

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE MKJI 1997, PKJI 2014 DAN
PROGRAM SIDRA (STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT
PERBATASAN MAKASSAR – GOWA)**

***ANALYSYS OF SIGNALING INTERSECTION PERFORMACE
USING MKJI 1997, PKJI 2014, AND SIDRA SOFTWARE
(CASE STUDY: CROSS ROAD INTERSECTION AT
MAKASSAR-GOWA OUTSKIRT)***

**MUHAMMAD REIZAL HAFIDZ CAHYADI
D011 18 1315**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE MKJI 1997, PKJI 2014 DAN PROGRAM SIDRA
(STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT PERBATASAN MAKASSAR – GOWA)**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD REIZAL HAFIDZ CAHYADI

D011 18 1315

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 08 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



Prof. Ir. Sakti Adli Adisasmita, MSi, M.Eng.Sc, Ph.D

NIP: 196404221993031001

Pembimbing II,

Dr.Eng. Muralia Hustim, ST, MT

NIP: 197204242000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Reizal Hafidz Cahyadi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Menggunakan Metode MKJI 1997, PKJI 2014 Dan Program SIDRA (Studi Kasus: Simpang Empat Perbatasan Makassar – Gowa)**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 14 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Reizal Hafidz Cahyadi
D011181315

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini saya susun guna memenuhi salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan studi program Strata I Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga tercinta, Bapak **Marno, S.ST.** dan Ibu **Rohmini** atas segala doa dan dukungan selama perkuliahan hingga pelaksanaan ujian.
2. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T. M.Eng.** Sebagai Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MSi, M.Eng.Sc, Ph.D** sebagai Pembimbing I dan Ibu **Dr.Eng. Muralia Hustim, ST, MT** sebagai Pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan.
5. Ibu **Ir. Hajriyanti Yatmar, ST., M.Eng.** dan Kak **Muhammad Ikhsan Sabil, ST.** yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
6. Para dosen serta staf Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Teman-teman Sekat Kiri: **Bloe Al Rasyid, Milania, Berlianus Arwam, Bagaswara Marsidi, Ebuq, Arya Prasetio, Wayang Prasetio, Aditya Nugraha** yang senantiasa membantu dan menghibur selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman Lantang Squad : **Otto, Berli, Samuel, Andre, Nandi, Kaleb** yang senantiasa membantu dan menghibur selama masa perkuliahan.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2018 (TRANSISI 2019) yang telah memberikan semangat, dukungan doa, dan membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

10. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak sempat disebutkan satu persatu namanya. Semoga Tuhan membalas budi baik dengan amalan yang setimpal. Saya menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu saya menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Gowa, 10 Maret 2023

Penyusun

ABSTRAK

Dengan semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk di Kabupaten Gowa dan Makassar, maka berbagai fasilitas sarana dan prasarana yang salah satunya dalam bidang transportasi juga harus mampu terus melayani kebutuhan masyarakat secara maksimal. Perencanaan transportasi yang baik sangat dibutuhkan untuk masalah-masalah yang muncul akibat pertumbuhan penduduk.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kinerja dari sebuah persimpangan, yang dimana merupakan salah satu tempat yang sering mengalami konflik lalu lintas.

Penelitian ini menggunakan MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA sebagai metode analisis untuk mengetahui kinerja pada salah satu persimpangan jalan pada perbatasan Kota Makassar dan Kabupaten Gowa. Hasil dari analisis kinerja dengan menggunakan program SIDRA akan dibandingkan dengan MKJI 1997, dan PKJI 2014 untuk mengetahui apakah program SIDRA dapat digunakan untuk menganalisis persimpangan yang berada di Indonesia.

Kata Kunci : Analisis Kinerja, Jaringan Jalan, SIDRA *Intersection*, Makassar, Gowa

ABSTRACT

With the increasing population growth in Gowa and Makassar Regencies, various facilities and infrastructure, one of which is in the field of transportation, must also be able to continue to serve the needs of the community to the fullest. Good transportation planning is needed for the problems that arise due to population growth.

The purpose of this study is to analyze the performance of an intersection, which is a place that often experiences traffic conflicts.

This study uses MKJI 1997, PKJI 2014 and SIDRA as an analytical method to determine performance at one of the crossroads on the border of Makassar City and Gowa Regency. The results of the performance analysis using the SIDRA program will be compared with MKJI 1997 and PKJI 2014 to find out whether the SIDRA program can be used to analyze intersections in Indonesia.

Keywords: *Performance Analysis, Road Network, SIDRA Intersection, Makassar, Gowa*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Batasan Masalah.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Jalan.....	10
A.1 Klasifikasi Jalan	11
A.2 Komponen Jalan	11
B. Persimpangan	12
B.1 Jenis-Jenis Persimpangan	14
B.2 Pola Pergerakan dan Konflik Lalu Lintas pada Simpang.....	19
B.3 Alternatif Perencanaan Manajemen Lalu Lintas.....	22
C. Analisa Kinerja Simpang Bersinyal.....	24
C.1 Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).....	25
C.2 Arus dan Komposisi Lalu Lintas.....	26
C.3 Pengaturan Fase Sinyal.....	28
C.4 Arus Jenuh Dasar.....	29
C.5 Faktor Penyesuaian.....	30

C.6	Nilai Arus Jenuh	34
C.7	Perbandingan Arus Lalu Lintas dengan Arus Jenuh (FR).....	35
C.8	Waktu Siklus dan Waktu Hijau.....	37
C.9	Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Simpang	39
C.10	Perilaku Lalu Lintas	40
C.11	Tingkat Pelayanan.....	45
D.	Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)	46
D.1.	Kinerja Simpang	47
D.2.	Kapasitas Simpang.....	47
D.3.	Derajat Kejenuhan.....	55
D.4.	Panjang Antrian	56
D.5.	Rasio Kendaraan Terhenti.....	59
D.6.	Tundaan	61
D.7.	Tingkat Pelayanan (<i>Level of Service</i> /LOS) Simpang.....	63
E.	Signalized Intersection Design and Research Aid (SIDRA).....	64
E.1.	Rumus-rumus yang Digunakan dalam Analisis Sidra.....	66
E.2.	Data-data Input SIDRA yang Dibutuhkan	72
E.3.	Data-data Output SIDRA	72
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	74
A.	Kerangka Kerja Penelitian	74
B.	Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian.....	74
B.1	Lokasi Penelitian	74
B.2	Waktu Penelitian.....	77
C.	Metode Pengumpulan Data.....	78
C.1	Jenis – Jenis Survei.....	78
C.2	Peralatan Survei	79
C.3	Analisa Data	81
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	87
A.	Karakteristik Lalu Lintas Simpang Bersinyal.....	87
A.1	Geometrik Persimpangan	87
A.2	Fase Siklus Lapangan	89
A.3	Waktu Siklus Lapangan.....	91

A.4	Panjang Antrian Lapangan	93
A.5	Volume Lalu Lintas	93
B.	Analisis Kinerja Persimpangan dengan Metode MKJI 1997 dan PKJI 2014	100
B.1	Kapasitas dan Derajat Kejenuhan	100
B.2	Panjang Antrian	107
B.3	Angka Henti	110
B.4	Tundaan	110
B.5	Tingkat Pelayanan (<i>Level of Services</i>)	112
C.	Analisa Kinerja Persimpangan dengan Program SIDRA	112
C.1	Penyesuaian SIDRA pada Kondisi Lapangan	113
C.2	Kapasitas dan Derajat Kejenuhan	114
C.3	Panjang Antrian	116
C.4	Angka Henti	119
C.5	Tundaan dan Tingkat Pelayanan	120
D.	Perbedaan Hasil Analisis Kinerja Persimpangan pada Metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan Program SIDRA	123
D.1.	Perbedaan MKJI 1997, PKJI 2014 dan Program SIDRA	123
D.2.	Kapasitas	126
D.3.	Derajat Kejenuhan	127
D.4.	Panjang Antrian	128
D.5.	Tundaan	129
D.6.	Tingkat Pelayanan (<i>Level of Services</i>)	130
D.7.	Perbedaan Kinerja Simpang metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA Intersection Keseluruhan	131
E.	Uji Signifikansi SIDRA terhadap MKJI dan PKJI	134
E.1.	Derajat Kejenuhan	134
E.2.	Panjang Antrian	135
E.3.	Tundaan Simpang	136
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	137
A.	Kesimpulan	137
A.1	Volume Lalu Lintas	137

A.2 Tundaan Rata-rata	138
A.3 Tingkat Pelayanan.....	140
B. Saran.....	141
DAFTAR PUSTAKA.....	143
LAMPIRAN.....	145

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Persimpangan Jalan Sebidang	17
Gambar 2. Jenis Persimpangan Jalan Tak Sebidang	18
Gambar 3. Arus Memisah	20
Gambar 4. Arus Menggabung	20
Gambar 5. Arus Menyilang	21
Gambar 6. Titik Konflik Pada Persimpangan	22
Gambar 7. Contoh Siklus Persimpangan Empat Lengan Prioritas Belok Kanan	23
Gambar 8. Prinsip <i>Rerouting</i> pada Jaringan Jalan	23
Gambar 9. Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian (F_g)	32
Gambar 10. Faktor Koreksi Parkir (F_p)	32
Gambar 11. Faktor Koreksi Belok Kanan (F_{RT})	33
Gambar 12. Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{LT})	34
Gambar 13. Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian	37
Gambar 14. Perhitungan jumlah antrian (NQ_{max}) dalam smp	42
Gambar 15. Faktor Penyesuaian Untuk Kelandaian (FG)	50
Gambar 16. Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir (FP)	51
Gambar 17. Faktor penyesuaian untuk belok kanan (FBKa), pada pendekat tipe P dengan jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk	52
Gambar 18. Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (FBKi) untuk pendekat tipe P, tanpa BKiJT dan Le ditentukan oleh LM	53
Gambar 19. Jumlah kendaraan yang antri (skr) dan tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1)	57
Gambar 20. Jumlah Kendaraan yang Datang Kemudian Antri Pada Fase Merah (NQ_2)	58
Gambar 21. Jumlah Antrian Maksimum (NQ_{MAX}) Dalam skr , Sesuai Dengan Peluang Dalam Beban Yang Lebih (POL) dan NQ	59
Gambar 22. Penentuan Rasio Kendaraan Terhenti, RKH	61

Gambar 23. Lokasi Penelitian	74
Gambar 24. Lokasi penelitian beserta arah pergerakan lalu lintas	75
Gambar 25. Diagram alir penelitian	76
Gambar 26. Diagram alir analisis PKJI 2014	84
Gambar 27. Diagram alir analisis MKJI 1997	85
Gambar 28. Diagram alir mikro-simulasi SIDRA <i>Intersection</i>	86
Gambar 29. Gambar dan nama pendekat persimpangan	91
Gambar 30. Panjang antrian pada jam sibuk hari libur menggunakan MKJI 1997	108
Gambar 31. Panjang antrian pada jam sibuk hari kerja menggunakan MKJI 1997	108
Gambar 32. Panjang antrian pada jam sibuk hari libur menggunakan PKJI 2014	109
Gambar 33. Panjang antrian pada jam sibuk hari kerja menggunakan PKJI 2014	109
Gambar 34. Lajur pada SIDRA sesudah penyesuaian	113
Gambar 35. Informasi kapasitas dan derajat kejenuhan persimpangan pada hari libur	114
Gambar 36. Informasi kapasitas dan derajat kejenuhan persimpangan pada hari kerja	115
Gambar 37. Informasi visual derajat kejenuhan persimpangan hari libur	115
Gambar 38. Informasi visual derajat kejenuhan persimpangan hari kerja	116
Gambar 39. Informasi Panjang antrian persimpangan pada hari libur ...	117
Gambar 40. Informasi Panjang antrian persimpangan pada hari kerja ..	117
Gambar 41. Panjang antrian kendaraan tiap pendekat simpang pada jam sibuk hari libur.....	118
Gambar 42. Panjang antrian kendaraan tiap pendekat simpang pada jam sibuk hari kerja.....	118

Gambar 43. Informasi angka henti persimpangan pada jam sibuk hari libur	119
Gambar 44. Informasi angka henti persimpangan pada jam sibuk hari kerja	119
Gambar 45. Informasi tundaan persimpangan pada jam sibuk hari libur	120
Gambar 46. Informasi tundaan persimpangan pada jam sibuk hari kerja	120
Gambar 47. Informasi visual nilai tundaan rata-rata persimpangan hari libur	121
Gambar 48. Informasi visual nilai tundaan rata-rata persimpangan hari kerja	122
Gambar 49. Perbandingan Kapasitas pada hari libur metode MKJI 1997, PKJI 2014	126
Gambar 50. Perbandingan Kapasitas pada hari kerja metode MKJI 1997, PKJI 2014	126
Gambar 51. Grafik Perbandingan derajat kejenuhan pada hari libur metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	127
Gambar 52. Grafik perbandingan derajat kejenuhan pada hari kerja metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	128
Gambar 53. Perbandingan Panjang antrian rata-rata pada hari libur metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	128
Gambar 54. Perbandingan Panjang antrian rata-rata pada hari kerja metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	129
Gambar 55. Perbandingan tundaan rata-rata pada hari libur metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	129
Gambar 56. Perbandingan tundaan rata-rata pada hari kerja metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA	130

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Ekuivalen Kendaraan penumpang (emp).....	27
Tabel 2. Faktor Koreksi Ukuran Kota (Fcs).....	30
Tabel 3. Faktor Koreksi Hambatan Samping (F _{sf}).....	31
Tabel 4. Waktu Siklus yang Disarankan untuk Keadaan yang Berbeda ..	38
Tabel 5. Tingkat Pelayanan simpang bersinyal berdasarkan HCM 2000.	45
Tabel 6. Tingkat Pelayanan simpang bersinyal berdasarkan MKJI 1997.	45
Tabel 7. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FUK).....	49
Tabel 8. Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan simpang, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor (FHS).....	50
Tabel 9. Waktu Siklus Yang Layak	55
Tabel 10. Indeks Tingkat Pelayanan Simpang.....	63
Tabel 11. Tingkat Pelayanan Berdasarkan Keterlambatan.....	68
Tabel 12. Peralatan Survei	80
Tabel 13. Kondisi Geometrik Simpang.....	87
Tabel 14. Urutan fase dan arah pergerakan lalu lintas persimpangan.....	89
Tabel 15. Lama waktu sinyal lalu lintas.....	91
Tabel 16. Panjang antrian lapangan	93
Tabel 17. Volume Kendaraan Hari Libur.....	95
Tabel 18. Volume Kendaraan Hari Kerja	96
Tabel 19. Arus lalu lintas pada kondisi jam puncak di hari libur (kend/jam)	97
Tabel 20. Arus lalu lintas pada kondisi jam puncak di hari kerja (kend/jam)	98
Tabel 21. Arus lalu lintas pada kondisi jam puncak MKJI1997 (smp/jam)	98
Tabel 22. Arus lalu lintas pada kondisi jam puncak PKJI 2014 (skr/jam) .	99
Tabel 23. Lebar pendekat efektif MKJI 1997 dan PKJI 2014	100
Tabel 24. Arus Jenuh Dasar (S ₀) menggunakan MKJI 1997 dan PKJI 2014	101

Tabel 25. Nilai Penyesuaian Kapasitas Jalan Simpang Bersinyal Perbatasan Gowa-Makassar Hari Libur	101
Tabel 26. Nilai Penyesuaian Kapasitas Jalan Simpang Bersinyal Perbatasan Gowa-Makassar Hari Kerja.....	102
Tabel 27. Nilai Penyesuaian Kapasitas Jalan Simpang Bersinyal Perbatasan Gowa-Makassar Hari Libur	102
Tabel 28. Nilai Penyesuaian Kapasitas Jalan Simpang Bersinyal Perbatasan Gowa-Makassar Hari Kerja.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 29. Rasio Arus dan Rasio Fase menggunakan MKJI 1997 hari libur	103
Tabel 30. Rasio Arus dan Rasio Fase menggunakan MKJI 1997 hari kerja	104
Tabel 31. Rasio Arus dan Rasio Fase menggunakan PKJI 2014 hari libur	105
Tabel 32. Rasio Arus dan Rasio Fase menggunakan PKJI 2014 Hari Kerja	105
Tabel 33. Kapasitas Persimpangan pada Jam Sibuk.....	106
Tabel Tabel 34. Derajat Kejenuhan Persimpangan Jam Sibuk.....	107
Tabel 35. Angka henti pada jam sibuk.....	110
Tabel 36. Data Tundaan Lalu Lintas pada Jam Sibuk Menggunakan MKJI 1997	111
Tabel 37. Data Tundaan Lalu Lintas pada Jam Sibuk Menggunakan PKJI 2014.....	111
Tabel 38. Nilai tingkat pelayanan MKJI 1997 dan PKJI 2014	112
Tabel 39. Jarak Antrian Kendaraan Sebelum dan Sesudah Penyesuaian	114
Tabel 40. Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (emp) untuk MKJI 1997.....	123
Tabel 41. Nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (ekr) untuk PKJI 2014	124
Tabel 42. Nilai <i>Passenger Car Equivalent</i> untuk SIDRA <i>Intersection</i>	124
Tabel 43. Persamaan dan perbedaan antara Sidra, MKJI dan PKJI.....	124

Tabel 44. Perbandingan pelayanan pada hari libur metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA <i>Intersection</i>	130
Tabel 45. Perbandingan pelayanan pada hari kerja metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA <i>Intersection</i>	131
Tabel 46. Perbandingan Metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA pada Hari Libur	132
Tabel 47. Perbandingan Metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan SIDRA pada Hari Kerja.....	132
Tabel 48. Uji Signifikansi Untuk Derajat Kejenuhan.....	134
Tabel 49. Uji Signifikansi Untuk Panjang Antrian.....	135
Tabel 50. Uji Signifikansi Untuk Tundaan	136

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, karena memudahkan manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari, yaitu saling menghubungkan satu daerah ke daerah lainnya. Adanya aktifitas transportasi tersebut dapat meningkatkan nilai penggunaan transportasi yang apabila tidak ditunjang dengan prasarana yang baik maka dapat menimbulkan beberapa permasalahan transportasi (Fitri dkk, 2018).

Persimpangan merupakan salah satu komponen dalam dalam jaringan transportasi di mana dua atau lebih ruas jalan bertemu, di sinilah salah satu tempat terjadinya konflik lalu lintas. Kinerja simpang dapat menjadi faktor utama dalam menentukan solusi yang tepat untuk mengoptimalkan fungsi simpang. Ada beberapa parameter yang dapat digunakan dalam menilai kinerja suatu simpang diantaranya yaitu panjang antrian dan tundaan simpang.

Kabupaten Gowa merupakan salah satu kabupaten di Sulawesi Selatan dengan luas daratan sebesar 1.883,33 km², yang memiliki ibu kota kabupaten di Kelurahan Sungguminasa. Kabupaten Gowa memiliki jumlah penduduk sebanyak 785.836 jiwa, dan memiliki kepadatan penduduk sebesar 410,28 jiwa/ km². Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2010-2020), laju pertumbuhan penduduk Gowa sebesar 1,56 persen per tahun (BPS Kabupaten Gowa). Adapun jumlah kendaraan bermotor yang

tercatat menurut survey di Kabupaten Gowa, pada tahun 2020 yaitu sebanyak 12.154 unit (Samsat Kabupaten Gowa, 2020). Dengan semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk di Kabupaten Gowa, maka berbagai fasilitas sarana dan prasarana yang salah satunya dalam bidang transportasi juga harus mampu terus melayani kebutuhan masyarakat Kabupaten Gowa secara maksimal.

Berkaitan dengan permasalahan yang sedang dikaji terdapat beberapa penelitian terdahulu terkait perbaikan kinerja simpang, dimana dari penelitian tersebut memberikan beberapa solusi di antaranya skenario pengaturan simpang dan perubahan geometric simpang. Menurut M. Zainul Arifin dkk (2017) menyatakan bahwa “Pada simpang yang tidak terkoordinasi dengan baik terdapat dua skenario pengaturan simpang yaitu pengaturan ulang sinyal dan perubahan geometrik simpang dengan teknik trial and error waktu siklus”. Sedangkan Dwiyono dkk (2016) juga mengemukakan bahwa “upaya perbaikan simpang juga dapat dilakukan dengan perubahan geometric pada simpang namun hal tersebut tidak dapat menjamin peluang antrian menjadi lebih baik”.

Untuk dapat menentukan solusi dari permasalahan lalu lintas yang ada diperlukan sebuah usaha untuk memahami sistem lalu lintas yang sedang berjalan. Penelitian ini menggunakan model simulasi dengan perangkat lunak SIDRA Intersection Versi 8 untuk menghitung tundaan

yang kemudian dibandingkan dengan dengan data hasil perhitungan metode MKJI 1997, dan PKJI 2014. Berdasarkan *SIDRA Intersection User Guide*, *SIDRA Intersection* merupakan alat analitik mikro berbasis jalur lanjutan untuk desain dan evaluasi persimpangan individual dan jaringan persimpangan termasuk pemodelan kelas gerakan terpisah (kendaraan ringan, kendaraan berat, bus, sepeda, truk besar, kereta api/ trem, dan sebagainya). *SIDRA Intersection* mampu memperkirakan kapasitas, tingkat layanan dan berbagai ukuran kinerja termasuk penundaan, panjang antrian dan pemberhentian untuk kendaraan dan pejalan kaki, serta konsumsi bahan bakar, emisi polutan, dan biaya operasi.

Hasil dari evaluasi simpang nantinya akan digunakan sebagai pertimbangan dalam membuat rekomendasi sebagai upaya perbaikan kinerja simpang, baik melalui rekayasa maupun manajemen lalu lintas. Kinerja simpang akan menjadi lebih baik dengan dilakukannya manajemen lalu lintas berdasarkan skenario arus yang diterapkan pada kapasitas simpang (Dwijoko dkk, 2016). Penelitian lain yang menerapkan manajemen lalu lintas sebagai solusi dalam perbaikan kinerja simpang telah dilakukan oleh Rama Dwi Aryandi dkk (2017) yang *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil* Vol. 5 No. 1, April 2021 Fatmawati, Ain 26 menyatakan bahwa “salah satu upaya memperbaiki derajat kejenuhan (DS) simpang yang terlampaui adalah dengan melakukan peniadaan hambatan samping, pelarangan belok kiri langsung dan optimalisasi traffic light”.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tugas akhir dengan judul :

“ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE MKJI 1997, PKJI 2014 DAN PROGRAM SIDRA (STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT PERBATASAN MAKASSAR – GOWA)”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan metode MKJI 1997 dan PKJI 2014?
2. Bagaimana kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan menggunakan piranti lunak SIDRA?
3. Bagaimana perbandingan kinerja simpang bersinyal menggunakan MKJI 1997, PKJI 2014 dan piranti lunak SIDRA?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dilakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan metode MKJI 1997 dan PKJI 2014.
2. Menganalisis kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan menggunakan piranti lunak SIDRA.

3. Membandingkan kinerja simpang bersinyal menggunakan MKJI 1997, PKJI 2014 dan piranti lunak SIDRA.

D. Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, ditetapkan beberapa batasan terhadap tinjauan yang dilakukan agar tidak menyimpang dari tujuan yang akan dicapai. Adapun Batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan pada simpang bersinyal di Kabupaten Gowa yaitu simpang empat bersinyal pada Jalan Sultan Hasanuddin – Jalan Syech Yusuf – Jalan Sultan Alauddin – Jalan Mallengkeri Raya, Kabupaten Gowa.
2. Analisis data menggunakan data primer yaitu berupa data yang diperoleh saat survei volume lalu lintas pada simpang tersebut.
3. Jenis kendaraan yang dianalisis pada penelitian ini yaitu kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor.
4. Survei lalu lintas dilaksanakan pada periode pukul 07.00 – 18.00 WITA.
5. Kinerja simpang bersinyal dianalisis dengan menggunakan metode MKJI 1997, PKJI 2014 dan piranti lunak SIDRA.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diharapkan manfaat yang akan diperoleh sebagai berikut :

1. Mengetahui kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan metode MKJI 1997 dan PKJI 2014.
2. Mengetahui kinerja simpang bersinyal pada simpang empat perbatasan Makassar – Gowa dengan menggunakan piranti lunak SIDRA.
6. Menjadi masukan dan bahan pertimbangan bagi pihak berwenang di Kabupaten Gowa dan Makassar dalam upaya membuat kebijakan yang terkait dengan penelitian ini, guna kedepannya dapat menghasilkan kinerja lalu lintas yang lebih baik pada simpang bersinyal di Kawasan Jalan Sultan Hasanuddin – Jalan Syech Yusuf – Jalan Sultan Alauddin – Jalan Mallengkeri Raya, Kabupaten Gowa.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum, maka penulisan tugas akhir ini dibagi dalam 5 (lima) Bab. Pembagian ini dimaksudkan untuk mempermudah pembahasan serta penelaahannya, dimana uraian yang dimuat dalam penulisan ini dapat dengan mudah dimengerti. Isi setiap bab secara garis besar sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi informasi awal dari penelitian, yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini dijelaskan mengenai dasar teori, rumus, dan segala informasi yang terkait dengan topik yang dibahas. Data-data ini diperoleh dari buku – buku literatur, maupun dari tulisan ilmiah yang mendukung tercapainya tujuan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan langkah-langkah pemecahan masalah yang akan dibahas, meliputi persiapan pengumpulan data, dan teknik pengumpulan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil penelitian dan pengolahan data serta pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi pernyataan-pernyataan singkat mengenai rangkuman keseluruhan bab pada penelitian ini. Pada bagian saran akan ada penjelasan mengenai hal-hal apa saja yang sebaiknya diperbaiki ataupun dikembangkan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jalan

Jalan secara umum adalah sarana berupa ruang sirkulasi yang dibuat untuk mempermudah transportasi melalui jalur darat, yang menghubungkan wilayah satu dengan lainnya, baik barang maupun manusia. Dalam perkembangannya pada zaman dahulu manusia hanya mengenal jalan yang terbuat dari tanah dan hanya bisa dilalui dengan berjalan kaki. Seiring dengan penambahan penduduk, serta kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, jalan mengalami perkembangan sedikit demi sedikit hingga menjadi lebih baik, sehingga memberikan kenyamanan bagi penggunaannya. Jalan pada saat ini telah menggunakan konstruksi perkerasan jalan sebagai penguat.

Menurut UU RI nomor 38 tahun 2004, yang dimaksud dengan jalan adalah prasarana transportasi darat, yang mencakup segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya, yang digunakan untuk lalu lintas umum, berada pada permukaan, di atas, dan atau di bawah tanah maupun air, kecuali jalan kereta api, dan kabel. Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum. Jalan khusus adalah jalan yang dibuat oleh suatu pihak guna kepentingan sendiri.

A.1 Klasifikasi Jalan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 13 Tahun. 1980, (dalam BSN – RSNI T-14-2004), Klasifikasi jalan menurut fungsi dikelompokkan menjadi 3 antara lain:

1. Jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan yang di batasi secara berdaya guna.
2. Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

A.2 Komponen Jalan

Menurut Silvia Sukiman (1999), komponen jalan yang berguna untuk lalu lintas terdiri atas :

1. Jalur lalu lintas

Jalur lalu lintas merupakan keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk lalu lintas kendaraan.

2. Lajur lalu lintas

Lajur lalu lintas yaitu bagian dari jalur lalu lintas yang khusus diperuntukkan untuk dilewati oleh satu rangkaian kendaraan beroda empat atau lebih dalam satu arah.

3. Bahu jalan

Bahu jalan adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang berfungsi sebagai lajur lalu lintas darurat, ruang bebas samping dan penyangga perkerasan terhadap beban lalu lintas.

4. Trotoar

Trotoar adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang khusus digunakan untuk pejalan kaki.

5. Median

Median dibutuhkan pada arus lalu lintas yang tinggi, yang berguna memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan arah. Jadi median adalah jalur yang terletak ditengah jalan untuk membagi jalan dalam masing-masing arah.

B. Persimpangan

persimpangan merupakan satu bagian penting dari jaringan jalan, yang secara umum kapasitas persimpangan dapat dikontrol dengan mengendalikan volume lalu lintas dalam sistem jaringan jalan tersebut. Pada dasarnya persimpangan adalah pertemuan dua atau lebih jaringan jalan, dimana merupakan titik terjadinya konflik lalu lintas, yang bisa berakibat pada terjadinya kemacetan. Karena pada umumnya simpang menjadi tempat sumber kemacetan, oleh karena itu perlu dilakukan pemodelan dan pengaturan pada daerah simpang ini guna mengurangi terjadinya titik konflik lalu lintas dan beberapa permasalahan yang mungkin

timbul di persimpangan. Pengaturan yang terdapat pada simpang ditentukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengurangi atau menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan yang berasal dari berbagai kondisi titik konflik.
2. Menjaga kapasitas simpang agar dalam operasinya dapat dicapai pemanfaatan simpang yang sesuai dengan rencana.
3. Dalam operasi pengaturan simpang harus memberikan petunjuk yang jelas dan pasti, serta mengarahkan arus lalu lintas pada tempatnya yang sesuai.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) pengaturan lalu lintas dalam simpang bersinyal dibedakan menjadi dua (2) jenis yaitu simpang tiga lengan dan simpang empat lengan. Dalam hal ini, simpang jalan merupakan tempat yang sangat rawan terhadap kecelakaan yang disebabkan karena terjadinya konflik antara kendaraan dan kendaraan yang lainnya ataupun antara kendaraan dan pejalan kaki. Oleh karena itu, aspek yang sangat penting dalam hal ini ialah pengendalian lalu lintas.

Menurut Flaherty (1997), pada jalan pedesaan dan perkotaan yang banyak dilalui, konsentrasi kendaraan di suatu persimpangan dapat menjadi sangat penting untuk mengontrol kapasitas jalan maupun jaringan jalan tersebut. Akibatnya, memaksimalkan keselamatan pengguna jalan dan memastikan bahwa kapasitas yang tersedia cukup untuk memenuhi

kebutuhan arus lalu lintas yang beroperasi merupakan dua pertimbangan utama ketika merancang persimpangan.

Simpang merupakan titik temu antara berbagai kepentingan lalu lintas yang mungkin terjadinya kemacetan hingga kecelakaan. Sarana pengaturan lalu lintas yang umum digunakan untuk mengatur lalu lintas di persimpangan jalan adalah lampu lalu lintas yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan pengendara kendaraan yang melewati persimpangan (Suratman Ursilu, 2014).

B.1 Jenis-Jenis Persimpangan

Jenis-jenis persimpangan dapat dibedakan antara lain berdasarkan hal berikut ini :

1) Bentuk bidang persimpangan

Menurut Morlok (1991), persimpangan dapat dibedakan atas dua jenis sebagai berikut :

a) Persimpangan sebidang

Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atauujung jalan masuk persimpangan mengarahkan lalulintas masuk kejalan yang dapat belawanan dengan lalulintas lainnya.

Pada persimpangan sebidang menurut jenis fasilitas pengatur lalulintasnya dipisahkan menjadi 2 (dua) bagian:

1. Simpang bersinyal (signalised intersection) adalah persimpangan jalan yang pergerakan atau arus lalulintas dari setiap pendekatnya diatur oleh lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergilir.
2. Simpang tak bersinyal (unsignalised intersection) adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya.

Persimpangan jalan umumnya merupakan persimpangan sebidang. Pada jenis ini, titik konflik yang ditemukan adalah pada gerakan menerus memotong (crossing). Persimpangan ini dibagi lagi dalam beberapa jenis yaitu:

- Bercabang tiga

Persimpangan ini memiliki bentuk dasar "T" atau "Y", yang pada prinsipnya adalah sama saja, namun yang membedakannya adalah besarnya sudut pertemuan. Bila jumlah arus lalulintas membelok cukup besar, maka keadaan dapat diatasi dengan penambahan jalur. Pemisahan jalur bisa dilakukan dengan pemasangan pulau-pulau jalan yang mempunyai fungsi ganda, yaitu selain memisahkan jalur, juga berfungsi untuk mengurangi luas jalan yang diaspal yang tidak dilalui kendaraan. Selain itu dapat juga dimanfaatkan sebagai tempat penampungan bagi para pejalan

kaki yang sedang menyeberang dan tempat untuk rambu-rambu lalu lintas yang mengatur persimpangan tersebut.

- Bercabang empat

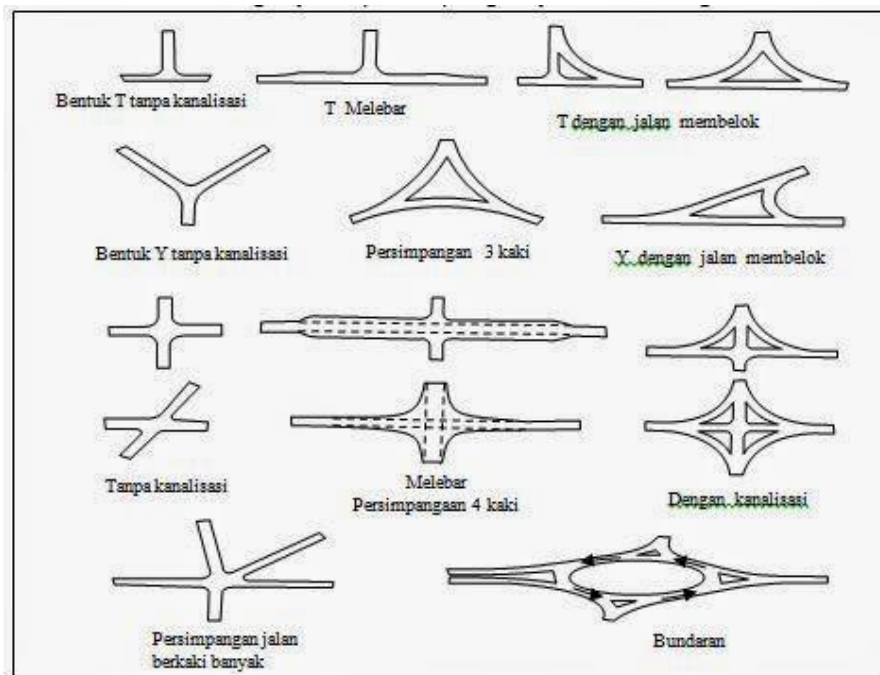
Persimpangan bercabang empat merupakan pertemuan jalan yang paling sederhana. Pada pertemuan bercabang empat dengan penambahan jalur, jalur yang ditambahkan bisa sejajar atau menyempit, tergantung dari besarnya arus lalu lintas yang melewati persimpangan tersebut. Pertemuan dengan pemisah jalur ditentukan dengan membuat pulau-pulau jalan.

- Bercabang banyak

Yang dimaksud dengan persimpangan sebidang bercabang banyak adalah persimpangan yang memiliki cabang lebih dari empat. Dalam pertemuan bercabang banyak ini sebaiknya dihindari karena semuanya bertemu pada satu tempat, kecuali arus lalu lintasnya sangat kecil sehingga tidak terjadi kemacetan lalu lintas.

- Bundaran

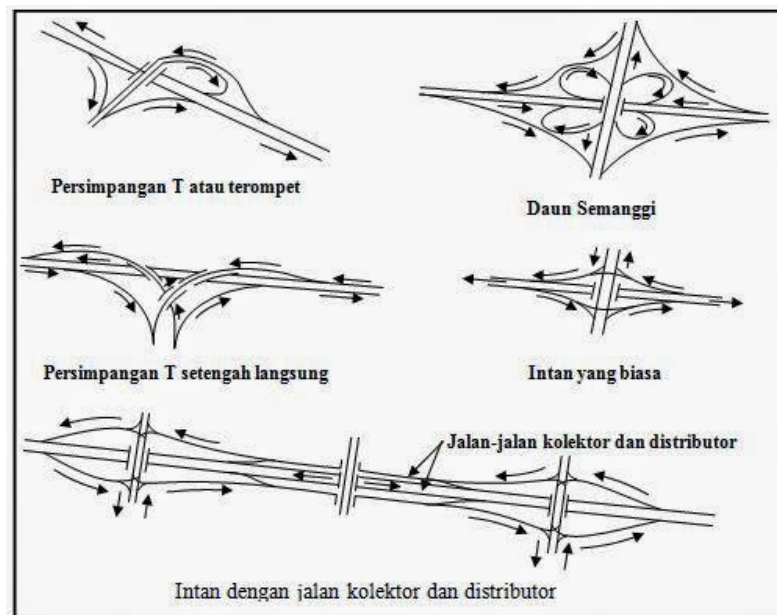
Sistem pertemuan dengan bundaran pada persimpangan adalah dengan menempatkan pulau jalan pada pusat pertemuan beberapa cabang, sehingga cabang-cabang tersebut tidak bertemu langsung. Adapun jenis-jenis persimpangan jalan sebidang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Persimpangan Jalan Sebidang

b) Persimpangan Tak Sebidang

Persimpangan tidak sebidang adalah suatu bentuk khusus dari pertemuan jalan dan bisa merupakan suatu penyelesaian yang baik untuk suatu persoalan pertemuan sebidang. Berbeda dengan persimpangan sebidang, maka pada persimpangan ini dimana dua ruas jalan atau lebih saling bertemu tidak dalam satu bidang tetapi salah satu ruas berada diatas atau dibawah ruas jalan yang lain.



Gambar 2. Jenis Persimpangan Jalan Tak Sebidang

2) Jenis pengendaliannya

Menurut Khisty dan Lall (2005), terdapat paling tidak enam cara yang digunakan untuk mengontrol lalu-lintas di persimpangan, bergantung pada jenis persimpangan dan volume lalu-lintas pada tiap aliran kendaraan.

- a) Rambu berhenti, harus ditempatkan pada persimpangan dengan kondisi jalan minor relative kurang penting terhadap jalan utama, persimpangan antara jalan-jalan luar kota dan jalan perkotaan dengan jalan raya.
- b) Rambu pengendalian kecepatan, ditempatkan pada suatu hak jalan jalan minor di titik masuk menuju suatu persimpangan ketika perlu memberikan ke jalan utama, namun di mana kondisi berhenti tidak diperlukan setiap saat.
- c) Kanalisasi, merupakan proses memisahkan atau mengatur arus kendaraan yang saling konflik ke dalam rute-rute jalan yang jelas

dengan menempatkan beton pemisah atau rambu perkerasan untuk menciptakan pergerakan yang aman dan teratur bagi kendaraan dan pejalan kaki.

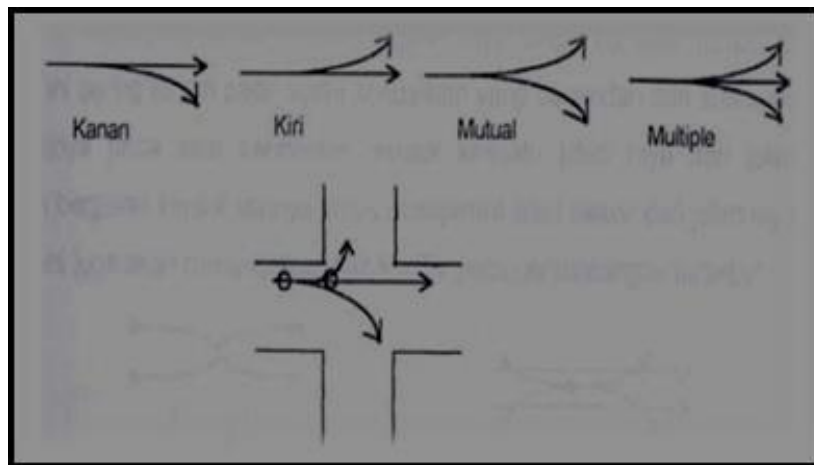
- d) Bundaran merupakan persimpangan kanalisasi yang terdiri dari sebuah lingkaran pusat yang dikelilingi oleh jalan satu arah.
- e) Persimpangan tanpa rambu adalah simpang yang tidak dilengkapi peralatan pengatur lalu lintas, sehingga pengemudi harus dapat mengamati keadaan agar dapat mengatur kecepatannya.
- f) Peralatan lampu lalu lintas merupakan metode paling efektif untuk mengatur lalu lintas di persimpangan. lampu lalu lintas adalah suatu perangkat elektronik yang mengutamakan satu atau lebih arus kendaraan agar dapat melewati suatu persimpangan dengan aman.

B.2 Pola Pergerakan dan Konflik Lalu Lintas pada Simpang

Menurut Malik Vanidi (2021), pergerakan arus lalu lintas pada simpang juga membentuk suatu pergerakan yang menyebabkan terjadinya konflik lalu lintas dan kecelakaan kendaraan. Pada dasarnya pergerakan dari kendaraan dapat dibagi atas 4 jenis, yaitu:

- a) *Diverging* (memisah)

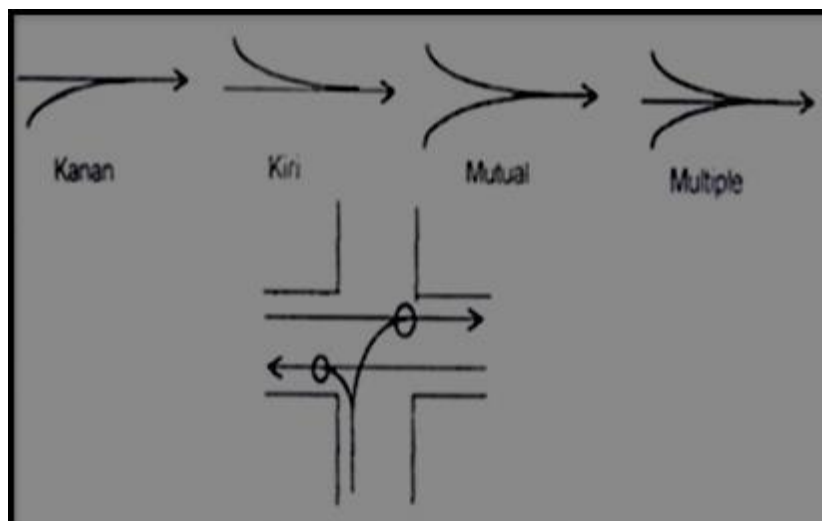
Diverging adalah peristiwa memisahkannya kendaraan dari suatu arus yang sama ke jalur yang lain, seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Arus Memisah

b) *Merging* (menggabung)

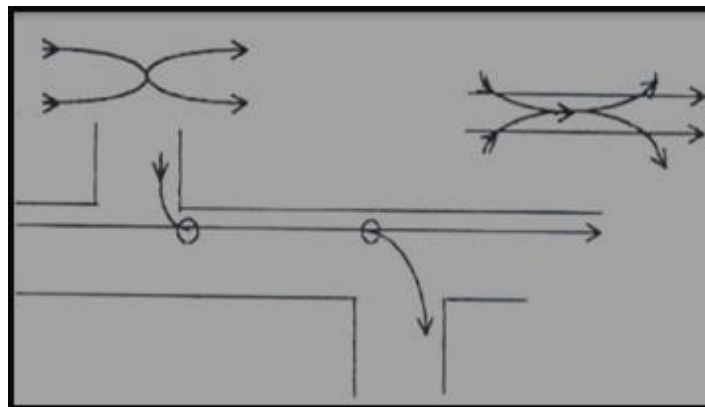
Merging adalah peristiwa menggabungnya kendaraan dari suatu jalur kejalur lainnya, seperti yang terlihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Arus Menggabung

c) *Weaving* (menyilang)

Weaving adalah pertemuan dua arus lalu lintas atau lebih yang berjalan menurut arah yang sama sepanjang suatu lintasan di jalan tanpa bantuan rambu lalu lintas, seperti yang terlihat pada gambar 5.

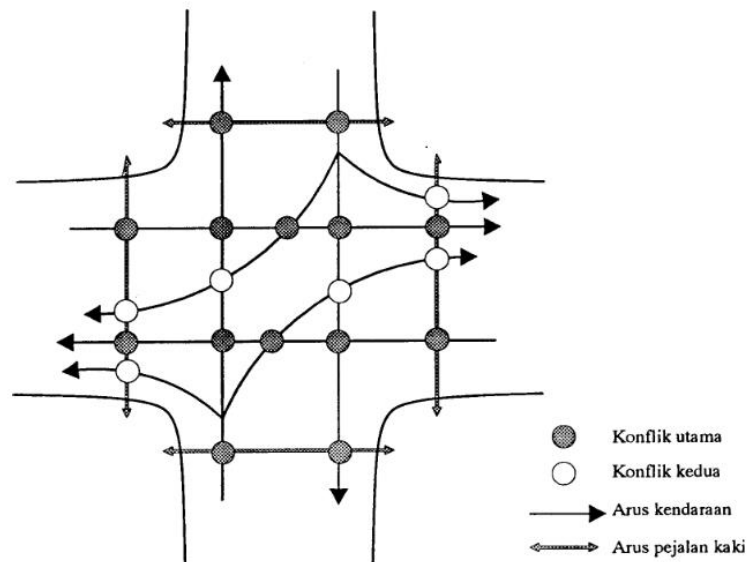


Gambar 5. Arus Menyilang

Konflik lalu lintas di persimpangan merupakan salah satu penyebab terjadinya kemacetan lalu lintas. Konflik terjadi ketika dua atau lebih pengguna jalan membutuhkan ruang jalan yang sama pada waktu yang bersamaan. Menurut Jenderal Bina Marga (1997), berdasarkan sifatnya konflik yang ditimbulkan oleh manuver kendaraan dan keberadaan pejalan kaki dibedakan 2 tipe yaitu :

- a) Konflik primer yaitu konflik yang terjadi antara arus lalu lintas yang saling berpotongan.
- b) Konflik sekunder merupakan konflik yang disebabkan antara gerakan membelok dari lalu-lintas lurus melawan, atau untuk memisahkan gerakan lalu-lintas membelok dari pejalan-kaki yang

menyeberang atau disebut juga konflik kedua., terlihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Titik Konflik Pada Persimpangan

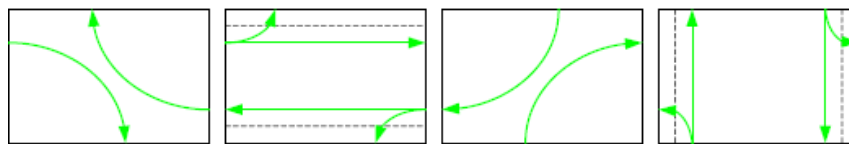
B.3 Alternatif Perencanaan Manajemen Lalu Lintas

Menurut Tarmin (2000), Tujuan utama perencanaan simpang adalah mengurangi konflik antara kendaraan bermotor serta tidak bermotor dan penyediaan fasilitas yang memberikan kemudahan, kenyamanan, dan keselamatan terhadap pemakai jalan yang melalui Simpang. Terdapat beberapa cara untuk mengurangi konflik pergerakan lalu lintas pada suatu Simpang, yaitu :

1) Solusi *time-sharing*

Solusi ini melibatkan pengaturan penggunaan badan jalan untuk masing masing arah pergerakan lalu lintas pada setiap periode tertentu.

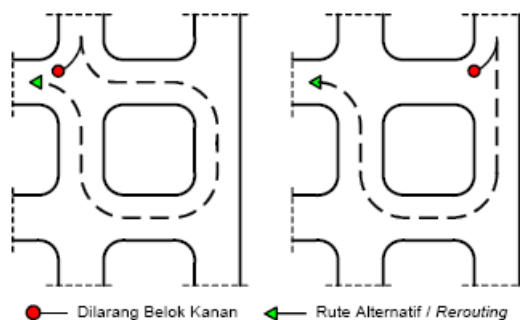
Contohnya adalah pengaturan siklus pergerakan lalu lintas pada Simpang dengan lampu lalu lintas/*signalized intersection* pada gambar 7.



Gambar 7. Contoh Siklus Persimpangan Empat Lengan Prioritas Belok Kanan

2) Solusi *space-sharing*

Prinsip dari solusi jenis ini adalah dengan merubah konflik pergerakan dari crossing menjadi jalinan atau weaving (kombinasi diverging dan merging). Contohnya adalah bundaran lalu lintas (roundabout). Prinsip roundabout ini juga bisa diterapkan pada jaringan jalan yaitu dengan menerapkan larangan belok kanan pada Simpang. Dengan adanya larangan belok kanan di suatu Simpang, maka konflik di Simpang dapat dikurangi. Untuk itu, sistem jaringan jalan harus mampu menampung kebutuhan pengendara yang hendak belok kanan, yakni dengan melewati kendaraan melalui jalan alternatif yang pada akhirnya menuju pada arah yang. Prinsip ini dikenal dengan istilah rerouting.



Gambar 8. Prinsip *Rerouting* pada Jaringan Jalan

C. Analisa Kinerja Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan peraturan sinyal lampu lalu lintas. Lampu lalu lintas adalah peralatan yang dioperasikan secara mekanis, atau elektrik untuk memerintahkan kendaraan-kendaraan agar berhenti atau berjalan. Peralatan standar ini terdiri dari sebuah tiang, dan kepala lampu dengan tiga lampu yang warnanya beda (merah, kuning, hijau).

Berdasarkan MKJI (1997), tujuan dari pemasangan sinyal lampu lalu lintas pada persimpangan antara lain:

- 1) Menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas yang berlawanan, sehingga kapasitas persimpangan dapat dipertahankan selama keadaan lalu lintas puncak.
- 2) Menurunkan tingkat frekuensi resiko terjadinya kecelakaan.
- 3) Mempermudah menyeberangi jalan utama bagi kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan minor.

Pengaturan simpang dengan sinyal lalu lintas termasuk yang paling efektif, terutama untuk volume lalu lintas pada kaki simpang yang relatif tinggi. Pengaturan ini dapat mengurangi atau menghilangkan titik konflik pada simpang dengan memisahkan pergerakan arus lalu lintas pada waktu yang berbeda (Alamsyah, 2005).

Kinerja suatu persimpangan dapat dilihat dari beberapa parameter pada persimpangan. Salah satu parameter ini adalah waktu tundaan per

mobil yang dialami oleh arus yang melalui simpang. Tundaan terdiri atas tundaan Geometri (*geometric delay*) dan tundaan lalu lintas (*traffic delay*). Parameter persimpangan yang lain adalah angka henti dan rasio kendaraan terhenti pada suatu sinyal. Nilai angka henti merupakan jumlah berhenti kendaraan rata-rata akibat adanya hambatan samping, juga termasuk kendaraan berhenti berulang-ulang dalam suatu antrian. antrian. Sedangkan rasio kendaraan yang terhenti menggambarkan rasio dari arus lalu lintas yang terpaksa terhenti sebelum mencapai garis henti.

Sinyal persimpangan biasanya memberi waktu untuk pergerakan dengan membagi pergerakan ke dalam beberapa fase, biasanya antara dua atau empat fase. Dalam menganalisis fase-fase ini dibutuhkan definisi dari terminology yang digunakan untuk melihat fase-fase persimpangan. Fase sinyal dapat diintegrasikan pembelokan kanan yang terlindungi, yang fungsinya adalah untuk melindungi mobil yang berbelok dari pergerakan mobil lurus yang berlawanan. Dengan adanya fase khusus untuk belok, pergerakan belok dapat menjadi lancar dibandingkan pembelokan yang dibolehkan tetapi tidak terlindungi.

Dalam penelitian ini digunakan metode analisis dalam menganalisis simpang bersinyal, yakni:

C.1 Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)

Simpang memiliki peranan penting untuk menyalurkan pergerakan lalu lintas dari berbagai pertemuan arus pergerakan. Fungsi utamasimpang adalah mengalirkan dan mendistribusikan kendaraan yang lewat pada

simpang sehingga mengurangi potensi konflik dan konsentrasi arus (breakdown). Pada simpang bersinyal, arus kendaraan yang memasuki persimpangan diatur secara bergantian untuk mendapatkan prioritas dengan berjalan terlebih dahulu yang dikendalikan oleh lampu lalu lintas. Sejuahini, pedoman perencanaan dan pengoperasian simpang berdasarkan manual lalu lintas dari negara maju, kemudian diadopsi dengan mengkalibrasi beberapa faktor penyesuaian kondisi lokal. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) adalah manual yang menjadi pedoman perancangan, desain dan pengoperasian simpang bersinyal di Indonesia.

Secara teori MKJI (1997) mengadopsi konsep manual dari Amerika Serikat HCM (1985). Model Analisa yang digunakan pada HCM (1985) didasarkan pada kondisi aliran lalu lintas seragam (*homogenous traffic*) dan didominasi oleh tipe kendaraan mobil penumpang, serta aliran lalu lintas mengikuti konsep iring-iringan kendaraan per lajur (*lane based*) (Muntazar, et al. 2017).

C.2 Arus dan Komposisi Lalu Lintas

Menurut Suratman Ursilu (2014), dalam metode MKJI 1997, nilai arus lalu lintas (Q) merupakan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan arus dalam satuan mobil penumpang (smp). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp) yang diturunkan secara

empiris untuk tipe kendaraan seperti, kendaraan ringan (LV) (termasuk mobil penumpang, minibus, pik-up), kendaraan berat (HV) (termasuk truk dan bus), sepeda motor dan juga termasuk bentor (MC). Sedangkan pengaruh kendaraan tak bermotor (UM). Ekuivalensi mobil penumpang (emp) sendiri adalah sebuah faktor koreksi yang dapat mengkonversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya. Dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Nilai Ekuivalen Kendaraan penumpang (emp)

Jenis Kendaraan	Emp untuk pendekat:	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Nilai pada tabel digunakan untuk menghitung perbandingan belok kiri (PLT) dan perbandingan belok kanan (PRT) dengan penjabaran rumus sebagai berikut:

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

Dimana:

P_{LT} : Rasio kendaraan belok kiri

Q_{LT} : Arus lalu lintas belok kiri

Q_{Total} : Arus lalu lintas total

$$P_R = \frac{R_T \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (2)$$

Dimana:

P_{RT} : Rasio kendaraan belok kanan

Q_{RT} : Arus lalu lintas belok kanan

Q_{Total} : Arus lalu lintas total

Sedangkan untuk menentukan rasio kendaraan tak bermotor dihitung dengan membagi arus kendaraan tak bermotor (Q_{UM}) dengan arus kendaraan bermotor (Q_{UV}), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{UV}} \quad (3)$$

Dimana:

P_{UM} : Rasio kendaraan tak bermotor

Q_{UM} : Arus kendaraan tak bermotor

Q_{UV} : Arus kendaraan bermotor

C.3 Pengaturan Fase Sinyal

Pada persimpangan yang menggunakan lampu lalu lintas, beberapa aliran lalu lintas dimungkinkan untuk mendapatkan hak jalan bersamaan, sementara aliran lainnya dihentikan. Fase adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau yang disediakan dengan kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas. Penerapan fase sinyal di bagi menjadi arus terlindung dan terlawan. Arus terlawan adalah arus lalu lintas belok kanan atau arus lalu lintas belok kanan dan kiri lawan arah dari satu kaki berada pada fase yang sama. Sedangkan arus terlindung adalah arus belok kanan yang

dipisahkan fasenya dengan arus lurus atau arus belok kanan tidak diperbolehkan. (MKJI, 1997).

Desain fase lampu lalu lintas menentukan urutan berbagai fase yang saling mengikuti satu sama lain. Siklus lampu lalu lintas merupakan bagian dari urutan tersebut. Perlu diperhatikan bahwa keselamatan dan kualitas pelayanan merupakan faktor terpenting dalam desain lampu lalulintas (Khisty, 2003).

C.4 Arus Jenuh Dasar

Menurut MKJI (1997), arus jenuh dasar merupakan besarnya keberangkatan antrian di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau). tipe pendekat dibedakan menjadi 2 (dua) tipe yaitu sebagai berikut ini:

- 1) Tipe berlawanan (O = opposed), apabila pada arus berangkat terjadi konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan.
- 2) Tipe terlindung (P = protected), apabila pada arus berangkat tidak terjadi konflik dengan lalu lintas dan arah yang berlawanan.

Pada arus berangkat terlindung atau tipe pendekat P, arus jenuh dasar dirumuskan sebagai berikut:

$$S_0 = 600 \times We \quad (4)$$

Dimana:

S_0 : Arus jenuh dasar

W_e : Lebar efektif pendekat

C.5 Faktor Penyesuaian

Menurut MKJI (1997), faktor penyesuaian untuk nilai arus jenuh dasar yang digunakan pada kedua tipe pendekat terlindung (P) dan Berlawanan (0) yaitu sebagai berikut:

1) Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{cs})

Besarnya jumlah penduduk suatu kota akan mempengaruhi karakteristik perilaku pengguna jalan dan jumlah kendaraan yang ada. Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{cs}) ditentukan sesuai tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{cs})

Ukuran Kota (C_s)	Penduduk Kota (juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
Sangat kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1 - 0,5	0,83
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1
Sangat besar	>3,0	1,05

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

2) Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (FSF)

Faktor penyesuaian hambatan samping ditentukan dengan

Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{SF})

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0	0,05	0,1	0,15	0,2	$\geq 0,25$
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,7
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,8	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,9	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,9	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,91	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,92	0,9	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,8	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (RA)	Terlawan	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	
	Terlindung	1	0,98	0,95	0,93	0,9	0,88	

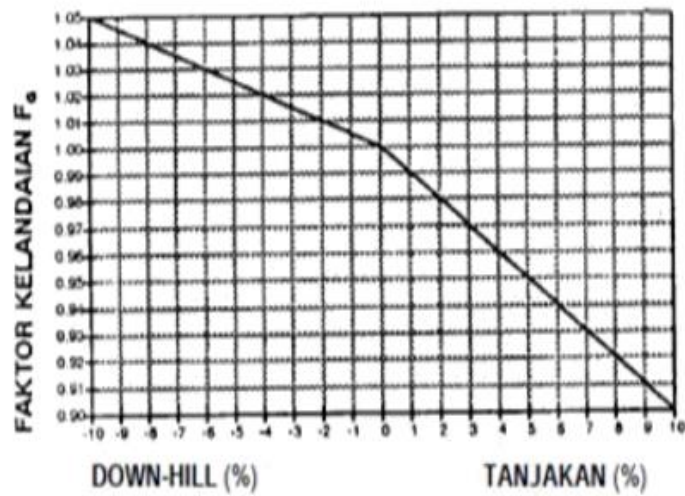
Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI, 1997)

3) Faktor Penyesuaian Kelandaian (FG)

Faktor penyesuaian kelandaian (FG) didapat dari grafik.

Untuk kelandaian 0% aktor penyesuaian kelandaian (FG) adalah 1.

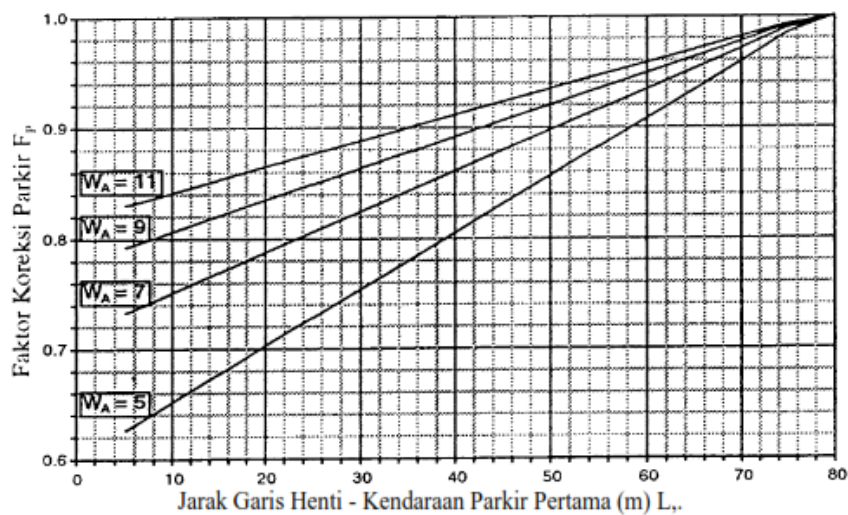
Factor penyesuaian kelandaian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian (F_g)

4) Faktor Penyesuaian Parkir (FP)

Faktor penyesuaian parkir diperoleh dari grafik sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. Faktor penyesuaian parkir (FP) dapat di lihat pada Gambar.



Gambar 10. Faktor Koreksi Parkir (F_p)

5) Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT})

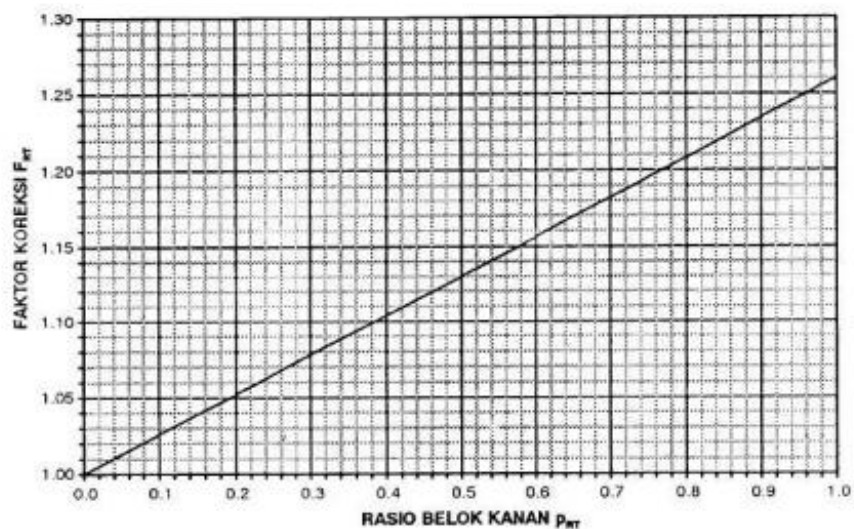
Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) hanya berlaku untuk pendekat tipe P, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kanan juga bisa didapat dengan menggunakan rumus:

$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \quad (5)$$

Dimana:

F_{RT} : faktor penyesuaian belok kanan,

P_{RT} : rasio belok kanan.



Gambar 11. Faktor Koreksi Belok Kanan (F_{RT})

6) Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Faktor penyesuaian belok kiri hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar

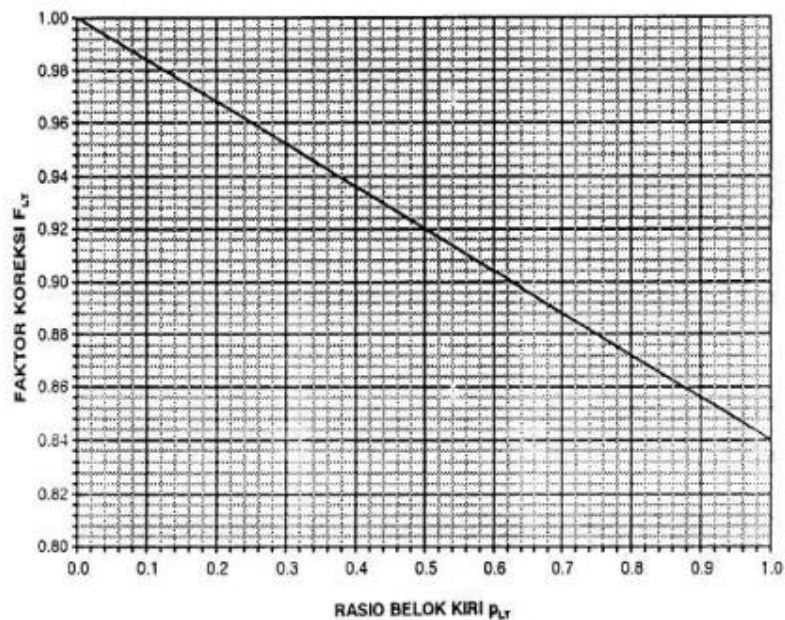
masuk. Faktor penyesuaian belok kiri dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} \times 0,16 \quad (6)$$

Keterangan:

F_{LT} : faktor penyesuaian belok kiri,

P_{LT} : rasio belok kiri.



Gambar 12. Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{LT})

C.6 Nilai Arus Jenuh

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), nilai arus jenuh dikatakan sebagai arus jenuh pada saat berada pada keadaan lalu lintas standar. Nilai arus jenuh adalah nilai hasil dari perkalian arus jenuh dasar (S_0) dengan faktor penyesuaian pada kondisi sebenarnya. Nilai arus jenuh (S) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{FS} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ smp/jam} \quad (7)$$

Keterangan:

- S : Arus jenuh untuk kelompok lajur yang dianalisis, dalam kendaraan perjam waktu hijau (smp/jam)
- S_0 : Arus jenuh dasar untuk setiap pendekatan (smp/jam).
- F_{CS} : Faktor penyesuaian ukuran kota dengan jumlah penduduk.
- F_{SF} : Faktor penyesuaian hambatan samping sebagai fungsi dari jenis lingkungan.
- F_G : Faktor penyesuaian kelandaian jalan.
- F_P : Faktor penyesuaian terhadap parkir.
- F_{RT} : Faktor penyesuaian belok kanan (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P, jalan dua arah).
- F_{LT} : Faktor penyesuaian belok kiri (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P, tanpa belok kiri langsung).

C.7 Perbandingan Arus Lalu Lintas dengan Arus Jenuh (FR)

Menurut MKJI (1997), rasio arus jenuh merupakan perbandingan antara arus lalu lintas dengan arus jenuh kendaraan. Rumus rasio arus jenuh dapat dilihat pada Persamaan berikut:

$$FR = \frac{Q}{S} \quad (8)$$

Keterangan:

FR : Rasio arus jenuh

Q : arus lalu lintas (smp/jam)

S : arus jenis kendaraan (smp/jam)

Menurut MKJI (1997), rasio arus simpang yaitu jumlah total dari semua arus kritis untuk semua fase sinyal yang berurutan dalam suatu siklus. Cara hitung rasio arus simpang dapat dilihat seperti Persamaan berikut.

$$IFR = \sum(FR_{crit}) \quad (9)$$

Keterangan:

IFR : Rasio arus simpang

FR_{crit} : Rasio arus jenuh kritis

Menurut MKJI (1997), rasio fase merupakan perbandingan antara rasio arus jenuh kritis dengan rasio arus simpang. Perhitungan rasio fase (PR) dapat lihat pada Persamaan berikut.

$$PR = \frac{FR_{crit}}{IFR} \quad (10)$$

Keterangan :

IFR : Perbandingan arus simpang $\sum(FR_{crit})$

PR : Rasio arus

FRcrit : Nilai FR tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada suatu fase sinyal.

C.8 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Panjang waktu siklus pada pengendalian waktu tetap dipengaruhi oleh volume lalu lintas dan berpengaruh terhadap tundaan rata-rata. Perhitungan waktu siklus sebelum penyesuaian dapat dilihat pada Persamaan atau bisa didapatkan melalui Gambar 13 berikut.

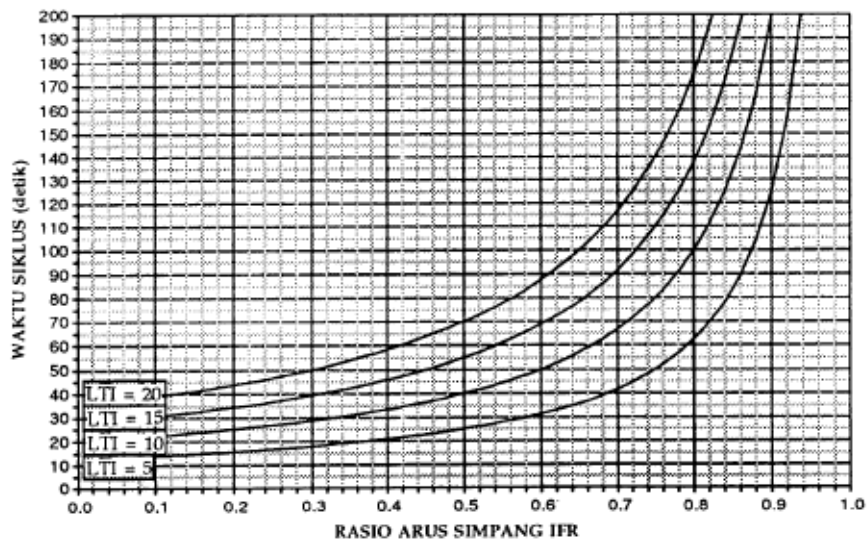
$$Cua = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - IFR)} \quad (11)$$

Keterangan:

cua : waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)

LTI : waktu hilang total persiklus (det)

IFR : rasio arus simpang (*FRcrit*)



Gambar 13. Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Tabel dibawah memberikan waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda.

Tabel 4. Waktu Siklus yang Disarankan untuk Keadaan yang Berbeda

Time pengaturan	Waktu siklus yang layak (det)
Pengaturan dua - fase	40 - 80
Pengaturan tiga - fase	50 - 100
Pengaturan empat - fase	80 - 130

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI, 1997)

Waktu hijau harus disesuaikan pada tiap fase, waktu hijau yang memiliki durasi lebih pendek dari 10 detik harus dihindari, karena hal ini dapat mengakibatkan meningkatnya pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki yang akan menyebrang jalan. Waktu hijau dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \quad (12)$$

Keterangan:

- g_i : Tampilan waktu hijau pada fase i (det)
- C_{ua} : Waktu siklus sebelum penyesuaian (det)
- LTI : Waktu hilang total per siklus (det)
- PR_i : Rasio fase FR crit / \sum FR crit

C.9 Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Simpang

Kapasitas simpang merupakan kemampuan simpang dalam menampung arus lalu lintas maksimum persatuan waktu yang dinyatakan dengan smp/jam hijau. Kapasitas simpang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$C = S x \frac{g}{c} \quad (13)$$

Keterangan :

- C : Kapasitas (smp/jam)
- S : Arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp per-jam hijau)
- g : Waktu hijau (det).
- c : Waktu siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap (yaitu antara dua awal hijau yang berurutan pada fase yang sama)

Derajat Kejenuhan (DS) merupakan rasio arus lalu lintas (Q) terhadap kapasitas (C) yang biasanya dihitung per jam. Derajat kejenuhan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{Q \times c}{S \times g} \quad (14)$$

Keterangan :

- Q : Arus lalu lintas (smp/jam)
- C : Kapasitas (smp/jam hijau)
- S : Arus jenuh (smp/waktu hijau efektif)

- g : Waktu hijau (detik)
 c : Panjang siklus (detik)

C.10 Perilaku Lalu Lintas

Perilaku lalu lintas simpang ditentukan oleh panjang antrian, banyak/jumlah kendaraan terhenti dan tundaan.

1) Panjang Antrian (QL)

Jumlah rata-rata antrian pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ2). Berikut ini merupakan persamaan yang dapat dihitung untuk mendapatkan nilai panjang antrian:

- Untuk derajat kejenuhan (DS) > 0.5:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left\{ (DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right\} \quad (15)$$

Keterangan :

NQ1 : Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS : Derajat kejenuhan

C : Kapasitas (smp/jam)

- Untuk DS < 0,5 ; NQ1 = 0

Jumlah antrian selama fase merah (NQ2)

$$NQ_2 = C \frac{1 - GR}{1 - GR \cdot DS} \times \frac{Q_{masuk}}{3600} \quad (16)$$

Keterangan :

NQ2 : Jumlah smp yang datang ada fase merah

GR : Rasio hijau

C : Waktu siklus (detik)

Q masuk : Arus lalu lintas yang masuk diluar LTOR (smp/jam)

Jumlah kendaraan antri menjadi:

$$NQ = NQ1 + NQ2 \quad (17)$$

Panjang antrean (QL) didapatkan dari perkalian jumlah antrean maksimal (NQMAX) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m²) selanjutnya dibagi dengan lebar masuk (W masuk). Untuk memperoleh nilai NQ MAX bisa dilakukan dengan cara menyesuaikan nilai NQ menggunakan grafik pada gambar. dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih POL (%) untuk perancangan dan perencanaan yang disarankan adalah $POL \leq 5\%$, sedangkan untuk operasional disarankan menggunakan POL 5-10%. Dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan berikut ini.

$$QL = NQ_{max} \times \frac{20}{w_{masuk}} \quad (18)$$

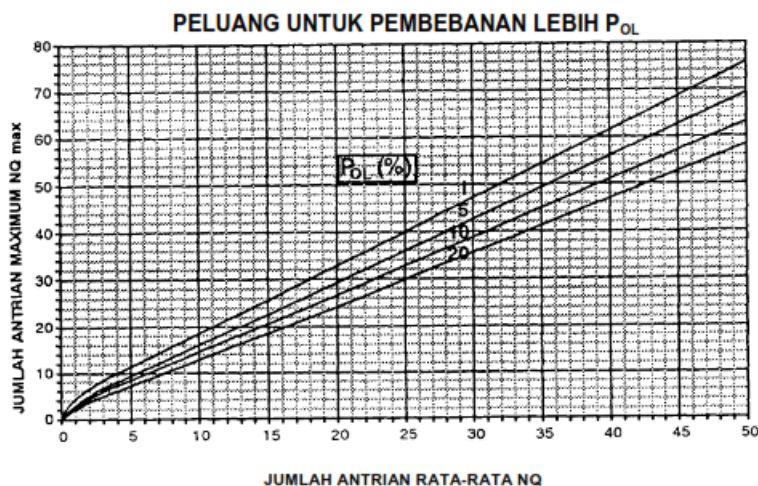
Keterangan :

QL : Panjang antrean

NQ MAX : Jumlah antrean maksimum

W masuk : Lebar masuk

Berikut ini adalah grafik perhitungan jumlah antrean (NQmax) dalam smp dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Perhitungan jumlah antrian (NQmax) dalam smp

2) Kendaraan Terhenti (NS)

Jumlah kendaraan terhenti ialah jumlah kendaraan dari arus lalu lintas yang terpaksa berhenti sebelum melewati garis henti akibat pengendalian sinyal. Angka henti sebagai jumlah rata-rata per smp untuk perancangan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \quad (19)$$

Keterangan :

NS : Angka henti

NQ : Jumlah rata – rata antrian smp pada awal sinyal hijau

Q : Arus lalu lintas (smp/jam)

C : Waktu siklus (detik)

Jumlah kendaraan terhenti NSV masing-masing pendekat dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$N_{SV} = Q \times NS \text{ (smp / jam)} \quad (20)$$

Keterangan :

N_{SV} : Jumlah kendaraan terhenti

Q : Arus lalulintas (smp/jam)

NS : Angka henti

Angka henti seluruh simpang dengan cara membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam.

$$N_{Stot} = \frac{\sum N_{sv}}{Q_{total}} \quad (21)$$

Keterangan :

NS total : Angka henti total seluruh simpang

$\sum NSV$: Jumlah kendaraan terhenti

Q_{total} : Arus lalu lintas (smp/jam)

3) Tundaan

Tundaan lalulintas rata-rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang.

$$DT = c \times A \times \frac{NQ1 \times 3600}{c} \quad (22)$$

Keterangan:

DT : Tundaan lalulintas rata-rata (det/smp)

c : Waktu siklus yang disesuaikan (det)

GR : Rasio hijau (g/c)

DS : Derajat kejenuhan

NQ1 : Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C : Kapasitas (smp/jam)

A : $\frac{0,5 \times (1-GR)^2}{1-GR \times DS}$

Tundaan geometrik rata-rata masing-masing pendekat (DG) akibat perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang dan/ atau ketika dihentikan oleh lampu merah.

$$DG_j = (1 - P_{sv}) \times PT \times 6 + (P_{sv} \times 4) \quad (23)$$

Keterangan:

DG_j : tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j
(det/smp)

P_{sv} : rasio kendaraan terhenti pada pendekat

PT : rasio kendaraan berbelok

Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D1) diperoleh dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total (Q_{tot}) dalam smp/jam.

$$D1 = \frac{\sum(Q \times D_j)}{Q_{total}} \quad (24)$$

C.11 Tingkat Pelayanan

Hasil tingkat pelayanan (*level of service*) adalah pembulatan dari hasil tundaan rata-rata dengan menggunakan nilai tundaan rata-rata (*delay Average*) sebagai acuan dari tingkat pelayanan (Akbar, 2017).

Tabel 5. Tingkat Pelayanan simpang bersinyal berdasarkan HCM 2000

Tingkat Pelayanan	Waktu tunda rerata (detik/smp)
A	< 10
B	> 10 - 20
C	> 20 - 35
D	> 35 - 55
E	> 55 - 80
F	> 80

Sumber: HCM, 2000

Sedangkan menurut pedoman MKJI 1997 di Indonesia, tingkat pelayanan pada persimpangan di jelaskan pada tabel berikut:

Tabel 6. Tingkat Pelayanan simpang bersinyal berdasarkan MKJI 1997

Tingkat pelayanan	Tundaan (detik/kend)	Load Factor
A	≤ 5,0	0,0
B	5,1 - 15,0	≤ 0,1
C	15,1 - 25,0	≤ 0,3
D	25,1 - 40,0	≤ 0,7
E	40,1 - 60,0	≤ 1,0
F	> 60	NA

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

D. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)

Pedoman ini disusun dalam upaya memutakhirkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI'97) yang telah digunakan lebih dari 12 tahun sejak diterbitkan. Pemutakhiran ini, pada umumnya terfokus pada nilai-nilai ekivalen satuan mobil penumpang (emp) atau ekivalen kendaraan ringan (ekr), kapasitas dasar (C0), dan cara penulisan. Nilai ekr mengecil sebagai akibat dari meningkatnya proporsi sepeda motor dalam arus lalu lintas yang juga mempengaruhi nilai C0. Pedoman ini dapat dipakai untuk menganalisis Simpang APILL untuk desain Simpang APILL yang baru, peningkatan Simpang APILL yang sudah lama dioperasikan, dan evaluasi kinerja lalu lintas Simpang APILL.

Beberapa pertimbangan yang disimpulkan dari pendapat dan masukan para pakar rekayasa lalu lintas dan transportasi, serta workshop permasalahan MKJI'97 pada tahun 2009 yaitu, sejak MKJI'97 diterbitkan sampai saat ini, banyak perubahan dalam kondisi perlalulintasan dan jalan, diantaranya adalah populasi kendaraan, komposisi kendaraan, teknologi kendaraan, panjang jalan, dan regulasi tentang lalu lintas, sehingga perlu dikaji dampaknya terhadap kapasitas jalan. Selain itu, MKJI'97 telah menjadi acuan baik dalam penyelenggaraan jalan maupun dalam penyelenggaraan lalu lintas dan angkutan jalan sehingga perlu untuk secara periodic dimutakhirkan dan ditingkatkan akurasinya.

D.1. Kinerja Simpang

Kinerja simpang merupakan ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional fasilitas simpang atau suatu tingkat pencapaian simpang yang harus dicari pada kondisi tertentu. Menurut Hidayat et al., (2020) kinerja simpang dapat dilihat dengan tingkat kapasitas jalan dari masing-masing pendekat pada simpang yang ditinjau. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2014) pada simpang APILL 3 lengan dan simpang APILL 4 lengan yang berada pada wilayah perkotaan dan semi perkotaan untuk perencanaan dan evaluasi kinerja lalu lintas simpang APILL dengan ketentuan perhitungan kapasitas simpang APILL meliputi Kapasitas (C), penetapan waktu isyarat, dan kinerja lalu lintas yang diukur oleh Derajat Kejenuhan (D_J), Tundaan (T), Panjang Antrian (PA), serta Rasio Kendaraan Berhenti (R_{KH}). Prosedur analisis kinerja simpang bersinyal menurut PKJI 2014 yang harus diperhatikan terkait dengan ketentuan-ketentuan teknis yang digunakan untuk menganalisis penelitian, sebagai berikut :

D.2. Kapasitas Simpang

Berdasarkan PKJI 2104 tentang Kapasitas Simpang APILL, Kapasitas jalan adalah kemampuan ruas jalan untuk menampung arus atau volume lalu lintas yang ideal dalam satuan waktu tertentu, dinyatakan dalam jumlah kendaraan yang melewati potongan jalan tertentu dalam satu jam (kend/jam). Kapasitas Jalan yang terlalu minim tidak sebanding dengan volume kendaraan yang ada, sehingga hal tersebut menyebabkan

meningkatnya Derajat Kejenuhan, Panjang Antrian, dan Tundaan (Zaki, 2020). Menurut Budiman & Intari, (2016) faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas simpang antara lain yaitu geometric jalan, jenis fase, waktu antar hijau dan waktu siklus. Berdasarkan Kapasitas simpang merupakan kemampuan simpang untuk menampung arus lalu lintas maksimum per satuan waktu dinyatakan dalam skr/jam. Kapasitas pada simpang dihitung pada setiap pendekat ataupun kelompok lajur didalam suatu pendekat. Berikut adalah rumus menghitung Hitung kapasitas masing-masing pendekat.

$$C = S \times \frac{H}{c} \quad (25)$$

Keterangan :

- C = Kapasitas simpang APILL (skr/jam)
- S = Arus jenuh (skr/jam)
- H = Total waktu hijau dalam satu siklus (detik)
- c = Waktu siklus (detik)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2014) Arus jenuh (S, skr/jam) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (S_0) dengan faktor-faktor penyesuaian untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. S_0 adalah S pada keadaan lalu lintas dan geometrik yang ideal, sehingga faktor-faktor penyesuaian untuk S_0 adalah satu. S dirumuskan sebagai berikut :

$$S = S_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (26)$$

Keterangan :

F_{UK} = Faktor penyesuaian ukuran kota

F_{HS} = Faktor penyesuaian hambatan samping

F_G = Faktor penyesuaian untuk kelandaian

F_P = Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir

F_{BK_i} = Faktor penyesuaian untuk belok kiri

F_{BK_a} = Faktor penyesuaian untuk belok kanan

Faktor ukuran kota di tetapkan menjadi lima berdasarkan kriteria populasi penduduk, ditetapkan pada Tabel 2.1.

Tabel 7. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{UK})

Jumlah penduduk kota (Juta jiwa)	Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK})
>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 : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

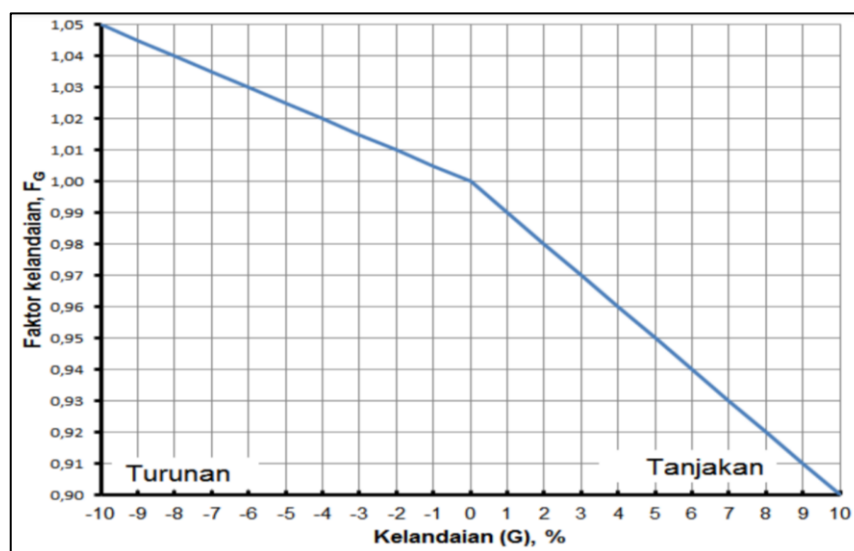
Pengelompokan tipe lingkungan jalan ditetapkan menjadi tiga, yaitu komersial, permukiman dan akses terbatas, yang didasarkan pada penilaian teknis dengan kriteria yang telah diuraikan. Sedangkan pengelompokan hambatan samping ditetapkan menjadi tiga, yaitu tinggi, sedang rendah, dan dengan kriteria yang menunjukkan pengaruh aktivitas simpang terhadap arus lalu lintas yang berangkat dari pendekat.

Tabel 8. Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan simpang, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor (F_{HS})

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas	Tinggi/	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	Sedang/ Rendah	Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

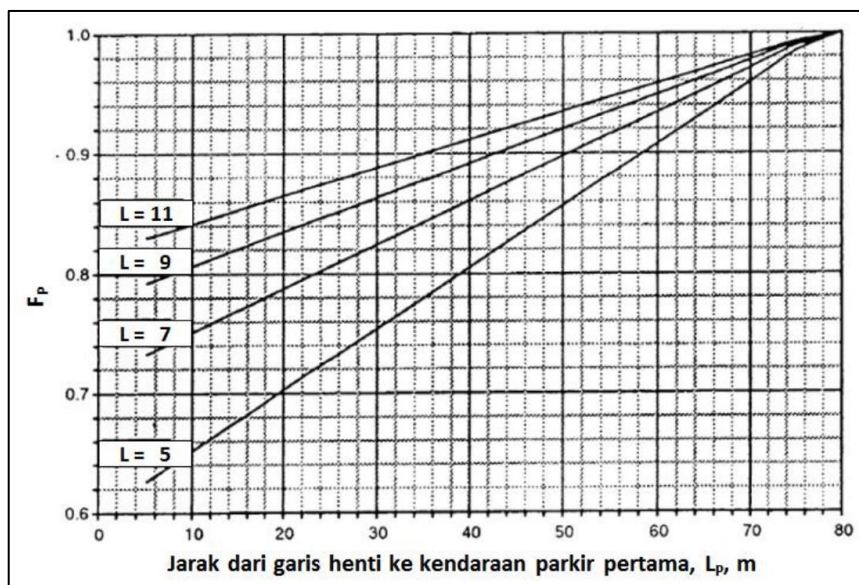
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Faktor dari beda ketinggian tiap pendekatan terhadap simpang dijelaskan pada Gambar 15 sebagai fungsi kerataan samping.



Gambar 15. Faktor Penyesuaian Untuk Kelandaian (F_G)

Faktor penyesuaian parkir adalah efek dari kendaraan yang parkir pada tiap pendekat yang menyebabkan hambatan samping, sehingga mengurangi kecepatan atau arus kendaraan yang terjadi, area tinjauan kurang lebih 80 meter.



Gambar 16. Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir (F_p)

Faktor penyesuaian parkir ditentukan dari Gambar 16, sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai ke kendaraan yang diparkir pertama pada lajur pendekat. Faktor ini berlaku juga untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Faktor ini tidak perlu diaplikasikan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2014). Cara untuk mencari F_p juga dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan rumus berikut :

$$F_p = \frac{\left[\frac{L_p}{3} (L-2) \times \left(\frac{L_p}{3} - g \right) \right]}{H} \quad (27)$$

Keterangan:

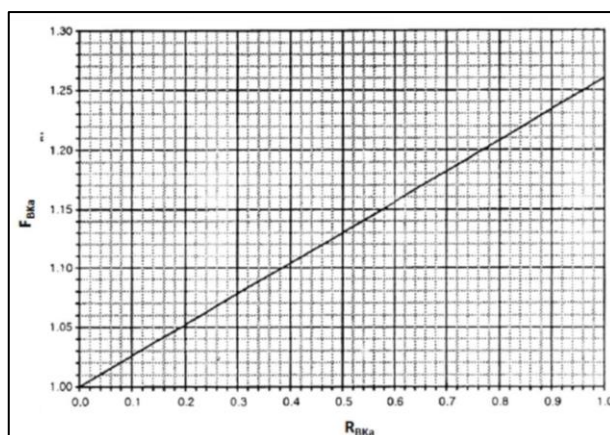
F_p = Jarak yang diukur dari garis henti sampai ke titik awal kendaraan parkir (m).

L = Lebar dari suatu pendekat (m).

H = Durasi lampu hijau pada tiap pendekat.

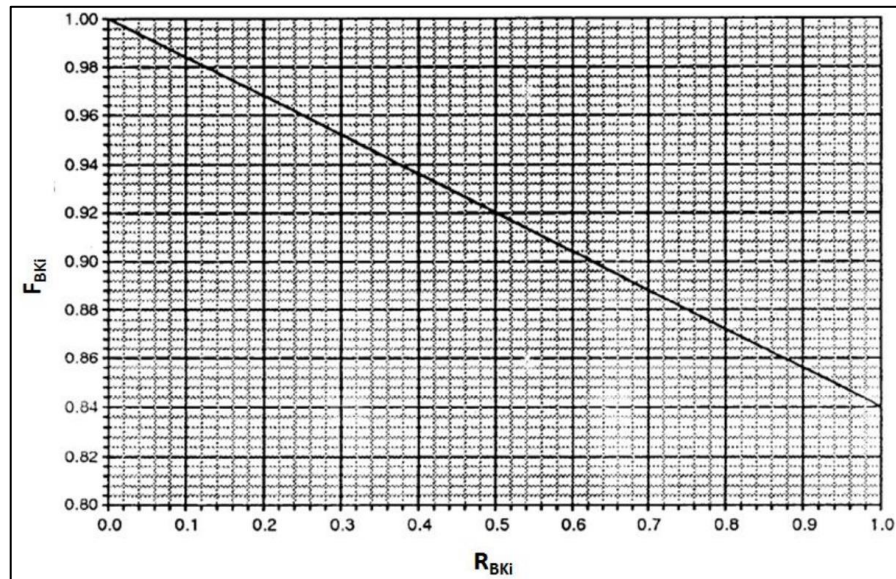
Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa}), ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan R_{BKa} . Untuk Gambar 17. grafik F_{BKa} hanya digunakan pada pendekat tipe P, jalan yang memiliki arah ganda, lebar efektif ditentukan dari besarnya lebar masuk. Sedangkan F_{BKa} untuk pendekat tipe P, tanpa pemisah, memiliki dua arah pada jalannya, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk dapat menggunakan rumus berikut.

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \quad (28)$$



Gambar 17. Faktor penyesuaian untuk belok kanan (F_{BKa}), pada pendekat tipe P dengan jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk

Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BK_i}), dicari agar dapat menghitung rasio nilai dari belok kiri R_{BK_i} . Untuk gambar 18. grafik F_{BK_i} hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.



Gambar 18. Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (F_{BK_i}) untuk pendekat tipe P, tanpa B_{KijT} dan L_e ditentukan oleh L_M

Sedangkan F_{BK_i} untuk pendekat tipe P tanpa B_{KijT} dan lebar efektif yang ditentukan oleh lebar masuk dapat menggunakan rumus berikut.

$$F_{BK_i} = 1 - R_{BK_i} \times 0,16 \quad (29)$$

Arus jenuh (S_0) yaitu kondisi mempengaruhi proses pelepasan arus (*discharge flow*) pada saat sinyal berubah ke warna hijau. PKJI 2014 memberikan model arus jenuh dasar sebagai fungsi efektif lengan simpang, menggunakan rumus berikut :

$$S_0 = 600 \times L_E \quad (30)$$

Dalam menentukan lebar efektif (L_E) dari setiap pendekat, perhitungan dilakukan berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (L), lebar masuk (L_M), lebar keluar (L_K) dan rasio lalu lintas kendaraan berbelok. Jika $L_{BKijT} \geq 2m$, dapat dikatakan kalau kendaraan masih memiliki celah sehingga dapat langsung berbelok meski keadaan sedang lampu merah. Maka untuk mendapatkan nilai L_E , dapat dihitung menggunakan rumus 2.7, dan L_E diambil dari hasil yang paling minimum dari dua rumus tersebut.

$$L_E = (L - L_{BKijT}) \text{ atau } L_M \quad (31)$$

Jika $L_{BKijT} < 2m$, dapat dikatakan kalau kendaraan tidak memiliki celah sehingga dapat langsung berbelok meski keadaan sedang lampu merah. Maka untuk mendapatkan nilai L_E , dapat dihitung menggunakan rumus 2.8, dan L_E diambil dari hasil yang paling minimum dari tiga rumus tersebut.

$$L_E = L$$

$$L_E = (L_M + L_{BKijT}) \quad (32)$$

$$L_E = (L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT})$$

Waktu siklus sebelum penyesuaian dalam PKJI dinotasikan sebagai "c", hal ini dilakukan untuk evaluasi dari kinerja dengan kondisi lapangan.

$$c = (1,5 \times H_H + 5) / (1 - \sum R_{Q/S \text{ Kritis}}) \quad (33)$$

Keterangan :

c = Waktu siklus sebelum adanya alternatif siklus (detik)

H_H = Waktu yang terbuang dari total per siklus (detik)

$\Sigma R_{Q/S \text{ Kritis}}$ = Rasio arus simpang (dari semua fase, diambil nilai $R_{Q/S \text{ Kritis}}$ nya) pada siklus tersebut.

Tabel dibawah merupakan saran yang baik berdasarkan jumlah fase yang ada pada simpang tersebut.

Tabel 9. Waktu Siklus Yang Layak

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

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

D.3. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah perbandingan rasio arus lalu lintas (skr/jam) terhadap kapasitas (skr/jam) dan digunakan sebagai faktor kunci dalam menilai dan menentukan tingkat kinerja suatu segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah simpang tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang dinyatakan dalam satuan sama yaitu skr/jam. Derajat kejenuhan digunakan untuk analisa perilaku lalu lintas. Derajat kejenuhan (D_j) dari masing-masing pendekatan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_j = Q/C \quad (34)$$

Dari perhitungan yang dilakukan dari tiap pendekatan mengenai derajat kejenuhan, apabila pembagian durasi siklus yang terjadi tidak sesuai dan

tidak merata, sehingga derajat kejenuhan (D_j) dari analisis perhitungan hasilnya melebihi 0,85. Hal ini dapat disimpulkan bahwa simpang akan sampai pada kondisi lewat dari batas jenuh, yang akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak. Menurut Prayitno et al., (2019) nilai D_j 0,75-1,00 kinerja lalu lintas dikatakan buruk dan nilai D_j melebihi 1,00 kinerja lalu lintas dikatakan sangat buruk.

D.4. Panjang Antrian

Panjang antrian merupakan jumlah kendaraan yang antri pada suatu pendekat. Dan pendekat adalah daerah suatu lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Menurut Rhapyalyani et al., (2014) salah satu faktor penyebab kemacetan yaitu tingginya nilai panjang antrian pada simpang bersinyal. Setelah dilakukannya perhitungan derajat kejenuhan, selanjutnya hasil digunakan untuk jumlah antrian dalam skr (N_{Q1}) yang masih tersisa dari waktu hijau sebelumnya. Gunakan rumus 2.11 atau Gambar 2.10.

Untuk $D_j > 0,5$:

$$N_{Q1} = 0,25 \times C \times \left[(D_j - 1) + \sqrt{(D_j - 1)^2 + \frac{8 \times (D_j - 0,50)}{c}} \right] \quad (35)$$

Untuk $D_j \leq 0,5$:

$$N_{Q1} = 0$$

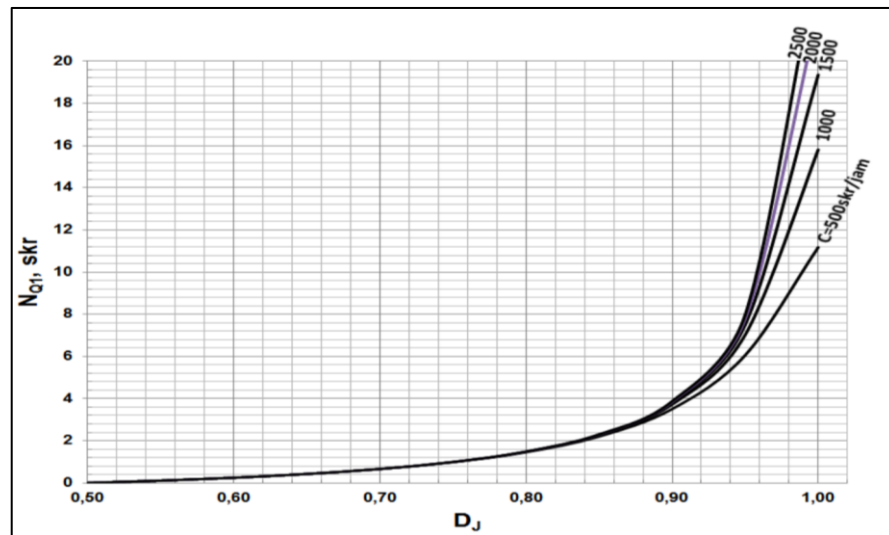
Keterangan :

N_{Q1} = jumlah skr yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

D_j = derajat kejenuhan

R_H = rasio hijau

C = Kapasitas



Gambar 19. Jumlah kendaraan yang antri (skr) dan tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{Q1})

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Untuk mengetahui Rasio Hijau (R_H) dapat menggunakan rumus 36 yaitu dengan cara membagi durasi lampu hijau fase yang ditinjau dengan waktu siklus.

$$R_H = H_i / c \quad (36)$$

Untuk mengetahui jumlah antrian skr yang menumpuk memanjang selama lampu merah (N_{Q2}) dapat menggunakan rumus 27 atau gambar grafik 2.11.

$$N_{Q2} = c \times \frac{(1-R_H)}{1-R_H \times D_j} \times \frac{Q}{3600} \quad (37)$$

Keterangan :

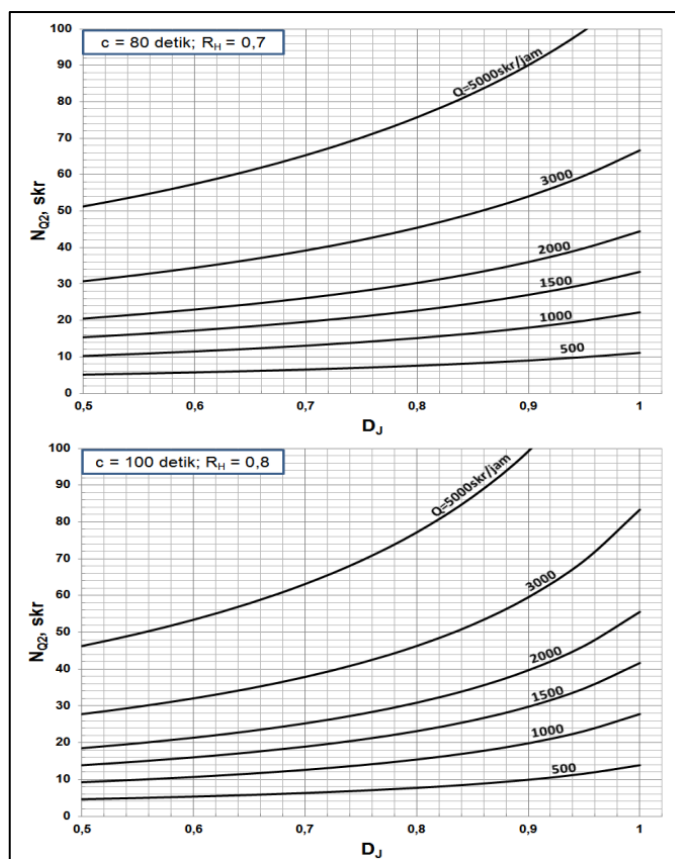
N_{Q2} =Jumlah kendaraan dalam satuan kendaraan ringan yang bertambah selama waktu lampu merah terjadi

D_J = derajat kejenuhan

R_H = rasio lampu hijau

c = waktu siklus (detik)

Q = arus kendaraan yang masuk, diluar L_{BKIJT} (ekr/jam)



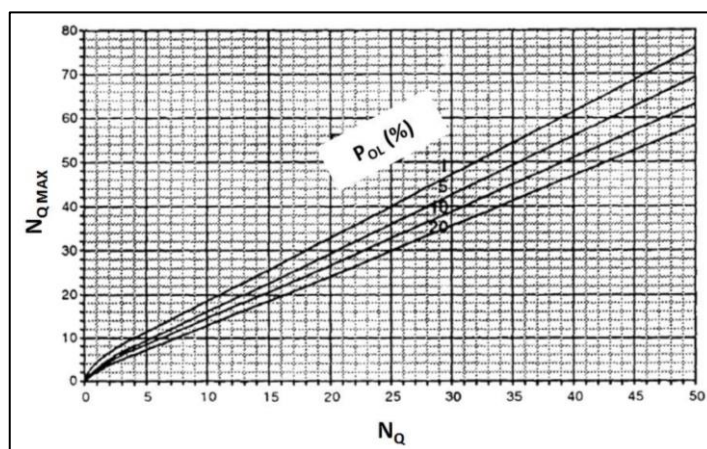
Gambar 20. Jumlah Kendaraan yang Datang Kemudian Antri Pada Fase Merah (N_{Q2})

Untuk mendapatkan jumlah kendaraan antri, dapat menggunakan rumus berikut.

$$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2} \quad (38)$$

Dilihat dari Gambar 21 di bawah, untuk menyelaraskan N_Q pada kesempatan dalam memasukkan pembebanan lebih pada suatu simpang P_{OL} (%), dan menghadirkan hasil dari besaran N_{QMAX} . Apabila dibutuhkan untuk kondisi perancangan, maka nilai yang dapat digunakan $P_{OL} \leq 5\%$, sedangkan pada analisis pada suatu simpang besaran yang diperbolehkan untuk nilai P_{OL} adalah 5 sampai 10 %. Dalam mencari panjang dari barisan kendaraan terhenti (P_A) yaitu mengalikan hasil N_Q dengan luas dari tiap jalur yang dipergunakan per skr ($20,0 \text{ m}^2$) setelahnya hasil dapat dibagi dengan lebar dari masukkan pendekat.

$$P_A = \frac{N_Q \times 20,0}{L_M} \quad (39)$$



Gambar 21. Jumlah Antrian Maksimum (N_{QMAX}) Dalam Skr, Sesuai Dengan Peluang Dalam Beban Yang Lebih (P_{OL}) dan N_Q

D.5. Rasio Kendaraan Terhenti

Rasio kendaraan henti adalah rasio kendaraan yang harus berhenti akibat sinyal merah sebelum melewati simpang atau rasio dari arus lalu lintas yang terpaksa berhenti sebelum melewati garis henti akibat

pengendalian sinyal. Menurut Budi et al., (2017) nilai R_{KH} dipengaruhi oleh waktu siklus (c), N_Q , dan arus (Q). Jumlah rasio kendaraan terhenti (R_{KH}) dari seluruh masukkan jalan terhadap simpang yang digabungkan dan dirata-rata menjadi satuan kendaraan ringan (termasuk kendaraan yang berhentisecara terus menerus dalam antrian) dengan rumus 2.17 atau gunakan Gambar 2.13. dan R_{KH} adalah hasil yang didapat dari nilai N_Q dibagi dengan durasi siklus, dan rasio waktu hijau (R_H).

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_Q}{Q \times c} \times 3600 \quad (40)$$

Keterangan :

R_{KH} = Rasio kendaraan terhenti

N_Q = jumlah rata-rata antrian kendaraan (skr) yang terjadi dari tiap pendekat

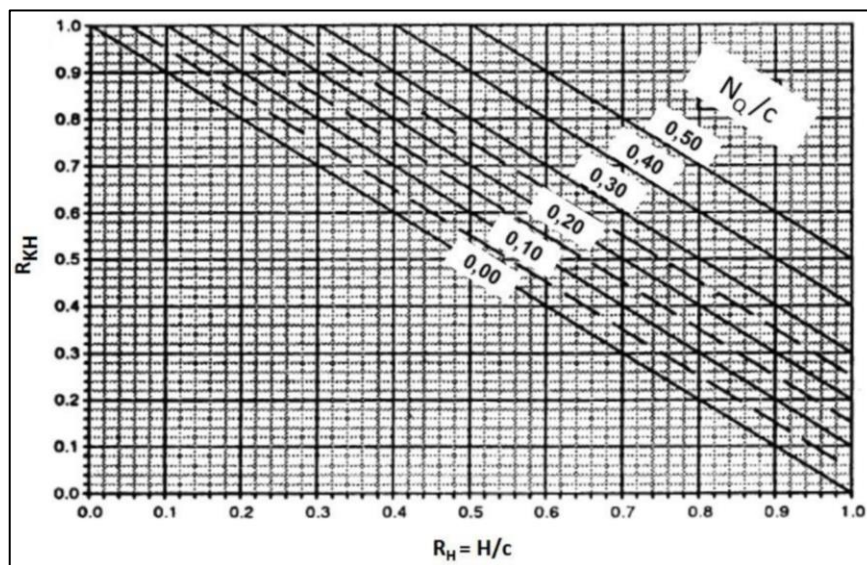
c = waktu siklus (det)

Q = arus lalu-lintas (skr/jam)

Hitung total rata-rata kendaraan yang berhenti (N_H) yaitu total masing-masing kendaraan yang berhenti sebelum garis henti suatu simpang.

$$N_H = Q \times R_{KH} \text{ (skr/jam)} \quad (41)$$

Hitung hasil berhentinya kendaraan dari seluruh simpang dengan melakukan perbandingan dari jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus dari simpang total Q dalam kend./jam.



Gambar 22. Penentuan Rasio Kendaraan Terhenti, R_{KH}

D.6. Tundaan

Tundaan merupakan waktu tempuh yang diperlukan untuk melalui simpang. Perencanaan persimpangan dengan pengendalian lampu lalu lintas yang tidak sesuai akan menimbulkan konflik baru dengan munculnya tundaan lalu lintas yang lebih besar (Anita et al., 2015). Dalam langkah untuk mengetahui tundaan lalu lintas rata-rata dari suatu pendekatan (T_i), terjadi akibat dua tundaan. Tundaan lalu lintas (T_L) dan Tundaan akibat geometrik (T_G).

$$T_i = T_{Li} + T_{Gi} \quad (42)$$

$$T_L = c \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{1 - R_H \times D_j} + \frac{N_{Q1} \times 3600}{c} \quad (43)$$

Keterangan :

T_i = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/skr)

c = Durasi siklus yang telah disesuaikan (det)

R_H = Rasio lampu hijau terhadap siklus (g/c)

D_j = Derajat kejenuhan

N_{Q1} = Jumlah skr yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = Kapasitas (skr/jam)

Dalam Menentukan tundaan yang terjadi akibat kondisi atau bentuk geometri (T_G) dari adanya lampu merah dan hijau, kendaraan mengalami percepatan dengan nilai positif atau pun negatif. Berikut adalah rumus 2.21 yang menjelaskan perhitungan mengenai tundaan dari kondisi geometri:

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (44)$$

Keterangan :

T_G = Tundaan yang terjadi dari tiap pendekat (det/skr)

R_{KH} = Rasio kendaraan berhenti sebelum lolos pada tiap pendekat

P_B = Rasio kendaraan yang melakukan arah belok pada pendekat

Menghitung nilai rasio kendaraan berbelok (P_B) dapat menggunakan rumus 2.22 seperti dibawah ini.

$$P_B = \text{Jumlah } B_{KijT} \text{ seluruh pendekat} / Q \quad (45)$$

Menghitung tundaan rata-rata dari seluruh pendekat pada simpang tersebut (T_I) dengan membandingkan hasil tundaan dengan keseluruhan arus (Q_{TOT}) dalam skr/jam.

$$T_I = \frac{\sum(Q \times T)}{Q_{Total}} \quad (46)$$

Tundaan rata-rata dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan dari tiap pendekatan, demikian juga dari suatu simpang secara keseluruhan.

D.7. Tingkat Pelayanan (*Level of Service*/LOS) Simpang

Tingkat pelayanan atau Level Of Service (LOS) adalah sebuah indeks yang menyatakan kemampuan simpang dalam menampung arus lalu lintas yang berada pada simpang. Berikut adalah indeks tingkat pelayanan simpang dengan lampu lalu lintas pada tabel dibawah ini.

Tabel 10. Indeks Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	<5	Baik Sekali
B	5,1-15	Baik
C	15,1-25	Sedang
D	25,1-40	Kurang
E	40,1-60	Buruk
F	>60	Buruk Sekali

(Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015)

Tingkat pelayanan dapat berubah sesuai alternatif yang digunakan. Kondisi eksisting simpang memiliki nilai Level of service sebesar E, setelah diberikan alternatif simpang dengan pelebaran jalur, sehingga nilai Level of service menjadi B (Prakoso et al., 2019).

E. Signalized Intersection Design and Research Aid (SIDRA)

SIDRA *Intersection* (sebelumnya disebut SIDRA dan aaSIDRA) adalah paket perangkat lunak yang digunakan untuk persimpangan (*junction*) kapasitas, tingkat pelayanan, dan analisis kinerja oleh lalu lintas desain, operasi dan profesional perencanaan. Pertama kali dirilis pada tahun 1984.

Pengoperasian sinyal lalu lintas secara umum dapat dibedakan dalam dua kategori yaitu sistem sinyal *fixed time* dan *traffic responsive*. Pada sistem sinyal tetap sistem operasi menggunakan waktu siklus yang tetap, tetapi kita juga dapat melakukan beberapa rencana waktu siklus misalkan perbedaan waktu siklus untuk jam sibuk dan jam tidak sibuk. Sistem responsive adalah sistem pengoperasian sinyal menggunakan waktu siklus yang disesuaikan dengan kondisi arus lalu lintas di lapangan. Selain itu sinyal dapat dioperasikan secara individu/tunggal (*isolated*) maupun secara terkoordinasi, pada sistem tunggal pengaturan sinyal hanya berlaku pada satu simpang saja sedangkan pada sinyal koordinasi terdapat keterkaitan pengaturan sinyal lalu lintas antar simpang satu dengan yang lainnya, waktu siklus yang digunakan adalah sama atau setengahnya.

R. Akcelik (1981) mengembangkan metode untuk menganalisis simpang bersinyal tunggal dengan menekankan pada pergerakan lalu lintas yang sering dikenal dengan *critical movement*, artinya pengaturan sinyal lampu lintas didasarkan pada pergerakan kendaraan yang paling kritis. Konsep ini berbeda dengan metode *Webster* dimana pengaturan sinyal

didasarkan pada jumlah fase yang paling sedikit dengan indikator tundaan minimum sehingga menghasilkan siklus optimum. Penelitian ini akan menggunakan metode Akcelik untuk menganalisis kinerja persimpangan yang memiliki lengan empat buah dengan bantuan program SIDRA.

SIDRA singkatan dari *Signalised and unsignalised Design Research Aid* dan digunakan sebagai suatu bantuan untuk mendesain dan mengevaluasi macam-macam persimpangan sebagai berikut:

- *Signalised Intersection* (persimpangan bersinyal),
- *Roundabout* (bundaran),
- *Two way stop sign control*,
- *All way stop sign control*, dan
- *Give way sign control*.

SIDRA menggunakan model analisis lalu lintas secara detail dan digabungkan dengan metode perkiraan untuk memberikan perkiraan kapasitas dan tampilan statistic dari keterlambatan, antrian, perhentian, dan lain-lain. Sidra dapat digunakan untuk:

- Memperoleh perkiraan kapasitas dan ciri-ciri tampilan seperti keterlambatan, antrian, perhentian dan juga pemakaian bahan bakar, emisi polusi serta biaya operasi untuk semua bentuk persimpangan
- Menganalisis beberapa alternatif desain untuk mengoptimalkan desain persimpangan, menandai tahapan-tahapan dan waktu untuk menentukan strategi yang berbeda

- Melakukan analisis desain
- Mendesain panjang jalur yang pendek (pada belokan, jalur daerah parkir dan hilangnya jalur pada jalan keluar)
- Menangani persimpangan yang memiliki lebih dari empat kaki atau maksimum sampai dengan persimpangan dengan delapan kaki
- Menganalisis akibat dari kendaraan berat pada persimpangan
- Menganalisis masalah yang rumit dari jalur yang terbagi dan belokan yang berlawanan serta jalur pendek pada hulu dan hilir
- Menentukan waktu tanda lampu bagi setiap geometrik persimpangan sesederhana mungkin sesuai dengan penyusunan taraf yang kompleks
- Menganalisis kondisi tingkat kepadatan yang tinggi dengan menggunakan Sidra.

E.1. Rumus-rumus yang Digunakan dalam Analisis Sidra

Perhitungan waktu siklus pada Sidra ditentukan pada rumus $P = D + KH$, dimana k adalah hukuman perhentian (*stop penalty*), D adalah total tundaan dan H adalah angka henti. Dari rumus diatas dibuat formula menurut ARR 123 Rahmi Akcelik

$$CO = \frac{(1,4+k)L+6}{1-Y} \quad (47)$$

Dimana:

Co : waktu siklus

k : penalty Stop

L : waktu hilang persimpangan (detik)

Y : ratio arus persimpangan

Kegunaan dari waktu siklus adalah agar mendapatkan hasil keterlambatan dan antrian yang optimum, karena dengan dengan siklus waktu yang optimum akan dihasilkan keterlambatan dan antrian yang optimum.

Keterlambatan kendaraan berbeda di antara waktu perjalanan yang terganggu (*opposed*) dan yang tidak terganggu (*protected*). Perkiraan keterlambatan didasarkan pada metode path race, dimana keterlambatan yang di ambil kendaraan selama periode analisis (periode arus sibuk). Rata-rata keterlambatan untuk semua kendaraan berhenti dan tidak berhenti adalah sebagai berikut:

$$x = dq/360 \quad (48)$$

Dimana:

D : total keterlambatan (kendaraan per jam)

d : rata-rata keterlambatan per kendaraan (detik)

q : rata-rata arus (periode arus sibuk)

Guna dari penghitungan keterlambatan adalah untuk menentukan tingkat pelayanan dari persimpangan tersebut, dan tingkat pelayanan (LOS) yang ditentukan oleh keterlambatan. Nilai LOS dapat dilihat pada tabel 2.6 dan batas minimum yang dianjurkan dalam karya ilmiah ini adalah LOS kelas C.

Tabel 11. Tingkat Pelayanan Berdasarkan Keterlambatan

Tingkat Pelayanan	Rata-rata tundaan setiap kendaraan dalam detik (d) untuk Bersinyal
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$80 \leq d$

Sumber : SIDRA *INTERSECTION USER GUIDE*, 2012

Adapun keterangan mengenai tingkat pelayanan dijelaskan sebagai berikut:

- Tingkat pelayanan A apabila nilai keterlambatan sangat rendah atau kurang dari 10 detik/smp. Sebagian besar kendaraan datang selama lampu hijau, dan sebagian besar tidak berhenti sama sekali, dan panjang siklus yang pendek juga memberikan kontribusi terhadap keterlambatan yang rendah.
- Tingkat pelayanan B apabila nilai keterlambatan antara 10,1 detik/smp sampai dengan 20 detik/smp, lebih banyak kendaraan yang berhenti bila di bandingkan dengan LOS A, sehingga menyebabkan tingkat rata-rata keterlambatan menjadi lebih tinggi.
- Tingkat pelayanan C apabila nilai keterlambatan antara 20,1 detik/smp sampai dengan 35 detik/smp. Nilai keterlambatan ini diakibatkan dari pergerakan yang wajar dan mempunyai panjang siklus yang cukup lama, sedangkan kendaraan yang berhenti sudah tampak dan ada beberapa kendaraan yang masih melewati persimpangan tanpa berhenti.

- Tingkat pelayanan D apabila nilai keterlambatan antara 35,1 detik/smp sampai dengan 55 detik/smp, disebabkan karena kombinasi dari pergerakan yang sudah cukup padat, panjang siklus yang lama, nilai rasio v/c yang tinggi.
- Tingkat pelayanan E apabila nilai keterlambatan antara 55,1 detik/smp sampai dengan 80 detik/smp, mempunyai pergerakan yang jelek, panjang siklus yang tinggi, dan mempunyai nilai rasio v/c yang tinggi.
- Tingkat pelayanan F apabila nilai keterlambatan di atas 80 detik/smp, dan keadaan ini sudah tidak dapat diterima oleh pengemudi, dimana arus sudah sangat padat yang berarti nilai kedatangan sudah melampaui nilai kapasitas dari persimpangan, dan disebabkan karena nilai rasio v/c sudah di atas 1,00 sedang pergerakan yang amat buruk dan panjang siklus yang amat tinggi dapat memberikan kontribusi yang besar pada keterlambatan ini.

waktu hilang persimpangan ditentukan dengan rumus

$$L = \sum l \quad (49)$$

Dimana:

L : waktu hilang persimpangan

l : nilai rasio waktu hilang setiap pendekat

Tundaan pada Sidra mempunyai rumus

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + Nox \quad (50)$$

Dimana:

D : tundaan rata-rata persimpangan(kend/jam)

qc : angka kedatangan rata-rata (kend/siklus)

u : ratio waktu hijau(g/c)

N_0 : antrian sisa rata-rata

Waktu hijau yang efektif untuk setiap periode hijau dihitung dari:

$$G = Fk - Fi - I \quad (51)$$

Dimana:

Fk : waktu perubahan tahap awal

Fi : waktu perubahan tahap akhir

I : waktu hilang

Rumus diatas berguna agar dapat ditentukan waktu hijau yang benar-benar efisien, agar tidak terbuang percuma sisa waktu hijaunya dan hal ini berguna untuk menentukan nilai siklus waktu yang optimum, keterlambatan dan antrian.

Waktu merah efektif dirumuskan dengan:

$$r = c - g \quad (52)$$

Dimana:

c : siklus waktu

g : waktu hijau efektif

r : waktu merah efektif

Rumus diatas berguna berguna agar dapat ditentukan waktu merah yang benar-benar efisien dan berguna untuk menentukan nilai siklus waktu yang optimum, keterlambatan dan antrian.

Total jumlah perhentian yang efektif dihitung dari:

$$H = h \cdot q \quad (53)$$

Dimana:

H : total jumlah stop per jam

h : nilai stop yang efektif (stop/kendaraan)

q : rata-rata arus kendaraan (kendaraan/jam)

Panjang Antrian, rata-rata panjang antrian kendaraan pada awal dari waktu hijau dirumuskan dalam Sidra

$$N = qr + N_0 \quad (54)$$

Dimana:

N : panjang antrian (kend)

r : waktu merah efektif (detik)

N_0 : rata-rata panjang antrian sisa (kend)

q : ratio arus kedatangan (kend/detik)

Siklus waktu ditentukan sebagai input dalam SIDRA. Jika SIDRA menemukan waktu perputaran minimum yang lebih besar dari waktu perputaran maksimum yang telah ditetapkan, maka waktu perputaran maksimum disamakan dengan waktu perputaran minimum ($C_{min} = C_{max}$).

Waktu perputaran praktis dihitung dari:

$$C_p = \frac{L}{1-U} \quad C_{min} \leq C_p \leq C_{max} \quad (55)$$

Dimana:

L : total waktu yang hilang

U : nilai rasio waktu hijau

Guna dari siklus waktu praktis adalah agar mendapatkan hasil keterlambatan dan antrian yang optimum, karena dengan dengan siklus waktu yang optimum akan dihasilkan keterlambatan dan antrian yang optimum.

E.2. Data-data Input SIDRA yang Dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan untuk persiapan input adalah sebagai berikut:

- 1) Jenis persimpangan dan bentuk geometri persimpangan (peta situasi),
- 2) Deskripsi pergerakan (*movement description*),
- 3) Volume lalu lintas pada saat waktu puncak,
- 4) Data jalur meliputi lebar jalan, lebar belok kiri saat lampu merah (LTOR), lebar median, dan lain-lain,
- 5) Fase dari lampu lalu lintas termasuk prioritas dan pergerakan *opposed*,
- 6) Waktu siklus

E.3. Data-data Output SIDRA

Hasil output dari SIDRA adalah sebagai berikut:

- 1) Tingkat pelayanan,
- 2) Antrian, perhentian,
- 3) Derajat kejenuhan,

- 4) Kapasitas,
- 5) Pemakaian bahan bakar dan emisi polusi,
- 6) Siklus waktu optimal.