

# ANALISA KINERJA SIMPANG TAK BERSIGNAL (STUDI KASUS: SIMPANG TAK BERSIGNAL LENGAN TIGA JI. HASANUDDIN, JI. SANTIAGO DAN JI. POGIDON, TUMINTING)

Adesyafitri Aprilita Paendong

James A. Timboeleng, Samuel Y.R. Rompis

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [Paendongade@gmail.com](mailto:Paendongade@gmail.com)

## ABSTRAK

*Perkembangan Kota Manado memberikan dampak perubahan yang sangat besar di berbagai sistem terutama di bidang sistem transportasi. Hal ini mengakibatkan ruas jalan akan mengalami kemacetan, antrian atau tunda an serta kemungkinan terjadi kecelakaan lalu lintas yang dapat mengganggu kelancaran dan kenyamanan berkendara. Persimpangan jalan merupakan tempat bertemunya arus lalu lintas dari dua jalan atau lebih.*

*Persimpangan lengan tiga tuminting merupakan salah satu titik persimpangan yang mengalami banyak konflik. Maka dari itu, diperlukan untuk melakukan Analisa Kinerja Lalu Lintas pada persimpangan Jalan Tuminting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja lalu lintas pada persimpangan lengan tiga tak bersignal. Untuk mengetahui waktu tundaan dan tingkat pelayanan jalan perlu dilakukan analisa persimpangan dengan mengacu pada metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI 1997) dan untuk mengetahui bagaimana simulasi lalu lintas persimpangan tanpa lampu dan adanya lampu lalu lintas, pada persimpangan lengan tiga Tuminting perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan software Simulation of urban Mobility (SUMO).*

*Hasil dari penelitian didapat arus puncak pada saat jam puncak yaitu jam 10.00-11.00 WITA, dengan volume total kendaraan (QTOT) sebesar 1581 smp/jam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas simpang (C) sebesar 1847,7 smp/jam, dengan derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,86, tundaan simpang (D) sebesar 14,1 det/smp dan peluang antrian yang terjadi adalah 29 % - 58%. Level Of Service (LOS) yang di dapat yaitu LOS D, untuk hasil simulasi pergerakan lalu lintas menggunakan program sumo menunjukkan bahwa simpang Jl. Hasanuddin, Jl. Pogidon, Jl. Santiago, Tuminting perlu dipasang lampu lalu lintas (Traffic Light) agar dapat mempercepat pergerakan lalu lintas.*

**Kata Kunci:** *Persimpangan, Kapasitas, Tundaan, Level of Service (LOS), Simulasi.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Dengan makin meningkatnya pertumbuhan lalu lintas di negara berkembang termasuk Indonesia menimbulkan beberapa masalah lalu lintas karena fasilitas yang diberikan belum dapat mengimbangi pertumbuhan lalu lintas. Akibatnya masalah kemacetan, kecelakaan serta antrian yang panjang sering terjadi di beberapa ruas jalan.

Masalah transportasi di Kota Manado merupakan salah satu masalah lalu lintas di Indonesia. Seiring dengan kemajuan perekonomian di Kota Manado berdampak pula pada semakin bertambahnya penggunaan kendaraan baik pribadi maupun angkutan umum. Hal ini mengakibatkan ruas jalan akan mengalami kemacetan, antrian atau tundaan serta kemungkinan terjadi kecelakaan lalu

lintas yang dapat mengganggu kelancaran dan kenyamanan berkendara. Dalam masalah lalu lintas ini salah satu faktor penting dalam usaha menuju sistem prasarana masalah transportasi di Kota Manado. Dalam masalah lalu lintas ini salah satu faktor penting dalam usaha menuju sistem prasarana transportasi yang baik adalah kemampuan kinerja jalan serta kinerja simpang sebagai salah satu bagian dari sistem jalan secara keseluruhan. Permasalahan kemacetan dan antrian di Kota Manado pada umumnya terjadi pada persimpangan baik simpang bersinyal maupun tak bersinyal.

Persimpangan jalan merupakan tempat bertemunya arus lalu lintas dari dua jalan atau lebih. Kinerja jaringan jalan harus memperhitungkan tundaan akibat adanya simpang, baik itu simpang bersinyal maupun simpang tak bersinyal. Karena semakin banyak simpang pada suatu jaringan jalan, maka akan

semakin besar peluang tundaan yang terjadi. Tundaan merupakan salah satu masalah yang sering ditemui di Manado.

Dengan ketidaksiplinan para pengguna jalan, baik kendaraan bermotor maupun kendaraan tidak bermotor. Salah satu persimpangan tak bersinyal di Kota Manado yang mengalami permasalahan tersebut adalah simpang tak bersinyal lengan tiga Tuminting. Masalah pada area persimpangan ini yaitu kemacetan yang sering terjadi pada setiap saat bukan hanya pada saat jam sibuk. Kondisi tersebut terjadi karena adanya hambatan samping berupa pejalan kaki, kendaraan yang parkir di badan jalan, dan juga kemungkinan volume kendaraan yang tidak sesuai dengan kapasitas jalan.

Jaringan jalan pada area persimpangan ini merupakan salah satu jalan utama yang ada di Kota Manado. Ruas jalan pada persimpangan ini menghubungkan tiga arah yaitu arah dari Jl. Hasanuddin, arah Jl. Santiago, dan arah Jl. Pogidon. Dari ke tiga arah tersebut terdapat beberapa area perdagangan (Pasar Tuminting), pertokoan, rumah ibadah, aula perkawinan, pekuburan dan Sekolah Menengah Pertama (SMP) serta Sekolah Dasar (SD). Keadaan ini dapat menurunkan tingkat pelayanan jalan tersebut.

Dari keadaan diatas pada ruas persimpangan lengan tiga ini mengalami permasalahan lalu lintas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dan juga untuk upaya meningkatkan tingkat pelayanan pada simpang lengan tiga Tuminting di masa sekarang dan di masa yang akan datang perlu dilakukan studi dan evaluasi kinerja terhadap tingkat pelayanan dari simpang Jl. Hasanuddin, Jl. Pogidon dan Jl. Santiago, Tuminting.

#### **Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana tingkat pelayanan pada persimpangan lengan tiga tak bersinyal tersebut?
2. Bagaimana cara peningkatan kinerja simpang pada persimpangan lengan tiga tersebut?

#### **Batasan Masalah**

Dalam penyusunan penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang ada dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian pada persimpangan lengan tiga Tuminting dari 3 arah yaitu, arah dari Jl. Hasanuddin, arah Jl. Pogidon, dan arah Jl. Santiago.
2. Penelitian ini menganalisa kinerja lalu lintas pada persimpangan lengan tiga tak bersinyal berdasarkan MKJI 1997 dan Program SUMO.

#### **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana tingkat pelayanan pada persimpangan lengan tiga tak bersinyal tersebut.
2. Mengetahui bagaimana simulasi persimpangan tanpa lampu lalu lintas.
3. Mengetahui bagaimana simulasi persimpangan dengan adanya lampu lalu lintas.

#### **Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan diperoleh penelitian ini diantaranya:

1. Untuk masyarakat agar dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan para pengguna jalan yang melalui persimpangan tersebut.
2. Untuk sebagai salah satu bahan masukan untuk pemerintah dan dalam mengatasi masalah kemacetan pada simpang ini.
3. Dalam penelitian ini diharapkan dapat menemukan solusi kemacetan di persimpangan lengan tiga tak bersinyal di Tuminting.

## **LANDASAN TEORI**

### **Pengertian Lalu Lintas**

Lalu lintas merupakan gabungan dua kata yang masing-masing dapat diartikan sendiri. Secara harfiah lalu lintas diartikan sebagai gerak (bolak balik) manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sarana jalan umum. (Djajoesman, 1976)

### **Permasalahan Lalu Lintas**

Permasalahan transportasi di Indonesia, terutama lalu lintas darat sangat beragam. Permasalahan lalu lintas biasanya tumbuh lebih cepat dari upaya untuk melakukan pemecahan permasalahan transportasi sehingga mengakibatkan permasalahan menjadi bertambah parah dengan berjalannya waktu. Banyaknya permasalahan lalu lintas,

harusnya mengugah kita untuk sadar dan membenahi sistem transportasi yang ada. (Wikibuku, 2019).

Untuk bisa memecahkan permasalahan lalu lintas perlu diambil langkah-langkah yang berani atas dasar kajian dan langkah-langkah yang pernah dilakukan dikota-kota lain. Permasalahan lalu lintas yang ada antara lain:

1. Pertumbuhan kendaraan yang sangat tinggi
2. Tidak memadainya pelayanan angkutan umum
3. Kualitas angkutan yang sangat tidak memadai
4. Jadwal yang tidak teratur
5. Kemacetan lalu lintas
6. Kurangnya jaringan jalan untuk kendaraan
7. Kurangnya jaringan jalan bagi pejalan kaki
8. Tata Ruang yang tidak terkendali
9. Pelanggaran ketentuan lalu lintas
10. Kecelakaan lalu lintas
11. Manajemen lalu lintas yang tidak optimal
12. Pencemaran lingkungan

### Definisi Persimpangan

Menurut Morlok (1998), jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Simpang Jalan Tanpa Sinyal, yaitu simpang yang tidak memakai sinyal lalu lintas.
2. Simpang Jalan Dengan Sinyal, yaitu memakai jalan dapat melewati simpang sesuai dengan pengoperasian sinyal lalu lintas.

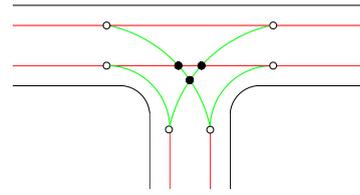
### Persimpangan Jalan

Persimpangan Jalan adalah simpul pada jaringan jalan dimana ruas jalan bertemu dan lintasan arus kendaraan berpotongan. Lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya.

### Daerah Konflik Pada Simpang

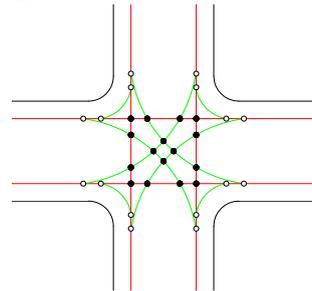
Daerah konflik dapat digambarkan sebagai diagram yang memperlihatkan suatu aliran kendaraan dan manuver bergabung, menyebar, dan persilangan di simpang dan menunjukkan jenis konflik dan potensi kecelakaan di simpang.

- Simpang tiga lengan Simpang dengan 3 (tiga) lengan mempunyai titik-titik konflik sebagai berikut :



Gambar 1 Aliran Kendaraan di Simpang Tiga Lengan/Pendekat (Salter, 2016).

- Simpang dengan 4 (empat) lengan mempunyai titik-titik konflik sebagai berikut :



Gambar 2 Aliran Kendaraan di Simpang Empat Lengan/Pendekat (Salter, 2016)

### Titik Konflik Pada Simpang

Di dalam daerah simpang lintasan kendaraan akan berpotongan pada satu titik-titik konflik, konflik ini akan menghambat pergerakan dan juga merupakan lokasi potensial untuk tabrakan (kecelakaan). Jumlah potensial titik-titik konflik pada simpang tergantung dari:

- Jumlah kaki simpang
- Jumlah lajur dari kaki simpang
- Jumlah pengaturan simpang
- Jumlah arah pergerakan

### Prosedur Analisa Kinerja Simpang Tak Bersinyal Metode MKJI 1997

Data Masukan

- 1) Data Geometri :
  - a) Sketsa pola geometri yang terdiri dari nama jalan minor, nama jalan utama, nama kota, dan nama pilihan dari alternatif rencana
  - b) Sketsa simpang yang memberikan gambaran yang baik dari suatu simpang mengenai informasi kerib, lebar, jalur, bahu dan median
  - c) Sketsa simpang yang membuat nama jalan minor, nama jalan utama, dan gambar suatu panah yang menunjukkan arah.

Tabel 1 Nilai emp simpang tak bersinyal MKJI 1997

TIPE KENDARAAN	NILAI EMP
Kendaraan Ringan (LV)	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,5

(Sumber: MKJI, 1997)

- 2) Kondisi Lalu-lintas
  - a) Perhitungan arus lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (SMP)
  - b) Nilai normal variable umum lalu lintas

Tabel 2. Nilai Normal Faktor-k

Lingkungan jalan	Faktor k – Ukuran kota	
	> 1 Juta	≤ 1 Juta
Jalan di daerah komersial dan jalan arteri	0.07 – 0.08	0.08 – 0.10
Jalan di daerah permukiman	0.08 – 0.09	0.09 – 0.12

(Sumber: MKJI 1997)

Tabel 3 Nilai Normal Komposisi Lalu Lintas

Ukuran kota Juta penduduk	Komposisi lalu-lintas kendaraan bermotor %			Rasio kendaraan tak bermotor (UM/MV)
	Kend. Ringan LV	Kend. Berat HV	Sepeda motor MC	
> 3 J	60	4.5	35.5	0.01
1 - 3 J	55.5	3.5	41	0.05
0.5 – 1 J	40	3.0	57	0.14
0.1 – 0.5 J	63	2.5	34.5	0.05
< 0.1 J	63	2.5	34.5	0.05

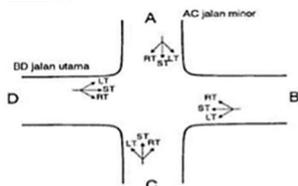
(Sumber: MKJI 1997)

Tabel 4 Nilai Normal Lalu Lintas Umum

Faktor	Normal
Rasio arus jalan minor $P_{MI}$	0,25
Rasio belok-kiri $P_{LT}$	0,15
Rasio belok-Kanan $P_{RT}$	0,15
Faktor smp, $F_{smp}$	0,85

(Sumber: MKJI 1997)

- c) Perhitungan rasio belok dan rasio arus jalan minor



Gambar 3 Rasio Belok dan Rasio Arus Jalan Minor (Sumber: MKJI 1997)

- 2). Kondisi Lingkungan
  - a) Kelas Ukuran Kota

Tabel 5 Kelas Ukuran Kota

Ukuran kota	Jumlah Penduduk (juta)
Sangat kecil	< 0.1
Kecil	0.1 – 0.5
Sedang	0.5 – 1.0
Besar	1.0 - 3.0
Sangat besar	> 0.3

(Sumber: MKJI 1997)

- b) Tipe Lingkungan Jalan

Tabel 6 Tipe Lingkungan Jalan

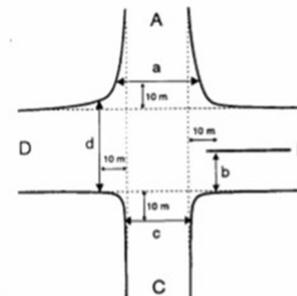
<b>Komersial</b>	Tata guna lahan komersial ( misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
<b>Permukiman</b>	Tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
<b>Akses Terbatas</b>	Tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping dsb)

(Sumber: MKJI 1997)

- c) Kelas Hambatan Samping Hambatan samping ditentukan secara kualitatif dengan pertimbangan teknik lalu lintas tinggi, sedang atau rendah.

### Lebar Pendekat dan Tipe Simping

Lebar rata-rata pendekat minor dan utama  $W_{AC}$  dan  $W_{BD}$  serta lebar rata-rata pendekat  $W_1$



Gambar 4 Lebar Rata-rata Pendekat (Sumber: MKJI 1997)

$$W_1 = ((WA + WC + WB + WD))/(\text{Jumlah lengan simpang})$$

### Jumlah Jalur

Tabel 7 Jumlah Lajur dan Lebar Rata-rata Pendekat Minor dan Utama

Lebar rata-rata pendekat minor dan utama $W_{AC}$ . $W_{BD}$	Jumlah lajur (Total untuk Kedua arah)
$W_{BD} = (b+d)/2 < 5,5$	2
$\geq 5,5$	4
$W_{AC} = (a+c)/2 < 5,5$	2
$\geq 5,5$	4

(Sumber: MKJI 1997)

**Tipe Simpang**

Tabel 8 Tipe Simpang

Kode IT	Jumlah lengan simpang	Jumlah lajur jalan minor	Jalur lajur jalan utama
322	3	2	2
324	3	2	4
342	3	4	2
422	4	2	2
424	4	2	4

(Sumber: MKJI 1997)

**Kapasitas Dasar**

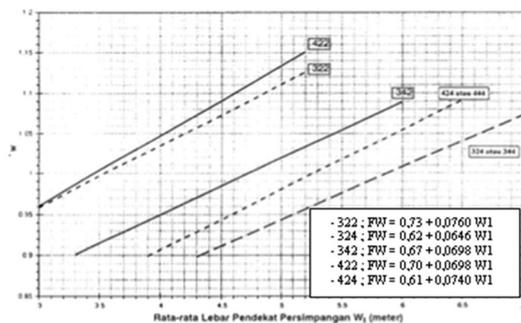
Tabel 9. Kapasitas Dasar menurut Tipe Simpang

Tipe Persimpangan	Kapasitas Dasar, C <sub>0</sub> (Smp/jam)
322	2700
342	2900
324 atau 344	3200
422	3900
424 atau 444	3400

(Sumber: MKJI 1997)

**Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat**

Faktor penyesuaian lebar pendekat (FW) diperoleh dari gambar dibawah ini:



Gambar 5. Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (FW) (Sumber: MKJI, 1997)

**Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama**

Variabel masukan adalah tipe median jalan utama.

Tabel 10 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama

Uraian	Tipe M	Faktor penyesuaian median, (F <sub>M</sub> )
Tidak ada median jalan utama	Tidak ada	1,00
Ada median jalan utama, lebar < 3 m	Sempit	1,05
Ada median jalan utama, lebar ≥ 3 m	Lebar	1,20

(Sumber: MKJI 1997)

**Faktor Penyesuaian Ukuran Kota**

Faktor penyesuaian ukuran kota ditentukan dari tabel berikut ini

Tabel 11. Faktor Penyesuaian Kota

Ukuran kota CS	Penduduk Juta	Faktor penyesuaian ukuran kota F <sub>CS</sub>
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 2,0	1,00
Sangat Besar	> 3,0	1,05

(Sumber MKJI 1997)

**Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tak Bertmotor**

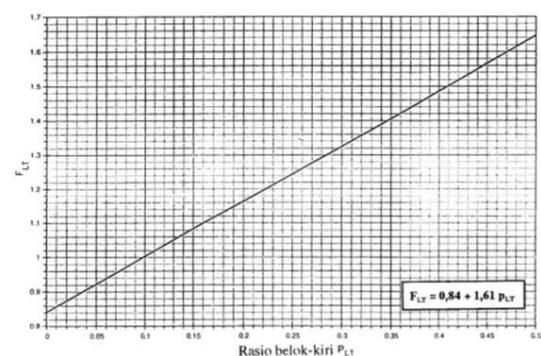
Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor, FRSU. Dihitung dengan menggunakan tabel dibawah ini.

Tabel 12 FRSU (Sumber MKJI 1997)

Kelas tipe lingkungan jalan RE	Kelas hambatan samping SF	Rasio kendaraan tak bermotor PUM					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Perumahan	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,71
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	tinggi/sedang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

**Faktor Penyesuaian Belok Kiri**

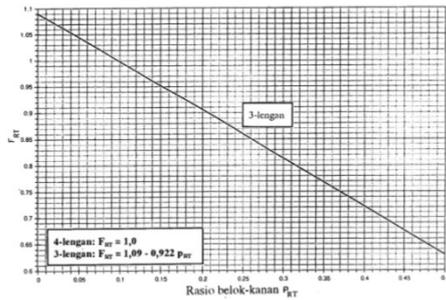
Variabel masukan adalah belok kiri. Batas-batas nilai yang diberikan untuk PLT adalah tentang dasar empiris dan manual.



Gambar 6. Faktor Penyesuaian Belok Kiri (FLT) (Sumber: MKJI, 1997)

**Faktor Penyesuaian Belok Kanan**

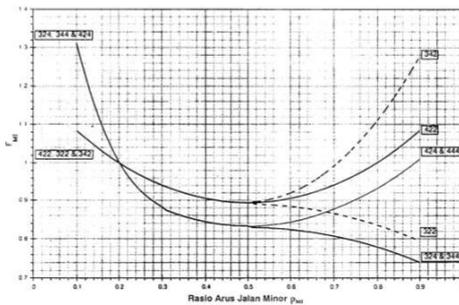
Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan dari gambar berikut ini untuk simpang 3 lengan.



Gambar 7. Faktor Penyesuaian Belok Kanan (FRT) (Sumber: MKJI, 1997)

**Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor**

Faktor penyesuaian rasio arus jalan minor ditentukan dari gambar dibawah ini. Variabel masukan adalah tipe simpang IT.



Gambar 8. Faktor Penyesuaian Rasio Arus Jalan Minor (PMI) (Sumber: MKJI, 1997)

Tabel 13. Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor (FMI) (Sumber: MKJI 1997)

IT	F <sub>MI</sub>	P <sub>MI</sub>
422	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1-0,9
424	$16,6 \times P_{MI}^4 - 33,3 \times P_{MI}^3 + 25,3 \times P_{MI}^2 - 8,6 \times P_{MI} + 1,95$	0,1-0,3
444	$1,11 \times P_{MI}^2 - 1,11 \times P_{MI} + 1,11$	0,3-0,9
322	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1-0,5
	$-0,595 \times P_{MI}^2 - 0,595 \times P_{MI}^3 + 0,74$	0,5-0,9
342	$1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$	0,1-0,5
	$2,38 \times P_{MI}^2 - P_{MI} + 1,49$	0,5-0,9
324	$16,6 \times P_{MI}^4 - 33,3 \times P_{MI}^3 + 25,3 \times P_{MI}^2 - 8,6 \times P_{MI} + 1,95$	0,1-0,3
344	$1,11 \times P_{MI}^2 - 1,11 \times P_{MI} + 1,11$	0,3-0,5
	$-0,555 \times P_{MI}^2 + 0,555 \times P_{MI} + 0,69$	0,5-0,9

**Kapasitas**

Kapasitas yang ada C (smp/jam) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = C_o \times FW \times FM \times FCS \times FRSU \times FLT \times FRT \times FMI$$

Keterangan:

- C = Kapasitas
- C<sub>o</sub> = Kapasitas dasar
- FW = Faktor penyesuaian lebar pendekat
- FM = Faktor penyesuaian tipe median jalan utama
- FCS = Faktor penyesuaian ukuran kota
- FRSU = Faktor penyesuaian tipe lingkungan

jalan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor

- FLT = Faktor penyesuaian belok kiri
- FRT = Faktor penyesuaian belok kanan
- FMI = Faktor penyesuaian rasio jalan minor

**Derajat Kejenuhan**

Derajat kejenuhan untuk seluruh simpang, (DS), dihitung sebagai berikut:

$$DS = Q_{smp} / C$$

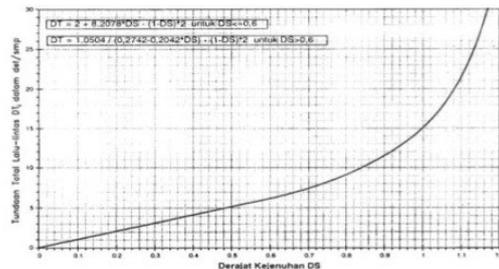
Keterangan:

- DS = Derajat kejenuhan
- Q<sub>smp</sub> = Arus total (smp/jam)
- C = Kapasitas

**Tundaan**

**1) Tundaan Lalu Lintas Simpang (DTI)**

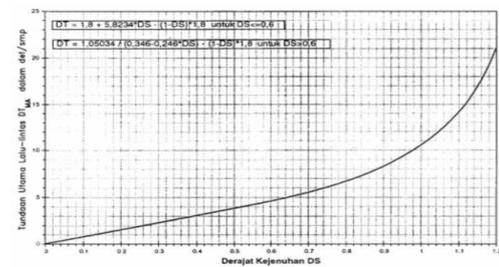
Tundaan lalu-lintas simpang adalah tundaan lalu-lintas, rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang. DT, ditentukan dari kurva empiris antara DT, dan DS.



Gambar 9. (Sumber: MKJI 1997)

**2) Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama (DTMA)**

Tundaan lalu-lintas jalan-utama adalah tundaan lalu-lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk persimpangan dari jalan-utama



Gambar 10 (Sumber MKJI 1997)

**3) Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (DTMI)**

Tundaan lalu lintas jalan minor rata-rata, ditentukan berdasarkan tundaan

simpang rata-rata dan tundaan jalan utama rata-rata:

$$DTMI = (QTOT \times DT1 - QMA \times DTMA) / QMI$$

Keterangan:

DTMI = Tundaan lalu lintas jalan minor

QTOT = Arus total

DT1 = Tundaan lalu lintas simpang

QMA = Arus total jalan utama

DTMA = Tundaan lalu lintas jalan utama

QMI = Arus total jalan minor

#### 4) Tundaan Geometrik Persimpangan (DG)

Tundaan geometrik persimpangan DG (detik/smp) adalah tundaan geometrik rata-rata untuk seluruh kendaraan bermotor yang memasuki persimpangan. DG dihitung dari rumus:

- Untuk  $DS < 1.0$  :

$$DG = (1-DS) \times (PT \times 6 + (1-PT) \times 3) + DS \times 4$$

- Untuk  $DS > 1.0$  :  $DG = 4$

Keterangan:

DG = Tundaan geometrik simpang

DS = Derajat kejenuhan

PT = Rasio belok total

#### 5) Tundaan simpang

Hitung tundaan total rata-rata, D (detik/smp)

$$D = DG + DT$$

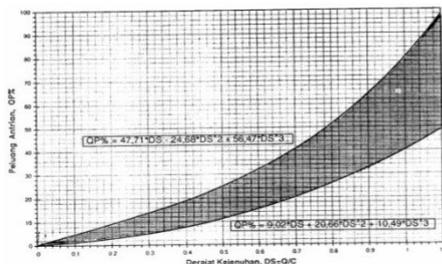
Keterangan:

DG = Tundaan geometrik persimpangan (smp/jam)

DT = Tundaan lalu lintas persimpangan (smp/jam)

#### Peluang Antrian

Rentang nilai peluang antrian ditentukan dari hubungan empiris antara peluang antrian dengan derajat kejenuhan. Variabel masukan adalah derajat kejenuhan dari langkah sebelumnya.



Gambar 11 (Sumber MKJI 1997)

#### Arus Lalu Lintas Jalan

Menurut Direktorat Jenderal Bina marga

(1997), arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui titik tertentu persatuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan perjam atau smp/jam. Arus lalu lintas perkotaan terbagi menjadi empat (4) jenis yaitu:

- a) Kendaraan ringan / *Light vehicle* (LV)
- b) Kendaraan berat/ *Heave Vehicle* (HV)
- c) Sepeda Motor/ *Motor cycle* (MC)
- d) Kendaraan Tidak Bermotor / *Un Motorized* (UM)

#### Tingkat Pelayanan Jalan LOS (*Level Of Service*)

Kualitas pelayanan jalan dapat dinyatakan dalam tingkat pelayanan jalan (*Level Of Service/LOS*). Tingkat pelayanan jalan (LOS) dalam perencanaan jalan dinyatakan dengan huruf-huruf A sampai dengan F yang berturut-turut menyatakan tingkat pelayanan yang terbaik sampai yang terburuk.

Tabel 14. Tingkat Pelayanan

V/C Rasio	Keterangan
> 0.60	Arus lancar, volume rendah, kecepatan tinggi
0.60 - 0.70	Arus stabil, kecepatan terbatas, volume sesuai untuk jalan luar kota
0.70 - 0.80	Arus stabil, kecepatan dipengaruhi oleh lalu lintas, volume sesuai untuk jalan kota
0.80 - 0.90	Mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah
0.90 - 1.00	Arus tidak stabil, kecepatan rendah, volume pada atau mendekati kapasitas
> 1.00	Arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, banyak berhenti

(Sumber HCM, 2000)

#### Simulation Of Urban Mobility (SUMO)

SUMO adalah aplikasi rangkaian simulasi lalu lintas bebas dan terbuka yang tersedia sejak tahun 2001. Aplikasi SUMO merupakan aplikasi simulasi lalu lintas *open source*, yang sangat portable, mikroskopis, dan berkelanjutan, yang dirancang untuk menangani jaringan jalan besar.

Aplikasi SUMO memiliki fitur yaitu sebagai evaluasi sinyal pada persimpangan, Pemilihan rute, Evaluasi metode pengawasan lalu lintas, Simulasi komunikasi kendaraan dan Peramalan lalu lintas

Langkah- Langkah membuat simulasi dengan menggunakan program SUMO

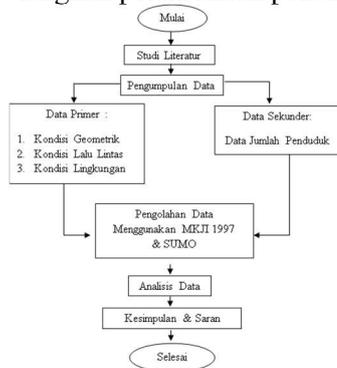
1. Membuat Peta jaringan jalan (*Input Background*)
2. Jaringan Jalan (*Network and Connector*)
3. Rute perjalanan (*Vehicle Routes*)
4. Tipe kendaraan (*Vehicle Types*)
5. Membuat *Route file*
6. Pembuatan *additional file*
7. Pengaturan waktu siklus (*Traffic Light*)
8. Pembuatan SUMO *configuration file*.

9. Menjalankan simulasi / *Running Simulation.*

### METODOLOGI PENELITIAN

#### Bagan Alir Penelitian

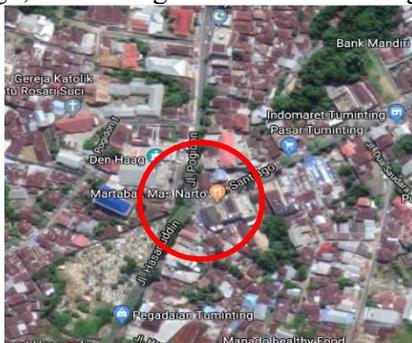
Langkah- langkah pelaksanaan penelitian:



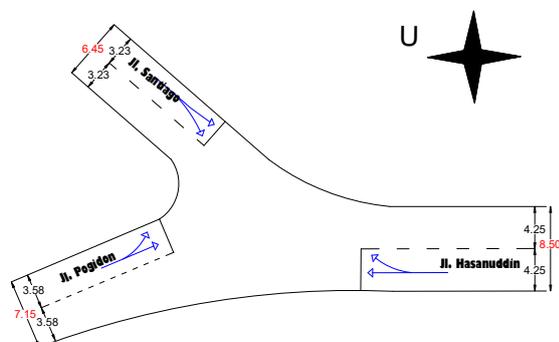
Gambar 13. Bagan Alir Penelitian

#### Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan mengambil lokasi di Kota Manado dengan mengambil sebuah sampel lengan tiga Jl. Hasanuddin, Jl. Santiago, dan Jl. Pogidon. Kec. Tuminting.



Gambar 13. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Maps)



Gambar 14. Kondisi Geometrik

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Penelitian

##### Kondisi Geometrik

Pada penelitian ini persimpangan yang di tinjau adalah Persimpangan Jl. Hasanuddin, Jl. Pogidon dan Jl. Santiago, Kecamatan Tuminting, Kota Manado. Persimpangan ini merupakan simpang lengan tiga, memiliki 2 lajur jalan utama dan 2 lajur jalan minor, lebar jalan Pendekat Jl. Hasanudin (D) = 8,50 m, Pendekat Jl. Pogidon(B) = 7,15 m dan Pendekat Jl. Santiago (C) = 6,45 m,

##### Kondisi Lalu- lintas

Data diambil pada saat jam puncak 10:00-11:00 Wita. Untuk perhitungan smp/ jam.

Diketahui:

- Arus jalan minor total (QMI) = 352,9 smp/jam
- Arus jalan utama (QMA) = 1228,1 smp/jam
- Rasio arus jalan minor (P<sub>MI</sub>) yaitu arus jalan minor dibagi dengan arus total Dimana diketahui arus lalu lintas jalan minor total (QMI) = 352,9 smp/jam dan arus total lalu lintas jalan utama dan minor (Q<sub>total</sub>) = 1581 smp/jam

Sehingga:

$$P_{MI} = \frac{Q_{MI}}{Q_{TOT}} = \frac{352,9}{1581} = 0,22$$

- Rasio belok kiri dan kanan total (P<sub>LT</sub> dan P<sub>RT</sub>) dimana diketahui arus lalu lintas belok kiri total Q<sub>LT</sub> = 246,8 smp/jam dan arslalu lintas belok kanan total Q<sub>RT</sub> = 560,6 smp/jam.

Sehingga:

$$P_{Lt} = \frac{Q_{LT}}{Q_{TOT}} = \frac{246,8}{1581} = 0,16$$

$$P_{RT} = \frac{Q_{RT}}{Q_{TOT}} = \frac{560,6}{1581} = 0,35$$

- Rasio antara arus kendaraan tak bermotor dengan kendaraan bermotor dinyatakan dalam kend/jam. Diketahui kendaraan tak bermotor total Q<sub>UM</sub> = 1 kend/jam dan arus lalu lintas jalan utama dan jalan minor (Q<sub>Total</sub>) = 2526 kend/jam.

Sehingga:

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{TOT}} = \frac{1}{2526} = 0$$

##### Kondisi Lingkungan

###### 1. Kelas Ukuran Kota

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Manado jumlah penduduk Kota Manado berjumlah 427.906 jiwa,

selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 15. Jumlah Kota Manado**

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk
1	Malalayang	57.319
2	Sario	24.456
3	Wanea	56.509
4	Wenang	36.031
5	Tikala	29.693
6	Paal 2	42.488
7	Mapanget	53.716
8	Singkil	48.248
9	Tuminting	51.539
10	Bunaken	21.74
11	Kepulauan Bunaken	6.167
Total		427.906

2. Tipe Lingkungan Jalan

Tipe lingkungan jalan komersial artinya tata guna lahan misal pertokoan, rumah makan, dan perkantoran dengan jalan masuk bagi pejalan kaki dan kendaraan

3. Kelas Hambatan Samping

Hambatan samping pada daerah penelitian tergolong cukup tinggi karena pada jalan minor tidak memiliki fasilitas untuk pejalan kaki dan juga kendaraan yang sering berhenti ditepi jalan. Dan pada jalan utama disalah satu arah memiliki fasilitas untuk pejalan kaki namun sering disalah gunakan juga untuk angkot sering menurunkan dan menaikkan penumpang di tepi jalan.

**Kapasitas**

Lebar Pendekat (W<sub>1</sub>) dan Tipe Simpang (IT)

1. Lebar rata-rata pendekat umum dan pendekat minor :

$$\text{Pendekat B (W}_B) = 3,58 \text{ m}$$

$$\text{Pendekat C (W}_C) = 3,23 \text{ m}$$

$$\text{Pendekat D (W}_D) = 4,25 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pendekat Minor (W}_{AC}) = \frac{(W_A + W_C)}{2} = 1,61 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pendekat Utama (W}_{BD}) = \frac{(W_B + W_D)}{2} = 3,91 \text{ m}$$

$$\text{Lebar rata-rata pendekat (W}_1) = \frac{(W_A + W_B + W_C + W_D)}{4} = 3,68 \text{ m}$$

2. Jumlah Lajur

Jumlah lajur yang digunakan untuk keperluan perhitungan ditentukan dari lebar rata-rata pendekat jalan minor dan jalan utama. maka total jalur kedua arah adalah 2

3. Tipe Simpang

Penentuan tipe simpang adalah tipe simpang 322 dengan jumlah lengan

simpang 3, jumlah lajur jalan minor 2, dan 2 jumlah lajur utamanya.

**Kapasitas Dasar (C<sub>0</sub>)**

Nilai kapasitas dasar (C<sub>0</sub>) dari tipe simpang 322 adalah 2700 smp/jam, yang artinya kapasitas dasar dari persimpangan ini sudah tergolong cukup tinggi.

**Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (F<sub>w</sub>)**

Faktor penyesuaian lebar pendekat (F<sub>w</sub>), dimana untuk tipe simpang 322 yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya untuk persimpangan ini, dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$F_w = 0,70 + 0,0698 \text{ WI}$$

Sehingga:

$$F_w = 0,70 + (0,0698 \times 3,68) = 1.010$$

**Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (F<sub>M</sub>)**

Pada lokasi persimpangan yang menjadi tempat penelitian, tidak terdapat adanya median, baik itu pada jalan utama maupun pada jalan minor. Maka nilai untuk faktor penyesuaian median jalan utama (F<sub>M</sub>) berdasarkan sebelumnya adalah 1,00

**Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F<sub>CS</sub>)**

Pada penjelasan sebelumnya telah didapat bahwa ukuran kota adalah kecil, sehingga berdasarkan dari diatas maka faktor penyesuaian ukuran kota pada lokasi penelitian ini adalah 0,88.

**Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan (R<sub>E</sub>), Hambatan Samping (S<sub>F</sub>), dan Kendaraan Tak Bermotor (F<sub>RSU</sub>)**

Nilai FRSU yang didapat sebelumnya dimana melihat tipe lingkungan jalan dan hambatan samping adalah 0,94

**Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F<sub>LT</sub>)**

Faktor penyesuaian belok kiri dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FLT = 0,84 + 1,61 \text{ PLT}$$

Sehingga:

$$FLT = 0,84 + 1,61 \times (0,16) = 1,091$$

**Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F<sub>RT</sub>)**

Faktor penyesuaian belok kanan untuk simpang tiga lengan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FTR = 1,09 - 0,922 \text{ PRT}$$

Sehingga:

$$FTR = 1,09 - 0,93 \times 0,35 \\ = 0,763$$

### Faktor Penyesuaian Rasio Jalan Minor (FMI)

Untuk mendapatkan nilai FMI maka digunakan rumus pada tabel 2.14 sebagai berikut untuk tipe simpang 322:

$$FMI = (1,19 \times PMI^2) - (1,19 \times PMI) + 1,1$$

Sehingga:

$$FMI = (1,19 \times (0,22)^2) - (1,19 \times 0,22) + 1,1 \\ = 0,98$$

### Kapasitas

Kapasitas dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = C_o \times FW \times FM \times FCS \times FRSU \times FLT \times \\ FRT \times FMI$$

Sehingga:

$$C = 2700 \times 1,010 \times 1,00 \times 0,88 \times 0,94 \times 1,091 \\ \times 0,763 \times 0,98 \\ = 1847,7 \text{ smp/jam}$$

### Perilaku Lalu Lintas

#### Derajat Kejenuhan (*Degree Of Saturation*)

Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DS = \frac{QTOT}{c}$$

Sehingga:

$$DS = \frac{1581}{1867,7} = 0,86$$

### Tundaan

#### Tundaan Lalu Lintas Simpang (DTI)

Tundaan lalu lintas simpang dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DTI = 1,0504 / (0,2742 - 0,2042 \times DS) - (1 - DS) \times 2$$

Sehingga:

$$DTI = 1,0504 / (0,2742 - 0,2042 \times 0,86) \\ - (1 - 0,86) \times 2 \\ = 10,27 \text{ det/smp}$$

#### Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama (DTMA)

Tundaan lalu lintas jalan utama dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DTMA = 1,05034 / (0,346 - 0,246 \times DS) \\ - (1 - DS) \times 1,8$$

Sehingga:

$$DTMA = 1,05034 / (0,346 - 0,246 \times \\ 0,86) - (1 - 0,86) \times 1,8 \\ = 7,49 \text{ det/smp}$$

#### Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (DTMI)

Tundaan lalu lintas jalan minor dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DTMI = ((QTOT \times DTI - QMA \times \\ DTMA)) / QMI$$

Dimana:

$$QTOT = 1514,3 \text{ smp/jam} \\ DTI = 10,27 \text{ det/smp} \\ QMA = 1228,1 \text{ smp/jam} \\ DTMA = 7,49 \text{ det/smp} \\ QMI = 352,9 \text{ smp/jam}$$

Sehingga:

$$DTMI = ((1514,3 \times 10,27) - (1228,1 \times \\ 7,49)) / 352,9 \\ = 46,01 \text{ det/smp}$$

#### Tundaan Geometrik Persimpangan (DG)

Tundaan geometrik simpang dapat dihitung, Untuk  $DS > 0,6$  digunakan rumus sebagai berikut :

$$DG = (1 - DS) \times (P_T \times 6 + (1 - P_T) \times 3) + DS \\ \times 4$$

Sehingga:

$$DG = (1 - 0,86) \times (0,51 \times 6 + (1 - 0,51) \times 3) \\ + 0,86 \times 4 \\ = 3,79 \text{ det/ smp}$$

#### Tundaan Simpang (D)

Tundaan simpang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = DG + DT$$

Sehingga:

$$D = 3,79 + 10,27 \\ = 14,1 \text{ det/smp}$$

### Peluang Antrian

Peluang antrian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Batas bawah:

$$QP (\%) = 9,02 \times DS + 20,66 \times DS^2 + 10,49 \times \\ DS^3$$

Batas atas:

$$QP (\%) = 47,71 \times DS - 24,68 \times DS^2 + 56,47 \times \\ DS^3$$

Sehingga:

Batas bawah:

$$QP (\%) = 9,02 \times 0,86 + 20,66 \times 0,86^2 + \\ 10,49 \times 0,86^3 = 29\%$$

Batas atas:

$$QP (\%) = 47,71 \times 0,81 - 24,68 \times 0,86^2 + \\ 56,47 \times 0,86^3 = 58 \%$$

Ini berarti peluang antrian yang terjadi pada persimpangan ruas Jl. Hasanudin, Jl. Pogidon dan Jl. Santiago adalah 29 % - 58%

### Tingkat Pelayanan Jalan LOS (*Level of Service*)

Tingkat pelayanan jalan (LOS) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$LOS = V / C$$

Sehingga:

$$LOS = 1581 / 1847,7 = 0,86$$

Maka dengan hasil ini standar tingkat pelayanan jalan pada simpang tersebut berdasarkan tabel 2.16 di dapat standar tingkat pelayanan tipe D (*Approach Unsteable Flow*), Mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah.

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

Pemodelan simulasi yang dilakukan melalui software SUMO penulis membutuhkan data-data input seperti data geometrik, data arus lalu lintas jam puncak dan peta satelit lokasi penelitian. Hasil output yang dihasilkan berupa suatu kinerja atau operasional simpang. Berikut beberapa tahapan-tahapan pokok yang diringkas dalam pemodelan SUMO-Gui yaitu:

#### 1) Peta jaringan jalan (*Input Background*)

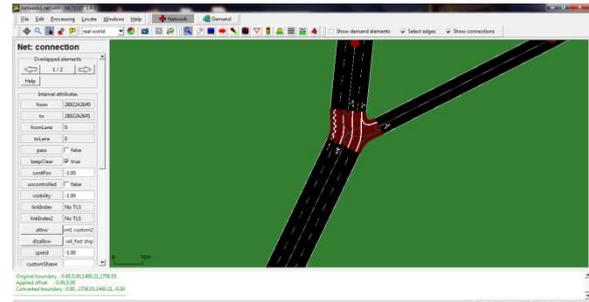
Memasukan lokasi peta melalui *OpenStreetMap Web Wizard* yang telah terpasang Bersama *Master File* SUMO sesuai dengan lokasi penelitian pada pemodelan yaitu simpang tak bersinyal Jl. hasanuddin, Jl. Santiago, Pogidon, kec. Tuminting, Manado. Lihat gambar berikut ini:



Gambar 16. Tampilan Peta Pada Lokasi Penelitian

#### 2) Jaringan Jalan (*Network dan konektor*)

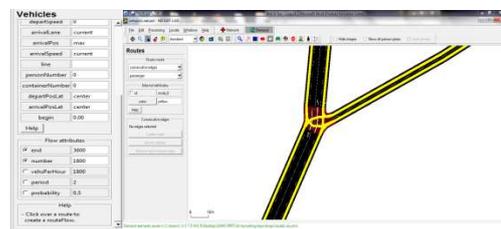
Membuat Jaringan / *Network* menggunakan NetEdit, yaitu editor jaringan jalan sebagai aplikasi pendukung untuk SUMO, sesuai dengan keadaan dilapangan. Lihat gambar sebagai berikut:



Gambar 17. Pembuatan *Network* di Net Edit

#### 3) Rute perjalanan (*Vehicle Routes*)

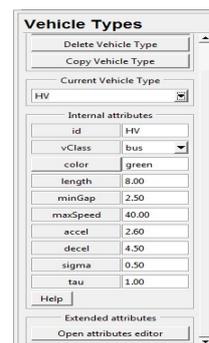
Membuat rute perjalanan pada NetEdit yaitu arus pergerakan kendaraan atau lalu lintas yang akan lewat berasal dari utara, timur, selatan. Lihat gambar sebagai berikut:



Gambar 18. *Vehicle Routes*

#### 4) Tipe kendaraan (*Vehicle Types*)

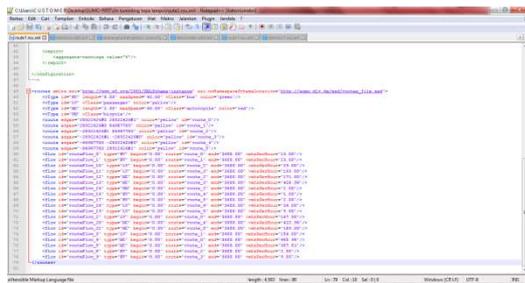
Memasukan tipe kendaraan masing-masing berdasarkan hasil pengambilan data survei lapangan kemudian di kelompokkan sesuai jenis kendaraan. Pada pengisian tipe kendaraan disesuaikan dengan yang sudah ditentukan. Beberapa parameter yang terdapat pada menu ini yaitu: kategori kendaraan (*vClass*), *color*, *maxspeed*, *length*. Sebagai berikut:



Gambar 19. *Vehicle Types*

#### 5) Membuat *Route file*

Mengabungkan rute dan tipe kendaraan dengan di *ekspor* melalui NetEdit sehingga menghasilkan file.rou.xml. Lihat gambar sebagai berikut:



Gambar 20. Route File

**6) Pembuatan additional file**

Dibuat dokumen tambahan berformat .add.xml dimana berisi data pemasangan detector tipe E1 dan E2 untuk mendapatkan keluaran data kendaraan, seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 21. Additional file

**7) Pengaturan waktu siklus (Traffic Light)**

Dalam aplikasi SUMO (*simulation of urban mobility*) waktu siklus akan otomatis di hasilkan menyesuaikan arus lalu lintasnya. Dengan data yang di input yaitu: nilai kendaraan, rute perjalanan, dan jenis kendaraan sesuai dengan yang di dapat dilapangan. Untuk nilai waktu siklusnya didapat durasi 66 detik, lihat pada gambar sebagai berikut:

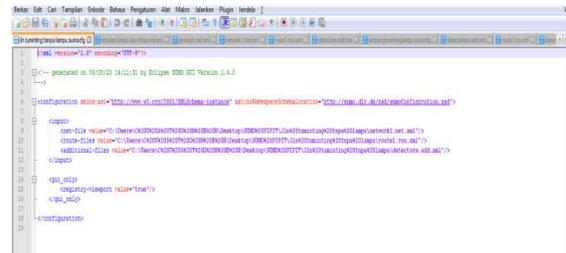


Gambar 22. Mengatur Waktu Siklus (Traffic Light)

**8) Pembuatan SUMO configuration file**

Jaringan, rute dan additional file kemudian di *eksport* melalui NetEdit ke dalam

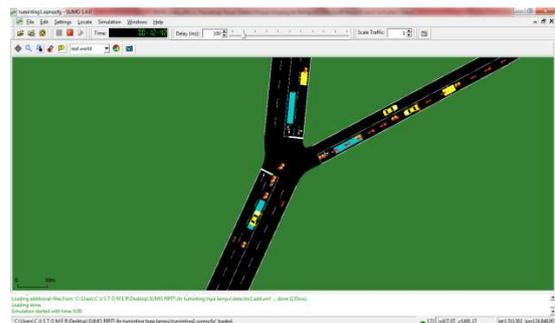
software SUMO.Gui dan simpan configuration sehingga menghasilkan file .sumocfg, untuk dapat di jalankan proses simulasi di butuhkan *configuration file* seperti pada gambar berikut:



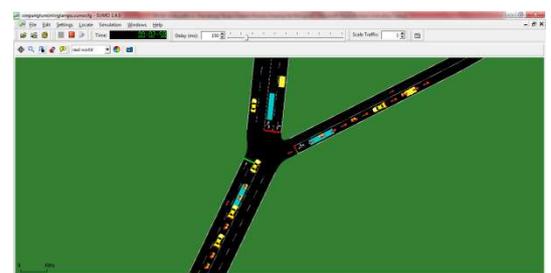
Gambar 23. Konfigurasi file

**9) Menjalankan Proses Analisis (Simulations)**

Setelah semua keperluan data untuk di input sudah selesai maka bisa dijalankan proses simulasi (*Run*), untuk melihat pergerakan arus lalu lintas pada persimpangan Jl. Hasanuddin, Jl. Santiago, dan Jl. Pogidon, Tuminting. Sebagai berikut:



Gambar 24. Proses simulasi tanpa lampu lalu lintas.



Gambar 25. Proses simulasi dengan lampu lalu lintas

Dari simulasi diatas di dapat nilai hasil simulasi yang di lihat berdasarkan *parameter show* dari software SUMO, masing-masing nilai tundaan dan panjang antrian dari tiap jalur kemudian di rata-ratakan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari hasil simulasi. sebagai berikut:

Tabel 16. Hasil simulasi tanpa lampu lalu lintas dengan Program SUMO

	Tundaan (det/skr)	Panjang Antrian (m)
Jl. Hasanudin	13	43,89
Jl. Pogidon	5,5	12,60
Jl. Santiago	44	327,54
<b>Rata- rata</b>	<b>20,8</b>	<b>128,01</b>

Tabel 17. Hasil simulasi adanya lampu lalu lintas dengan Program SUMO

	Tundaan (det/skr)	Panjang Antrian (m)
Jl. Hasanudin	10	39,01
Jl. Pogidon	4,5	31,51
Jl. Santiago	7	70,03
<b>Rata- rata</b>	<b>7,2</b>	<b>46,85</b>

### Perbandingan Analisis MKJI 1997 dan Software SUMO

Perbandingan hasil analisis dari kedua acuan yang digunakan dalam perhitungan kinerja simpang yaitu Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan software SUMO (*Simulation of urban Mobility*). Sebagai berikut:

Tabel 18. Perbandingan hasil MKJI 1997 dan software SUMO

Periode Waktu	MKJI 1997		Software SUMO
	Derajat Kejenuhan (DS)	Tundaan (D) (det/smp)	Tundaan (det/skr)
10:00 s/d 11:00	0,86	14,1	20,8

### Perbandingan simulasi tanpa lampu lalu lintas dan ada lampu lalu lintas dengan Program SUMO

Perbandingan simulasi dari keduanya terjadi perbedaan di waktu tundaan dan panjang antrian. Sebagai berikut:

Tabel 19. Perbandingan simulasi tanpa lampu lalu lintas dan ada lampu lalu lintas dengan Program SUMO

Parameter	Software SUMO	
	Tanpa lampu lalu lintas	Ada lampu lalu lintas
Tundaan (det/skr)	20,8	7,2
Panjang Antrian (m)	128,01	46,85
Simulation duration (det)	3770	3770

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Nilai Tingkat Pelayanan pada persimpangan tersebut sebesar 0,86 dengan tingkat pelayanan jalan tipe D (*Approach Unsteable Flow*), yaitu mendekati arus tidak stabil, kecepatan rendah.
2. Simulasi tanpa lampu lalu lintas pada persimpangan tersebut menghasilkan nilai tundaan sebesar 20,8 (det/skr) dan panjang antrian sebesar 128,01 m, sehingga pergerakan lalu lintas lebih lama dibandingkan dengan simulasi yang di tambahkan lampu lalu lintas dengan nilai tundaan adalah 7,2 (det/skr) dan panjang antrian adalah sebesar 46,85 m.

### Saran

Berdasarkan penelitian dan analisis data, maka dapat diberikan saran, yaitu:

1. Perlu pemasangan lampu lalu lintas (*Traffic light*) untuk mengurangi terjadinya konflik dan dapat mempercepat pergerakan arus lalu lintas pada persimpangan Jl. Hasanuddin, Jl. Pogidon dan Jl. Santiago, Tuminting.
2. Perlu pelebaran pada jalan minor (Jl. Santiago), karena ruas jalan tersebut sangat kecil dan mempunyai hambatan yang tinggi karena ada pasar di tepi jalan.

## DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum and Direktorat Jendral Bina Marga (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.

Djajoesman, HS (1976), *Grafik Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Balai pustaka.

Morlok, E.K (1998), *Pengantar Teknik Dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta: Erlangga.

National Research Council (U.S.) (Ed.) (2000), *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council.

Salter, R. J (2016), *Highway Traffic Analysis and Design*. London: Macmillan Education, Limited. available at <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5661107> [21 June 2020].

Wikibuku, (2019), Manajemen Lalu Lintas/Permasalahan lalu lintas. *wiki buku*. available at [https://id.wikibooks.org/wiki/Manajemen\\_Lalu\\_Lintas/Permasalahan\\_lalu\\_lintas](https://id.wikibooks.org/wiki/Manajemen_Lalu_Lintas/Permasalahan_lalu_lintas)