volume (smp/jam)
Rabu, 4 November 2020	16.00-16.15	667,6
Kamis, 5 November 2020	17.00-17.15	494,4
Jumat, 6 November 2020	16.30-16.45	606,8
Sabtu, 7 November 2020	16.45-17.00	414,4

Kecepatan (S)

Perhitungan kecepatan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1) dimana, setelah mendapatkan rata-rata kecepatan satuannya harus dikonversi dari satuan meter/detik menjadi km/jam..

Tabel 9. Rekapitulasi Kecepatan Kendaraan Tertinggi

Hari/tanggal	Waktu (WITA)	Kecepatan (km/jam)
Rabu, 4 November 2020	07.00-07.15	21,84
Kamis, 5 November 2020	06.30-06.45	23,27
Jumat, 6 November 2020	06.30-06.45	21,27
Sabtu, 7 November 2020	05.15-05.30	28,08

Tabel 10. Rekapitulasi Kecepatan Kendaraan Terendah

Hari/tanggal	Waktu (WITA)	Kecepatan (km/jam)
Rabu, 4 November 2020	16.00-16.15	2,82
Kamis, 5 November 2020	17.00-17.15	9,5
Jumat, 6 November 2020	16.30-16.45	3,08
Sabtu, 7 November 2020	16.45-17.00	9,43

Kepadatan

Data kepadatan lalu lintas (smp/km) diperoleh dengan cara membagi volume kendaraan (smp/jam) dengan kecepatan kendaraan (km/jam) dengan menggunakan persamaan (2).

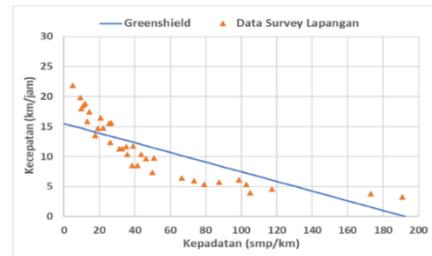
Tabel 11. Rekapitulasi Kepadatan Lalu Lintas Tertinggi

Hari/tanggal	Waktu (WITA)	Kepadatan (smp/km)
Rabu, 4 November 2020	16.00-16.15	236,46
Kamis, 5 November 2020	17.00-17.15	52,06
Jumat, 6 November 2020	16.30-16.45	196,78
Sabtu, 7 November 2020	16.45-17.00	43,97

Hubungan Matematis Volume (V), Kecepatan (S), dan Kepadatan (D)

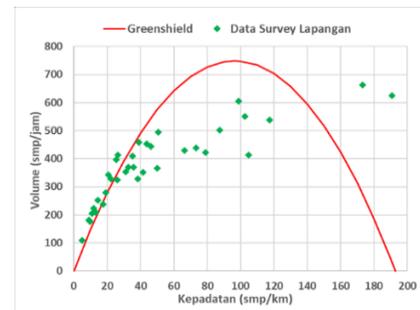
Model Greenshield

Pemodelan greenshield ini merumuskan persamaan hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan dalam bentuk linier dapat dinyatakan dalam persamaan (7). Persamaan ini kemudian dapat diubah dengan cara melakukan transformasi linier sehingga rumusnya disederhanakan menjadi $y = a + bx$ dimana diasumsikan data kepadatan (D) sama dengan Y, dan kecepatan (S) sama dengan X.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Model Greenshield Pada Hari Rabu, 4 November 2020

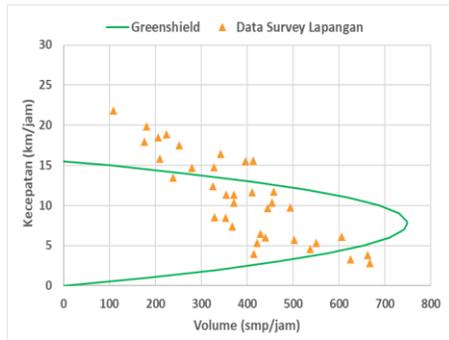
Gambar 4 merupakan hasil pemodelan Greenshield hubungan antara kecepatan dan kepadatan. Sehingga, diperoleh persamaan $S = 15,529 - 0,0805D$ yang menghasilkan $R^2 = 0,6638$. Kondisi arus lalu lintas mengalami kemacetan total pada saat $D_j = 192,833$ smp/km.



Gambar 5. Grafik Hubungan Volume dan Kepadatan Model Greenshield Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Gambar 5 merupakan hasil pemodelan greenshield hubungan antara volume dan kepadatan. Sehingga, diperoleh persamaan $V = 15,529D - 0,0805.D^2$. Volume maksimum (V_M) terjadi pada saat kepadatan mencapai titik maksimum (D_M). Maka nilai $V_M = 748,629$

smp/jam dan diperoleh nilai $D_M = 96,629$ smp/km.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kecepatan dan Volume Model Greenshield Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Gambar 6 merupakan hasil pemodelan greenshield hubungan antara kecepatan dan volume. Sehingga, diperoleh persamaan $V = 192,833.S - 12,418.S^2$. Pada volume maksimum (V_M) = 748,629 smp/jam maka didapat kecepatan maksimum (S_M) = 7,765 km/jam.

Tabel 12. Rekapitulasi Kapasitas Hubungan Matematis Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Model Greenshield

Hari/tanggal	Model Greenshield					
	A	B	D_M (smp/km)	V_M (smp/jam)	S_M (km/jam)	D_M (smp/km)
Rabu, 4 November 2020	15,529	-0,0805	192,833	748,629	7,765	96,417
Kamis, 5 November 2020	22,839	-0,3057	74,719	426,624	11,419	37,359
Jumat, 6 November 2020	15,996	-0,0826	193,743	774,792	7,998	96,872
Sabtu, 7 November 2020	22,503	-0,3538	63,602	357,816	11,252	31,801

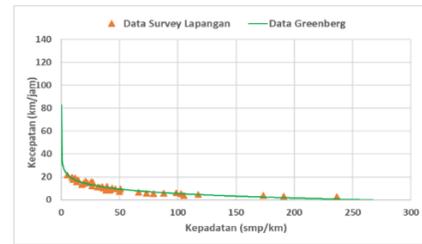
Tabel 13. Rekapitulasi Hubungan Matematis antara Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Untuk Model Greenshield

Hari/tanggal	Hubungan Matematis Antar Parameter		
	S-D	V-D	V-S
Rabu, 4 November 2020	$S = 15,529 - 0,0805D$	$V = D 15,529 - 0,0805D^2$	$V = 192,833 S - 12,418 S^2$
Kamis, 5 November 2020	$S = 22,839 - 0,3057D$	$V = D 22,839 - 0,3057D^2$	$V = 74,719 S - 3,272 S^2$
Jumat, 6 November 2020	$S = 15,996 - 0,0826D$	$V = D 15,996 - 0,0826D^2$	$V = 193,743 S - 12,112 S^2$
Sabtu, 7 November 2020	$S = 22,503 - 0,3538D$	$V = D 22,503 - 0,3538D^2$	$V = 63,602 S - 2,826 S^2$

Model Greenberg

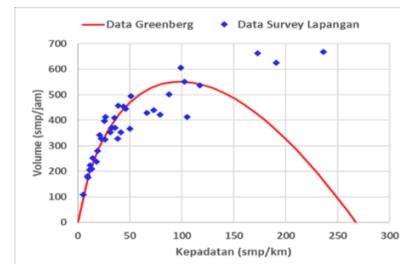
Pemodelan ini mengasumsikan bahwa hubungan antara kepadatan dan kecepatan merupakan bentuk fungsi logaritmik. Setelah itu dilakukan transformasi linier. Kemudian, diasumsikan $Y = S$ dan $X = \ln D$ dan diolah dari data perhitungan yang didapatkan dimana S

adalah kecepatan kendaraan dan D adalah data kepadatan lalu lintas.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Model Greenberg Pada Hari Rabu, 4 November 2020

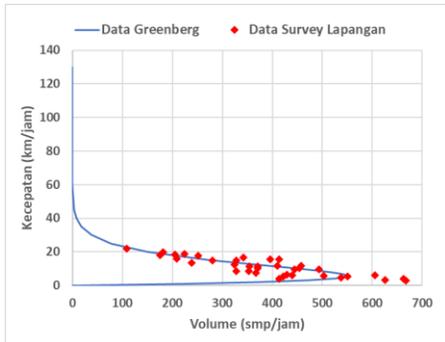
Pada Gambar 7 merupakan hasil pemodelan greenberg hubungan antara kecepatan dan kepadatan pada hari Rabu, 4 November 2020. Dimana, dapat dilihat pada sumbu x adalah kepadatan (smp/km) dan sumbu y adalah kecepatan (km/jam). Sehingga diperoleh persamaan $S = 31,347 - 5,608.LnD$ yang digambarkan dalam garis logaritmik berwarna hijau yang dibentuk dengan mendistribusikan nilai kepadatan dari nol (0) sehingga akan didapatkan nilai volume dan segitiga kecil berwarna orange merupakan sebaran data dari survey dilapangan dan didapatkan nilai $R^2 = 0,9399$. Kondisi lalu lintas mengalami kemacetan total saat $D_j = 267,543$ smp/km



Gambar 8. Grafik Hubungan Volume dan Kepadatan Model Greenberg Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Pada Gambar 8 merupakan hasil pemodelan greenberg hubungan antara volume dan kepadatan pada hari Rabu, 4 November 2020. Dimana, dapat dilihat pada sumbu x adalah kepadatan (smp/km) dan sumbu y adalah volume (smp/jam). Pada Gambar 8 dapat dilihat garis berwarna merah yang membentuk parabola diperoleh dari persamaan $V = 31,347D - 5,608D.LnD$ dengan mendistribusikan nilai kepadatan dari nol (0) sehingga akan didapatkan

nilai volume. Selain itu kotak kecil berwarna biru merupakan sebaran data dari survey dilapangan. Pada volume maksimum (V_M) = 552,006 smp/jam maka diperoleh nilai kepadatan maksimum (D_M) = 98,423 smp/km.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kecepatan dan Volume Model Greenberg Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Pada Gambar 9 merupakan hasil pemodelan greenberg hubungan antara kecepatan dan volume pada hari Rabu, 4 November 2020. Dimana, dapat dilihat sumbu x adalah volume (smp/jam) dan sumbu y adalah kecepatan (km/jam). Pada Gambar 9 dapat dilihat garis berwarna biru diperoleh dari persamaan $V = 267,543S \times e^{-0,1783S}$ dengan cara mendistribusikan nilai kepadatan dari nol (0) dan akan didapatkan nilai volume. Pada volume maksimum (V_M) = 552,006 smp/jam maka didapatkan kecepatan maksimum (S_M) = 5,608 km/jam.

Tabel 14. Rekapitulasi Kapasitas Hubungan Matematis Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Model Greenberg

Hari/tanggal	Model Greenberg					
	A	B	D_M (smp/km)	V_M (smp/jam)	S_M (km/jam)	D_M (smp/km)
Rabu, 4 November 2020	31,347	-5,608	267,543	552,006	5,608	98,423
Kamis, 5 November 2020	30,314	-4,837	526,819	937,490	4,837	193,806
Jumat, 6 November 2020	30,837	-5,557	256,997	525,393	5,557	94,544
Sabtu, 7 November 2020	34,607	-6,781	164,600	410,614	6,781	60,553

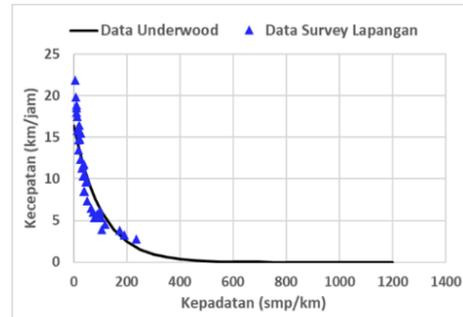
Tabel 15. Rekapitulasi Hubungan Matematis antara Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Untuk Model Greenberg

Hari/tanggal	Hubungan Matematis Antar Parameter		
	S-D	V-D	V-S
Rabu, 4 November 2020	$S = 31,347 - 5,608 \ln D$	$V = 31,347 D - 5,608 D \ln D$	$V = 267,543 S - e^{0,1783 S}$
Kamis, 5 November 2020	$S = 30,314 - 4,837 \ln D$	$V = 30,314 D - 4,837 D \ln D$	$V = 526,819 S - e^{0,2667 S}$
Jumat, 6 November 2020	$S = 30,837 - 5,557 \ln D$	$V = 30,837 D - 5,557 D \ln D$	$V = 256,997 S - e^{0,1799 S}$
Sabtu, 7 November 2020	$S = 34,607 - 6,781 \ln D$	$V = 34,607 D - 6,781 D \ln D$	$V = 167,600 S - e^{0,1475 S}$

Model Underwood

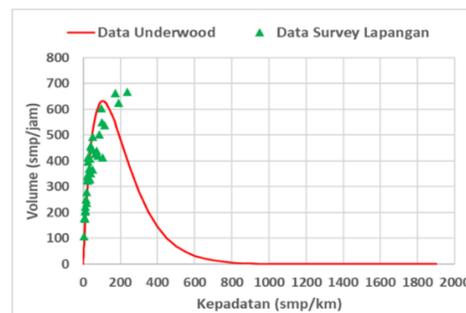
Underwood mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi eksponensial.

Kemudian persamaan ini diubah menjadi lebih sederhana kedalam bentuk persamaan linier. Dimana, dapat diasumsikan $X = D$ dan $Y = \ln S$ yang mana D adalah data kepadatan dan S adalah kecepatan



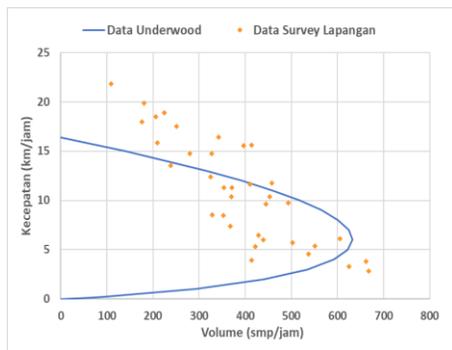
Gambar 10. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Model Underwood Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan untuk model underwood pada hari Rabu, 4 November 2020. Dimana, sumbu x adalah kepadatan (smp/jam) dan sumbu y adalah kecepatan (km/jam). Pada Gambar 10 dapat diketahui garis eksponensial berwarna hitam merupakan bentuk persamaan $S = 16,390 \times e^{-0,009536.D}$ yang menghasilkan $R^2 = 0,8426$ dan segitiga kecil berwarna biru merupakan sebaran data dari survey dilapangan. Dengan kepadatan maksimum (D_M) = 104,868 smp/jam didapat kecepatan (S_M) = 6,030 km/jam.



Gambar 11. Grafik Hubungan Volume dan Kepadatan Model Underwood Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui hubungan matematis antara volume dan kepadatan untuk model underwood pada hari Rabu, 4 November 2020. Dimana, sumbu x adalah kepadatan (smp/km) dan sumbu y adalah volume (smp/jam). Pada Gambar 11 dapat diketahui garis eksponensial berwarna merah merupakan bentuk persamaan dari $V = 16,39D \times e^{-0,009536.D}$ dan segitiga kecil berwarna hijau adalah sebaran data dari survey dilapangan. Volume maksimum (V_M) = 1781,433 smp/jam terjadi pada saat kepadatan mencapai titik maksimum (D_M) = 104,868 smp/km.



Gambar 12. Grafik Hubungan Kecepatan dan Volume Model Underwood Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Berdasarkan Gambar 12 dapat diketahui hubungan matematis antara kecepatan dan volume untuk model underwood pada hari Rabu, 4 november 2020. Dimana, sumbu x adalah volume (smp/jam) dan sumbu y adalah kecepatan (km/jam). Pada Gambar 12 dapat diketahui garis eksponensial berwarna biru merupakan bentuk persamaan dari $V = 293,282S \times 104,868S.LnS$ dan kotak kecil berwarna orange adalah sebaran data dari survey dilapangan. Pada volume maksimum (V_M) = 1718,433 smp/jam didapat kecepatan maksimum (S_M) = 6,030 km/jam.

Tabel 16. Rekapitulasi Kapasitas Hubungan Matematis Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Model Underwood

Hari/tanggal	Model Underwood					
	A	B	Sff (km/jam)	V_M (smp/jam)	S_M (km/jam)	D_M (smp/km)
Rabu, 4 November 2020	2,797	-0,009536	16,390	1718,433	6,030	104,868
Kamis, 5 November 2020	3,172	-0,019318	23,852	1234,3599	8,775	51,765
Jumat, 6 November 2020	2,836	-0,010290	17,043	1655,8435	6,270	97,178
Sabtu, 7 November 2020	3,156	-0,022901	23,472	1024,5784	8,635	43,667

Tabel 17. Rekapitulasi Hubungan Matematis antara Kecepatan-Kepadatan, Volume-Kepadatan, dan Kepadatan-Kecepatan Untuk Model Underwood

Hari/tanggal	Hubungan Matematis Antar Parameter		
	S-D	V-D	V-S
Rabu, 4 November 2020	$S = 16,390 - e^{0,009536.D}$	$V = 16,390.D - e^{0,009536.D}$	$V = 293,282.S - 104,868.S.Ln.S$
Kamis, 5 November 2020	$S = 23,852 - e^{0,019318.D}$	$V = 23,852.D - e^{0,019318.D}$	$V = 164,193.S - 51,765.S.Ln.S$
Jumat, 6 November 2020	$S = 17,043 - e^{0,010290.D}$	$V = 17,043.D - e^{0,010290.D}$	$V = 275,572.S - 97,178.S.Ln.S$
Sabtu, 7 November 2020	$S = 23,472 - e^{0,022901.D}$	$V = 23,472.D - e^{0,022901.D}$	$V = 137,803.S - 43,667.S.Ln.S$

Penentuan Model Terpilih Untuk Analisis Kapasitas Jalan

Kinerja jalan dapat dianalisis berdasarkan nilai derajat kejenuhan. Pada penentuan nilai derajat kejenuhan ini nilai volume yang digunakan adalah nilai V_{maks} yang dapat dianalisis jika hubungan matematis antara kepadatan dan volume kendaraan pada Jl. Lembong telah diketahui.

Penentuan model terpilih untuk analisis kinerja jalan yang ditentukan oleh nilai kapasitas dilihat berdasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi.

Tabel 18. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) Model Greenshield, Greenberg, dan Underwood

Hari/ Tanggal	R^2		
	Greenshield (Linear)	Greenberg (Logaritmik)	Underwood (Eksponensial)
Rabu, 4 November 2020	0,6638	0,9399	0,8426
Kamis, 5 November 2020	0,7701	0,7243	0,8049
Jumat, 6 November 2020	0,6605	0,9158	0,8660
Sabtu, 7 November 2020	0,6502	0,7915	0,7301

Berdasarkan Tabel 18 dapat dilihat nilai koefisien determinasi (R^2) untuk model Greenshield, Greenberg, dan Underwood. Dari hasil analisis data pada Tabel 16 dapat diketahui nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi dan mewakili model terpilih untuk hubungan matematis antara Volume dan Kepadatan adalah model greenberg pada hari Rabu, 4 November 2020 dengan nilai $R^2 = 0,9399$ dengan persamaan $V = 31,347 D - 5,608 D Ln D$. Namun, sesuai dengan pertimbangan akibat kondisi khusus maka tidak dapat menggunakan model greenberg karena pada sumbu kecepatan memiliki sifat asimtot atau kondisi dimana suatu garis lurus yang didekati oleh kurva lengkung dengan jarak semakin lama semakin kecil mendekati nol dititik jauh tak terhingga. Sehingga, model yang terpilih digunakan untuk analisis kapasitas adalah model greenshield dengan nilai R^2 yang tertinggi dan mewakili yaitu

pada hari Kamis, 5 November 2020 dengan nilai $R^2 = 0,7701$ dengan persamaan $V = D 22,839 - 0.306 D^2$.

Analisis Kontribusi Hambatan Samping

Hambatan samping diperoleh dari hasil survey lapangan dengan interval waktu selama 15 menit menggunakan *handcounter*. Titik pengamatan terbagi menjadi 2 segmen yang mana telah ditempatkan 2 orang surveyor/segmen. Data ini kemudian diolah dengan cara dikalikan dengan faktor pengalih berdasarkan tipe dan frekuensi kejadian hambatan samping untuk mendapatkan nilai faktor bobot hambatan samping. Faktor pengalih ini disesuaikan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

Tabel 19. Rekapitulasi Nilai Bobot Frekuensi Hambatan Samping Tertinggi

Hari / Tanggal	Pukul	Nilai bobot frekuensi (sf/jam)	Kelas
Rabu, 4 November 2020	17.00 – 18.00	937,5	Sangat tinggi
Kamis, 5 November 2020	16.00 – 17.00	495,9	Sedang
Jumat, 6 November 2020	16.00 – 17.00	712,3	Tinggi
Sabtu, 7 November 2020	16.00 – 17.00	527,2	Tinggi

Berdasarkan Tabel 19 nilai bobot frekuensi hambatan samping selama 4 (empat) hari nilai bobot frekuensi tertinggi terjadi pada hari Rabu, 4 November 2020 sebesar 937,5/jam, karena nilai bobot frekuensi >900 sehingga dikategorikan dalam kelas hambatan samping sangat tinggi dengan kondisi khusus daerah komersial dengan aktivitas pasar disamping jalan.

Analisa regresi digunakan untuk mencari model hubungan antara kecepatan dan hambatan samping dan juga mengetahui besarnya pengaruh hambatan samping. Pengolahan data berupa suatu persamaan regresi linier berganda menggunakan *Microsoft Excel*.

Untuk mendapatkan persamaan regresi linier berganda nilai dari parameter (koefisien) a, b1, b2, b3, dan b4 didapatkan dengan menggunakan perhitungan matrix. Dimana, variabel terikat (Y) adalah kecepatan dan variabel bebas (X) adalah hambatan samping yang terbagi menjadi 4 variabel X antara lain X1 (pejalan kaki), X2 (kendaraan parkir/berhenti), X3 (kendaraan lambat), dan X4 (kendaraan keluar dan masuk).

Setelah mendapatkan persamaan regresi linier berganda kemudian dilakukan perhitungan koefisien determinasi dan koefisien korelasi.

Tabel 20. Model Kontribusi Hambatan Samping Pada Kondisi Exiting Jl. Lembong, Kota Manado

Hari / Tanggal	Persamaan Y	R square	R
Rabu, 4 November 2020	$Y = 18,44410 - 0,04057 X1 - 0,11521 X2 - 0,36219 X3 + 0,19506 X4$	0,466519	0,683022
Kamis, 5 November 2020	$Y = 24,07758 - 0,04323 X1 - 0,08869 X2 - 0,15612 X3 - 0,21632 X4$	0,667963	0,817290
Jumat, 6 November 2020	$Y = 29,86301 - 0,12677 X1 - 0,14381 X2 + 0,62576 X3 + 0,10451 X4$	0,748967	0,865429
Sabtu, 7 November 2020	$Y = 21,49508 - 0,11791 X1 - 0,11956 X2 - 0,67961 X3 - 0,22712 X4$	0,373824	0,611412

Dari hasil analisis pada Tabel 20 dapat diambil persamaan terbaik sesuai dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi. Dimana nilai koefisien ini menunjukkan besarnya kontribusi hambatan samping terhadap kecepatan pada Jl. Lembong. Sehingga, diambil persamaan terbaik yaitu pada hari Jumat, 6 November 2020, dengan bentuk persamaan $Y = 29,86301 - 0,12677 X1 - 0,14381 X2 - 0,62576 X3 - 0,10451 X4$ dan didapat nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,748967 dan nilai koefisien kolerasi (R) sebesar 0,865429. Nilai koefisien kolerasi ini termasuk dalam $\geq 0,70 - < 0,90$ berdasarkan penafsiran nilai koefisien kolerasi (R) memiliki hubungan kuat atau tinggi antara kecepatan dan hambatan samping.

Setelah itu dilakukan analisis regresi pengaruh hambatan samping terhadap kecepatan. Hal ini dilakukan berdasarkan hasil Uji T (*T Test*) sesuai analisis uji ANOVA melalui analisis data pada *Microsoft Excel* untuk melihat model regresi yang telah kita buat memiliki hasil yang baik/signifikan atau tidak.

Tabel 21. Analisa Regresi Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kecepatan Pada Hari Rabu, 4 November 2020

Persamaan Y	Variabel Dependen	Variabel Independen	R Square	Adjusted R Square	Significance F	T test (<%)
$Y = a + b1x1$	Y	x1	0.107175932	0.0809164	5.129209E-02	0.05129209 x1 = Tidak Significance
$Y = a + b2x2$	Y	x2	0.297255486	0.2765865	5.847170E-04	0.00058472 x2 = Significance
$Y = a + b3x3$	Y	x3	0.036273957	0.0079291	0.265864615	0.26586461 x3 = Tidak Significance
$Y = a + b4x4$	Y	x4	0.254808295	0.2328919	1.69136E-03	0.00169136 x4 = Significance
$Y = a + b1x1 + b2x2$	Y	x1,x2	0.352670654	0.3194386	7.64834E-04	0.00250595 x1 = Tidak Significance 0.00122291 x2 = Tidak Significance
$Y = a + b1x1 + b3x3$	Y	x1,x3	0.139311325	0.0835423	8.97867E-02	0.09632824 x1 = Tidak Significance 0.30244549 x3 = Tidak Significance
$Y = a + b1x1 + b4x4$	Y	x1,x4	0.323887655	0.2829111	0.001567874	0.07535244 x1 = Tidak Significance 0.00264097 x4 = Significance
$Y = a + b2x2 + b3x3$	Y	x2,x3	0.304838015	0.262708	0.002479756	0.00111734 x2 = Significance 0.55260555 x3 = Tidak Significance
$Y = a + b2x2 + b4x4$	Y	x2,x4	0.423776261	0.3888536	0.000112138	0.00383375 x2 = Significance 0.01107298 x4 = Significance
$Y = a + b3x3 + b4x4$	Y	x3,x4	0.326192805	0.285356	0.001493966	0.07041008 x3 = Tidak Significance 6.4644E-04 x4 = Significance
$Y = a + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4$	Y	x1,x2,x3,x4	0.466519458	0.3976883	4.85068E-04	0.37198800 x1 = Tidak Significance 0.09633322 x2 = Significance 0.31047239 x3 = Tidak Significance 0.01599541 x4 = Significance

Tabel 22. Analisa Regresi Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kecepatan Pada Hari Kamis, 5 November 2020

Persamaan Y	Variabel Dependen	Variabel Independen	R Square	Adjusted R Square	Significance F	T test (<5%)
Y = a + b1x1	Y	x1	0.41662528	0.3994788	2.130731E-05	0.00002131 x1 = Significance
Y = a + b2x2	Y	x2	0.52962948	0.5157951	4.924360E-07	0.00000049 x2 = Significance
Y = a + b3x3	Y	x3	0.272085692	0.2506764	0.001104262	0.00110426 x3 = Significance
Y = a + b4x4	Y	x4	0.585724523	0.57354	5.43135E-08	0.00000005 x4 = Significance
Y = a + b1x1 + b2x2	Y	x1,x2	0.60472962	0.5826228	2.07530E-07	0.01603469 x1 = Significance 0.00034626 x2 = Significance
Y = a + b1x1 + b3x3	Y	x1,x3	0.502541159	0.4723921	9.51957E-06	0.00043412 x1 = Significance 0.02286356 x3 = Significance
Y = a + b1x1 + b4x4	Y	x1,x4	0.618511484	0.595391	1.24292E-07	0.01600553 x1 = Tidak Significance 0.00020195 x4 = Significance
Y = a + b2x2 + b3x3	Y	x2,x3	0.52963985	0.5011236	3.93768E-06	0.00016426 x2 = Significance 0.98223706 x3 = Tidak Significance
Y = a + b2x2 + b4x4	Y	x2,x4	0.645363173	0.62387	3.72763E-08	0.00457964 x2 = Significance 0.00244238 x4 = Significance
Y = a + b3x3 + b4x4	Y	x3,x4	0.589248687	0.5643547	4.20778E-07	0.59821973 x3 = Tidak Significance 0.00001602 x4 = Significance
Y = a + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4	Y	x1,x2,x3,x4	0.667962745	0.6251192	4.30053E-07	0.20805153 x1 = Tidak Significance 0.04898255 x2 = Significance 0.63322628 x3 = Tidak Significance 0.02290017 x4 = Significance

Tabel 23. Analisa Regresi Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kecepatan Pada Hari Jumat, 6 November 2020

Persamaan Y	Variabel Dependen	Variabel Independen	R Square	Adjusted R Square	Significance F	T test (<5%)
Y = a + b1x1	Y	x1	0.34602274	0.3267881	0.00161260	0.00161260 x1 = Significance
Y = a + b2x2	Y	x2	0.678246039	0.6643242	0.00000001	0.00000002 x2 = Significance
Y = a + b3x3	Y	x3	0.105403089	0.0790976	0.053364901	0.05336490 x3 = Tidak Significance
Y = a + b4x4	Y	x4	0.198201019	0.1746187	0.006511824	0.00651182 x4 = Significance
Y = a + b1x1 + b2x2	Y	x1,x2	0.68988155	0.6701319	4.27535E-09	0.21510114 x1 = Tidak Significance 0.000000877 x2 = Significance
Y = a + b1x1 + b3x3	Y	x1,x3	0.416711159	0.3813608	0.00137112	0.000191877 x1 = Significance 0.053806697 x3 = Tidak Significance
Y = a + b1x1 + b4x4	Y	x1,x4	0.540480742	0.5147629	2.49229E-06	0.000019376 x1 = Significance 0.000653119 x4 = Significance
Y = a + b2x2 + b3x3	Y	x2,x3	0.691224055	0.6725109	3.79408E-09	0.00000004 x2 = Significance 0.183128217 x3 = Tidak Significance
Y = a + b2x2 + b4x4	Y	x2,x4	0.679718608	0.6603076	6.99862E-09	0.000000046 x2 = Significance 0.445231096 x4 = Tidak Significance
Y = a + b3x3 + b4x4	Y	x3,x4	0.36814188	0.3298474	0.000513125	0.005387486 x3 = Significance 0.000772293 x4 = Significance
Y = a + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4	Y	x1,x2,x3,x4	0.748866957	0.7165756	6.25906E-09	0.031091989 x1 = Significance 0.001309439 x2 = Significance 0.029182538 x3 = Significance 0.031874460 x4 = Significance

Tabel 24. Analisa Regresi Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kecepatan Pada Hari Sabtu, 7 November 2020

Persamaan Y	Variabel Dependen	Variabel Independen	R Square	Adjusted R Square	Significance F	T test (<5%)
Y = a + b1x1	Y	x1	0.213114264	0.1899706	0.004959195	0.00495904 x1 = Significance
Y = a + b2x2	Y	x2	0.199754079	0.1762174	0.002628042	0.00262804 x2 = Significance
Y = a + b3x3	Y	x3	0.277071727	0.2558091	0.000974971	0.00097497 x3 = Significance
Y = a + b4x4	Y	x4	0.003576394	-0.02573	0.728888333	0.72898833 x4 = Tidak Significance
Y = a + b1x1 + b2x2	Y	x1,x2	0.245730763	0.2000174	0.009520151	0.16548403 x1 = Tidak Significance 0.24077040 x2 = Tidak Significance
Y = a + b1x1 + b3x3	Y	x1,x3	0.248490621	0.2029446	0.008972587	0.04881118 x1 = Tidak Significance 0.22140458 x3 = Tidak Significance
Y = a + b1x1 + b4x4	Y	x1,x4	0.25451941	0.2093388	0.007852966	0.00212968 x1 = Significance 0.18498879 x4 = Tidak Significance
Y = a + b2x2 + b3x3	Y	x2,x3	0.230053827	0.1833904	0.013384311	0.07858984 x2 = Tidak Significance 0.26266414 x3 = Tidak Significance
Y = a + b2x2 + b4x4	Y	x2,x4	0.29931327	0.2511201	0.003207435	0.00081781 x2 = Significance 0.04366378 x4 = Significance
Y = a + b3x3 + b4x4	Y	x3,x4	0.161028899	0.1101822	0.055185569	0.01804511 x3 = Significance 0.58212415 x4 = Tidak Significance
Y = a + b1x1 + b2x2 + b3x3 + b4x4	Y	x1,x2,x3,x4	0.373824249	0.2990274	0.004796616	0.12971761 x1 = Tidak Significance 0.07144557 x2 = Tidak Significance 0.36815799 x3 = Tidak Significance 0.02639294 x4 = Tidak Significance

Dari hasil analisis regresi data penelitian secara keseluruhan selama 4 (empat) hari melalui Uji T (*T Test*), dapat diketahui bahwa variabel hambatan samping yang paling signifikan atau paling sering memberikan pengaruh terhadap kecepatan pada Jl.Lembong adalah variabel x2 (kendaraan berhenti/parkir).

Analisis Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan merupakan rasio untuk volume kendaraan (smp/jam) terhadap kapasitas (smp/jam). Untuk menghitung nilai derajat kejenuhan maka digunakan persamaan (4). Nilai volume kendaraan didapat dari data volume maksimum pada survey di lapangan dan nilai kapasitas didapat dari hasil analisis perhitungan matematis antara volume dan kepadatan dengan model terpilih adalah model Greenshield.

Tabel 25. Rekapitulasi Nilai Derajat Kejenuhan (DS)

Hari / Tanggal	Volume Maksimum (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DS)
Rabu, 4 November 2020	667,6	748,629	0,892
Kamis, 5 November 2020	494,4	426,624	1,159
Jumat, 6 November 2020	606,8	735,192	0,825
Sabtu, 7 November 2020	414,4	357,816	1,158

Berdasarkan Tabel 25 dapat diketahui nilai derajat kejenuhan selama 4 (empat) hari yaitu dari hari Rabu, 4 November 2020 hingga Sabtu, 7 November 2020. Dimana, nilai derajat kejenuhan tertinggi yaitu pada hari Rabu, 4 November 2020 sebesar 1,159 dan nilai derajat kejenuhan terendah yaitu pada hari Rabu, 4 November 2020 sebesar 0,892.

Analisis Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kecepatan arus bebas merupakan kecepatan pada tingkat arus 0 (nol). Untuk menghitung nilai kecepatan arus bebas dapat digunakan persamaan (3).

Tabel 26. Parameter Kecepatan Arus Bebas (FV)

Parameter	Kondisi	Nilai	Keterangan
Kecepatan arus bebas dasar (FV ₀)	2-lajur 1-arah (2/1)	55	Total dua lajur
Lebar jalur efektif (FV _w)	3,00 m	-4	Total dua lajur
Remisah arah (FC _{sp})	-	-	-
Hambatan samping (FC _{sf})	<ul style="list-style-type: none"> 2-lajur 1-arah (2/1) Dengan bahu (1,0 m) Sangat Tinggi 	0,79	<ul style="list-style-type: none"> Kendaraan berhenti dan parkir sembarang Area pertokoan dan pelabuhan
Jumlah penduduk (FC _{cs})	0,1 – 0,5 Juta	0,93	-

Berdasarkan data-data diatas maka nilai kecepatan arus bebas diperoleh dengan persamaan (3) adalah sebagai berikut:

$$FV = (FV_0 + FC_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS}$$

$$FV = (55 + (-4)) \times 0,79 \times 0,93$$

$$FV = 37,470 \text{ km/jam} \approx 10,408 \text{ m/det}$$

Analisis Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan Jalan (*level of service, LOS*) adalah suatu ketentuan atau ukuran dalam mengukur kualitas perjalanan. Tingkat pelayanan jalan dapat dikategorikan kelasnya berdasarkan nilai derajat kejenuhan pada Tabel 5.

Tabel 27. Rekapitulasi Tingkat Pelayanan Jalan

Hari / Tanggal	Derajat Kejenuhan (DS)	Tingkat Pelayanan	Keterangan
Rabu, 4 November 2020	0,892	E	Arus tidak stabil, kecepatan rendah, volume padat atau mendekati kapasitas
Kamis, 5 November 2020	1,159	F	Arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas
Jumat, 6 November 2020	0,825	D	Mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah
Sabtu, 7 November 2020	1,158	F	Arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas

Tabel 27 merupakan rekapitulasi tingkat pelayanan jalan selama 4 (empat) hari yaitu dari hari Rabu, 4 November 2020 hingga Sabtu, 7 November 2020. Dimana, dapat diketahui nilai derajat kejenuhan untuk hari Rabu, 4 November 2020 termasuk dalam kisaran 0,85 – 1,00 dan tingkat pelayanan dikategorikan dalam tingkat pelayanan LOS E yaitu arus tidak stabil, kecepatan rendah, volume padat atau mendekati kapasitas.

Pada hari Kamis, 5 November 2020 dan Sabtu, 7 November 2020 termasuk dalam kisaran $\geq 1,00$ dan tingkat pelayanan dikategorikan dalam tingkat pelayanan LOS F yaitu arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas. Sedangkan, nilai derajat kejenuhan pada hari Sabtu, 7 November 2020 berkisar antara 0,75 – 0,84 dan tingkat pelayanan dikategorikan sama dalam tingkat pelayanan LOS D yaitu mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah.

Semakin besar nilai derajat kejenuhan maka tingkat pelayanan jalan akan semakin menurun dan kinerja jalan berkurang.

Tundaan

Hasil perhitungan Tundaan dapat dilihat pada Tabel 28 sampai dengan Tabel 31 berikut.

Tabel 28. Hasil Perhitungan Tundaan Pada Rabu, 4 November 2020

Parameter Tundaan	Hasil
Jarak (m)	50
Kecepatan arus q (km/jam)	2,823
Waktu tempuh arus q (detik)	63,76
Kecepatan arus bebas (km/jam)	37,47
Waktu tempuh arus bebas (detik)	4,804
Tundaan (detik)	58,951

Tabel 29. Hasil Perhitungan Tundaan Pada Kamis, 5 November 2020

Parameter Tundaan	Hasil
Jarak (m)	50
Kecepatan arus q (km/jam)	11,891
Waktu tempuh arus q (detik)	15,14
Kecepatan arus bebas (km/jam)	37,47
Waktu tempuh arus bebas (detik)	4,804
Tundaan (detik)	10,334

Tabel 30. Hasil Perhitungan Tundaan Pada Jumat, 6 November 2020

Parameter Tundaan	Hasil
Jarak (m)	50
Kecepatan arus q (km/jam)	3,084
Waktu tempuh arus q (detik)	40,93
Kecepatan arus bebas (km/jam)	37,47
Waktu tempuh arus bebas (detik)	4,804
Tundaan (detik)	36,128

Tabel 31. Hasil Perhitungan Tundaan Pada Sabtu, 7 November 2020

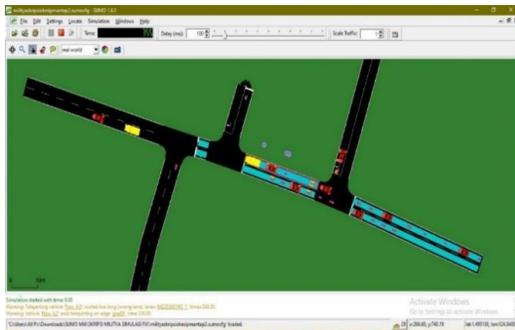
Parameter Tundaan	Hasil
Jarak (m)	50
Kecepatan arus q (km/jam)	9,426
Waktu tempuh arus q (detik)	19,10
Kecepatan arus bebas (km/jam)	37,47
Waktu tempuh arus bebas (detik)	4,804
Tundaan (detik)	14,293

Berdasarkan Tabel 28 sampai 31 dapat diketahui pada jarak tinjauan sepanjang 50 meter dengan kondisi hambatan samping pada kelas yang sangat tinggi didapat tundaan paling lama yaitu pada hari Rabu, 4 November 2020 selama 58,951 detik. Hal ini menyebabkan kinerja jalan menurun akibat aktivitas hambatan samping yang mempengaruhi kecepatan kendaraan pada Jl. Lembong.

Simulasi Lalu Lintas Menggunakan *Software Simulation Of Urban Mobility (SUMO)*

Simulasi lalu lintas ini pada proses pemodelannya menggunakan *software Simulation Of Urban Mobility (SUMO)*, kemudian dibutuhkan data arus lalu lintas dari survey lapangan (volume kendaraan, kecepatan kendaraan) pada jam puncak, data geometrik dan peta lokasi melalui satelit.

Setelah semua data yang dibutuhkan untuk simulasi telah diselesaikan, maka simulasi dapat dijalankan melalui SUMO-Gui. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 13.



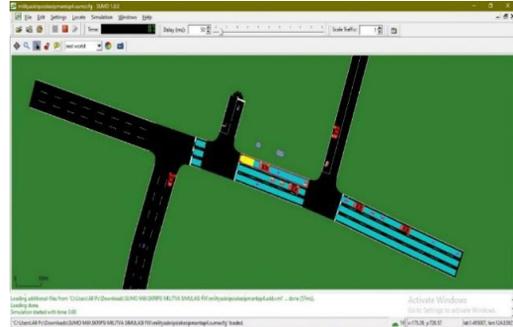
Gambar 13. Simulasi Arus Lalu Lintas Menggunakan SUMO-Gui

Simulasi diatas menggunakan data arus lalu lintas pada hari Rabu, 04 November 2020 yaitu data arus lalu lintas dengan aktivitas hambatan samping rendah pada pukul 05.00-05.15 dan hambatan samping tinggi pada pukul 17.00-17.15. Dimana, akan dilakukan perbandingan nilai kecepatan kendaraan pada arus lalu lintas dengan aktivitas hambatan samping rendah dan aktivitas hambatan samping tinggi dari hasil survey lapangan dan dari hasil simulasi. Jenis hambatan samping yang digunakan untuk simulasi ini antara lain kendaraan parkir/berhenti dan kendaraan keluar/masuk.

Kemudian, dilakukan percobaan dengan solusi alternatif dalam mengatasi masalah lalu lintas pada Jl. Lembong dengan menggunakan simulasi *software SUMO-Gui*. Solusi alternatif yang dilakukan adalah membuat pelebaran jalan menjadi 3 lajur.

Gambar 14 merupakan simulasi setelah dilakukan pelebaran jalan menjadi 3 lajur dan dari simulasi tersebut didapatkan kecepatan kendaraan saat arus lalu lintas dengan aktivitas

hambatan samping rendah pada pukul 05.00-05.15 sebesar 13,414 km/jam dan saat arus lalu lintas dengan aktivitas hambatan samping tinggi pada pukul 17.00-17.15 sebesar 8,42 km/jam.



Gambar 14. Simulasi Arus Lalu Lintas Pelebaran Jalan 3 Lajur Menggunakan SUMO-Gui

Rekapitulasi hasil perbandingan kecepatan kendaraan dari survey lapangan dan dari simulasi *software SUMO-Gui* dapat dilihat pada tabel 32.

Tabel 32. Rekapitulasi Hasil Perbandingan Kecepatan Kendaraan Dari Survey Di Lapangan dan Dari Simulasi Pada Hari Rabu, 04 November 2020

Jumlah Lajur	Pukul	Dari Survey Di Lapangan (km/jam)	Simulasi (km/jam)
2	05.00 - 05.15	8,50	5,25
	17.00 - 17.15	5,36	3,87
3	05.00 - 05.15	8,50	13,41
	17.00 - 17.15	5,36	8,42

Dari percobaan ini dapat diketahui bahwa semakin besar pelebaran jalan dengan menggunakan volume yang sama dari survey di lapangan dengan simulasi maka dapat diketahui bahwa semakin meningkat juga kecepatan kendaraan dan kinerja jalan pun meningkat dimana kemacetan berkurang. Hal ini menjadi salah satu cara dalam mengatasi permasalahan lalu lintas dengan mengurangi kemacetan dengan adanya peningkatan kecepatan melalui pelebaran jalan pada ruas Jl. Lembong.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada lokasi penelitian Jl. Lembong, Kota Manado selama 4 (empat) hari

yaitu hari Rabu, 4 November hingga Sabtu, 7 November 2020, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Model terpilih untuk penentuan kapasitas adalah model Greenshield dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi sebesar 0,7701 dimana hubungan antar parameter sebagai berikut:

➤ Hubungan Kecepatan dan Kepadatan:

$$S = 22,839 - 0,3057D$$

➤ Hubungan Volume dan Kepadatan:

$$V = D \cdot 22,839 - 0,3057D^2$$

➤ Hubungan Kepadatan dan Kecepatan:

$$V = 74,719S - 3,272S^2$$

Dari persamaan diatas didapat nilai kapasitas sebesar 426,624 smp/jam dan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 1,159 smp/jam dimana nilai tersebut tidak memenuhi persyaratan MKJI 1997 ($DS \leq 0,75$) dan tingkat pelayanan jalan pada Jl. Lembong dikategorikan dalam LOS F yaitu arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas. Semakin tinggi nilai derajat kejenuhan (DS) maka semakin menurun tingkat pelayanan jalan dan kinerja jalan pada ruas Jl. Lembong berkurang.

2. Besarnya pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi. Jika ditinjau secara bersamaan semua variabel hambatan samping didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu sebesar 0,748967. Sehingga, semua variabel hambatan samping sebesar 74,8967% mempengaruhi kinerja jalan terhadap kecepatan artinya semua jenis hambatan samping pada Jl. Lembong ini memberikan pengaruh yang sedang/cukup terhadap kecepatan yang menyebabkan terjadinya kemacetan. Jika ditinjau secara terpisah masing-masing variabel hambatan samping mempengaruhi kinerja jalan terhadap kecepatan antara lain; x1 (pejalan kaki) sebesar 34,6022%, x2 (kendaraan parkir/berhenti) sebesar 67,3924%, x3 (kendaraan lambat) sebesar 10,5409%, dan x4 (kendaraan keluar/masuk) sebesar 19,8201%. Hambatan samping yang paling banyak memberikan pengaruh selama 4 (empat) hari adalah variabel x2 (kendaraan parkir/berhenti) artinya pada Jl. Lembong banyak kendaraan

parkir/berhenti yang menyebabkan kemacetan.

3. Dari simulasi melalui *software* SUMO (*Simulation Of Urban Mobility*) dilakukan perbandingan nilai kecepatan kendaraan saat aktivitas hambatan samping rendah dan tinggi. Hasil simulasi untuk tipe jalan 2 lajur didapatkan nilai kecepatan saat aktivitas hambatan samping rendah sebesar 5,245 km/jam dan hambatan samping tinggi sebesar 3,87 km/jam. Kemudian dalam mengatasi permasalahan lalu lintas untuk meningkatkan kinerja jalan maka, dilakukan pelebaran jalan melalui simulasi pada *software* SUMO menjadi 3 lajur sehingga didapatkan nilai kecepatan saat aktivitas hambatan samping rendah sebesar 13,414 km/jam dan hambatan samping tinggi sebesar 8,42 km/jam. Dengan dilakukan pelebaran jalan nilai kecepatan kendaraan meningkat dan kemacetan pun berkurang sehingga kinerja jalan meningkat.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis aktivitas hambatan samping pada Jl. Lembong termasuk dalam kategori kelas hambatan samping sangat tinggi dan hambatan samping yang memberikan pengaruh paling tinggi adalah kendaraan parkir/berhenti. Mengingat bahwa kawasan ini merupakan area pertokoan dan pelabuhan, sehingga pemerintah perlu memberlakukan larangan parkir pada sisi jalan (*parking on street*), serta melakukan pemasangan rambu lalu lintas dilarang parkir pada kedua sisi sepanjang Jl. Lembong, serta mengarahkan pengendara untuk menggunakan tempat parkir terdekat yaitu di Pelabuhan Manado.
2. Perlu dilakukan penertiban untuk pedagang yang menggunakan trotoar sebagai tempat berjualan, sehingga pejalan kaki dapat menggunakan trotoar sebagaimana mestinya dan tidak berjalan pada sisi jalan.
3. Perlu dibuat pos polisi sehingga dapat menertibkan kendaraan yang keluar dan masuk pada jalan ini serta diberlakukannya sanksi bagi pengendara yang tidak taat terhadap aturan lalu lintas.

4. Setelah dilakukan simulasi dengan *software* SUMO (*Simulation Of Urban Mobility*) didapat solusi alternatif dalam masalah arus lalu lintas dengan melakukan pelebaran jalan untuk meningkatkan nilai kecepatan, namun pada kenyataannya dilokasi penelitian sudah tidak bisa dilakukan pelebaran karena merupakan kawasan konservasi sehingga pemerintah harus melakukan evaluasi terhadap penataan kota

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2020. *Kota Manado Dalam Angka*, Manado.
- Direktorat Jenderal Binamarga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 1998. *Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir*, Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas Angkutan Kota, Jakarta.
- Morlok, E. K., 1991. *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tamin, O. Z. 2000, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi: Contoh Soal dan Aplikasi*, Penerbit ITB, Bandung.