

Perencanaan Simpang Bersinyal Pada Persimpangan Jalan Bondowoso Retawu, Kota Malang

Anastasia Narisca Leoni¹, Lila Khamelda², Benedictus Sonny Yoedono³
^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang, Indonesia

Alamat: Universitas Katolik Widya Karya Malang – Jl. Bondowoso No 2 Malang

*Korespondensi penulis: 201932003@widyakarya.ac.id

Abstract. Traffic congestion is one of the major transportation problems in Malang City. In general, this problem is frequently encountered at intersections throughout Malang City, one of which is the Bondowoso–Retawu intersection. One of the causes of congestion is traffic irregularity at the intersection, which is an unsignalized intersection. Therefore, a solution is needed as an alternative to overcome the congestion problem. The proposed solution is to convert the intersection type into a signalized intersection. The design of the signalized intersection was based on the Indonesian Highway Capacity Manual (MKJI) 1997. The results of the signalized intersection performance design show that a two-phase intersection is feasible to apply based on the degree of saturation value, but it does not yet meet the recommended cycle time requirement. The two-phase signalized intersection design obtained a cycle time of 134 seconds, with phase 1 having 58 seconds of green time and phase 2 having 68 seconds of green time..

Keywords: Signalized intersection, Degree of saturation, MKJI 1997, Two-phase, Approach

Abstrak. Tingkat kemacetan yang tinggi merupakan salah satu penyebab permasalahan transportasi di Kota Malang. Secara umum permasalahan tersebut kerap ditemui di setiap persimpangan yang ada di Kota Malang salah satunya adalah di persimpangan Jalan Bondowoso – Retawu. Salah satu penyebab kemacetan antara lain ketidakaturan lalu lintas pada persimpangan tersebut yang merupakan persimpangan tak bersinyal. Karenanya dibutuhkan solusi yang dapat menjadi alternatif penyelesaian kendala kemacetan. Solusi yang ditawarkan berupa pengubahan tipe persimpangan menjadi bersinyal. Perencanaan simpang bersinyal berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Dari hasil perencanaan kinerja simpang bersinyal 2 fase layak diaplikasikan berdasarkan nilai Derajat Kejenuhan tetapi belum memenuhi ketentuan waktu siklus yang dianjurkan. Perencanaan simpang bersinyal 2 fase memperoleh waktu siklus = 134 dtk dengan pengaturan fase 1 = 58 dtk waktu hijau dan fase 2 = 68 dtk waktu hijau.

Kata kunci: Simpang bersinyal, Derajat kejenuhan, MKJI 1997, Dua fase, pendekat

1. LATAR BELAKANG

Persimpangan merupakan pertemuan dari 2 (dua) jalan atau lebih yang bertemu di dalam satu titik. Fungsi utama operasional dari persimpangan adalah untuk menyediakan perubahan arah atau perpindahan perjalanan baik oleh kendaraan maupun pejalan kaki (Rahmaniar et al., 2023). Seiring dengan bertumbuhnya jumlah penduduk yang semakin meningkat maka akan mempengaruhi tingkat perjalanan dan kebutuhan transportasi. Hal tersebut kurang diibangi dengan peningkatan prasarana transportasi yang memadai. Sehingga berakibat kapasitas jalan tidak sesuai dengan rencana dan terjadinya kemacetan maupun keterlambatan pergerakan kendaraan. Selain itu hal tersebut dapat menyebabkan rasa nyaman, aman, efisien dan lancar sulit untuk diwujudkan.

Kota Malang merupakan salah satu kota pendidikan yang cukup padat dengan keberadaan siswa/mahasiswa dari luar kota/pulau. Dampak dari keberadaan ini adalah adanya peningkatan volume kendaraan yang signifikan pada masa studi aktif utamanya di area yang menjadi pusat pendidikan. Hal ini tidak semata disebabkan oleh aktivitas dari pusat pendidikan

tersebut, tetapi juga disebabkan oleh karena pada umumnya area tersebut juga dipadati oleh pemukiman yang mengakomodasi siswa/mahasiswa dari luar Malang. Salah satu area yang mengalami hal tersebut terletak di Kelurahan Gading Kasri, Kecamatan Klojen yaitu di Persimpangan Jalan Bondowoso-Retawu.



Gambar 1. Lokasi Persimpangan Jalan Bondowoso-Retawu
Sumber: Google Maps

Persimpangan Jalan Bondowoso-Retawu merupakan pertemuan dari Jalan Simpang Wilis Indah, Jalan Bondowoso, Jalan Gede dan Jalan Retawu. Persimpangan ini terletak di area yang memiliki pusat pendidikan, perkantoran dan pertokoan sehingga persimpangan tersebut utamanya pada jam puncak di pagi dan sore hari rawan mengalami macet. Hal ini juga diperparah dengan adanya kendaraan besar seperti truk, sehingga membuat persimpangan ini menjadi lebih padat. Karenanya, diperlukan adanya perencanaan persimpangan yang dapat memadai volume lalu lintas di area tersebut. Perencanaan ini dapat menjadi referensi untuk perencanaan persimpangan Jalan Bondowoso-Retawu sehingga akan meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Terkait dengan kemacetan yang terjadi pada persimpangan tersebut, maka dibutuhkan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Berdasarkan MKJI 1997, solusi terhadap permasalahan kemacetan di persimpangan yaitu aplikasi simpang bersinyal atau tidak bersinyal. Pilihan tipe simpang didasari oleh ketentuan pada PM Perhubungan No. 96 (2015).

1. Rerata volume lalu lintas yang memasuki persimpangan ≥ 750 kendaraan/jam selama 8jam.
2. Rerata waktu menunggu di persimpangan ≥ 30 dtk.
3. Rerata jumlah pejalan kaki yang menyeberangi persimpangan ≥ 175 orang/jam selama 8 jam/hari.
4. Jumlah kecelakaan ≥ 5 kecelakaan/tahun.

Merujuk pada ketentuan di atas, berdasarkan hasil survey volume lalu lintas, didapatkan hasil survey volume lalu lintas ≥ 175 orang/jam selama 8 jam/hari sehingga memenuhi salah satu ketentuan untuk simpang bersinyal.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Pengertian

2.1.1 Pengaturan Simbang Bersinyal

Aplikasi simbang bersinyal diperkirakan berdampak pada nilai kecelakaan lalu lintas sebesar 0,43 kecelakaan/juta kendaraan, sedangkan pada simbang tak bersinyal sebesar 0,60 dan 0,30 pada bundaran. Efektifitas tertinggi dari aplikasi simbang bersinyal didapatkan pada pengaturan dua fase (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, pada umumnya sinyal lalu lintas digunakan untuk beberapa alasan, antara lain:

1. Membuat pergerakan dan hak berjalan secara bergantian dan teratur
2. Menghindari kemacetan yang terjadi pada persimpangan akibat adanya konflik lalu lintas, sehingga dapat menjamin kapasitas yang dapat dipertahankan, bahkan dalam kondisi lalu lintas jam puncak
3. Memberikan kesempatan kepada kendaraan ataupun kaki dari simbang untuk memotong jalan utama
4. Mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh tabrakan

2.1.2 Karakteristik Sinyal Lalu Lintas Persimpangan

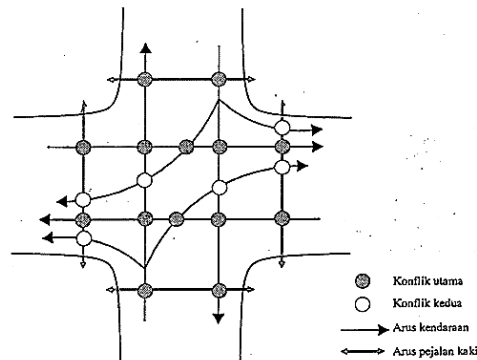
Keadaan geometrik dan tuntutan lalu lintas berfungsi untuk sebagian besar fasilitas jalan, kapasitas, dan perilaku lalu lintas utama. Dengan digunakannya sinyal dapat berfungsi untuk mendistribusikan arus kendaraan kepada berbagai pendekat dengan cara pengalokasian waktu hijau pada tiap pendekat. Maka dari itu untuk menghitung perilaku lalu lintas dan kapasitas, perlu ditentukan fase dan waktu sinyal yang paling sesuai kondisi eksisting persimpangan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

Indonesia umumnya menggunakan lampu sinyal pada persimpangan dengan tiga warna utama, yaitu: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

1. Merah, pada fase ini kendaraan tidak diperbolehkan untuk berjalan atau bergerak.
2. Kuning, pada fase ini kendaraan masih memungkinkan diperbolehkan jalan dan segera mengosongkan persimpangan.
3. Hijau, pada fase ini kendaraan diperbolehkan untuk berjalan atau bergerak.

Sinyal lampu hijau, kuning, dan merah diterapkan untuk memisahkan lintasan dari gerakan lalu lintas yang bertentangan dalam waktu yang sama. Hal ini merupakan keperluan yang mutlak bagi gerakan lalu lintas yang datang dari jalan yang saling berpotongan (konflik-konflik utama) dapat dilihat dalam Gambar 2. Sinyal lampu juga dapat digunakan untuk memisahkan gerakan arus berbelok dari lalu lintas lurus yang melawan, atau untuk

memisahkan gerakan arus lalu lintas berbelok dari pejalan kaki yang akan menyeberang (konflik-konflik kedua) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

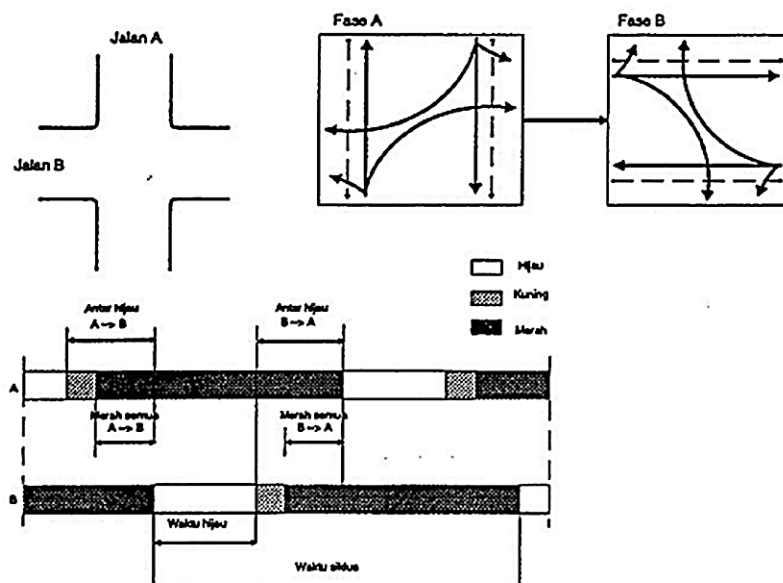


Gambar 2. Titik Konflik Utama dan Kedua pada Simpang Bersinyal dengan Empat Lengan
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2.1.3 Fase Sinyal

Fase merupakan bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau untuk kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas. Dalam Gambar II-2 juga menjelaskan urutan perubahan sinyal dalam dua fase, termasuk definisi waktu siklus, waktu hijau dan periode waktu antar hijau. Periode waktu antar hijau ($IG = \text{kuning} + \text{merah semua}$) di antara dua fase yang berurutan berfungsi untuk: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

1. Memberi peringatan lalu lintas yang sedang bergerak bahwa fase sudah berakhir, dalam kondisi ini dipenuhi oleh fungsi dari waktu kuning
2. Memastikan kendaraan terakhir pada fase hijau yang baru saja berakhir memperoleh cukup waktu untuk meninggalkan daerah konflik sebelum kendaraan pertama fase berikutnya memasuki daerah yang sama, yang dipenuhi oleh fungsi waktu merah semua sebagai waktu pengosongan antar dua fase.



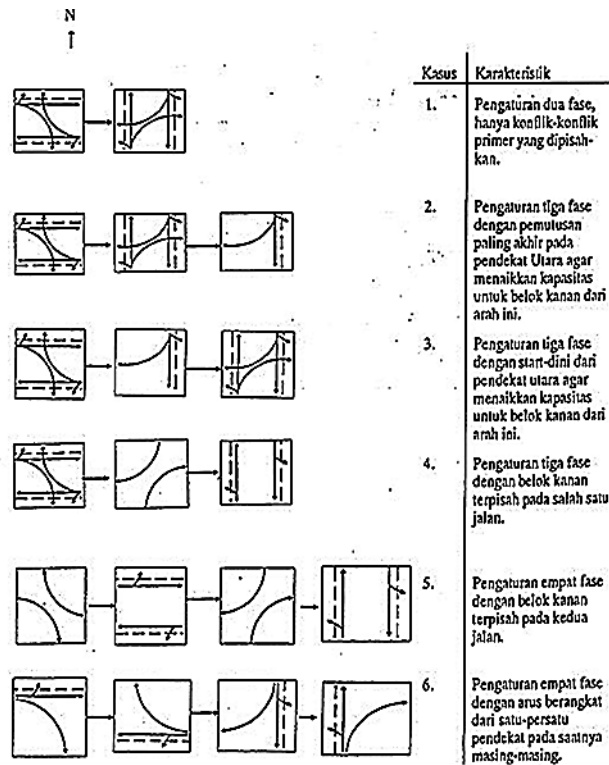
Gambar 3. Contoh Urutan Waktu Pengaturan Sinyal Dua Fase
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Lamanya waktu merah semua dan waktu kuning telah ditetapkan sebelumnya dan tidak berubah selama periode pengoperasian. Apabila waktu hijau dan waktu siklus juga ditetapkan terlebih dahulu, maka dapat dikatakan sebagai sinyal yang dioperasikan dengan cara kendali waktu tetap (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997). Arus lalu lintas yang bergerak selama waktu hijau dipengaruhi oleh rencana fase yang memperhitungkan gerakan belok kanan. Bila arus belok kanan dari suatu pendekat yang ditinjau dari arah yang berlawanan terjadi dalam fase yang sama dengan arus berangkat lurus dan belok kiri dari pendekat tersebut maka arus berangkat tersebut akan dianggap sebagai arus terlawan. Jika tidak ada arus lalu lintas belok kanan dari pendekat tersebut atau jika arus belok kanan diberangkatkan ketika lalu lintas lurus dari arah berlawanan sedang menghadapi merah, maka arus berangkat tersebut dianggap sebagai arus terlindung (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

Penentuan fase sinyal mengikuti ketentuan sebagai berikut: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

1. Jika hanya memisahkan konflik primer, maka disarankan untuk mengatur sinyal lampu lalu lintas hanya dengan dua fase untuk jalan yang berpotongan. Metode ini dapat diterapkan jika terdapat larangan pada gerakan belok kanan dalam suatu simpang. Selain hal tersebut juga dikarenakan pengaturan dengan dua fase memberikan kapasitas tertinggi dalam beberapa kejadian, sehingga pengaturan tersebut disarankan sebagai dasar dalam kebanyakan analisa lampu lalu lintas.
2. Jika suatu pendekat dengan rasio belok kanan (PRT) yang tinggi dengan nilai FR kritis ($FR > 0,8$) dan arus berangkat terlawan (tipe O), rencana fase pilihan alternatif yang mungkin sesuai adalah fase dengan menggunakan fase terpisah untuk lalu lintas belok kanan. Arus belok kanan pada fase yang berbeda dari arus lurus langsung memerlukan lajur belok kanan terpisah, dan memungkinkan untuk diperlukannya pelebaran ukuran jalan. Pengaturan belok kanan terpisah dilakukan berdasarkan pertimbangan kapasitas jika arus > 200 smp/jam.

Dalam gambar 4. merupakan beberapa alternatif penyelesaian kasus penguraian titik konflik dan karakter pendekat yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pemilihan fase yang sesuai.

**Gambar 4.** Pengaturan Fase Sinyal

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

2.1.4 Tipe Pendekat

Pendekat merupakan daerah pada lengan persimpangan yang digunakan untuk kendaraan mengantri sebelum bergerak untuk melewati garis henti. Dalam hal ini jika suatu pendekat mempunyai nyala hijau pada dua fase, dimana pada keadaan tersebut, tipe lajur dapat berbeda untuk tiap fasenya dan nomor fase yang pada tiap pendekat/gerakannya mempunyai nyala hijau. Menentukan tipe dari tiap pendekat terlindung (P) atau terlawan (O) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola-pola pendekat
Terlindung P	Arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah:
		Jalan satu arah:
		Simpang T:
		Jalan dua arah, gerakan belok kanan terbatas:
Terlawan O	Arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, fase sinyal terpisah untuk masing-masing arah:
		Jalan dua arah, arus berangkat dari arah-arah berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak terbatas:
		Jalan dua arah, fase sinyal terpisah untuk masing-masing arah:
		Jalan dua arah, arus berangkat dari arah-arah berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak terbatas:

Gambar 5. Penentuan Tipe Pendekat

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2.2 Parameter Perencanaan

2.2.1 Formulir SIG-I

Formulir SIG-I memuat informasi data geometrik, pengaturan lalu lintas dan lingkungan pada kondisi eksisting, meliputi: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

A. Ukuran Kota

Jumlah penduduk perkotaan (ketelitian 0,1 juta penduduk)

B. Fase Sinyal yang Ada

1. Waktu Hijau (*Green-g*)

Yaitu waktu kendaraan berjalan pada suatu fase

2. Waktu Antar Hijau (*Interval Green-IG*)

Yaitu periode waktu kuning + merah semua di antara dua fase sinyal yang berurutan (dtk). Untuk keperluan perencanaan, waktu antar hijau dapat dianggap sebagai nilai normal sebagaimana terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar jalan rata-rata	Nilai normal waktu antar-hijau
Kecil	6 – 9 m	4 dtk / fase
Sedang	10 – 14 m	5 dtk / fase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 dtk / fase

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3. Waktu Siklus (*Cycle-c*)

Merupakan waktu urutan lengkap dari indikasi sinyal. Pada Formulir SIG I waktu siklus dapat dilihat pada Tabel 2. disesuaikan dengan tipe pengaturan fase.

Tabel 2. Waktu Siklus Tipe Kontrol

Tipe Pengaturan	Waktu siklus yang layak (dtk)
Pengaturan dua-fase	40 - 80
Pengaturan tiga-fase	50 - 100
Pengaturan empat-fase	80 - 130

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

4. Waktu Hilang Semua (*Lost Time Interval-LTI*)

Merupakan periode waktu apabila periode merah semua untuk tiap akhir fase telah ditetapkan

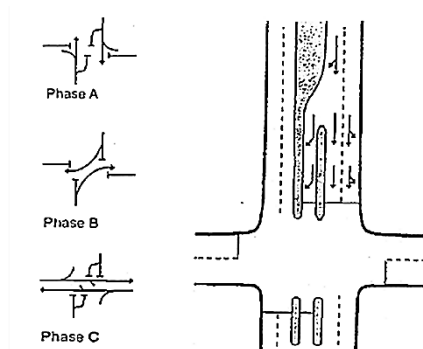
C. Denah

Yaitu sketsa dari persimpangan dan mengisi seluruh data geometrik yang diperlukan, meliputi:

1. Tata letak serta posisi Mulut Persimpangan (MP) pada tiap pendekat, median, garis henti, garis penyeberangan, marka jalur dana arah panah.

2. Lebar pendekat (dengan ketentuan pendekatan sepersepuluh meter) dari bagian perkerasan mulut persimpangan, masuk (entry), keluar (exit).
3. Panjang lajur serta garis menerus atau garis larangan
4. Menggambarkan arah utara pada sketsa, jika letak dan desain persimpangan tidak diketahui, dapat menggunakan asumsi nilai dasar untuk keperluan analisis

Data masukan yang digunakan berupa data kondisi geometrik, pengaturan lalu lintas dan lingkungan sekitar persimpangan. Untuk setiap pendekat, perhitungan data masukan dikerjakan secara terpisah. Satu lengan simpang dapat terdiri dari lebih dari satu pendekat, yang dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekat. Hal ini terjadi jika gerakan belok kanan atau belok kiri mendapat sinyal hijau pada fase yang berbeda dengan lalu lintas yang lurus, atau bila dipisahkan secara fisik dengan pulau lalu lintas dalam pendekat (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997). Seperti pada Gambar 6. penetapan lebar efektif (*Wide Effective –WE*) untuk setiap pendekat atau sub-pendekat ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan keluar suatu simpang dan distribusi dari gerakan membelok (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).



Gambar 6. Contoh Masukan Fase Simpang
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

D. Kondisi Lapangan

Meliputi:

1. Kode Pendekat

Yaitu memberi nama yang cukup jelas sebagai indikator pendekat, dapat berupa arah mata angin.

2. Tipe Lingkungan Jalan

Dibedakan kedalam 3 (tiga) kategori yang mendefinisikan tata guna lahan dan kemudahan memasuki pendekat tersebut berdasarkan kegiatan sekitarnya, terbagi atas:

- a. Komersial (*Commercial – COM*), yaitu tata guna lahan komersial, contoh: restoran, pertokoan, kantor, yang memiliki jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.

- b. Permukiman (*Residence – RES*), yaitu tata guna lahan sebagai tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
- c. Akses Terbatas (*Restricted Access – RA*), yaitu tanpa jalan masuk maupun jalan keluar langsung terbatas.

3. Tipe Hambatan Samping

Terbagi atas:

- a. Tinggi, bila besar arus berangkat yang masuk dan keluar berkurang karena aktivitas dipinggir jalan pada pendekat seperti angkutan umum yang berhenti, aktivitas pejalan kaki berjalan sepanjang atau menyebrang pada pendekat, keluar masuk halaman disamping jalan dsb.
- b. Rendah, ketika besar arus berangkat yang masuk dan keluar tidak berkurang oleh hambatan samping dari jenis jenis yang disebut di atas.

4. Median

Ada/tidaknya median pada sisi kanan garis henti pada pendekat.

5. Kelandaian

Kelandaian melintang jalan, dinyatakan dalam % (naik = +; turun = -).

6. Belok Kiri Langsung (*Left Turn On Right–LTOR*)

Ada/tidaknya gerakan belok kiri dengan pergerakan boleh langsung berbelok. Ditunjukkan dengan diagram fase pendekat dengan gerakan belok kiri langsung.

7. Jarak ke Kendaraan Parkir

Yaitu jarak normal antara garis henti dengan kendaraan pertama yang diparkir di sebelah hulu pendekat.

8. Lebar Pendekat

Terdiri atas:

- a. Lebar Pendekat (WA), yaitu lebar bagian pendekat yang diperkeras. Dapat dilihat dari denah persimpangan.
- b. Lebar Masuk (WMASUK), yaitu lebar bagian pendekat untuk setiap arah yang masuk ke dalam persimpangan. Dapat dilihat dari denah persimpangan
- c. Lebar Belok Kiri Langsung (WLTOR), yaitu lebar dari bagian pendekat untuk arah belok kiri langsung. Dapat dilihat dari denah persimpangan
- d. Lebar Keluar (WKELUAR), yaitu lebar pendekat yang diperkeras, digunakan untuk lalu lintas keluar setelah melewati persimpangan jalan yang dapat dilihat dari denah persimpangan

2.2.2 Formulir SIG-II

Formulir SIG II memuat data arus lalu lintas yang meliputi kendaraan ringan, kendaraan berat, sepeda motor dan kendaraan tak bermotor: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

A. Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

B. Tipe Arah Pergerakan Lalu Lintas

1. *Left Turn* (LT)

Yaitu indeks untuk lalu lintas belok kiri

2. *Left Turn on Red* (LTOR)

Yaitu indeks untuk lalu lintas belok kiri yang diijinkan lewat pada saat sinyal merah

3. *Straight* (ST)

Yaitu indeks untuk lalu lintas yang lurus

4. *Right Turn* (RT)

Yaitu indeks untuk lalu lintas belok kanan

C. Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor (*Motorized Vehicle*–QMV)

1. Volume Kendaraan Bermotor

a. Kendaraan Ringan (*Light Vehicle*–LV)

Yaitu jumlah LV yang melalui persimpangan dari setiap pendekat. LV yaitu kendaraan dengan kriteria 2 as yang memiliki 4 roda dengan jarak as 2 – 3 m (contoh: mobil penumpang, mikrobis, oplet, *pick-up*, dan *truk* kecil sesuai dalam kriteria dari Bina Marga)

b. Kendaraan Berat (*Heavy Vehicle*–HV)

Yaitu jumlah HV yang melalui persimpangan dari setiap pendekat. HV yaitu kendaraan dengan kriteria memiliki roda di atas 4 buah (contoh: bis, *truk* 2 as, *truk* 3 as dan *truk* kombinasi sesuai klasifikasi dari Bina Marga)

c. Sepeda Motor (*Motorcycle*–MC)

Yaitu jumlah MC yang melalui persimpangan dari setiap pendekat. MC yaitu kendaraan dengan kriteria memiliki 2 atau 3 roda (contoh: sepeda motor dan kendaraan roda 3 sesuai dengan sistem klasifikasi dari Bina Marga)

d. Total Kendaraan Bermotor (*Motor Vehicle*–MV)

Yaitu jumlah total kendaraan bermotor yang melalui persimpangan dari setiap pendekat.

Jumlah kendaraan yang dihitung dari survei kemudian dikonversi dengan menggunakan Ekvivalen Mobil Penumpang (emp) sehingga satuannya menjadi smp/jam untuk tiap jenis kendaraan. Nilai emp berdasarkan tipe pendekat dan jenis kendaraan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor Ekvivalen Mobil Penumpang (emp)

Jenis Kendaraan	emp untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2. Rasio Kendaraan Berbelok

Terdiri atas:

a. Rasio Kendaraan Belok Kiri (*Left Turn Ratio*–PLT)

$$P_{LT} = \frac{LT(\text{smp/jam})}{\text{Total}(\text{smp/jam})} \quad (1)$$

b. Rasio Kendaraan Belok Kanan (*Right Turn Ratio*–PRT)

$$P_{RT} = \frac{RT(\text{smp/jam})}{\text{Total}(\text{smp/jam})} \quad (2)$$

Dimana:

P_{LT} = Rasio Kendaraan Belok Kiri

P_{RT} = Rasio Kendaraan Belok Kanan

LT = Belok Kiri

RT = Belok Kanan

D. Arus Lalu Lintas Kendaraan Tak Bermotor

1. Arus Kendaraan Tak Bermotor

Yaitu jumlah UM yang melalui persimpangan dari setiap pendekat. UM yaitu kendaraan berdasarkan kriteria roda yang digerakkan menggunakan tenaga manusia atau hewan (meliputi: sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong sesuai dalam sistem klasifikasi Bina Marga)

2. Rasio Kendaraan Tak Bermotor (*Unmotorized Ratio*– P_{UM})

$$P_{UM} = Q_{UM} / Q_{MV} \quad (3)$$

2.2.3 Formulir SIG-III

Formulir SIG-III memuat perhitungan rinci waktu antar hijau (untuk waktu pengosongan) dan waktu hilang, meliputi: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

A. Lalu Lintas Berangkat

1. Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

2. Kecepatan Berangkat (*Vehicle Departure Velocity*– V_{EV})

Yaitu kecepatan setiap kendaraan yang berangkat, terdiri atas:

- a. 10 m/dtk (kendaraan bermotor)
- b. 3 m/dtk (kendaraan tak bermotor misalnya sepeda)
- c. 1,2 m/dtk (pejalan kaki)

Kendaraan berangkat adalah kendaraan yang bergerak meninggalkan pendekat berangkat menuju pendekat tujuan dalam fase waktu hijau

B. Lalu Lintas Datang

1. Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

2. Kecepatan Datang (*Vehicle Arrival Velocity* – V_{AV})

Yaitu kecepatan setiap kendaraan yang datang sebesar 10 m/dtk (kendaraan bermotor).
Kendaraan Datang adalah kendaraan yang akan bergerak memasuki pendekat tujuan pada fase hijau berikutnya.

3. Jarak Berangkat-Datang (m)

Yaitu jarak yang ditempuh kendaraan berangkat-datang berdasarkan gambar denah dengan memasukkan nilai $L_{EV} + I_{EV} - L_{AV}$

Dimana:

L_{EV} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing- masing untuk kendaraan yang berangkat (m)

I_{EV} = Panjang kendaraan yang berangkat (m)
= 5 m (LV atau HV), 2 m (MC atau UM)

L_{AV} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang datang (m)

4. Waktu Berangkat-Datang (dtk)

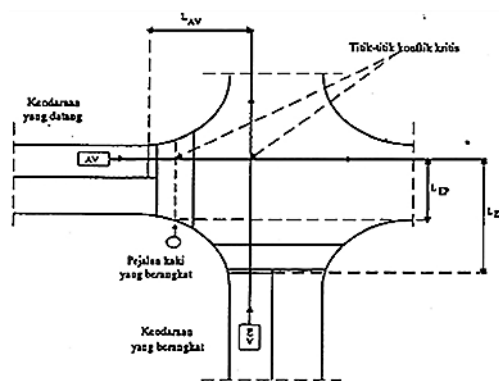
Data diinput dalam Formulir SIG III berupa rumus dari waktu merah semua sebagai berikut.

$$\text{Merah Semua} = \left[\frac{L_{EV} + I_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right] \quad (4)$$

Data yang diinput berupa nilai parameter tanpa dikalkulasi. Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{EV} , V_{AV} , dan I_{EV} tergantung dari komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan pada lokasi. Dalam perencanaan dapat menggunakan nilai pada poin A dan B karena belum terdapat pengaturan lebih lanjut di Indonesia akan hal ini.

C. Waktu Merah Semua

Waktu Merah Semua merupakan waktu dimana sinyal merah menyala pada saat yang bersamaan dalam setiap pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal berurutan, yang diperlukan sebagai waktu pengosongan pada akhir setiap fase sehingga dapat memberi kesempatan bagi kendaraan terakhir untuk (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning) dan berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pertama dari fase berikutnya (melewati garis henti pada awal sinyal hijau) pada titik konflik yang sama. Jadi waktu merah semua merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan datang dari garis henti sampai ke titik konflik, dan panjang dari kendaraan berangkat. Lihat Gambar 7.



Gambar 7. Titik Konflik dan Jarak untuk Keberangkatan dan Kedatangan

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

D. Penentuan Waktu Merah Semua

Menentukan nilai waktu merah semua terbesar pada tiap fase.

E. Waktu Kuning Total

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas berdasarkan ketentuan dalam MKJI 1997 sebesar 3,0 dtk/fase.

F. Waktu Hilang Total (Lost Time Interval – LTI)

Apabila telah ditetapkan periode merah-semua untuk tiap akhir fase maka LTI untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu antar hijau. Waktu Hilang Total ($LTI = \Sigma IG$), yaitu jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap (dtk).

$$LTI = \Sigma(\text{Merah semua} + \text{Kuning}) * i = \Sigma IGI \quad (5)$$

2.2.4 Formulir SIG-IV

Formulir SIG-IV memuat penentuan waktu sinyal dan kapasitas, meliputi: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

A. Distribusi Arus Lalu Lintas

Yaitu desain persimpangan yang menunjukkan arus lalu lintas dari setiap pendekat.

B. Fase Simbang

Yaitu desain persimpangan yang menunjukkan tipe arus dari setiap arah keberangkatan antara pendekat berdasarkan Waktu Hijau untuk setiap fase. Angka fase sesuai dengan jumlah Fase Simbang yang direncanakan.

C. Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

D. Hijau dalam Fase Nomor

Yaitu Angka Fase yang menunjukkan berlakunya Waktu Hijau untuk setiap pendekat.

E. Tipe Pendekat

Idem 2.1.4.

F. Rasio Kendaraan Berbelok

Terbagi atas:

1. *Left Turn On Red Ratio* – PLTOR

Yaitu rasio untuk lalu lintas belok kiri langsung

2. *Left Turn Ratio* – PLT

Idem dengan Formulir SIG-II

3. *Right Turn Ratio* – PRT

Idem dengan Formulir SIG-II

G. Arus Belok Kanan (*Right Turn*–RT)

Terbagi atas:

1. Arah Diri (*Quantity Right Turn Preventive*–QRTP) Yaitu arus dari arah terlindungi

2. Arah Lawan (*Quantity Right Turn Offensive*–QRTO) Yaitu arus dari arah terlawan

H. Lebar Efektif (*Wide Effective* – W_E)

Ketentuan untuk nilai W_E sebagai berikut:

1. Tanpa Belok Kiri Langsung

a. Hanya untuk pendekat tipe P

b. Jika $W_{KELUAR} < W_E * (1 - P_{RT} - P_{LTOR})$, $W_E = W_{KELUAR}$

c. Analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus ($Q = Q_{ST}$)

2. Dengan Belok Kiri Langsung

Lebar efektif di hitung untuk pendekat baik yang memiliki pulau lalu lintas ataupun tidak, penentuan lebar masuk (W_{MASUK}). Untuk menghitung lebar pendekat, dapat digunakan kedua keadaan berikut:

- a. Jika $W_{L\text{TOR}} \geq 2\text{m}$ maka W_E dapat dihitung dengan minimal $[(W_A - W_{L\text{TOR}}), (W_{\text{MASUK}})]$. Untuk pendekat tipe P, jika $W_{\text{KELUAR}} < W_E \times (1 - P_{\text{RT}})$, maka nilai $W_E = W_{\text{KELUAR}}$, dan penentuan waktu sinyal untuk pendekat dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus ($Q = Q_{\text{ST}}$)
- b. Jika $W_{L\text{TOR}} < 2\text{m}$ maka W_E dihitung dengan minimal $[(W_A), (W_{\text{MASUK}} + W_{L\text{TOR}}), (W_A (1 + P_{L\text{TOR}}) - W_{L\text{TOR}})]$. Untuk pendekat tipe P, jika $W_{\text{KELUAR}} < W_E (1 - P_{\text{RT}} - P_{L\text{TOR}})$, maka nilai $W_E = W_{\text{KELUAR}}$, dan penentuan waktu sinyal untuk pendekat dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus ($Q = Q_{\text{ST}}$)

I. Arus Jenuh (*Saturated* – S)

Arus jenuh dasar merupakan besarnya keberangkatan antrian dalam suatu pendekat selama kondisi ideal, meliputi:

1. Nilai Dasar

a. Pendekat Tipe Terlindung (*Preventive*–P)

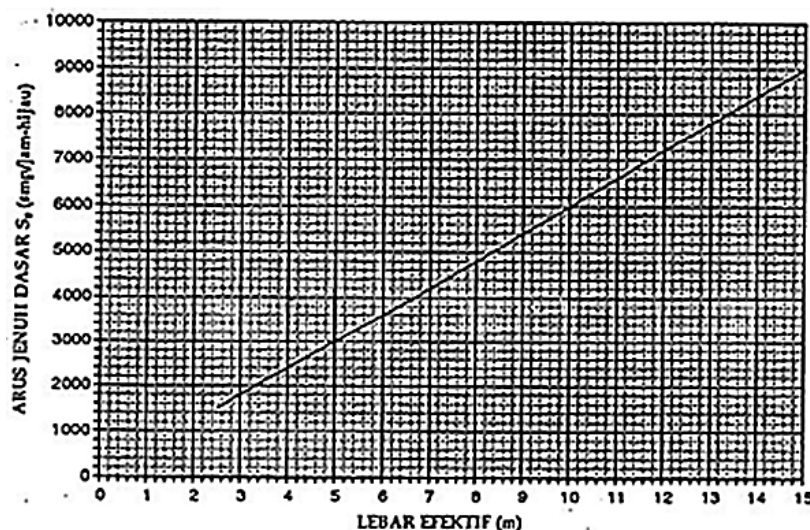
$$S_o = 600 * (W_E) \quad (6)$$

Dimana:

S_o = Arus jenuh dasar untuk pendekat tipe P (smp/jam hijau)

W_E = Lebar jalan (m)

S_o juga bisa didapatkan dari Gambar 8.

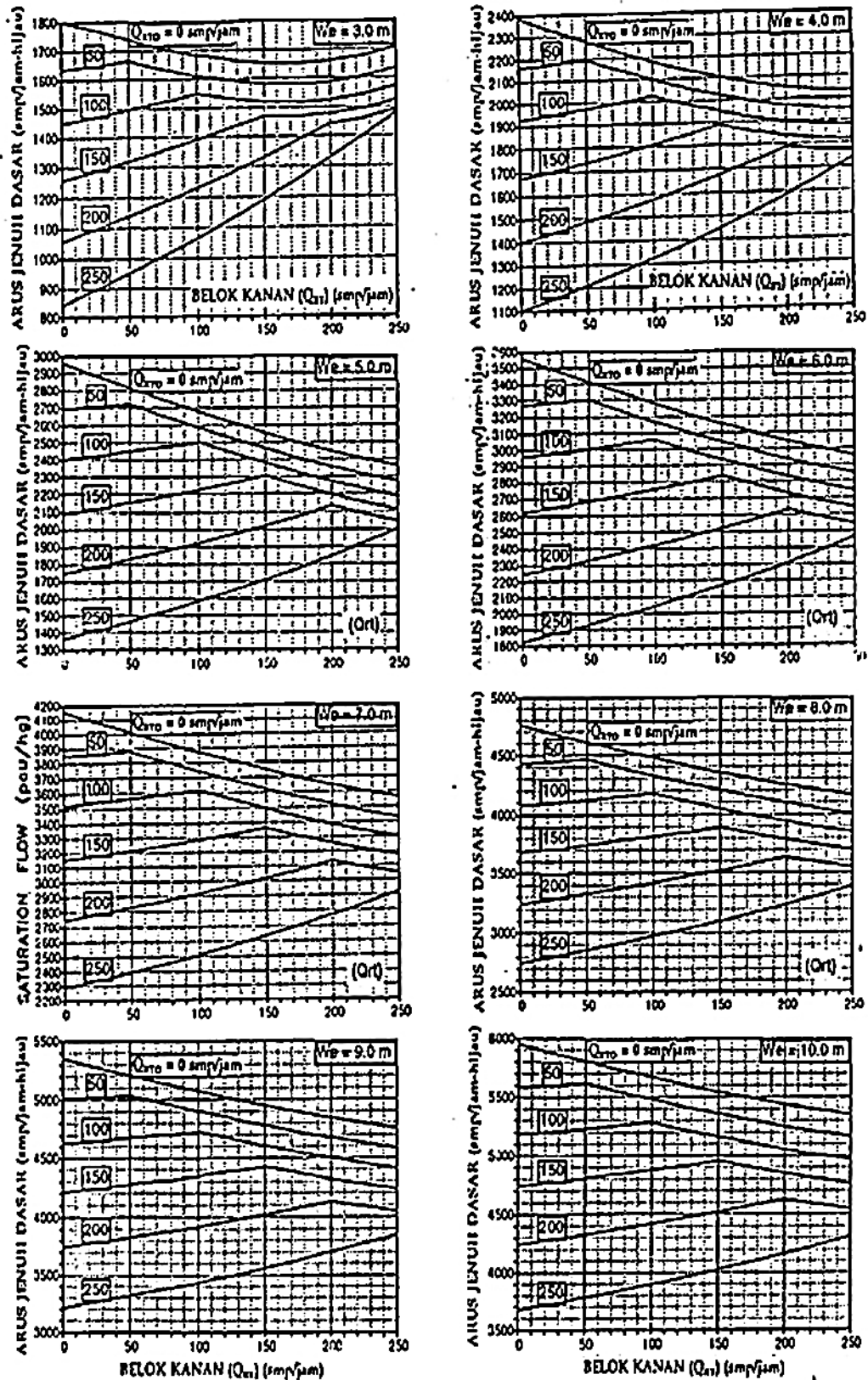


Gambar 8. S_o untuk Pendekat Tipe P

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

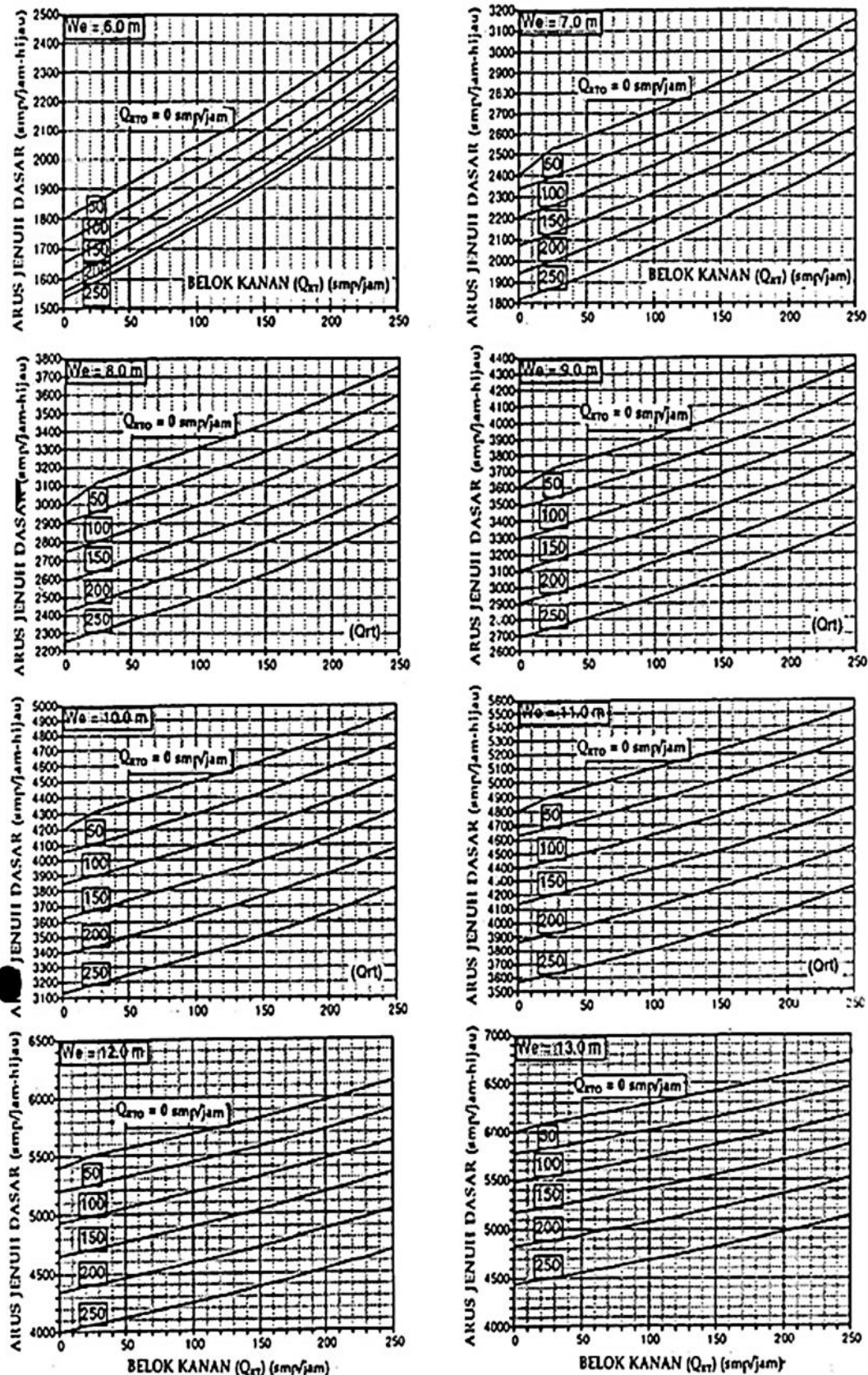
b. Pendekat Tipe Terlawan (*Offensive*–O)

S_o ditentukan dari Gambar 9. untuk pendekat tanpa lajur belok kanan terpisah dan Gambar 10. untuk pendekat dengan lajur belok kanan terpisah.



Gambar 9. S_o untuk Pendekat Tipe O Tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)



Gambar 10. S_o untuk Pendekat Tipe O dengan Lajur Belok Kanan Terpisah
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2. Faktor Penyesuaian

a. Semua Tipe Pendekat

Yaitu kedua tipe pendekat P dan O meliputi:

1) Ukuran Kota (*City Size Factor*– F_{CS})

Tabel 4. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Penduduk kota (Juta jiwa)	Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{CS})
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

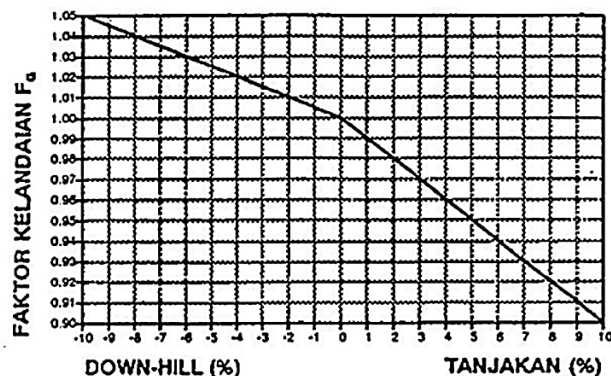
2) Hambatan Samping (*Side Friction Factor*– F_{SF})

Tabel 5. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

Lingkungan Jalan	Tipe fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
Hambatan Samping		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥0,25
Komersial (COM)							
Tinggi	O	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	P	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
Sedang	O	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
	P	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
Rendah	O	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
	P	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)							
Tinggi	O	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
	P	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
Sedang	O	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
	P	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
Rendah	O	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
	P	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Area Terbatas (RA)							
Tinggi, Sedang, Rendah	O	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	P	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3) Kelandaian (*Gradient Factor*– F_G)



Gambar 11. Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_G)

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

4) Parkir (*Parking Factor*– F_P)

Faktor penyesuaian parkir ditentukan dari Gambar 12. sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. F_P dapat juga dihitung dari persamaan berikut, yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau:

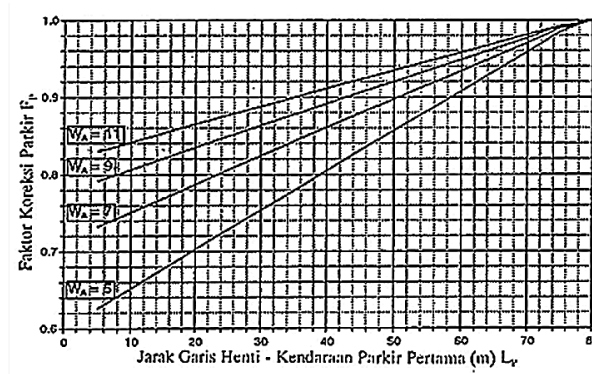
$$F_P = \frac{\left(\frac{L_P}{3} - (W_A - 2)\right) \left(\frac{\frac{L_P}{3} - G}{W_A}\right)}{g} \quad (7)$$

Dimana:

L_P = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama (m) (atau Panjang dari lajur pendek)

W_A = Lebar pendekat (m)

g = Waktu hijau pada pendekat (nilai normal 26 dtk)



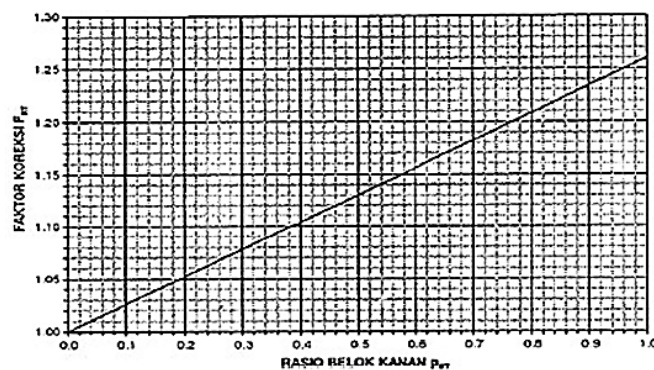
Gambar 12. Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_P)
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

b. Pendekat tipe P

1) Belok Kanan (*Right Turn Factor*– F_{RT})

Ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan dengan gerakan belok kanan. Perhatikan: Hanya untuk pendekat tipe P, tanpa median, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} * 0,26 \quad (8)$$

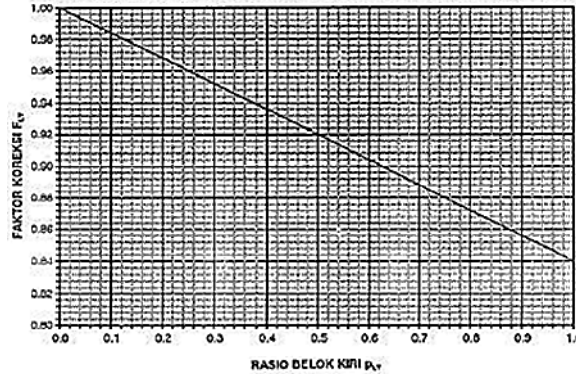


Gambar 13. Faktor Penyesuaian untuk Belok Kanan (F_{RT})
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2) Belok Kiri (*Left Turn Factor*– F_{LT})

Ditentukan sebagai fungsi rasio kendaraan belok kiri P_{LT} . Perhatikan: Hanya untuk pendekat tipe P tanpa LTOR, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} * 0,26 \quad (9)$$



Gambar 14. Faktor Penyesuaian untuk Belok Kiri (F_{LT})

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3. Nilai arus jenuh yang disesuaikan (S)

$$S = S_o * F_{CS} * F_{SF} * F_G * F_P * F_{RT} * F_{LT} \quad (10)$$

Dimana:

S_o = Arus Jenuh Dasar (smp/jam)

F_{CS} = Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

F_{SF} = Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

F_G = Faktor Penyesuaian Gradien Jalan

F_P = Faktor Penyesuaian Parkir

F_{RT} = Faktor Penyesuaian Belok Kanan

F_{LT} = Faktor Penyesuaian Belok Kiri

J. Arus Lalu Lintas (Q)

Arus lalu lintas kendaraan bermotor dihitung dalam smp/jam bagi masing- masing jenis kendaraan untuk kondisi terlawan dan terlindung dengan menggunakan emp.

K. Rasio Arus (*Flow Ratio*– FR) setiap Pendekat

$$FR = Q / S \quad (11)$$

Dimana:

Q = Arus Lalu Lintas (smp/jam)

S = Arus Jenuh (smp/jam hijau)

L. Rasio Fase (*Phase Ratio*– PR) setiap Fase

$$PR = F_{CRIT} / I_{FR} \quad (12)$$

Dimana:

$$IFR = \text{Rasio Arus Simpang (IFR)} = \Sigma(F_{CRIT}) \quad (13)$$

M. Waktu Hijau (*Green-g*)

Waktu Hijau (g), yaitu waktu menyala sinyal lampu hijau dalam suatu pendekat (dtk).

Waktu hijau untuk setiap fase dihitung menggunakan persamaan:

$$g_i = (Cua - LTI) * PR \quad (14)$$

N. Kapasitas Persimpangan (*Capacity-C*)

Kapasitas merupakan arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan.

$$C = S * (g / c) \quad (15)$$

O. Waktu Hilang Total (*Lost Time Interval-LTI*)

Idem Formulir SIG III.

P. Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation-DS*)

Derajat kejenuhan merupakan rasio dari arus lalu lintas dibandingkan dengan kapasitas dalam suatu pendekat. Derajat kejenuhan masing-masing pendekat, ditentukan dengan persamaan:

$$DS = Q / C \quad (16)$$

Untuk pendekat dengan nilai derajat kejenuhan $> 0,75$ persimpangan dapat dikatakan dalam kondisi lewat jenuh sehingga akan menyebabkan kemacetan pada jam puncak.

Q. Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian Sinyal (*Cycle time Unadjustment-Cua*)

$$Cua = (1,5 * LTI + 5) / (1 - IFR) \quad (17)$$

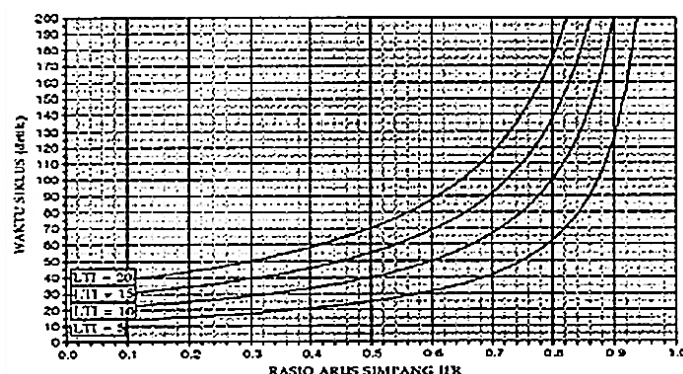
Dimana:

Cua = Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian Sinyal (dtk)

LTI = Waktu Hilang Total Per Siklus (dtk)

IFR = Rasio Arus Simpang $\Sigma(FR_{CRIT})$

Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian juga dapat diperoleh dari Gambar 15.



Gambar 15. Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Jika alternatif rencana fase sinyal dievaluasi, maka yang menghasilkan nilai terendah dari $(IFR + LTI/c)$ adalah yang paling efisien.

R. Waktu Siklus Setelah Penyesuaian Sinyal (*Cycle Time*–c)

Merupakan waktu siklus yang telah disesuaikan berdasarkan pada waktu hijau dan waktu hilang yang dapat ditentukan dengan persamaan

$$c = \Sigma g + LTI \quad (18)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

Perencanaan simpang bersinyal pada persimpangan Jalan Bondowoso – Jalan Retawu – Jalan Gede – Jalan Simpang Wilis Indah, Kota Malang

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara survei dan studi literatur sebagaimana yang tercantum pada Tabel 6. berikut.

Tabel 6. Metode Pengumpulan Data

No.	Data	Metode
1	Data geometrik lalu lintas	Survei
2	Tata guna lahan	Survei
3	Data Arus lalu lintas kendaraan bermotor (MV)	LV HV MC
4	Data Kondisi Lingkungan	Survei

3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data berdasarkan ketentuan dari MKJI 1997 seperti yang tercantum pada Tabel 7. berikut.

Tabel 7. Metode Pengolahan Data

No.	Data	Metode	Satuan
1	Rasio Kendaraan Belok Kiri (P_{LT})	Rumus (1)	
2	Rasio Kendaraan Belok Kanan (P_{RT})	Rumus (2)	
3	Rasio Kendaraan Tak Bermotor (P_{UM})	Rumus (3)	
4	Waktu Merah Semua	Rumus (4)	dtk
5	Waktu Hilang Total (LTI)	Rumus (5)	dtk
6	Waktu Kuning	Ketetapan dalam MKJI 1997 (Sub bab 2.2.3 E)	dtk
7	Lebar efektif (W_E)	Jika $W_{KELUAR} < W_E * (1 - P_{RT} - P_{LTO})$, $W_E = W_{KELUAR}$	m
		Jika $W_{LTO} \geq 2m$: W_E dihitung dengan $Min [(W_A - W_{LTO}), (W_{MASUK})]$	m
		Jika $W_{LTO} < 2m$: W_E dihitung dengan $Min [(W_A), (W_{MASUK} + W_{LTO}), (W_A (1 + P_{LTO}) - W_{LTO})]$	m
8	Jarak dari garis henti ke titik konflik untuk kendaraan berangkat (L_{EV})	Survei lokasi	m
9	Jarak dari garis henti ke titik konflik untuk kendaraan datang (L_{AV})	Survei lokasi	m
10	Kecepatan Datang ($V_{AV} = V_A$)	Ketetapan dalam sub bab 2.2.3 B (2)	m/dtk

No.	Data	Metode	Satuan
11	Kecepatan Berangkat ($V_{EV} = V_B$)	Ketetapan dalam sub bab 2.2.4 A (2)	m/dtk
12	Panjang Kendaraan Berangkat (I_{EV})	Ketetapan dalam bab 2.2.B (3)	m
13	Arus Jenuh Dasar (S_O)	Pendekat tipe P (terlindung): Rumus (6) atau Gambar 8.	smp/jam
		Pendekat tipe O (terlawan): Gambar 9. untuk pendekat tanpa lajur belok kanan terpisah dan Gambar 10. untuk pendekat dengan lajur belok kanan terpisah	smp/jam
14	Faktor Pengaruh Ukuran Kota (F_{CS})	Tabel 4. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota	
15	Faktor Pengaruh Hambatan Samping (F_{SF})	Tabel 5 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{SF})	
16	Faktor Pengaruh Gradien (F_G)	Gambar 11. Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_G)	
17	Faktor Pengaruh Jarak Parkir (F_P)	Rumus (7) dan Gambar 12. Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_P)	
18	Faktor Pengaruh Belok Kanan (F_{RT})	Pendekat tipe P (terlindung): Rumus (8) dan Pendekat tipe O (terlawan): Gambar 13. Faktor Penyesuaian untuk Belok Kanan (F_{RT})	
19	Faktor Pengaruh Belok Kiri (F_{LT})	Pendekat tipe P (terlindung): Rumus (9) dan Pendekat tipe O (terlawan): Gambar 14. Penyesuaian untuk Belok Kiri (F_{LT})	
20	Arus Jenuh (S)	Rumus (10)	smp/jam
21	Rasio Arus (FR) setiap Pendekat	Rumus (11)	
22	Rasio fase (PR) setiap Fase	Rumus (12)	
23	Rasio Arus Simpang (IFR)	Rumus (13)	
24	Waktu Hijau (g)	Rumus (14)	dtk
25	Kapasitas Persimpangan (C)	Rumus (15)	smp/jam
26	Derajat Kejenuhan (DS)	Rumus (16)	
27	Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian (C_{UA})	Rumus (17)	
28	Waktu Siklus Setelah Penyesuaian (c)	Rumus (18)	dtk

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Formulir SIG-I

4.1.1 Ukuran Kota

Tabel 8. Jumlah Penduduk Kota Malang

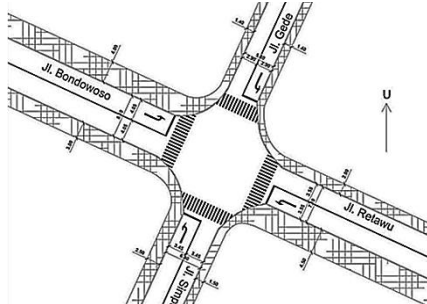
Kecamatan	Jumlah Penduduk Menurut Kecamatan dan Jenis Kelamin di Kota Malang (Jiwa)					
	Laki-Laki		Perempuan		Total	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Kedungkandang	104.480	104.810	103.595	103.931	208.075	208.741
Sukun	98.171	98.260	98.316	98.429	196.487	196.689
Klojen	45.880	45.836	48.192	48.203	94.072	94.039
Blimbing	90.730	90.803	91.774	91.890	182.504	182.693
Lowokwaru	81.122	81.188	82.673	82.776	163.795	163.964
Total	420.383	420.897	424.550	425.229	844.933	846.126

Sumber : <https://malangkota.bps.go.id/>

4.1.2 Fase Sinyal Eksisting

Persimpangan yang menjadi obyek perencanaan merupakan persimpangan tak bersinyal, jadi tidak terdapat APILL) pada persimpangan tersebut.

4.1.3 Denah



Gambar 16. Denah Persimpangan

4.1.4 Kondisi Lapangan

A. Kode Pendekat

Tabel 9. Kode Pendekat

Nama Jalan	Kode Pendekat
Jl. Gede	Utara (U)
Jl. Simpang Wilis Indah	Selatan (S)
Jl. Bondowoso	Barat (B)
Jl. Retawu	Timur (T)

B. Tipe Lingkungan Jalan

Tipe lingkungan jalan dikategorikan berdasarkan sub bab 2.2.1 D (2), tercantum pada Tabel 10.

Tabel 10. Kondisi dan Tipe Lingkungan Jalan

Pendekat	Kondisi	Tipe
Pendekat Utara (Jl. Gede)	Terdapat Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) seperti kedai kopi, toko bangunan dan warung	Komersial
Pendekat Selatan (Jl. Simpang Wilis Indah)	Terdapat UMKM seperti toko buku, kantor, tempat makan dan warung kopi	Komersial
Pendekat Barat (Jl. Bondowoso)	Terdapat pemukiman tetapi juga terdapat UMKM seperti toko pecah belah dan rumah makan, serta kampus	Komersial
Pendekat Timur (Jl. Retawu)	Terdapat pemukiman dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan	Pemukiman



Gambar 17. Kondisi Lapangan Tiap Pendekat (a) Jl. Gede, (b) Jl. Simpang Wilis Indah, (c) Jl. Bondowoso, (d) Jl. Retawu

C. Tipe Hambatan Samping

Tipe hambatan samping pada pendekat ditetapkan dengan berdasarkan ketentuan pada sub bab 2.2.1 D (3) sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-I.

D. Median

Keberadaan median pada area simpang berdasarkan hasil pengamatan di lapangan sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-I.

E. Kelandaian

Kelandaian yang dimaksudkan merupakan kemiringan jalan, pada perencanaan ini kelandaian diasumsikan menggunakan kelandaian normal yang umumnya digunakan pada jalan lurus yaitu -2%.

F. Belok Kiri Langsung (LTOR)

Pada perencanaan ini pergerakan arus LTOR tidak memiliki lajur tersendiri sehingga ditentukan berdasarkan lebar masuk sama dengan lebar pendekat sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-I.

G. Jarak ke Kendaraan Parkir

Tidak terdapat jarak ke kendaraan parkir pada kondisi eksisting karena persimpangan yang menjadi obyek perencanaan merupakan persimpangan tak bersinyal sehingga tidak terdapat garis henti.

H. Lebar Pendekat

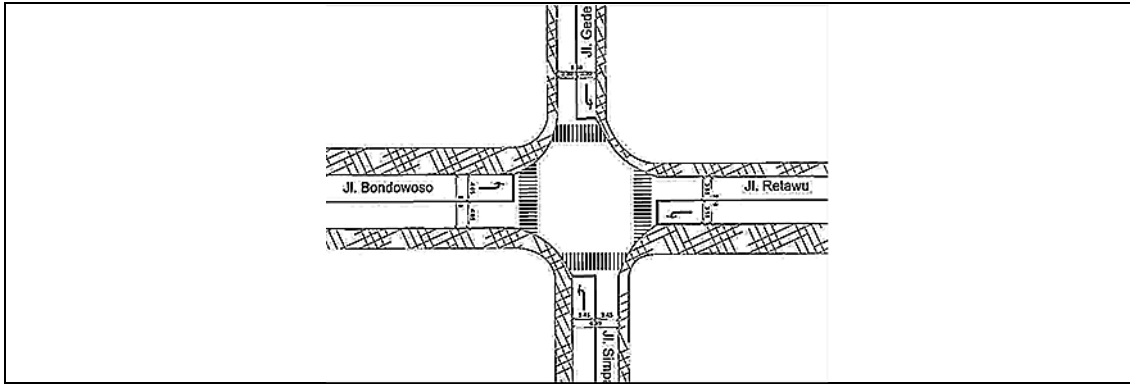
Lebar pendekat eksisting pada perencanaan ini seperti sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-I dengan lebar bahu seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Lebar Laju Pendekat

Item	Pendekat			
	Utara (U)	Selatan (S)	Barat (B)	Timur (T)
Lebar Bahu, m	B = 1,40	T = 1,50	S = 3,00	U = 2,00
	T = 1,40	B = 2,50	U = 4,00	S = 4,50

Tabel 12. Formulir SIG-I

Lampiran 1. Data Kondisi Lapangan			Tanggal :		
SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-I			Kota : MALANG		
GEOMETRI			Simpang : Jl. Bondowoso - Jl. Retawu		
PENGATURAN LALU LINTAS			Ukuran kota : <1 Juta Penduduk		
LINGKUNGAN			Perihal : 2 FASE		
FASE SINYAL YANG ADA			Periode : Jam Puncak Sore		
g =	g =				Waktu siklus: c =
IG =	IG =				Waktu hilang total : LTI = IG =



KONDISI LAPANGAN										
Kode pendekat	Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping Tinggi / Rendah	Median Ya/Tidak	Kelaianan +/- %	Belok kiri langsung Ya/Tidak	Jarak ke kendaraan parkir (m)	Lebar pendekat (m)			
							Pendekat WA	Masuk W _{MASUK}	Belok kiri langsung W _{LTOR}	Keluar W _{KELUAR}
U	COM	Sedang	T	-2	Y		5.8	2.9	2.9	2.9
B	COM	Sedang	T	-2	Y		8.1	4.05	4.05	4.05
S	COM	Sedang	T	-2	Y		6.9	3.45	3.45	3.45
T	RES	Sedang	T	-2	Y		7.1	3.55	3.55	3.55

4.2 Formulir SIG-II

4.2.1 Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

4.2.2 Tipe Arah Pergerakan Lalu Lintas

Dari hasil survei kondisi eksisting, teramati arah pergerakan lalu lintas yaitu:

1. Belok Kiri (*Left Turn*–LT)) atau Belok Kiri Langsung (*Left Turn on Red*–LTOR)).
2. Lurus (*Straight*–ST).
3. Belok Kanan (*Right Turn*–RT).

4.2.3 Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor (Q_{MV})

Data arus lalu lintas didapatkan dari hasil survei volume kendaraan pada hari Rabu, 26 Mei 2023. Data volume kendaraan tercantum pada Lampiran 1-12 meliputi volume LV , HV dan MC. Survei dilakukan pada peak hour yang ditetapkan dalam 2 sesi, yaitu:

1. Sesi 1 : 06.45 – 08.45 WIB
2. Sesi 2 : 14.30 – 16.30 WIB

Peak hour survei ditentukan berdasarkan hasil pengamatan secara visual terhadap mobilisasi yang diakibatkan oleh proses antar jemput siswa SMA Katolik St. Albertus (07.00 – 15.00) dan jam perkuliahan Universitas Katolik Widya Karya (08.00 – 15.00). Keduanya ditengarai sebagai zona bangkitan pergerakan, adapun referensi lain yang mendukung penetapan *peak hour* ini, menurut Ratnaningsih et al. (2013) pelaksanaan survei untuk menentukan *peak hours* dengan waktu survei 2 jam interval 15 menit pada jam puncak pagi

dan sore, dan hal ini juga diperkuat oleh Syukri, (2012) Menggunakan metode interval 15 menit pada survei sekitar 1-2 jam. Serta menurut Widjajanti, Gustini and Ifani, (2020) yang menggunakan survei asumsi jam puncak pagi dan sore hari.

A. Volume Kendaraan

Berdasarkan hasil survei lapangan volume kendaraan direkapitulasi sebagaimana tercantum pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi Volume Kendaraan Sesi 1

Pendekat	Jenis Kendaraan	06.45 - 07.45			TOT	07.45-8.45			TOT
		Jumlah Kendaraan				Jumlah Kendaraan			
		LTOR	ST	RT		LTOR	ST	RT	
U	LV	30	123	24	177	28	82	17	127
	HV	0	1	0	1	0	5	0	5
	MC	29	337	44	410	24	396	32	452
	UM	3	6	1	10	1	4	7	12
Total		62	467	69	598	53	487	56	596
B	LV	37	121	236	394	45	97	200	342
	HV	0	10	10	20	0	1	2	3
	MC	85	98	249	432	51	126	186	363
	UM	0	0	1	1	1	0	2	3
Total		122	229	496	847	97	224	390	711
S	LV	44	112	5	161	53	111	12	176
	HV	0	1	0	1	2	20	0	22
	MC	244	951	31	1226	249	674	33	956
	UM	1	2	0	3	0	4	0	4
Total		289	1066	36	1391	304	809	45	1158
T	LV	24	218	25	267	23	161	16	200
	HV	0	3	0	3	0	13	0	13
	MC	22	948	75	1045	39	610	77	726
	UM	0	4	1	5	1	3	2	6
Total		46	1173	101	1320	63	787	95	945
					4156				3410

Tabel 14. Rekapitulasi Volume Kendaraan Sesi 2

Pendekat		14.30 - 15.30			TOT	15.30 - 16.30			TOT
		Jumlah Kendaraan				Jumlah Kendaraan			
		LTOR	ST	RT		LTOR	ST	RT	
U	LV	10	131	12	153	18	130	7	155
	HV	0	7	0	7	0	5	0	5
	MC	50	614	46	710	47	630	36	713
	UM	2	7	15	24	3	8	4	15
Total		62	759	73	894	68	773	47	888
B	LV	180	140	170	490	187	80	88	355
	HV	0	7	8	15	10	5	13	28
	MC	249	475	308	1032	379	485	416	1280
	UM	0	0	0	0	0	6	3	9
Total		429	622	486	1537	576	576	520	1672

S	LV	54	134	20	208	50	116	17	183
	HV	1	5	0	6	1	1	2	4
	MC	208	607	47	862	249	602	43	894
	UM	4	3	1	8	4	0	2	6
Total		267	749	68	1084	304	719	64	1087
T	LV	27	273	26	326	38	213	21	272
	HV	1	7	2	10	1	5	0	6
	MC	59	495	68	622	94	577	79	750
	UM	0	0	0	0	0	11	3	14
Total		87	775	96	958	133	806	103	1042
					4473				4689

Berdasarkan hasil survei, maka didapatkan peak hour eksisting yaitu:

1. Sesi 1

- a. Jam 06.45-07.45 berjumlah 4156 kend/jam.
- b. Jam 07.45-08.45 berjumlah 3410 kend/jam.

2. Sesi 2

- a. Jam 14.30-15.30 berjumlah 4473 kend/jam.
- b. Jam 15.30-16.30 berjumlah 4689 kend/jam.

Volume kendaraan tiap jenis pendekat dengan satuan kend/jam pada jam puncak dari hasil survei dikonversikan menjadi smp/jam menggunakan nilai ekivalen mobil penumpang untuk setiap jenis kendaraan berdasarkan Tabel 3. Perhitungan volume kendaraan yang digunakan adalah volume kendaraan terbesar pada jam puncak 15.30 – 16.30 sebagai berikut:

Kode Pendekat : Utara

Arah : LT/ LTOR

Kendaraan Ringan (LV):

Terlindung = $1,0 \times 18 \text{ kend/jam} = 18 \text{ smp/jam}$

Terlawan = $1,0 \times 18 \text{ kend/jam} = 18 \text{ smp/jam}$

Kendaraan Berat (HV):

Terlindung = $1,3 \times 0 \text{ kend/jam} = 0 \text{ smp/jam}$

Terlawan = $1,3 \times 0 \text{ kend/jam} = 0 \text{ smp/jam}$

Sepeda Motor (MC):

Terlindung = $0,2 \times 47 \text{ kend/jam} = 9 \text{ smp/jam}$

Terlawan = $0,4 \times 47 \text{ kend/jam} = 19 \text{ smp/jam}$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-II.

B. Kendaraan Bermotor Total

Pendekat Utara: → LT/LTOR

$Q_w U = LV + HV + MC = 18 \text{ kend/jam} + 0 \text{ kend/jam} + 47 \text{ kend/jam} = 65 \text{ kend/jam}$

$$Q_w \text{ U Terlindung} = 18 \text{ smp/jam} + 0 \text{ smp/jam} + 9 \text{ smp/jam} = 27 \text{ smp/jam}$$

$$Q_w \text{ U Terlawan} = 18 \text{ smp/jam} + 0 \text{ smp/jam} + 19 \text{ smp/jam} = 37 \text{ smp/jam}$$

C. Rasio Berbelok

Pendekat Utara: → Terlindung

$$LT = 27 \text{ smp/jam}$$

$$RT = 14 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Total} = 304 \text{ smp/jam}$$

$$P_{LT}(U) = \frac{LT}{\text{Total}} = \frac{27 \text{ smp/jam}}{304 \text{ smp/jam}} = 0,09$$

$$P_{RT}(U) = \frac{RT}{\text{Total}} = \frac{14 \text{ smp/jam}}{304 \text{ smp/jam}} = 0,046$$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-II.

4.2.4 Arus Lalu Lintas Kendaraan Tak Bermotor (P_{UM})

$$P_{UM}(U) = Q_{UM}/Q_{MV} = 15 \text{ kend/jam} / 873 \text{ kend/jam} = 0,0172$$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-II.

Tabel 15. Formulir SIG – II

SIMPANG BERSINYAL				Tanggal : 24 Mei 2023										0			
Formulir SIG-II				Kota : MALANG										Perihal : 2 FASE			
ARUS LALU LINTAS				Simpang : Jl. Bondowoso - Jl. Retawu										Periode : Jam Puncak Sore			
Kode Pendekat	Arah	ARUS LALU LINTAS KENDARAAN BERMOTOR (MV)												KEND. TAK BERMOTOR (UM)			
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor Total (Q _{MV})			Rasio Berbelok		Arus (Q _{UM})	Rasio (Q _{UM}) / (Q _{MV})
		emp terlindung = 1,0			emp terlindung = 1,3			emp terlindung = 0,2									
		emp terlawan = 1,0			emp terlawan = 1,3			emp terlawan = 0,4									
		kend/jam	smp / jam		kend/jam	smp / jam		kend/jam	smp / jam		kend/jam	smp / jam		PLTOR	PRT	kend / jam	
	terlindung	terlawan		terlindung	terlawan		terlindung	terlawan		terlindung	terlawan						
U	LT/LTOR	18	18	18	0	0	0	47	9	19	65	27	37	0.090102		3	
	ST	130	130	130	5	7	7	630	126	252	765	263	389			8	
	RT	7	7	7	0	0	0	36	7	14	43	14	21	0.046695		4	
	Total	155	155	155	5	7	7	713	143	285	873	304	447			15	
	LT/LTOR	187	187	187	10	13	13	379	76	152	576	276	352	0.426012		0	
B	ST	80	80	80	5	7	7	485	97	194	570	184	281			6	
	RT	88	88	88	13	17	17	416	83	166	517	188	271	0.290547		3	
	Total	355	355	355	28	36	36	1280	256	512	1663	647	903			9	
S	LT/LTOR	50	50	50	1	1	1	249	50	100	300	101	151	0.275477		4	
	ST	116	116	116	1	1	1	602	120	241	719	238	358			0	
	RT	17	17	17	2	3	3	43	9	17	62	28	37	0.076839		2	
	Total	183	183	183	4	5	5	894	179	358	1081	367	546			6	
T	LT/LTOR	38	38	38	1	1	1	94	19	38	133	58	77	0.135179		0	
	ST	213	213	213	5	7	7	577	115	231	795	335	450			11	
	RT	21	21	21	0	0	0	79	16	32	100	37	53	0.085621		3	
		272	272	272	6	8	8	750	150	300	1028	430	580			14	
																0.0136	

4.3.1 Lalu Lintas Berangkat

A. Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

B. Kecepatan Berangkat (*Velocity Departure*– V_{EV})

Kecepatan berangkat (V_{EV}) ditetapkan berdasarkan kecepatan berangkat kendaraan bermotor sebagaimana tercantum pada subbab 2.2.3 A (2) yaitu 10 m/dtk.

4.3.2 Lalu Lintas Datang

A. Kode Pendekat

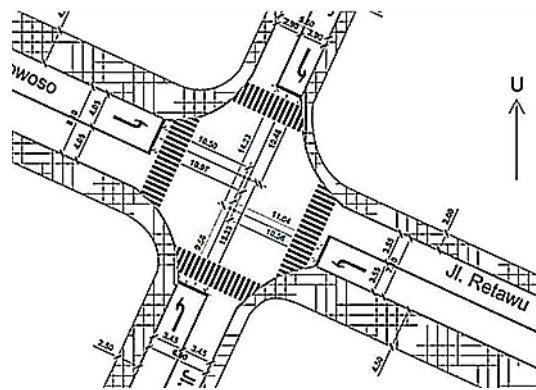
Idem Formulir SIG-I.

B. Kecepatan Datang (*Velocity Arrival*– V_{AV})

Kecepatan datang (V_{AV}) ditetapkan sebagaimana tercantum pada sub bab 2.2.3 B (2) yaitu 10 m/dtk.

C. Jarak Berangkat-Datang

Jarak berangkat-datang pada perencanaan persimpangan berdasarkan desain persimpangan seperti pada gambar 18.



Gambar 18. Jarak Berangkat-Datang

Dimana,

L_{EV} = didapatkan dari Gambar 18 = 14,23 m

I_{EV} = Panjang kendaraan berangkat ditetapkan berdasarkan subbab 2.2.3 B (3) untuk LV atau HV = 5 m

L_{AV} = didapatkan dari Gambar 18. = 10,56 m

Maka,

Jarak Berangkat-Datang = $L_{EV} + I_{EV} - L_{AV} = 14,23 + 5 - 10,56$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-III.

D. Waktu Berangkat-Datang

L_{EV} = idem sub bab 4.3.2 (C) = 14,23 m

I_{EV} = Panjang kendaraan berangkat ditetapkan berdasarkan subbab 2.2.3 B (3) untuk LV atau HV = 5 m

L_{AV} = idem subbab 4.3.2 (C) = 10,56 m

V_{EV} = sub bab 4.3.1 (B) = 10 m/dtk

V_{AV} = sub bab 4.3.2 (B) = 10 m/dtk

Waktu Berangkat-Datang = $\left[\frac{L_{EV} + I_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right] = \left[\frac{14,23 + 5}{10} - \frac{10,56}{10} \right] = (1,423 + 0,5) - 1,056$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-III.

4.3.3 Waktu Merah Semua

$$\text{Merah Semua} = \left[\frac{L_{EV} + I_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right] = \left[\frac{14,23+5}{10} - \frac{10,56}{10} \right] = 0,8$$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana tercantum pada Formulir SIG-III.

4.3.4 Penentuan Waktu Merah Semua

Ditentukan berdasarkan nilai Waktu Merah Semua terbesar pada Formulir SIG-III untuk tiap fase, sehingga ditetapkan:

Fase 1 → Fase 2 = 0,8 ≈ 1 dtk

Fase 2 → Fase 1 = 0,6 ≈ 1 dtk

4.3.5 Waktu Kuning Total

Berdasarkan ketentuan dalam MKJI waktu kuning = 3 dtk/fase.

4.3.6 Waktu Hilang Total (*Lost Time Interval* – LTI)

$$LTI = \Sigma (\text{Merah Semua} + \text{Kuning}) = (1 + 1) + (3 + 3) = 8 \text{ dtk/siklus}$$

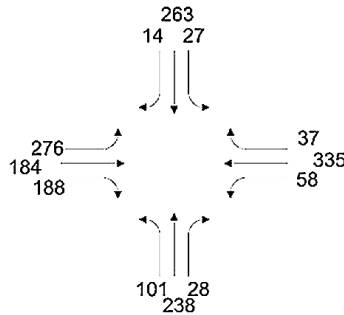
Tabel 16. Formulir SIG – III

SIMPANG BERSINYAL		Tanggal : 24 Mei 2023						
Formulir SIG III		Kota : MALANG						
Waktu antar hijau dan waktu hilang		Simpang : Jl. Bondowoso - Jl. Retawu						
		Perihal : 2 FASE						
		Periode : Jam Puncak Sore						
Lalu Lintas Berangkat		Lalu Lintas Datang						Waktu Merah Semua (dtk)
Pendekat	Kecepatan Ve m/dtk	Pendekat	U	S	T	B		
		Kecepatan	10	10	10	10		
U	10	Jarak berangkat - datang (m)			14,23+5-10,56			
		Waktu berangkat - datang (dtk)			1,4+0,5-1,1			0.8
B	10	Jarak berangkat - datang (m)	10.97+5-10.46					
		Waktu berangkat - datang (dtk)	1.1+0.5-1.0					0.6
S	10	Jarak berangkat - datang (m)				13.33+5-10.50		
		Waktu berangkat - datang (dtk)				1.3+0.5-1.1		0.7
T	10	Jarak berangkat - datang (m)		11.04+5-9.56				
		Waktu berangkat - datang (dtk)		1.1+0.5-1.0				0.6
		Penentuan waktu merah semua						
		Fase 1 ---> Fase 2						
		Fase 2 ---> Fase 1						
		Waktu kuning total (3dtk/fase)						
		Waktu hilang total (LTI) = waktu merah semua total + waktu kuning (dtk/siklus)						

4.4 Formulir SIG-IV

4.4.1 Distribusi Arus Lalu Lintas

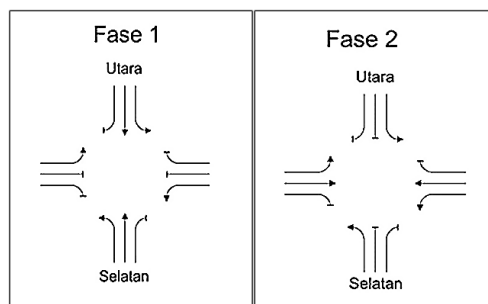
Distribusi arus lalu lintas yang melewati tiap pendekat dalam satuan smp/jam berdasarkan tipe pendekat yang direncanakan. Terdapat dalam Gambar 19.

**Gambar 19.** Distribusi Lalu Lintas

4.4.2 Fase Simpang

Dengan pengaturan simpang bersinyal untuk meningkatkan pelayanan jalan maka diperlukan pengaturan fase yang tepat sebagai pengatur arah pergerakan agar dapat mengurai konflik yang terjadi di lapangan. Berikut merupakan rincian dua fase yang akan diterapkan:

1. Fase 1
 - a. Utara (U) : GO (ST, LT)
 - b. Selatan (S) : GO (ST, LT)
 - c. Timur (T) : STOP (LTOR (LT))
 - d. Barat (B) : STOP (LTOR (LT))
2. Fase 2
 - a. Utara (U) : STOP (LTOR (LT))
 - b. Selatan (S) : STOP (LTOR (LT))
 - c. Timur (T) : GO (ST, LT)
 - d. Barat (B) : GO (ST, LT)

**Gambar 20.** Sketsa Fase 1 (ki), Fase 2 (ka)

4.4.3 Kode Pendekat

Idem Formulir SIG-I.

4.4.4 Hijau dalam Fase Nomor

Berdasarkan pada penerapan fase simpang terhadap pergerakan arus lintas maka didapatkan bahwa:

Fase 1 = Pendekat Utara dan Selatan

Fase 2 = Pendekat Barat dan Timur

4.4.5 Tipe Pendekat

Tipe pendekat pada perencanaan simpang ini merupakan jalan dua arah dengan gerakan belok kanan terbatas sehingga masuk dalam tipe pendekat terlindung (P).

4.4.6 Rasio Kendaraan Berbelok

Idem Formulir SIG-II.

4.4.7 Arus Belok Kanan (RT)

Arus *Right Turn* (RT) tidak diadakan untuk simpang bersinyal 2 fase.

4.4.8 Lebar Efektif (W_E)

Berdasarkan sub bab 2.2.4 H (2) maka lebar efektif untuk tipe terlindung yang digunakan adalah lebar efektif untuk tipe terlindung dengan gerakan belok kiri langsung (LTOR). Berdasarkan ketentuan subab 2.2.4 H (2), jika $W_{LTOR} \geq 2m$ maka W_E dihitung dengan minimal ($W_A - W_{LTOR}$) atau W_{MASUK} . Untuk pendekat tipe P, jika $W_{KELUAR} < W_E (1 - P_{RT})$, maka $W_E = W_{KELUAR}$

$W_{LTOR} = \text{idem Formulir SIG-I} = 2,90 \text{ m}$

$W_{KELUAR} = \text{idem Formulir SIG-I} = 2,90 \text{ m}$

$W_A = \text{idem Formulir SIG-I} = 5,80$

$W_{E \text{ min}} = W_A - W_{LTOR} = 5,8 - 2,9 = 2,90 \text{ m atau}$

$W_{E \text{ min}} = W_{MASUK} = 2,90 \text{ m}$

Periksa:

$W_{KELUAR} < W_E (1 - P_{RT}) \rightarrow W_E = W_{KELUAR}$

$2,90 < (2,90 \times (1 - 0,07))$

$2,90 < 2,69 \rightarrow W_E = 2,90 \text{ m}$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.9 Arus Jenuh

A. Nilai Arus Jenuh Dasar (S_0)

Berdasarkan subab 2.2.4 I (1) nilai dasar untuk tipe pendekat terlindung

$S_0 (U) = 600 * W_E = 600 * 2,90 \text{ m} = 1740 \text{ smp/jam hijau}$

B. Faktor Penyesuaian

1. Semua Tipe Pendekat

a. Ukuran Kota (F_{CS})

Berdasarkan data ukuran kota pada Formulir SIG-I, kota Malang memiliki penduduk < 1 juta penduduk maka dari Tabel 4. didapatkan nilai $F_{CS} = 0,82$.

b. Hambatan Samping (F_{SF})

Nilai hambatan samping didapatkan dari Tabel 5. yang di-interpolasi untuk memperoleh nilai hambatan samping sesuai data rasio kendaraan tak bermotor dan tipe lingkungan jalan pada Formulir SIG-I dan II. Penentuan F_{SF} sebagai berikut:

Pendekat Utara:

$$P_{UM} = \text{idem Formulir SIG-II} = 0,0172$$

Tipe Lingkungan Jalan = Komersial

Hambatan Samping = Sedang

Tipe Fase = Terlindung (P), maka:

$$P_{UM} = 0,00 \rightarrow F_{SF} = 0,94$$

$$P_{UM} = 0,0172 \approx 0,2 \rightarrow F_{SF} = x$$

$$P_{UM} = 0,05 \rightarrow F_{SF} = 0,92$$

$$x = 0,92 - \left[\left(\frac{0,05-0,02}{0,05-0} \right) (0,92 - 0,94) \right] = 0,93$$

c. Kelandaian (F_G)

Berdasarkan Formulir SIG-I, kelandaian tiap pendekat = 12%, maka dari grafik pada Gambar 11. didapatkan $F_G = 1,01$.

d. Parkir (F_P) Nilai F_P menggunakan nilai maksimal yang ada pada grafik yaitu $F_P = 1$

2. Hanya Tipe P

a. Belok Kanan (F_{RT})

$$P_{RT} = \text{idem Formulir SIG-II} = 0,05$$

$$F_{RT} = 1,0 + (P_{RT} * 0,26) = 1,0 + (0,05 * 0,26) = 1,012$$

b. Belok Kiri (F_{LT})

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} * 0,26 = 1,0 - 0,09 * 0,26 = 0,986$$

Dimana P_{RT} dan P_{LT} didapat dari Formulir SIG – II

C. Nilai Disesuaikan

$$S_O = \text{idem subbab 4.4.9 (A)} = 1740 \text{ smp/jam Hijau}$$

$$F_{CS} = \text{idem subbab 4.4.9 (B.1.a)} = 0,82$$

$$F_{SF} = \text{idem subbab 4.4.9 (B.1.b)} = 0,93$$

$$F_G = \text{idem subbab 4.4.9 (B.1.c)} = 1,01$$

$$F_P = \text{idem subbab 4.4.9 (B.1.d)} = 1$$

$$F_{RT} = \text{tidak digunakan}$$

$$F_{LT} = \text{idem subbab 4.4.9 (B.2.b)} = 0,986$$

$$S = S_O * F_{CS} * F_{SF} * F_G * F_P * F_{RT} * F_{LT} = 1740 * 0,82 * 0,93 * 1,01 * 1 * 0,986 = 1321$$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.10 Arus Lalu Lintas (Q)

Arus lalu lintas pada tiap pendekat disesuaikan dengan fase dan distribusi arus lalu lintas tiap pendekat pada subbab 4.4.1.

Arus Kendaraan Bermotor ST = idem SIG II = 263

Arus Kendaraan Bermotor LTOR = idem SIG II = 27

Arus Kendaraan Bermotor = idem SIG II = tidak digunakan

Pendekat Utara (Fase 1) = $263 + 27 = 290$ smp/jam

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.11 Rasio Arus ($FR = F_{CRIT}$)

Q = idem subbab 4.4.10 = 290 smp/jam

S = idem subbab 4.4.9 (C) = 1321 smp/jam Hijau

FR = $Q / S = 290 / 1321 = 0,219$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.12 Rasio Fase (PR)

F_{CRIT} = idem subbab 4.4.11 = 0,219

$I_{FR} = \Sigma (F_{CRIT}) = 0,234 + 0,278 + 0,235 + 0,253 = 0,937$

PR = $F_{CRIT} / I_{FR} = 0,219 / 0,937 = 0,234$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.13 Waktu Hijau (g)

Cua = idem subbab 4.4.17 = 270,477 dtk

LTI = idem Formulir SIG III = 8 dtk

PR = idem subbab 4.4.12 = 0,234

gi = $(Cua - LTI) * PR = (270,477 - 8) * 0,234 = 58$ dtk

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.14 Kapasitas Persimpangan (C)

S = idem subbab 4.4.9 (C) = 1321 smp/jam Hijau

g = idem subbab 4.4.13 = 58 dtk

c = idem subbab 4.4.18 = 134 dtk

C = $S * (g / c) = 1321 * (58 / 134) = 568$ smp/jam

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.15 Waktu Hilang (LTI)

Idem Formulir SIG-III

4.4.16 Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation*–DS)

Q = idem subbab 4.4.10 = 290 smp/jam

C = idem subbab 4.4.14 = 568 smp/jam

$$DS = Q / C = 290 / 568 = 0,51$$

Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV.

4.4.17 Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian (Cua)

LTI = idem Formulir SIG-III = 8 dtk

IFR = idem subbab 4.4.12 = 0,937

$$\text{Cua} = (1,5 * \text{LTI} + 5) / (1 - \text{IFR}) = (1,5 * 8 + 5) / (1 - 0,937) = 270,477 \text{ dtk}$$

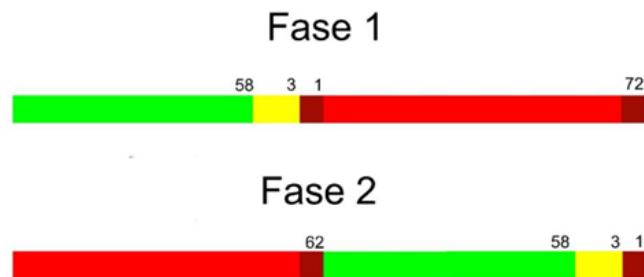
Hasil perhitungan selanjutnya sebagaimana yang tercantum pada Formulir SIG-IV

4.4.18 Waktu Siklus Sesudah Penyesuaian (c)

$$\Sigma_g = \text{idem subbab 4.4.13} = 58 + 68 = 126 \text{ dtk}$$

LTI = idem Formulir SIG-III = 8 dtk

$$c = \Sigma g + \text{LTI} = 126 + 8 = 134 \text{ dtk}$$



Gambar 21. Diagram Waktu Siklus

Tabel 17. Formulir SIG – IV

SIMPANG BERSINIAL

Formular SIG-IV

PENENTUAN WAKTU SINYAL

KAPASITAS

Distribusi arus lalu lintas (smp/jam)

Fase 1

Fase 2

Kode Pendekat

Hijau dalam fase no.

Tipe pendekat

Rasio kendaraan berbelok

PLTRPLRPR

QRTQRT0

Arah dari

Arah lawan

Arus RT (smp/jam)

Lebar efektif (m)

Arus jenuh (smp/jam hijau)

Faktor-faktor penyesuaian

Semua tipe pendekat

Hanya tipe P

Nilai dasar smp/jam hijau

Nilai disesuaikan smp/jam hijau

Arus lalu lintas smp/jam

Rasio Arus (FR)

Rasio fase (PR)

Waktu hijau (det)

Kapasitas smp/jam (C)

Derajat kejenuhan (DS)

U1P0.09-0.052.917400.820.931.0111.0120.98613212900.2190.234585680.51

B2P0.426-0.294.0524300.820.941.0111.0760.93217634590.2610.278689000.51

S1P0.28-0.083.4520700.820.941.0111.020.95615403390.2200.235586640.51

T2P0.1350.093.5521300.820.961.0111.0220.97816573930.2370.253627700.51

<

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perencanaan maka dapat disimpulkan:

1. Kinerja simpang bersinyal 2 fase layak diaplikasikan jika ditinjau berdasarkan nilai $DS < 0,75$ yang menunjukkan tidak adanya potensi kemacetan, tetapi jika ditinjau berdasarkan nilai waktu siklus yang memiliki nilai lebih besar dari yang dianjurkan untuk 2 Fase sehingga akan berdampak pada peningkatan durasi tundaan.
2. Perencanaan simpang bersinyal 2 fase memperoleh waktu siklus = 134 dtk dengan pengaturan fase 1 = 58 dtk waktu hijau dan fase 2 = 68 dtk waktu hijau.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan di lapangan dan hasil analisis adapun saran yang dapat diterapkan untuk meningkatkan tingkat kelayakan jalan, yaitu perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengatasi persoalan waktu siklus yang nilainya lebih besar dari yang disarankan, serta dampak yang diberikan terhadap kinerja persimpangan bersinyal dengan mempertimbangkan garis henti kendaraan yang dibuat sebelum struktur jembatan pada pendekat Barat.

DAFTAR REFERENSI

- Aditiya, R. (2019). Kajian Banjir Di Wilayah Ketintang Surabaya . Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi V, 157-162.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) 'Mkji 1997', departemen pekerjaan umum, 'Manual Kapasitas Jalan Indonesia', pp. 1–573.
- Google Maps (2023) Persimpangan Bondowoso-Retawu.
- Kurniawan, D.B.P. (2018) 'Perencanaan Simpang Bersinyal Di Jl. Raya Berbek–Jl. Wadung Asri–Jl. Gedong Masjid, Kab. Sidoarjo'. Available at: <https://repository.its.ac.id/55148/>.
- PM Perhubungan No. 96 (2015) 'Lampiran II Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas'.
- Rahmaniar, F.Y. et al. (2023) 'Perencanaan Simpang Bersinyal Pada Jalan Panglima Sudirman – Jalan Gatot Subroto Kota Malang', 4, pp. 230–233.
- Ratnaningsih, D. et al. (2013) 'Analisis Kinerja Simpang Ciliwung', 10(2), pp.127–131.
- Sraun, D., Rumayar, A.L.E. and Jefferson, L. (2018) 'Analisa Kinerja Lalu Lintas Persimpangan Lengan Tiga Bersinyal Di Manado (Studi Kasus: Persimpangan Jalan R. E. Martadinata)', Jurnal Sipil Statik, 6(7), pp. 481–490.
- Syukri, A. (2012) 'Studi Volume Lalu Lintas di Jalan Raya Narogong Cileungsi, Kabupaten Bogor, Periode Agustus 2011', Widya, 29(321), pp. 17–21.
- Widjajanti, E., Gustini, D. and Ifani, S. (2020) 'Perencanaan simpang bersinyal pada simpang gandul depok .', X(1), pp. 9–16.
- Yustiawinata, N., Subagyo, U. and Poerwanto, J.A. (2021) 'Perencanaan Simpang Bersinyal Jalan Cokroaminoto – Jalan Pattimura – Jalan Trunojoyo Kota Malang', 2, pp. 14–19.