

STUDI PEMANFAATAN LAMPU LALU LINTAS UNTUK PENYEBERANG JALAN DAN PENGARUHNYA TERHADAP PANJANG ANTRIAN KENDARAAN (STUDI KASUS : PELICAN DEPAN MANADO TOWN SQUARE)

Belinda Septiani Pesik

Semuel Y. R. Rompis, Sisca V. Pandey

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Email: belindapesik@gmail.com

ABSTRAK

Kawasan Boulevard on Business Jalan Piere Tendean di Kota Manado terjadi masalah lalu lintas seperti perilaku pejalan kaki yang tidak patuh terhadap Pelican Crossing. Perilaku tersebut menyebabkan pengurangan waktu hijau efektif bagi kendaraan untuk bergerak sehingga membuat antrian kendaraan yang cukup panjang di ruas jalan tersebut, bahkan menyebabkan antrian kendaraan di ruas jalan yang lain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyeberang jalan terhadap waktu hijau efektif, mengetahui pengaruh Pelican Crossing terhadap panjang antrian kendaraan, dan mengetahui apakah Pelican Crossing masih sesuai digunakan di lokasi penelitian.

Pelican Crossing adalah penyeberangan dengan alat pemberi isyarat yang diopeasikan oleh pejalan kaki dan akan menghentikan arus lalu lintas kendaraan. Pejalan kaki harus menekan tombol untuk meminta waktu hijau pada pengendara kendaraan sehingga pengendara kendaraan berhenti dan pejalan kaki dapat menyeberang jalan. Kriteria yang dapat digunakan dalam memilih fasilitas penyeberangan pejalan kaki sebidang didasarkan pada pengukuran konflik kendaraan/pejalan kaki, arus pejalan kaki yang menyeberang di ruas jalan setiap 1 jam, dan arus lalu lintas kendaraan setiap jam.

Dalam penelitian ini, data yang diambil dari lokasi penelitian adalah volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, waktu siklus lampu lalu lintas, volume pejalan kaki, dan kecepatan pejalan kaki. Analisis data dimulai dengan menghitung kepadatan lalu lintas selanjutnya dibuat hubungan karakteristik arus lalu lintas. Hubungan karakteristik yang akan digunakan untuk perhitungan analisis gelombang kejut adalah berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi dan karakteristik model tersebut. Durasi lampu merah pada analisis gelombang kejut divariasikan karena waktu hijau efektif bagi kendaraan yang berkurang karena ketidakpatuhan pejalan kaki dianggap menambah durasi lampu merah. Selanjutnya dianalisis tipe fasilitas penyeberangan berdasarkan nilai volume lalu lintas dan volume pejalan kaki.

Ketidakpatuhan pejalan kaki mengurangi waktu hijau efektif rata-rata 7 detik. Berdasarkan analisis gelombang kejut, pelican crossing membuat panjang antrian kendaraan sepanjang 88,1 meter untuk jalur kiri dan 113,2 meter untuk jalur kanan. Semakin besar durasi lampu merah (r) maka panjang antrian maksimum (Q_M) akan semakin besar. Berdasarkan jumlah rata-rata penyeberang jalan yang menggunakan pelikan, volume kendaraan yang melewati ruas jalan Piere Tendean, dan jumlah tingkat konflik antara pejalan kaki dan arus lalu lintas (PV^2) maka direkomendasikan jenis penyeberangan di Jalan Piere Tendean depan Manado Town Square adalah Pelikan dengan Pelindung.

Kata Kunci : Pelican Crossing, Gelombang Kejut, Fasilitas Penyeberangan

PENDAHULUAN

Latar belakang

Kota Manado memiliki luas wilayah 157,26 km² dengan jumlah penduduk 425.634 jiwa, dan memiliki

pertumbuhan ekonomi sebesar 6,36% (Kota Manado dalam Angka, 2016). Seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk, mengakibatkan banyaknya aktivitas dan variasi kegiatan yang dilakukan. Hal ini terjadi khususnya

di kawasan *Boulevard on Business* Jalan Piere Tendean. Penggunaan lahan untuk kegiatan ekonomi dan fasilitas umum di membuat tingkat pergerakan manusia meningkat. Peningkatan tingkat pergerakan membuat kebutuhan akan sarana dan prasarana transportasi meningkat pula. Meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana transportasi menimbulkan permasalahan lalu lintas yang semakin kompleks. Ada beberapa faktor lain yang selama ini tidak disadari oleh masyarakat. *Pelican crossing* dapat pula dikatakan sebagai mesin penyeberangan dengan lampu lalu lintas. Masalah ketidakpatuhan penyeberang jalan terhadap *pelican crossing* mempengaruhi panjang antrian kendaraan yang terjadi pada ruas jalan tersebut.

Pemanfaatan lampu lalu lintas untuk penyeberang jalan ini memfasilitasi pejalan kaki sehingga kelancaran arus lalu lintas dapat terjamin. Namun, kurangnya sosialisasi membuat masyarakat tidak mengetahui cara penggunaan *pelican crossing*. Perilaku penyeberang jalan yang kurang disiplin, menjadi penghalang kelancaran penggunaan *pelican crossing* sehingga menyebabkan kemacetan kendaraan. Ketidakcocokan penggunaan *pelican crossing* di jalan tersebut mungkin menjadi faktor tambahan yang mempengaruhi kemacetan yang terjadi.

Pada *pelican crossing* sering terlihat ketidakpatuhan penyeberang jalan yang tetap menyeberang dengan menerobos lampu hijau bagi kendaraan. Hal ini menyebabkan pengurangan waktu hijau efektif bagi kendaraan yang mengakibatkan panjang antrian kendaraan bertambah. Untuk itu, adanya perilaku yang tidak disiplin dari penyeberang jalan merupakan masalah yang harusnya mendapat perhatian serius.

Kemacetan memberikan dampak negatif seperti kerugian waktu karena kecepatan perjalanan yang rendah. Hal ini menyebabkan penurunan produktivitas karena terbuangnya waktu untuk melakukan perjalanan dan pemborosan energi karena konsumsi bahan bakar meningkat.

Berdasarkan latar belakang inilah penulis merasa perlu untuk mempelajari pengaruh dari pemanfaatan lampu lalu lintas untuk penyeberang jalan (*Pelican Crossing*) dan pengaruhnya terhadap panjang antrian kendaraan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dikemukakan permasalahan yang ada yaitu; “Bagaimana pengaruh ketidakpatuhan penyeberang jalan yang menggunakan *Pelican Crossing* sebagai fasilitas untuk menyeberang, terhadap panjang antrian kendaraan yang terjadi di Jalan Piere Tendean khususnya di depan Manado Town Square?”

Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah ini meliputi:

1. Lokasi penelitian adalah *Pedestrian Light Controlled Crossing* depan Manado Town Square.
2. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah arus, kecepatan, kepadatan dan durasi lampu lalu lintas. Model yang dipakai untuk menunjukkan hubungan matematis antara parameter-parameter diatas adalah model Greenshields, Greenberg, dan Underwood.
3. Analisa yang digunakan untuk menghitung panjang antrian kendaraan adalah menggunakan analisis gelombang kejut.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Mengetahui pengaruh ketidakpatuhan penyeberang jalan terhadap waktu hijau efektif.
2. Mengetahui pengaruh *Pelican Crossing* terhadap panjang antrian kendaraan.
3. Mengetahui apakah *Pelican Crossing* masih sesuai digunakan di lokasi penelitian.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk pemerintah dan masyarakat:

- Dapat menjadi bahan masukan untuk masalah yang terjadi akibat ketidakpatuhan masyarakat terhadap *pelican crossing*.
2. Untuk penulis: Memberi wawasan dan pengetahuan yang bermanfaat mengenai pemanfaatan lampu lalu lintas untuk penyeberang jalan dan pengaruhnya terhadap panjang antrian kendaraan.
 3. Untuk disiplin ilmu: Menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

LANDASAN TEORI

Fasilitas Pedestrian

Fasilitas pejalan kaki adalah bangunan yang disediakan bagi pejalan kaki untuk memberi pelayanan sehingga dapat meningkatkan kelancaran, keamanan, dan kenyamanan pejalan kaki. Pejalan dalam melakukan kegiatan dari satu tempat ke tempat lain antara lain dengan berjalan kaki dan kedua kakinya membutuhkan tempat yang dinamakan jalur pejalan.

Jalur pejalan kaki adalah lintasan yang diperuntukan untuk berjalan kaki, dapat berupa penyeberangan sebidang dan penyeberangan tak sebidang (berupa trotoar, zebra cross, *pelican crossing*, jembatan pejalan kaki diatas jalan raya dan jalur pejalan kaki dibawah jalan raya). Jalur pejalan kaki diharapkan dapat menyatu dengan lingkungannya dengan pola dan kondisi yang sesuai dengan lingkungan sekitarnya.

Waktu Hijau Efektif

Waktu Hijau Efektif adalah adalah waktu hijau yang digunakan pengemudi kendaraan bermotor untuk bergerak. Besarnya waktu hijau efektif dapat kemudian dihitung sebagai berikut:

Waktu Hijau Efektif = Waktu Hijau – *Start Lost* + *End Gain*

Volume Lalu Lintas

Dinyatakan dengan notasi V merupakan jumlah kendaraan yang diamati atau dipredeksi akan melewati

suatu titik tertentu dalam suatu ruas jalan tertentu per satu satuan waktu tertentu (Khisty, 1990), biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam. Volume lalu lintas pada suatu jalan bervariasi, tergantung pada volume total dua arah, arah lalu lintas, volume harian, bulanan, tahunan, dan pada komposisi kendaraan.

Kecepatan Lalu Lintas

Dinyatakan dalam notasi S merupakan suatu laju pergerakan, seperti jarak yang dapat ditempuh dalam satu satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan mph atau km/jam (Khisty, 1990). Karena ada distribusi yang luas dari masing-masing kecepatan dalam arus lalu lintas, maka diperhitungkan rata-rata kecepatan tempuh. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan adalah:

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

dimana :

s = kecepatan rata-rata (km/jam)

L = panjang segmen jalan (km)

n = jumlah kendaraan yang diamati

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

Kepadatan Lalu Lintas

Dinyatakan dengan notasi D merupakan jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari jalur atau jalan, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/km atau vehicles per mile (vpm) (Khisty, 1990). Perhitungan langsung untuk kepadatan dapat diperoleh melalui foto udara, tetapi umumnya dihitung dengan persamaan (2) apabila kecepatan dan tingkat arus diketahui (Khisty, 1990).

$$D = V/S \quad (2)$$

dimana :

D = Kepadatan lalu lintas (smp/km)

V = Volume lalu lintas (smp/jam)

S = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Hubungan Matematis Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan dapat dinyatakan dengan persamaan (3)

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

dimana :

D = Kepadatan lalu lintas (SMP/Km)

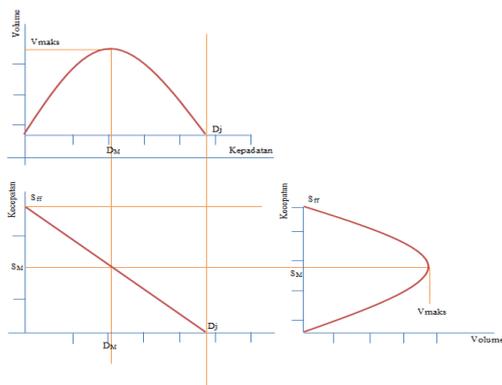
V = Volume lalu lintas (SMP/Jam)

S = Kecepatan kendaraan (Km/Jam)

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

Hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan adalah apabila kepadatan lalu lintas meningkat maka kecepatan akan menurun. Arus lalu lintas akan menjadi 0 (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 arus lalu lintas akan meningkat. Apabila kepadatan terus meningkat, maka akan dicapai suatu kondisi dimana peningkatan kepadatan tidak akan meningkatkan arus lalu lintas, malah sebaliknya akan menurunkan arus lalu lintas. Titik maksimum arus lalu lintas tersebut dinyatakan dengan kapasitas arus.



Gambar 1. Hubungan Matematis Kecepatan, Volume, dan Kepadatan

dimana :

V_M = Kapasitas atau volume maksimum (kendaraan/jam)

S_M = Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (km/jam)

D_M = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (kendaraan/km)

D_j = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total (kendaraan/km)

S_{fr} = Kecepatan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 (nol) atau kecepatan arus bebas (km/jam).

Ada 3 tiga jenis model yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut, yaitu:

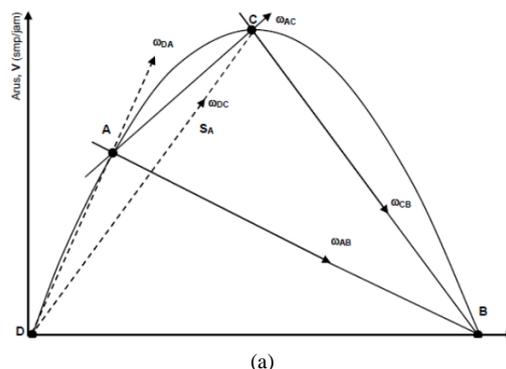
- a. Model Greenshield
- b. Model Greenberg
- c. Model Underwood

Analisis Gelombang Kejut

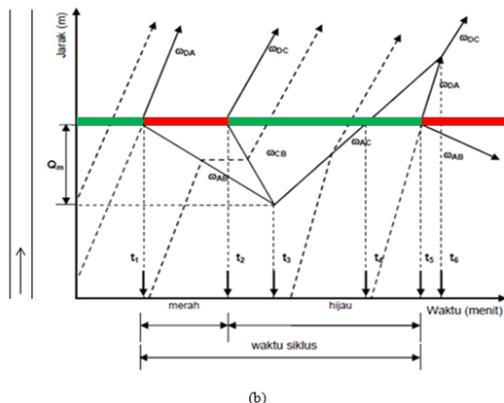
Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas yang merupakan dasar dari penentuan panjang antrian dan waktu penormalan yang diakibatkan oleh adanya hambatan berupa pengurangan kapasitas jalan ataupun penutupan jalur (Tungka, 2006).

Nilai Gelombang Kejut pada Jalan dengan Lampu Lalu Lintas

Gelombang kejut pada jalan berlampu lalu lintas dapat dianalisis apabila hubungan matematis antara arus-kepadatan telah diketahui dan kondisi arus lalu lintas telah ditentukan. Sebagai contoh kurva arus – kepadatan suatu jalan pada Gambar 2.16a, sedangkan diagram jarak – waktu diperlihatkan pada Gambar 2.16b



Gambar 2. Gelombang Kejut pada Jalan Berlampu Lalu Lintas



Gambar 2. Gelombang Kejut pada Jalan Berlampu Lalu Lintas

Keterangan:

ω_{DA} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi A dan D

ω_{DC} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi D dan C

ω_{AC} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi A dan C

ω_{AB} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi A dan B

ω_{BC} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi B dan C

ω_{DB} = Gelombang kejut yang terjadi antara kondisi D dan B

t_1 = Waktu mulai menyala lampu merah dimana awal terbentuknya gelombang kejut yang menyebabkan antrian kendaraan.

t_2 = Waktu berakhirnya lampu merah dimana kendaraan mulai berjalan kembali.

t_3 = Waktu kendaraan yang mengantri paling belakang mulai berjalan dan merupakan titik antrian terpanjang yang terjadi di persimpangan.

t_4 = Lamanya waktu yang dibutuhkan kendaraan yang mengantri paling belakang untuk melewati garis henti.

t_5 = Waktu lampu merah menyala kembali sehingga fenomena gelombang kejut yang menyebabkan antrian pada persimpangan berulang kembali.

t_6 = Waktu kecepatan kendaraan yang paling belakang mengantri pada saat siklus lampu merah sebelumnya bertemu dengan kecepatan kendaraan yang pertama akan mengantri pada siklus lampu lalu lintas selanjutnya.

Analisa Persamaan Regresi Linier

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

$$Y = A + BX \quad (4)$$

dimana :

Y = peubah tidak bebas

X = peubah bebas

A = intersep atau konstanta regresi

B = koefisiensi regresi

Konstanta A dan B dapat dicari dengan menggunakan persama dibawah ini:

$$A = \frac{\sum y (\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (5)$$

$$B = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (6)$$

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) disebut juga dengan koefisien penentu sampel. Koefisien determinasi yang dinyatakan dengan persamaan berikut digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

dimana:

y_i = Nilai hasil estimasi (pemodelan)

\hat{y}_i = Nilai hasil observasi (pengamatan)

\bar{y} = Rata-rata hasil observasi (pengamatan)

Teknik Perencanaan Fasilitas Penyeberangan Pejalan Kaki

Kriteria yang dapat digunakan dalam memilih fasilitas penyeberangan pejalan kaki didasarkan pada pengukuran konflik kendaraan/pejalan kaki, baik PV maupun PV^2 (Zilhardi, 2007) dimana:

P: arus pejalan kaki yang menyeberang di ruas jalan setiap 1 jam (orang/jam).

V: arus lalu lintas kendaraan setiap jam (kendaraan/jam).

Nilai P dan V di atas merupakan arus rata-rata pejalan kaki dan kendaraan dalam kurun waktu empat jam sibuk. Survei harus dilakukan minimal untuk selama 6 jam pada periode jam sibuk, dihitung untuk masing-masing jam, dan 4 nilai tertinggi PV^2 rata-rata. Dari nilai PV^2

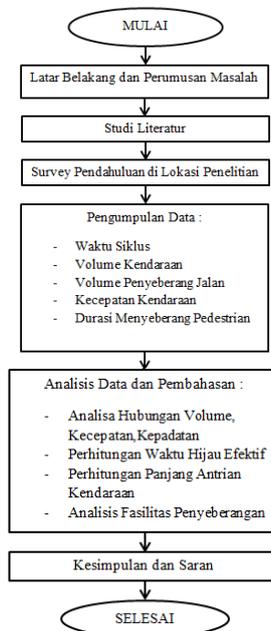
direkomendasikan pemilihan jenis fasilitas penyeberangan pejalan kaki seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemilihan Fasilitas Penyeberangan

PV ²	P	V	Rekomendasi Awal
>10 ⁸	50 - 100	300 - 500	Zebra cross (Zc)
> 2 × 10 ⁸	50 - 1100	400 - 750	Zc dengan pelindung
>10 ⁸	50 - 1100	> 500	Pelican (p)
>10 ⁸	> 1100	> 300	Pelican (p)
> 2 × 10 ⁸	50 - 1100	> 750	Pelican dengan pelindung
> 2 × 10 ⁸	> 1100	> 400	Pelican dengan pelindung
> 2 × 10 ⁸	> 1100	> 750	Jembatan Penyeberangan

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Pengolahan data diawali dengan mengalihkan data kendaraan tiap 15 menit dengan ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk masing-masing kendaraan menurut MKJI 1997, kemudian dibagi 0,25 untuk mendapatkan nilai volume kendaraan dalam satuan smp/jam. Data waktu tempuh setiap 15 menit dirata-ratakan kemudian dibagi jarak tempuh 50 meter dengan waktu tempuh rata-rata setiap 15 menit untuk mendapatkan kecepatan dalam satuan meter/detik. Satuan meter/detik

diubah menjadi satuan km/jam dengan cara mengalihkan nilai kecepatan dalam meter/detik dengan 3,6. Ketika volume dan kecepatan telah diketahui, maka kepadatan dapat dihitung dengan cara volume dibagi kecepatan.

Selanjutnya dicari hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan dengan model Greenshield, Greenberg, dan Underwood. Model-model tersebut akan menghasilkan hubungan karakteristik Kepadatan-Kecepatan, Kepadatan-Volume, Kecepatan-Volume, volume maksimum, kecepatan maksimum, dan kepadatan maksimum. Dari hubungan karakteristik tersebut akan didapat pula nilai koefisien determinasi (R^2), dimana model Greenshield diwakili oleh fungsi linier, model Greenberg oleh fungsi logartimik, dan model Underwood oleh fungsi eksponensial. Nilai koefisien determinasi dicari dengan menggunakan Microsoft Excel. Nilai koefisien determinasi tertinggi akan mewakili hubungan Kepadatan-Volume yang akan digunakan pada perhitungan gelombang kejut.

Akan ada beberapa kondisi pada analisis gelombang kejut, yaitu kondisi A,B,C, dan D. Kondisi B adalah dimana $V=0$ dan $D=D_j$, kondisi C adalah dimana $V=V_m$, dan D adalah kondisi dimana $V=0$ dan $D=0$. Kondisi A adalah kondisi dimana nilai V merupakan rata-rata dari volume lalu lintas pada jam-jam sibuk. Setelah hubungan matematis Kepadatan-Volume dan kondisi lalu lintas telah diketahui, maka gelombang kejut dapat digambarkan. Nilai gelombang kejut meliputi ω_{DA} , ω_{DB} , ω_{AB} , ω_{DC} , ω_{CB} , ω_{AC} . Nilai waktu penormalan dan panjang antrian maksimum (Q_M) juga akan didapat jika durasi lampu merah telah diketahui. Durasi lampu merah yang digunakan adalah durasi awal lampu lalu lintas *pelican crossing*, kemudian ditambah dengan lama pejalan kaki yang menerobos lampu hijau bagi kendaraan, karena pejalan kaki dianggap mengurangi waktu hijau efektif kendaraan.

Arus kendaraan setiap jam dalam satuan kendaraan/jam (V), arus pejalan kaki yang menyeberang setiap jamnya (P), dan konflik antar kendaraan dan

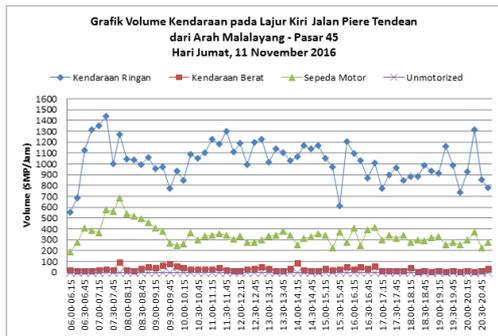
penyeberang jalan (PV^2) merupakan nilai yang akan digunakan dalam analisis fasilitas penyeberangan jalan.

HASIL ANALISIS DATA

Volume Lalu Lintas

Perhitungan volume lalu lintas di Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square dilakukan per 15 menit selama 7 hari dari tanggal 10 November 2016 sampai dengan tanggal 16 November 2016. Untuk mendapatkan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp), data kendaraan tiap 15 menit dari hasil survey dikalikan dengan faktor ekivalensi (emp) untuk tiap jenis kendaraan dan di jumlahkan, maka diperoleh volume lalu lintas tiap 15 menit. Ekivalensi mobil penumpang masing-masing kendaraan untuk jalan satu arah terbagi menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 adalah sebagai berikut:

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



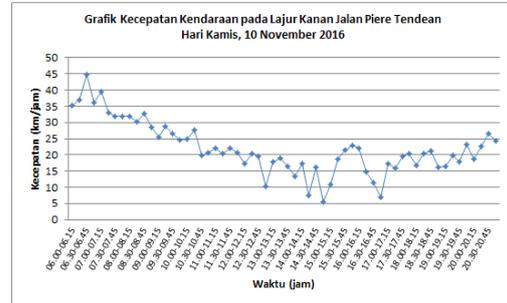
Grafik 1. Volume Kendaraan

Siklus Lampu Lalu Lintas

Perhitungan lamanya siklus lampu lalu lintas diambil secara langsung dilapangan dengan menggunakan *stop watch*. Berdasarkan perhitungan di lapangan, lamanya merah 22 detik bagi kendaraan atau hijau bagi pejalan kaki selama detik, lamanya kuning 3 detik dan lampu lalu lintas akan terus menunjukkan warna hijau selama pejalan kaki tidak menekan tombol pelican.

Perhitungan Kecepatan Kendaraan

Contoh grafik hasil perhitungan kecepatan rata-rata di Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square dapat dilihat pada Grafik di bawah ini.



Grafik 2. Kecepatan Kendaraan Perhitungan Kepadatan

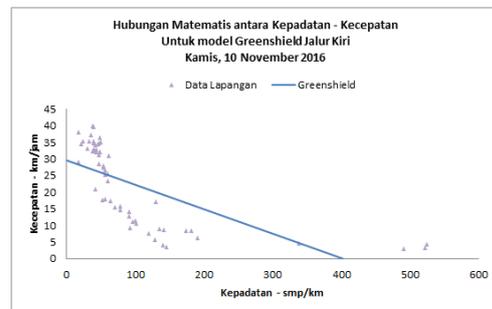
Tabel 2. Resume Total Kepadatan

Hari	Kepadatan	
	Jalur Kiri	Jalur Kanan
Kamis, 10 November 2016	5824,28	4324,29
Jumat, 11 November 2016	5461,03	8670,68
Sabtu, 12 November 2016	6587,80	5002,65
Minggu, 13 November 2016	3879,44	2387,89
Senin, 14 November 2016	6477,94	4542,08
Selasa, 15 November 2016	5239,29	4126,66
Rabu, 16 November 2016	5828,57	4500,24

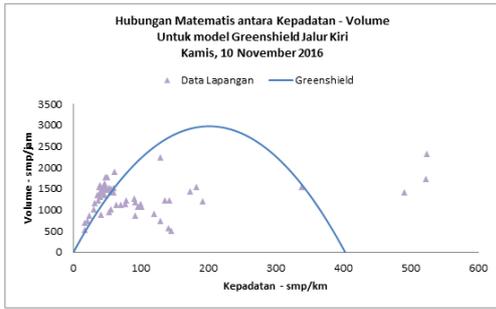
Kepadatan yang terjadi selama 7 hari penelitian berkisar antara 3879,44 smp/km hingga 6587,80 smp/km untuk jalur kiri dan 2387,89 smp/km hingga 8670,68 smp/km untuk jalur kanan. Kepadatan tertinggi berdasarkan Tabel 4.3 terjadi pada hari Sabtu untuk jalur kiri dengan kepadatan sebesar 6587,80 smp/km dan pada hari Jumat untuk jalur kiri dengan kepadatan 8670,68 smp/km.

Model Greenshield

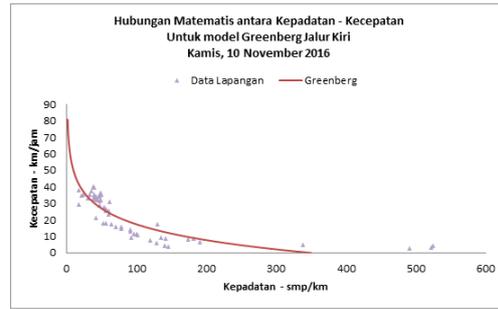
Greenshield merumuskan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan merupakan fungsi linier.



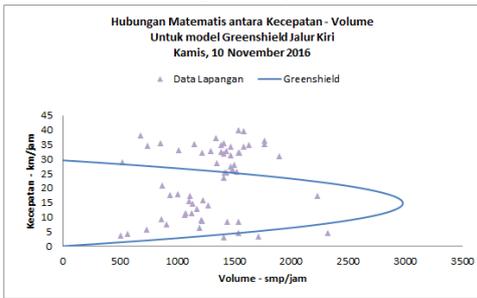
Grafik 3. Hubungan Kepadatan-Kecepatan



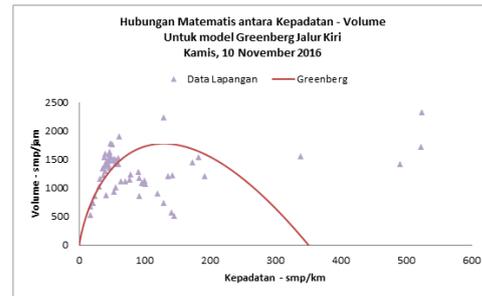
Grafik 4. Hubungan Kepadatan-Volume



Grafik 5. Hubungan Kepadatan-Volume



Grafik 5. Hubungan Kecepatan-Volume



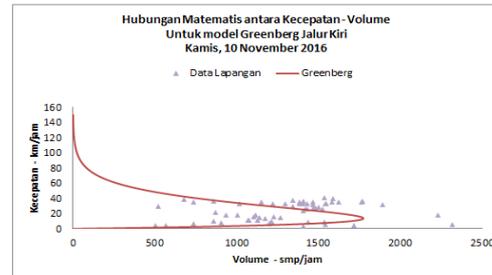
Grafik 6. Hubungan Kepadatan-Volume

Tabel 3. Perhitungan Model Greenshield

Sabtu, 12 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	32,4086	30,10018
B	-0,1204	-0,11377
Sff (km/jam)	32,4086	30,10018
Dj (smp/km)	269,1827	264,5768
D-S	S = 32,40863 - 0,1204D	S = 30,10018 - 0,11377D
D-V	V = 32,40863D - 0,1204D ²	V = 30,10018D - 0,11377D ²
S-V	V = 269,1827.S - 8,305895.S ²	V = 264,5768.S - 8,789874.S ²

Tabel 4. Perhitungan Model Greenshield

Rabu, 16 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	32,96043	34,29287
B	-0,12836	-0,17318
Sff (km/jam)	32,96043	34,29287
Dj (smp/km)	256,7836	198,0232
D-S	S = 32,96043 - 0,12836D	S = 34,29287 - 0,17318D
D-V	V = 32,96043D - 0,12836D ²	V = 34,29287D - 0,17318D ²
S-V	V = 256,7836.S - 7,790662.S ²	V = 198,0232.S - 5,774472.S ²



Grafik 7. Hubungan Kecepatan-Volume

Tabel 5. Perhitungan Model Greenberg

Sabtu, 12 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	81,955	75,266
B	14,253	-12,967
Dj (smp/km)	313,8175	331,8154
D-S	S = 81,955 - 14,253 LnD	S = 75,266 - 12,967 LnD
D-V	V = 81,955D - 14,253 D LnD	V = 75,266D - 12,967 D LnD
S-V	V = 313,8175.S - e ^{0,0708.S}	V = 331,8154.S - e ^{0,07112.S}

Tabel 6. Perhitungan Model Greenberg

Rabu, 16 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	87,68	78,03
B	-15,41	-13,54
Dj (smp/km)	296,2928	318,5997
D-S	S = 87,68 - 15,41 LnD	S = 78,03 - 13,54 LnD
D-V	V = 87,68D - 15,41 D LnD	V = 78,03D - 13,54 D LnD
S-V	V = 296,2928.S - e ^{0,06491.S}	V = 318,5997.S - e ^{0,07397.S}

Model Greenberg

Greenberg mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kepadatan dan kecepatan merupakan fungsi logaritmik. Persamaan dasar model Greenberg dapat dinyatakan melalui persamaan:

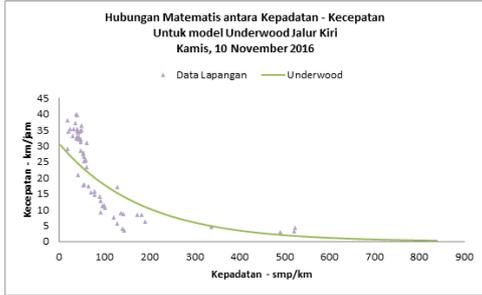
$$D=C.e^{bs}$$

Dimana :

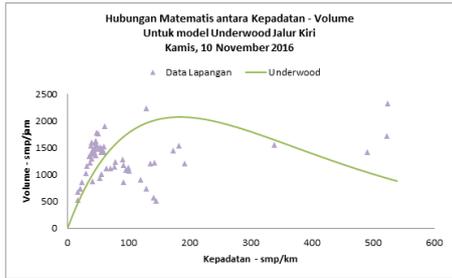
- D = Kerapatan lalu lintas
- e = Eksponensial
- S = Kecepatan lalu lintas
- C dan b = Konstanta

Model Underwood

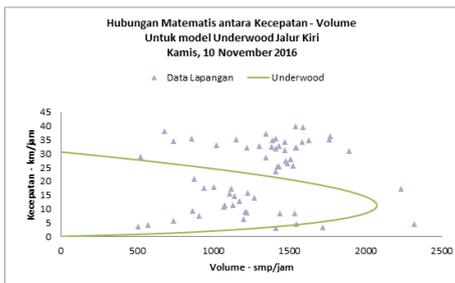
Tabel 9 menunjukkan resume hubungan karakteristik kepadatan dan kecepatan, kepadatan dan volume, kecepatan dan volume pada hari Kamis, 10 November 2016 untuk model Greenshield, Greenberg, dan Underwood.



Grafik 8. Hubungan Kepadatan-Volume



Grafik 9. Hubungan Kepadatan-Volume



Grafik 10. Hubungan Kecepatan-Volume

Tabel 7. Perhitungan Model Underwood

Sabtu, 12 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	3,622323	3,49456
B	-0,00814	-0,00686
Sff (km/jam)	37,42442	32,95579
D-S	$S = 37,42442 \cdot e^{-0,00814D}$	$S = 32,95579 \cdot e^{-0,00686D}$
D-V	$V = 37,42442 D \cdot e^{-0,00814D}$	$V = 32,95579 D \cdot e^{-0,00686D}$
S-V	$V = 445,0055 S - 122,8509 S \cdot \ln S$	$V = 509,5028 S - 145,7988 S \cdot \ln S$

Tabel 8. Perhitungan Model Underwood

Rabu, 16 November 2016	Jalur Kiri	Jalur Kanan
A	3,638994	3,679153
B	-0,00813	-0,00916
Sff (km/jam)	38,05354	39,61281
D-S	$S = 38,05354 \cdot e^{-0,00813D}$	$S = 39,61281 \cdot e^{-0,00916D}$
D-V	$V = 38,05354 D \cdot e^{-0,00813D}$	$V = 39,61281 D \cdot e^{-0,00916D}$
S-V	$V = 447,7206 S - 123,0342 S \cdot \ln S$	$V = 401,8324 S - 109,2187 S \cdot \ln S$

Tabel 9. Hubungan Karakteristik Volume, Kecepatan, Kepadatan

Jenis Model	Hubungan Karakteristik	Model Hubungan Matematis
Greenshield	Kepadatan dan Kecepatan	$S = 29,56682081 - 0,07340405 D$
	Kepadatan dan Volume	$V = 29,56682081 - 0,07340405 D^2$
Greenberg	Kepadatan dan Kecepatan	$V = 402,795476 \cdot S - 13,6232258 S^2$
	Kepadatan dan Volume	$S = 80,6732 - 13,7679 \ln D$
Underwood	Kepadatan dan Kecepatan	$V = 80,6732 D - 13,7679 D \ln D$
	Kepadatan dan Volume	$V = 350,55422 \cdot S \cdot e^{-0,0726328 \cdot S}$
Underwood	Kepadatan dan Kecepatan	$S = 30,636596 \cdot e^{-0,0054538 D}$
	Kepadatan dan Volume	$V = 30,636596 D \cdot e^{-0,0054538 D}$
	Kecepatan dan Volume	$V = 629,57133 S - 183,9671 S \cdot \ln S$

Tabel 10. Resume Perhitungan V_M , S_M , dan D_M

Jenis Model	V_M smp/jam	S_M km/jam	D_M smp/km
Greenshield	2977,34541	14,7834104	201,397738
Greenberg	1775,5302	13,767889	128,96169
Underwood	2073,4148	11,270574	183,9671

Tabel 10 menunjukkan resume dari hasil perhitungan volume maksimum (V_M), kecepatan maksimum (S_M), dan kepadatan maksimum (D_M) untuk hari Kamis, 10 November 2016 untuk setiap jenis model yaitu Greenshield, Greenberg, dan Underwood.

Penentuan Model Terpilih

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

- Nilai kecepatan arus bebas, hanya dapat dihitung melalui metode Greenshield dan Underwood. Sedangkan metode Greenberg tidak dapat memberikan nilai yang jelas karena grafik memotong sumbu kecepatan pada nilai tak terhingga.
- Nilai kepadatan pada kondisi macet total, hanya dapat dicari dengan menggunakan metode Greenshield dan Greenberg, sedangkan metode Underwood akan memberikan nilai pada kondisi macet total pada nilai kepadatan tak terhingga.

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

Tabel 11. Nilai R^2 Jalur Kiri

Hari Tanggal	Koefisien Determinasi (R^2)		
	Greenshield	Greenberg	Underwood
Kamis, 10 November 2016	0,463	0,757	0,6361
Jumat, 11 November 2016	0,653	0,8314	0,8616
Sabtu, 12 November 2016	0,7536	0,9136	0,9148
Minggu, 13 November 2016	0,6427	0,9311	0,8378
Senin, 14 November 2016	0,577	0,782	0,8249
Selasa, 15 November 2016	0,5811	0,8036	0,7971
Rabu, 16 November 2016	0,6261	0,8055	0,8285

Nilai Koefisien Determinasi (R^2) tertinggi untuk lajur kiri adalah model Greenshield pada hari Sabtu, 12 November

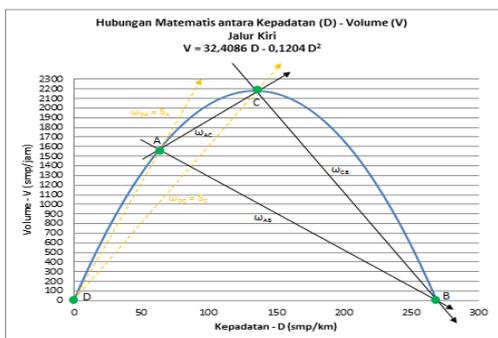
2016 dengan nilai $R^2 = 0,7536$ dengan persamaan: $V = 32,40863 D - 0,1204 D^2$.

Nilai Koefisien Determinasi (R^2) tertinggi untuk jalur kanan adalah model Greenshield pada hari Rabu, 16 November 2016 dengan nilai $R^2 = 0,7635$ dengan persamaan: $V = 34,2929 D - 0,17318 D^2$.

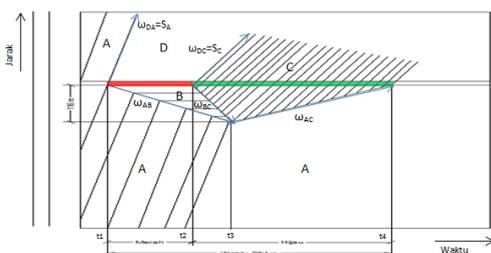
Tabel 12. Nilai R^2 Jalur Kanan

Hari/Tanggal	Koefisien Determinasi (R^2)		
	Greenshield	Greenberg	Underwood
Kamis, 10 November 2016	0,6855	0,8574	0,8923
Jumat, 11 November 2016	0,7151	0,9128	0,8956
Sabtu, 12 November 2016	0,6111	0,8872	0,7673
Minggu, 13 November 2016	0,7138	0,8056	0,8177
Senin, 14 November 2016	0,6974	0,9409	0,8949
Selasa, 15 November 2016	0,6956	0,8147	0,7976
Rabu, 16 November 2016	0,7635	0,866	0,8866

Gelombang Kejut Jalur Kiri



Gambar 4. Gelombang Kejut Jalur Kiri dengan $V_A = 1570$ smp/jam



Gambar 5. Diagram Jarak dan Waktu Jalur Kiri

Perhitungan gelombang kejut dengan durasi lampu merah (r) divariasikan, karena pejalan kaki yang menyeberang pada saat lampu hijau bagi kendaraan dianggap mengurangi waktu hijau efektif dan menambah durasi lampu merah bagi kendaraan. Durasi lampu merah (r) minimum adalah 22 detik berdasarkan

pengamatan durasi lampu lalu lintas di lapangan.

- Kondisi A dengan nilai $V_A = 1570$ smp/jam diambil berdasarkan arus yang terjadi pada jam sibuk setiap hari ; $D_A = 63,356$ smp/km.
- Kondisi B dengan nilai $V_B = 0$ smp/jam ; $D_B = 269,17$ smp/km.
- Kondisi C dengan nilai $V_C = 2180,96$ smp/jam ; $D_C = 134,591$ smp/km.
- Kondisi D dengan nilai $V_D = 0$ smp/jam ; $D_D = 0$ smp/km.

Berdasarkan Gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa selama waktu antara t_0 sampai t_1 , lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas bergerak searah arus lalu lintas normal (kearah hilir) dengan kondisi A (V_A , D_A , dan S_A). Pada saat t_1 lampu berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti berubah menjadi kondisi B dimana mulai terbentuk antrian kendaraan, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan pada kondisi D. Tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai t_1 pada garis henti adalah:

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

$$\omega_{DA} = \frac{1570 - 0}{63,356 - 0} = 24,781 \text{ km/jam}$$

Tanda positif berarti gelombang kejut bergerak maju ke depan searah pergerakan lalu lintas.

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0$$

$$\omega_{DB} = \frac{0 - 0}{269,17 - 0} = 0 \text{ km/jam}$$

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

$$\omega_{AB} = \frac{0 - 1570}{269,17 - 63,356} = -7,628 \text{ km/jam}$$

Tanda negatif berarti gelombang kejut bergerak mundur ke belakang berlawanan arah dengan pergerakan arus lalu lintas dimana mulai terbentuk antrian kendaraan pada jalur kiri.

Pada waktu t_2 dimana lampu berubah dari merah menjadi hijau dimana kendaraan yang mengantri mulai berjalan, akan terbentuk dua gelombang kejut baru yaitu ω_{DC} dan ω_{CB} .

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

$$\omega_{DC} = \frac{2180,96 - 0}{134,591 - 0} = 16,204 \text{ km/jam}$$

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

$$\omega_{CB} = \frac{0 - 2180,96}{269,17 - 134,591} = -16,206 \text{ km/jam}$$

Arus lalu lintas dengan kondisi ini menerus terjadi sampai dengan ω_{AB} dengan ω_{CB} mencapai t_3 , selang waktu antara t_2 sampai dengan t_3 dapat dihitung dengan persamaan:

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

$$t_3 - t_2 = 29 \cdot \left[\frac{-7,628}{(-16,206 - (-7,628))} \right]$$

$$= 25,790 \text{ detik}$$

$t_3 - t_2$ merupakan selang waktu antara kendaraan pertama mengantri mulai bergerak melewati garis henti dengan kendaraan yang paling belakang mengantri mulai berjalan kembali.

r adalah durasi efektif lampu merah (detik). Panjang antrian maksimum (Q_M) akan terjadi pada waktu t_3 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_M = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right]$$

$$Q_M = \frac{r}{3600} \left[\frac{(-16,206) \cdot (-7,628)}{(-16,206) - (-7,628)} \right]$$

$$= 0,1160987 \text{ km}$$

Pada waktu t_3 , terbentuk 1 (satu) gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan 2 (dua) buah gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} yang menyebabkan antrian berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan persamaan:

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

$$\omega_{AC} = \frac{2180,96 - 1570}{134,591 - 63,356} = 8,5767 \text{ km/jam}$$

Tanda positif berarti gelombang kejut bergerak maju ke depan searah pergerakan lalu lintas.

Waktu penormalan $t_4 - t_2 = T$ dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

$$t_4 - t_2 = \frac{29 \cdot (-7,628)}{(-16,206 - (-7,628))} \cdot \left| \frac{(-16,206)}{8,5767} + 1 \right|$$

$$= 74,52202 \text{ detik}$$

Waktu penormalan $t_4 - t_2$ merupakan selang waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan yang pertama sampai yang paling belakang mengantri melewati garis henti. Pada waktu t_4 dicapai semua kendaraan yang mengantri sudah melewati garis henti.

Pada waktu t_5 saat lampu merah menyala, gelombang kejut ω_{DA} akan terbentuk dan bergerak ke arah hilir dan bertemu dengan gelombang kejut ω_{AC} pada waktu t_6 , serta terbentuk gelombang kejut baru ω_{DC} . Perhitungan gelombang kejut untuk berbagai variasi nilai r dapat dilihat pada Tabel 13.

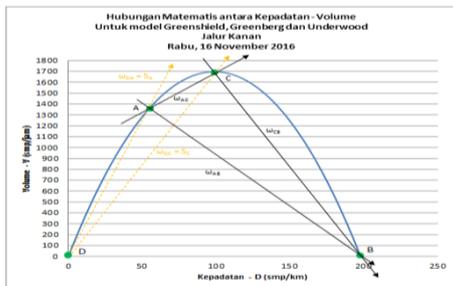
Tabel 13. Karakteristik Gelombang Kejut Jalur Kiri

r	t3-t2	Q _M	Q _M	ω _{AC}	t4-t2=T
detik	detik	km	m	km/jam	detik
22	19.57	0.0880749	88.07487	8.5767	56.53395
23	20.45	0.0920783	92.07827	8.5767	59.10367
24	21.34	0.0960817	96.08168	8.5767	61.6734
25	22.23	0.1000851	100.0851	8.5767	64.24312
26	23.12	0.1040885	104.0885	8.5767	66.81285
27	24.01	0.1080919	108.0919	8.5767	69.38257
28	24.9	0.1120953	112.0953	8.5767	71.9523
29	25.79	0.1160987	116.0987	8.5767	74.52202
30	26.68	0.1201021	120.1021	8.5767	77.09175
31	27.57	0.1241055	124.1055	8.5767	79.66147
32	28.46	0.1281089	128.1089	8.5767	82.2312
33	29.35	0.1321123	132.1123	8.5767	84.80092
34	30.24	0.1361157	136.1157	8.5767	87.37065
35	31.13	0.1401191	140.1191	8.5767	89.94037
36	32.02	0.1441225	144.1225	8.5767	92.5101
37	32.91	0.1481259	148.1259	8.5767	95.07982
38	33.79	0.1521293	152.1293	8.5767	97.64955
39	34.68	0.1561327	156.1327	8.5767	100.2193
40	35.57	0.1601361	160.1361	8.5767	102.789
41	36.46	0.1641395	164.1395	8.5767	105.3587
42	37.35	0.1681429	168.1429	8.5767	107.9284
43	38.24	0.1721463	172.1463	8.5767	110.4982
44	39.13	0.1761497	176.1497	8.5767	113.0679
45	40.02	0.1801531	180.1531	8.5767	115.6376
46	40.91	0.1841565	184.1565	8.5767	118.2073
47	41.8	0.1881599	188.1599	8.5767	120.7771

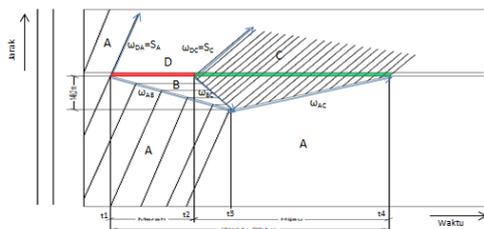
Pejalan kaki yang menyeberang pada saat waktu hijau bagi kendaraan dan merah bagi pejalan kaki rata-rata selama 7 detik per orang dan membuat waktu hijau efektif kendaraan menjadi berkurang. Waktu menyeberang maksimum per pejalan kaki adalah 20 detik. Diasumsikan durasi lampu merah bagi kendaraan bertambah ketika waktu hijau efektif kendaraan berkurang.

Dari Tabel 13 hasil perhitungan karakteristik gelombang kejut, semakin besar durasi lampu merah untuk kendaraan (r) maka panjang antrian maksimum kendaraan (Q_M) dan waktu penormalan (T) akan semakin besar. Panjang antrian maksimum kendaraan (Q_M) yang terjadi karena *pelican crossing* yang beroperasi adalah 88,07487 meter untuk jalur kiri. Ketika waktu hijau efektif untuk kendaraan berkurang selama 7 detik, maka panjang antrian maksimum kendaraan (Q_M) yang akan terjadi adalah 116,0987 meter untuk jalur kiri, kemudian panjang antrian maksimum (Q_M) akan terus bertambah ketika pejalan kaki yang menyeberang dengan menerobos lampu hijau bagi kendaraan lebih dari satu orang.

Gelombang Kejut Jalur Kanan



Gambar 6. Gelombang Kejut Jalur Kiri dengan V_A = 1370 smp/jam



Gambar 7. Diagram Jarak dan Waktu Jalur Kanan

Durasi lampu merah (r) minimum adalah 22 detik berdasarkan pengamatan durasi lampu lalu lintas di lapangan.

- Kondisi A dengan nilai V_A = 1370 smp/jam diambil berdasarkan arus yang terjadi pada jam sibuk setiap hari ; D_A = 55,5121 smp/km.
- Kondisi B dengan nilai V_B = 0 smp/jam ; D_B = 256,78 smp/km.
- Kondisi C dengan nilai V_C = 1697,696 smp/jam ; D_C = 99,0116 smp/km.
- Kondisi D dengan nilai V_D = 0 smp/jam ; D_D = 0 smp/km.

Berdasarkan Gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa selama waktu antara t₀ sampai t₁, lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas bergerak searah arus lalu lintas kearah hilir dengan kondisi A. Pada saat t₁ lampu berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti berubah menjadi kondisi B dimana mulai terbentuk antrian kendaraan, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan pada kondisi D. Tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai t₁ pada garis henti adalah:

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

$$\omega_{DA} = \frac{1370 - 0}{55,5121 - 0} = 24,679 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0$$

$$\omega_{DB} = \frac{0 - 0}{256,78 - 0} = 0$$

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

$$\omega_{AB} = \frac{0 - 1370}{256,78 - 55,5121} = -6,807 \text{ km/jam}$$

Tanda negatif berarti gelombang kejut bergerak mundur ke belakang berlawanan arah dengan pergerakan arus lalu lintas dimana mulai terbentuk antrian kendaraan pada jalur kanan.

Pada waktu t₂ dimana lampu berubah dari merah menjadi hijau dimana kendaraan yang mengantri mulai berjalan, akan terbentuk dua gelombang kejut baru yaitu ω_{DC} dan ω_{CB}.

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

$$\omega_{DC} = \frac{1697,696 - 0}{99,0116 - 0} = 17,146 \text{ km/jam}$$

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

$$\omega_{CB} = \frac{0 - 1697,696}{256,78 - 99,0116} = -10,7607 \text{ km/jam}$$

Arus lalu lintas dengan kondisi ini menerus terjadi sampai dengan ω_{AB} dengan ω_{CB} mencapai t_3 , selang waktu antara t_2 - t_3 dihitung dengan persamaan:

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

$$t_3 - t_2 = r \cdot \left[\frac{-6,807}{(-10,7607) - (-6,807)} \right]$$

$$= 49,926 \text{ detik}$$

Panjang antrian maksimum (Q_M) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_M = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right]$$

$$= \frac{29}{3600} \left[\frac{(-10,7607) \cdot (-6,807)}{(-10,7607) - (-6,807)} \right]$$

$$= 0,149232 \text{ km} = 149,232 \text{ m}$$

Pada waktu t_3 , terbentuk gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} menyebabkan antrian berakhir.

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

$$\omega_{AC} = \frac{1697,696 - 1370}{99,0116 - 55,5121} = 7,533 \text{ km/jam}$$

Tanda positif berarti gelombang kejut bergerak maju ke depan searah pergerakan lalu lintas.

Waktu penormalan $t_4 - t_2 = T$ dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

$$= \frac{29 \cdot (-6,807)}{((-10,7607) - (-6,807))} \cdot \left| \frac{(-10,7607)}{7,533} + 1 \right|$$

$$= 121,240401 \text{ detik}$$

Pada waktu t_5 saat lampu merah menyala, gelombang kejut ω_{DA} akan terbentuk dan bergerak ke arah hilir dan bertemu dengan gelombang kejut ω_{AC} pada waktu t_6 , serta terbentuk gelombang kejut baru ω_{DC} . Perhitungan gelombang kejut

untuk berbagai variasi nilai r dapat dilihat pada Tabel 14.

Dari tabel hasil perhitungan karakteristik gelombang kejut, semakin besar durasi lampu merah untuk kendaraan (r) maka panjang antrian maksimum kendaraan (Q_M) dan waktu penormalan (T) akan semakin besar. Panjang antrian maksimum (Q_M) yang terjadi karena *pelican crossing* yang beroperasi adalah 113,21061 meter untuk jalur kanan. Ketika waktu hijau efektif kendaraan berkurang selama 7 detik karena pejalan kaki, maka panjang antrian maksimum kendaraan yang akan terjadi adalah 149,23217 meter untuk jalur kanan, kemudian panjang antrian maksimum kendaraan akan terus bertambah ketika pejalan kaki yang menyeberang dengan menerobos lampu hijau bagi kendaraan lebih dari satu orang.

Tabel 14. Karakteristik Gelombang Kejut Jalur Kanan

r	t3 - t2	Q _M	Q _M	ω _{AC}	t4 - t2 = T
detik	detik	km	m	km/jam	detik
22	37.87	0.11321	113.211	7.53	91.97548
23	39.6	0.11836	118.357	7.53	96.15618
24	41.32	0.1235	123.502	7.53	100.3369
25	43.04	0.12865	128.648	7.53	104.5176
26	44.76	0.13379	133.794	7.53	108.6983
27	46.48	0.13894	138.94	7.53	112.879
28	48.2	0.14409	144.086	7.53	117.0597
29	49.93	0.14923	149.232	7.53	121.2404
30	51.65	0.15438	154.378	7.53	125.4211
31	53.37	0.15952	159.524	7.53	129.6018
32	55.09	0.16467	164.67	7.53	133.7825
33	56.81	0.16982	169.816	7.53	137.9632
34	58.53	0.17496	174.962	7.53	142.1439
35	60.26	0.18011	180.108	7.53	146.3246
36	61.98	0.18525	185.254	7.53	150.5053
37	63.7	0.1904	190.4	7.53	154.686
38	65.42	0.19555	195.546	7.53	158.8667
39	67.14	0.20069	200.692	7.53	163.0474
40	68.86	0.20584	205.837	7.53	167.2281
41	70.58	0.21098	210.983	7.53	171.4088
42	72.31	0.21613	216.129	7.53	175.5895
43	74.03	0.22128	221.275	7.53	179.7702
44	75.75	0.22642	226.421	7.53	183.951
45	77.47	0.23157	231.567	7.53	188.1317
46	79.19	0.23671	236.713	7.53	192.3124
47	80.91	0.24186	241.859	7.53	196.4931

Berdasarkan panjang antrian kendaraan pada jalur kiri dan kanan yang telah diperoleh, panjang antrian kendaraan untuk jalur kanan lebih besar dari jalur kiri. Hal ini diakibatkan karena adanya dampak volume kendaraan dari jalan Sario yang masuk ke jalur kanan. Perbedaan panjang antrian yang cukup signifikan juga terjadi karena pengaruh angkutan umum yang mengantri untuk mencari penumpang pada jalur kiri.

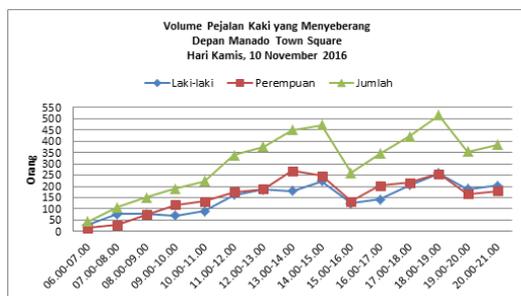
Volume Penyeberang Jalan

Data hasil survei volume pejalan kaki yang menyeberang menggunakan pelikan yaitu untuk mengetahui jumlah pejalan kaki yang menyeberang jalan per dua arah. Survei ini dilakukan pada titik pengamatan di depan Manado Town Square dilakukan selama 7 hari dalam interval waktu 1 jam, selama 15 jam dalam 1 hari.

Tabel 15. Volume Pejalan Kaki

Hari/Tanggal	: Kamis, 10 November 2016
Jam	: 06.00 - 21.00
Lokasi	: Jalur Kanan Jalan Piere Tendean dari arah Malalayang ke arah Pasar 45 (Depan Manado Town Square)

No	Periode	Laki-laki	Perempuan	Jumlah
1	2	3	4	5=3+4
1	06.00-07.00	28	16	44
2	07.00-08.00	78	29	107
3	08.00-09.00	78	74	152
4	09.00-10.00	71	119	190
5	10.00-11.00	91	133	224
6	11.00-12.00	163	176	339
7	12.00-13.00	187	189	376
8	13.00-14.00	180	270	450
9	14.00-15.00	224	248	472
10	15.00-16.00	126	134	260
11	16.00-17.00	142	203	345
12	17.00-18.00	205	216	421
13	18.00-19.00	259	257	516
14	19.00-20.00	188	167	355
15	20.00-21.00	204	180	384
Jumlah		2224	2411	4635



Grafik 11. Volume Pejalan Kaki

Volume Kendaraan

Satuan volume kendaraan yang akan digunakan dalam analisis fasilitas penyeberangan adalah dalam satuan kendaraan/jam. Volume lalu lintas dari 2

jalur yang telah disurvei dijumlahkan setiap jamnya.

Rekomendasi Tipe Penyeberangan

Setelah menghitung besarnya volume pejalan kaki yang menyeberang jalan setiap jamnya (P) dan volume kendaraan tiap jamnya (V), maka akan didapat volume penyeberang jalan tertinggi dan volume kendaraan puncak. Kedua kriteria ini yang akan digunakan untuk menganalisis besarnya konflik yang terjadi antara penyeberang jalan dengan kendaraan bermotor (PV²). Dari hasil konflik tersebut dapat direkomendasikan jenis fasilitas yang dibutuhkan oleh penyeberang jalan sesuai.

Tabel 16. Nilai P, V, dan PV²

Periode	P	V	PV ²	4 PV ² Terbesar
06.00-07.00	44	2939	5,689,904.00	
07.00-08.00	107	4225	48,372,025.00	
08.00-09.00	152	3837	88,650,048.00	
09.00-10.00	190	3547	128,046,700.00	
10.00-11.00	224	3676	184,446,976.00	
11.00-12.00	339	3696	424,748,016.00	
12.00-13.00	376	4135	584,589,760.00	
13.00-14.00	450	4657	943,042,500.00	x
14.00-15.00	472	3484	776,179,456.00	x
15.00-16.00	260	2363	159,738,800.00	
16.00-17.00	345	2759	328,389,975.00	
17.00-18.00	421	3378	598,720,098.00	x
18.00-19.00	516	3526	938,818,656.00	x
19.00-20.00	355	3334	420,167,350.00	
20.00-21.00	384	3503	516,538,368.00	

4 nilai PV² terbesar pada hari Kamis, 10 November 2016 berdasarkan Tabel 4.38 terjadi pada pukul 13.00-15.00 dan pukul 17.00-19.00.

Empat nilai terbesar yang mewakili semua periode waktu pengamatan dipilih nilai P rata-rata dan V rata-rata dari keempat nilai terbesar tersebut dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$P \text{ rata-rata} = (450+472+421+516 + 663+544+577+594 + 450+510+1547+558 + 382+354+288+389 + 428+449+454+522 + 401+416+445+413 + 389+396+406+583) / 28$$

$$P \text{ rata-rata} = 501 \text{ orang/jam}$$

$$V \text{ rata-rata} = (4567+3484+3378+3526 + 3915+4192+4199+4001+3980+3407+3680 + 3805+4126+3704+4211+3200+4612+4286 + 4343+4457 + 4289+3612+3285+3566 + 3871+4215+4053+4049) / 28$$

$$V \text{ rata-rata} = 3932,25 \text{ kendaraan/jam}$$

Jumlah rata-rata pejalan kaki adalah 501 orang/jam dan volume kendaraan 3932,25 kendaraan/jam. Nilai tunggal yang dapat mewakili PV² yang

terjadi di Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square dihitung dengan menggunakan nilai rata-rata P dan V sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PV^2 &= P \text{ rata-rata} \times (V \text{ rata-rata})^2 \\ &= 501 \times 3932,25^2 \\ &= 7,741 \times 10^9 \end{aligned}$$

Jumlah rata-rata penyeberang jalan 501 orang/jam, nilai ini berada diantara 50-1100 orang/jam dan volume kendaraan 3932,25 lebih dari 750 kendaraan per jam. Dari hasil perhitungan rata-rata penyeberang jalan (P), volume kendaraan (V), dan jumlah tingkat konflik antara pejalan kaki dan arus lalu lintas (PV^2) maka direkomendasikan jenis penyeberangan Pelikan dengan Pelindung.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan untuk lokasi penelitian Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square selama 7 hari sejak Kamis, 10 November 2016 sampai dengan Rabu, 16 November 2016. Ketidapatuhan pejalan kaki yang menyeberang pada saat waktu hijau bagi kendaraan akan mengurangi waktu hijau efektif kendaraan rata-rata selama 7 detik per orang. Waktu menyeberang maksimum per pejalan kaki adalah 20 detik. Diasumsikan durasi lampu merah bagi kendaraan bertambah ketika lampu hijau efektif kendaraan berkurang.

Pelican crossing yang dioperasikan membuat panjang antrian maksimum kendaraan sepanjang 88,1 meter untuk jalur kiri dan 113,2 meter untuk jalur kanan. Semakin besar durasi lampu merah *pelican crossing* untuk kendaraan, maka panjang antrian maksimum kendaraan akan semakin besar pula. Satu orang penyeberang jalan

yang membuat waktu hijau efektif kendaraan berkurang, akan menambah 28 meter panjang antrian maksimum kendaraan untuk jalur kiri dan 36 meter untuk jalur kanan. Panjang antrian maksimum kendaraan akan terus bertambah ketika pejalan kaki yang menyeberang menggunakan *pelican crossing* lebih dari satu orang.

Jumlah rata-rata penyeberang jalan yang menggunakan *pelican crossing* adalah 501 orang/jam berada pada nilai antara 50-1100 orang/jam. Volume kendaraan yang melintas di lokasi penelitian 3933 kendaraan/jam telah melebihi nilai 750 kendaraan per jam. Jumlah tingkat konflik antara pejalan kaki dan arus lalu lintas telah memenuhi untuk fasilitas pelikan dengan pelindung. Jenis penyeberangan di Pelikan di Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square sudah tidak sesuai lagi. Berdasarkan tata cara perencanaan fasilitas pejalan kaki di kawasan perkotaan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, fasilitas yang direkomendasikan adalah Pelikan dengan Pelindung.

Saran

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi bagi pemerintah untuk melakukan sosialisasi mengenai penggunaan Pelikan agar antrian kendaraan yang panjang di Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square dapat dihindari. Ada baiknya pemerintah mengganti fasilitas penyeberangan depan Manado Town Square dengan Pelikan dengan Pelindung karena Pelikan sudah tidak cocok lagi di lokasi tersebut. Pelikan dapat diganti dengan Pelikan dengan Pelindung, jika geometrik Jalan Piere Tendea depan Manado Town Square diperlebar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. *Kota Manado dalam Angka*, 2016. Badan Pusat Statistik Kota Manado.
- Anonimous. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, 1997. Departemen Pekerjaan Umum Hobbs, F., 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas, Edisi Kedua*. ed. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Khisty, C.J., 1990. *Transportation Engineering An Introduction*. PRENTICE HALL, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, Chicago.

Direktorat Jenderal Bina Marga.

May, A.D., 1990. *Traffic Flow Fundamentals*. PRENTICE HALL, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, Berkeley.

Nahdalina, Hadihardaja, I.K., Rozeani, V., 2006. *Perhitungan Antrian dan Tundaan pada Pintu Tol Grogol Menggunakan Metoda Gelombang Kejut*. Univ. Gunadarma.

Zilhardi, I., 2007. *Perekayasaan Fasilitas Pejalan Kaki di Perkotaan*. DPU-1997.