

Tinjauan Pengaturan Waktu Sinyal pada Persimpangan Empat Lengan Menggunakan Pendekatan MKJI dan Webster

Rani Bastari Alkam^{1,*}, Suriati Abd. Muin¹, Istiawan¹, Dzal J.W. Ikram Syam¹

Program Studi Teknik Sipil Fakultas, Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar¹

Koresponden*, Email: rani.bastari@umi.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	15 September 2021	<i>Signal timing according to actual traffic is pivotal for optimizing the intersection performance. This study aims to compare the performance of Adiyaksa-Pengayoman intersection using the MKJI and Webster and to review the compatibility between the existing signal timing and research results. The traffic survey was carried out for three days on Wednesday, Friday and Sunday from 07.00-17.00. Data were analyzed using MKJI and webster analysis procedures. The results showed that for the MKJI, the degree of saturation of the East, South, and West approaches was greater than 0.7 while the western was less than 0.6. Meanwhile for the webster, the saturation degree of East, South, and North was greater than 0.5 while for the western approach is less than 0.3 except on Wednesday afternoon with 0.539. Fixed signal timing at intersections is contradictory to the results which shows the cycle time fluctuates according to traffic volume at each observation time.</i>
Diperbaiki	11 November 2021	
Disetujui	15 November 2021	

Keywords: signalized intersection, cycle time, traffic survey, MKJI, webster

Abstrak

Pengaturan waktu sinyal menurut lalu lintas aktual penting untuk mengoptimalkan kinerja persimpangan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja persimpangan Jalan Adiyaksa-Pengayoman menggunakan pendekatan MKJI dan Webster serta meninjau kesesuaian antara pengaturan waktu sinyal eksisting dengan hasil analisis. Survei lalu lintas dilaksanakan selama tiga hari pada pada Hari Rabu, Jumat, dan Minggu dari Pukul 07.00-17.00. Data dianalisis menggunakan prosedur analisis MKJI dan webster. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk metode MKJI, nilai derajat kejenuhan pendekat Timur, Selatan, dan Barat lebih besar dari 0,7 sedangkan pendekat barat kurang dari 0,6. Untuk metode webster, derajat kejenuhan pendekat Timur, Selatan, dan Utara lebih besar dari 0,5 sedangkan untuk pendekat barat, derajat kejenuhan lebih kecil 0,3 kecuali pergerakan hari Rabu sore dengan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,539. Pengaturan waktu sinyal tetap pada persimpangan kontradiktif dengan hasil penelitian yang menunjukkan nilai waktu siklus yang fluktuatif sesuai volume lalu lintas pada setiap waktu pengamatan.

Kata kunci: persimpangan bersinyal, waktu sinyal, survei lalu lintas, MKJI, webster

1. Pendahuluan

Salah satu indikasi kemacetan lalu lintas adalah lamanya tundaan yang menyebabkan panjangnya antrian kendaraan di persimpangan jalan, terutama di persimpangan bersinyal [1]. Persimpangan jalan perkotaan merupakan bagian penting dari jaringan jalan tempat arus lalu lintas berkumpul dan berpecah sehingga dapat dengan mudah menyebabkan kemacetan, tundaan, dan kecelakaan lalu lintas [2]. Volume arus lalu lintas yang tinggi di persimpangan menyebabkan bertambahnya kemacetan, penurunan kecepatan kendaraan, antrian panjang di setiap pendekat simpang, dan memicu konflik lalu lintas di titik pertemuan [3]. Hal ini dapat memicu lamanya waktu perjalanan dan frustrasi pengemudi, serta memicu perilaku mengemudi yang tidak aman [4].

Sinyal pada persimpangan dapat diatur untuk berubah sesuai dengan waktu tetap, atau dapat diaktifkan sesuai kebutuhan lalu lintas [5]. Di Kota Makassar, sebagian besar lampu lalu lintas di persimpangan masih dikontrol secara manual

yang sering mengakibatkan waktu siklus menjadi terlalu lama untuk kapasitas persimpangan maksimum. Tingginya biaya pemasangan dan biaya pengoperasian sistem pengendalian lalu lintas otomatis menjadi penyebab utama mengapa sistem manual masih banyak digunakan di seluruh dunia [6].

Hingga Tahun 2020 hanya ada empat persimpangan bersinyal di Kota Makassar yang telah menerapkan sistem kontrol simpang otomatis yang diistilahkan dengan *Area Traffic Control System* (ATCS), dan tujuh simpang lainnya masih dalam proses persiapan penerapan. Jika dijumlahkan hanya terdapat sebelas persimpangan bersinyal yang dirancang dengan ATCS dari total 49 simpang bersinyal di Kota Makassar (23%). Salah satu persimpangan bersinyal di Kota Makassar yang masih diatur secara manual adalah persimpangan empat lengan Jalan Adiyaksa- Jalan Pengayoman yang terletak di kawasan komersial yang dikelilingi tata guna

lahan berupa pusat perbelanjaan dan aktivitas komersial lainnya.

Simpang dengan pengaturan sinyal manual memiliki dampak pengaturan sinyal yang tidak proporsional dan belum menyesuaikan dengan kondisi lalu lintas aktual pada setiap pendekat yang tentunya memiliki volume lalu lintas yang berbeda-beda dan fluktuatif [7]. Oleh karena itu, perencanaan bentuk pengendalian persimpangan melalui pembagian fase dan pengaturan sinyal sesuai dengan kondisi lalu lintas aktual sangat penting untuk meningkatkan kinerja dan keselamatan perjalanan khususnya di area persimpangan [8].

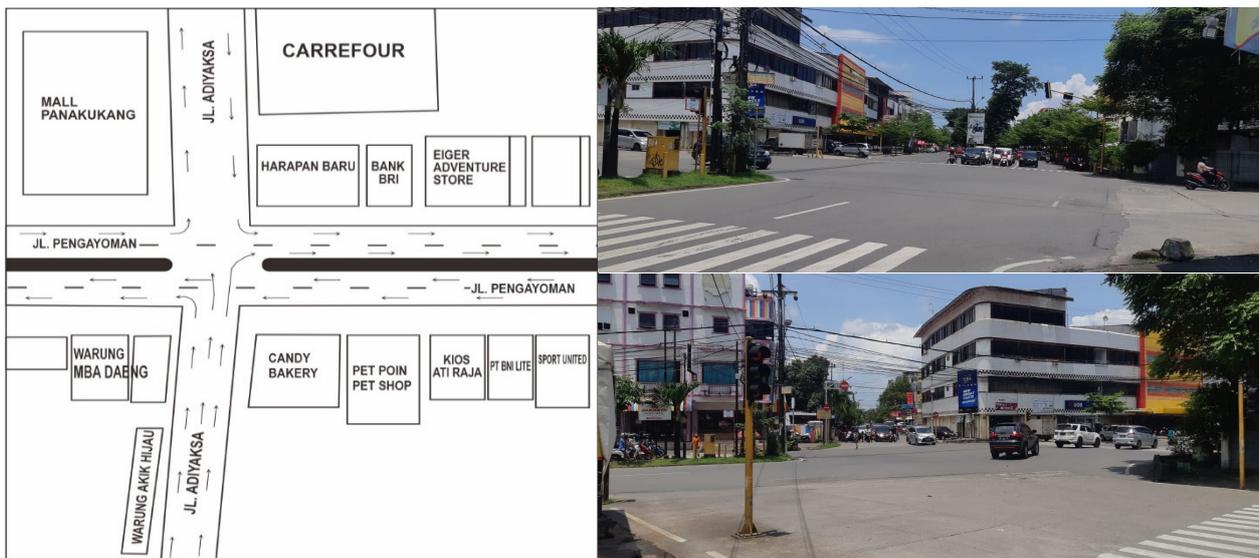
Ada beberapa metode dalam pengaturan waktu sinyal lalu lintas yang optimal, salah satunya adalah dengan menggunakan prosedur penghitungan pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 [9]. Selain itu, pendekatan Webster adalah pendekatan alternatif yang bisa diterapkan dalam analisis persimpangan bersinyal [10]. Kedua metode ini berbeda dari segi prosedur analisis utamanya dalam perhitungan waktu siklus dan kinerja persimpangan. Berangkat dari permasalahan pengaturan sinyal manual yang disinyalir belum menyesuaikan pada kondisi arus aktual, maka

penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis waktu siklus pada persimpangan empat lengan menggunakan pendekatan MKJI dan Webster serta membandingkan waktu siklus eksisting dengan waktu siklus hasil analisis menggunakan pendekatan MKJI dan Webster.

2. Metode

Metode Pengumpulan Data

Survei lalu lintas dilaksanakan pada persimpangan bersinyal Jalan Adiyaksa- Jalan Pengayoman Kota Makassar. Alasan dalam pemilihan simpang ini adalah karena lokasi ini terletak pada daerah komersial dengan pengaturan sinyal masih secara manual dan masih kerap terjadi tundaan dengan antian kendaraan yang panjang. Situasi persimpangan ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pengumpulan data dilaksanakan selama tiga hari dipilih pada hari kerja yaitu pada Hari Rabu dan Jumat dan akhir pekan yaitu pada Hari Minggu dengan segmen waktu yang sama setiap harinya mulai Pukul 7 pagi hingga 5 sore untuk mengamati pola arus lalu lintas mingguan dan fluktuasi arus lalu lintas harian untuk jam sibuk dan di luar jam sibuk.



Gambar 1. Sketsa dan Foto Lokasi Simpang Bersinyal Jl. Adiyaksa – Jl. Pengayoman

Survei lalu lintas dibagi dalam dua tahapan yaitu survei pendahuluan dan survei utama. Survei pendahuluan dimaksudkan untuk mengamati kondisi geometrik, pengaturan fase, dan kondisi lingkungan persimpangan. Data geometrik meliputi jumlah kaki persimpangan, lebar pendekat, konfigurasi jalur, kemiringan jalan, median jalan, belok kiri langsung (LTOR) [11]. Pengukuran lebar tiap pendekat dilakukan secara langsung oleh surveyor menggunakan *roll meter*. Data geometrik diperlukan dalam analisis arus jenuh (S) dan

perhitungan kapasitas lengan simpang baik dengan MKJI maupun Webster.

Pengamatan repetitif terhadap pergerakan belok kiri, lurus, dan belok kanan dari setiap lengan simpang dilakukan untuk mengetahui jumlah fase dan tipe pendekat. Pengaturan fase ini selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan tabel data survei volume lalu lintas. Kondisi lingkungan yang diamati termasuk jenis lingkungan jalan, pembatas pinggir jalan, jarak dari garis henti ke kendaraan yang diparkir [12].

Tahapan selanjutnya yaitu survei utama meliputi survei pencacahan volume lalu lintas dan survei pengaturan sinyal. Dalam pengumpulan data volume lalu lintas, surveyor merekam pergerakan kendaraan dari tiap pendekat dari Pukul 07.00 hingga 17.00. Rekaman video tersebut selanjutnya diamati kembali untuk menghitung dan mencatat jumlah kendaraan tiap 15 menit yang diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan yaitu kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor [13]. Nilai volume kendaraan dinyatakan dalam satuan kendaraan/ jam yang selanjutnya dikonversi menjadi satuan mobil penumpang per jam dengan mengalikannya dengan nilai ekuivalensi mobil penumpang (emp) berdasarkan tipe pendekat dan jenis kendaraan.

Dalam rentang waktu yang bersamaan, surveyor lain melakukan pencatatan durasi waktu sinyal tiap fase. Pengamatan pengaturan lalu lintas eksisting meliputi pengaturan fase, periode antar hijau, dan waktu hilang [14]. Durasi sinyal hijau, merah, dan kuning, serta waktu semua merah dicatat setiap jam agar dapat digambarkan diagram sinyal tiap fase untuk setiap waktu pengamatan. Data ini menjadi data masukan dalam menghitung waktu siklus optimum yaitu waktu siklus yang menghasilkan tundaan dan panjang antrian yang minimum. Tundaan menyiratkan hilangnya waktu yang dialami pengemudi dan penumpang saat melintasi persimpangan yang bergantung pada beberapa parameter seperti komposisi kendaraan, geometrik persimpangan, perilaku

pengemudi, waktu, jenis kendaraan dan ketersediaan ruang [15]. Sedangkan panjang antrian adalah jarak dari garis henti ke kendaraan terakhir dalam antrian selama satu siklus, termasuk kendaraan yang ikut antri setelah lampu hijau [16]. Waktu siklus optimum akan sangat dipengaruhi oleh pengaturan fase dan volume lalu lintas setiap pergerakan pada persimpangan.

Selain itu, beberapa data sekunder juga diperlukan dalam tahapan analisis data meliputi gambaran lokasi dalam peta dan laju pertumbuhan kendaraan. Seluruh data ini diperlukan sebagai variabel dalam perhitungan kapasitas dan kinerja persimpangan [3].

Metode Analisis Data

Tahapan analisis data dimulai dengan rekapitulasi data masukan. Data tersebut kemudian dianalisis menurut prosedur analisis MKJI dan webster. Perbedaan kedua metode tersebut terletak pada kompleksitas langkah analisis dan perbedaan persepsi komponen waktu siklus (periode antar hijau, waktu hilang, waktu hijau yang ditampilkan, dan waktu hijau efektif). Namun kedua metode tersebut memiliki kesamaan dalam hal kebutuhan data dan konsep penghitungan waktu sinyal yang berangkat dari perhitungan arus lalu lintas dan pengaturan fase. Perbedaan langkah analisis untuk kedua pendekatan ditunjukkan melalui **Tabel 1** dan **Tabel 2**

Tabel 1. Langkah Perhitungan Waktu Siklus dengan Pendekatan MKJI dan Webster

MKJI	Webster
Berikut ini merupakan parameter analisis waktu sinyal pada persimpangan bersinyal [17]:	Berikut merupakan langkah-langkah dalam perhitungan lampu lalu lintas dengan metode Webster [18]:
a) Waktu hijau	a) Menentukan jumlah dan urutan fase.
Waktu hijau untuk setiap fase yang dapat dihitung dengan:	b) Menghitung nilai y yaitu perbandingan antara arus lalu lintas dan arus jenuh (q/s) tiap pergerakan.
$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i$ (1)	$Y = (q/s)$ (6)
dimana:	Menentukan nilai q/s kritis (y) tiap fase yaitu nilai maksimum y dari pendekat yang bergerak pada fase yang sama
g_i = waktu hijau dalam fase (detik)	$Y = \sum y$ (7)
C_{ua} = waktu siklus yang ditentukan (detik)	Menghitung kehilangan waktu per siklus
LTI = total waktu hilang per-siklus	$L = \sum$ waktu hilang dalam waktu siklus
$LTI = \sum (all\ red + amber)_i = \sum IG_i$ (2)	$L = ((I-a) + 1) \times n$ (8)
PR_i = perbandingan fase	dimana:
$PR_i = FR_{CRIT} / \sum(FR_{CRIT})$ (3)	n = jumlah fase/stage
IG_i = Waktu antar hijau pada pendekat i	I = Intergreen period, I normal tergantung dari ukuran simpang
b) Waktu siklus sebelum penyesuaian	a = amber time/ waktu kuning
Waktu siklus hasil perhitungan ini merupakan waktu siklus optimum yang menghasilkan tundaan terkecil.	c) Menghitung waktu siklus optimal;
$C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR)$ (4)	$Co = (1,5 L + 5) / (1 - Y)$ (9)
dimana:	d) Menghitung waktu hijau efektif total,
C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)	$g = Co - L$ (10)
LTI = Waktu hilang total per siklus (det)	e) Menghitung waktu hijau efektif untuk tiap fase,
IFR = Rasio arus simpang $\sum(FR_{CRIT})$	$gn = (yn / Y).g$ (11)
c) Waktu siklus yang disesuaikan	6) Menghitung waktu hijau aktual;
Waktu siklus ini berdasar pada pembulatan waktu hijau yang diperoleh dan waktu hijau hilang (LTI).	$G = g + I - a$ (12)
$C = \sum g_i + LTI$ (5)	

Tabel 2. Analisis Kinerja Persimpangan dengan Pendekatan MKJI dan Webster

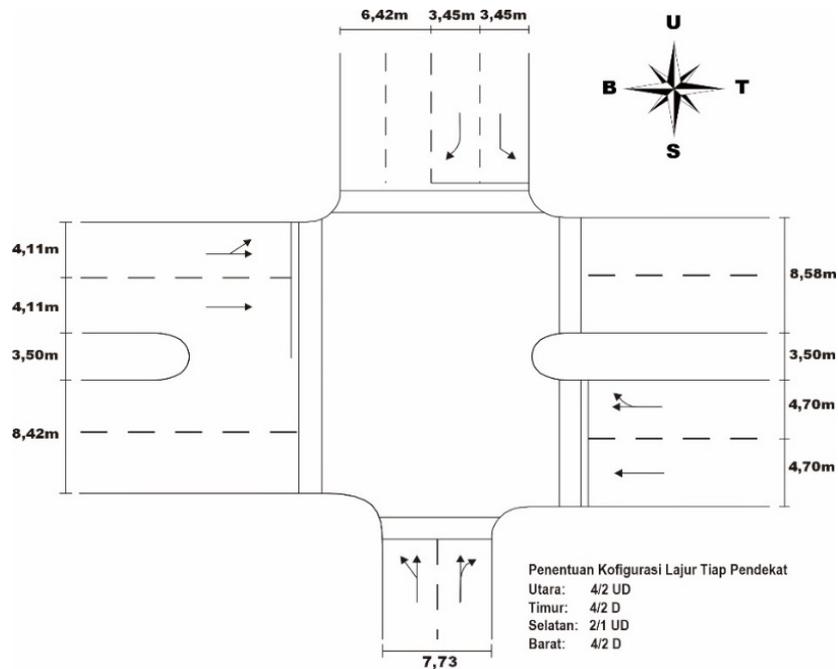
MKJI	Webster
a) Perhitungan nilai arus jenuh [19] $S = S_o \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}$ (13)	a) Perhitungan nilai arus jenuh $(S) = 525 \times w$ (w: lebar pendekat dalam m) (20) Rumus ini dapat digunakan untuk lebar lajur lebih dari 5,5 m; kurang dari 5,5 m hubungan tersebut tidak linier dan arus jenuh dapat diperkirakan dari Tabel. Selain itu perlu penyesuaian gradien pendekat dan keberadaan lajur khusus belok kanan
b) Perhitungan derajat kejenuhan $DS = Q/C$ (14) keterangan: Q = Arus lalu lintas (smp/jam) C = Kapasitas (smp/jam)	b) Menghitung kapasitas $C(\text{Kapasitas}) = \frac{G \times S}{g_{total}}$ (21) Perhitungan Derajat Kejenuhan $DS = Q/C$ (22) Perhitungan Tundaan
c) Perhitungan panjang antrian $QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}}$ (15)	$d = cA + \frac{B}{q} - C$; $A = \frac{(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)}$; $B = \frac{x^2}{2(1-x)}$; C = Faktor Koreksi (23) dimana: d = tundaan rata-rata per kendaraan c = waktu siklus λ = proporsi waktu hijau efektif q = arus s = arus jenuh x = derajat kejenuhan, merupakan perbandingan arus dengan arus maksimum yang dapat lepas dari garis henti.
d) Perhitungan angka henti $NS = 0,9 \times (NQ) / (Q \times c) \times 3600$ (16) NS = Angka henti NQ = jumlah panjang antrian total Q = arus lalu lintas (smp/detik) c = waktu siklus yang ditemukan (detik)	
e) Rasio kendaraan terhenti $NSV = Q \times NS$ (17) $NS_{TOT} = \frac{\sum NSV}{Q_{TOT}}$ (18)	
f) Perhitungan tundaan $D = DT + DG$ (19) D = tundaan rata rata untuk pendekat j (det/smp) DT = tundaan lalu lintas rata rata untuk pendekat j (det/smp) DG = tundaan geometri rata rata untukpendekat j (det/smp)	

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data masukan berupa data geometrik simpang, data fase dan waktu sinyal, karakteristik lingkungan, dan volume lalu lintas dilakukan analisis kinerja simpang bersinyal dan durasi waktu sinyal dengan pendekatan MKJI dan Webster seperti yang ditampilkan dalam sub bab berikut.

Kondisi Geometrik Persimpangan Bersinyal Jl. Adiyaksa – Jl. Pengayoman

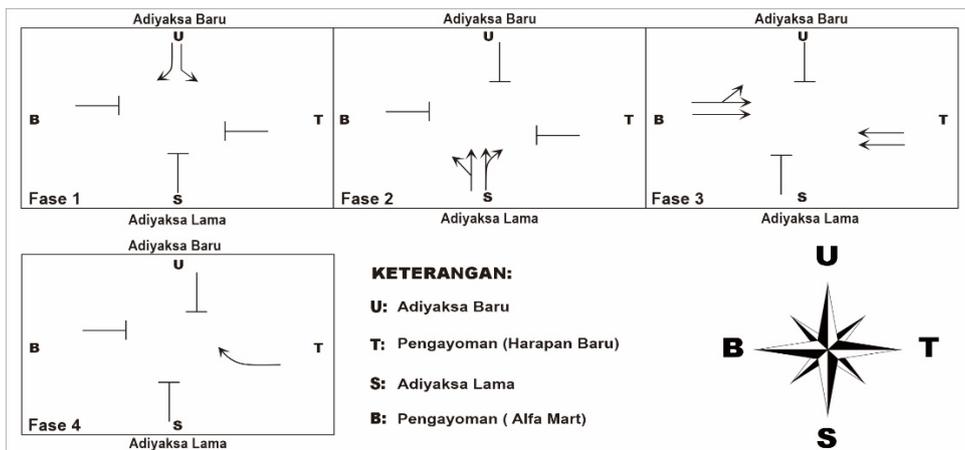
Data geometrik simpang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut yang berisikan kode pendekat, arah pergerakan, lebar lajur dan median tiap pendekat.



Gambar 2. Geometrik Simpang Jl. Adiyaksa- Jl. Pengayoman

Dalam upaya pengurangan jumlah titik konflik, pada simpang diterapkan empat fase atau giliran bergerak yang diatur

melalui pengaturan waktu bergerak menurut isyarat lampu. Skema fase tersebut dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Fase Persimpangan Empat Lengan Jl. Adiyaksa – Jl. Pengayoman

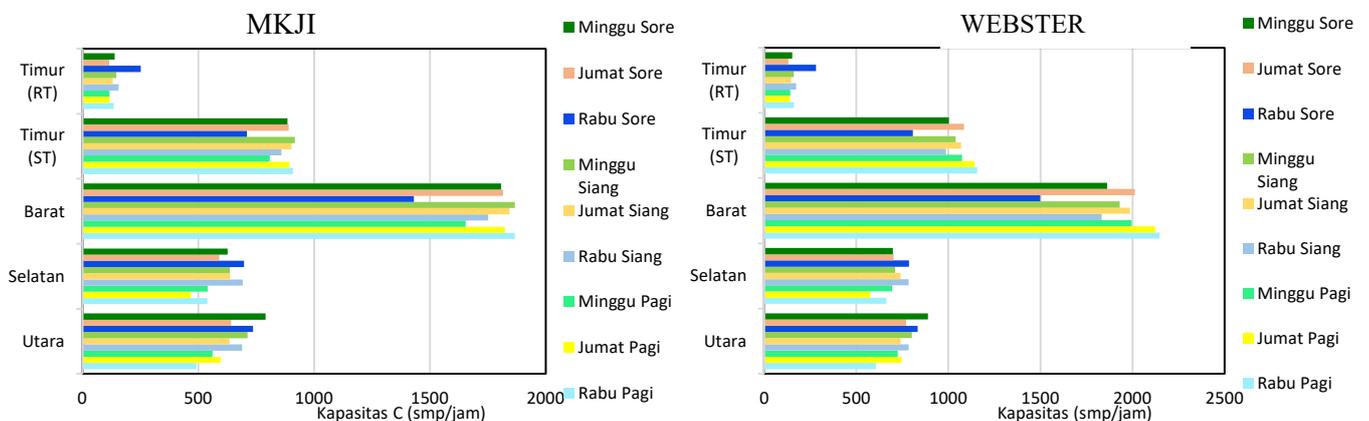
Analisis pengaturan lampu lalu lintas didasarkan pada pengaturan fase sinyal eksisting sehingga diperoleh perbandingan durasi sinyal berdasarkan hasil analisis dan kondisi eksisting yang diterapkan di lokasi.

Analisis Perbandingan Kinerja simpang bersinyal dengan Pendekatan MKJI dan Webster

Empat variabel kinerja simpang yang dapat dibandingkan dari hasil analisis dengan pendekatan MKJI dan Webster dalam penelitian ini adalah kapasitas pendekat, derajat kejenuhan, tundaan rata-rata pendekat, dan tundaan simpang.

Secara keseluruhan untuk keempat variabel tersebut ditemukan tren yang sama namun dengan nilai tiap variabel yang sedikit berbeda.

Variabel pertama yang merepresentasikan kinerja simpang yaitu kapasitas tiap pendekat. Nilai kapasitas pada Gambar 4 diperoleh dengan mengalikan arus jenuh dengan rasio perbandingan waktu hijau dengan waktu siklus. Perubahan yang terjadi pada ketiga variabel tersebut menyebabkan perubahan pada nilai kapasitas atau volume maksimum yang dapat ditampung pendekat di setiap waktu pengamatan.

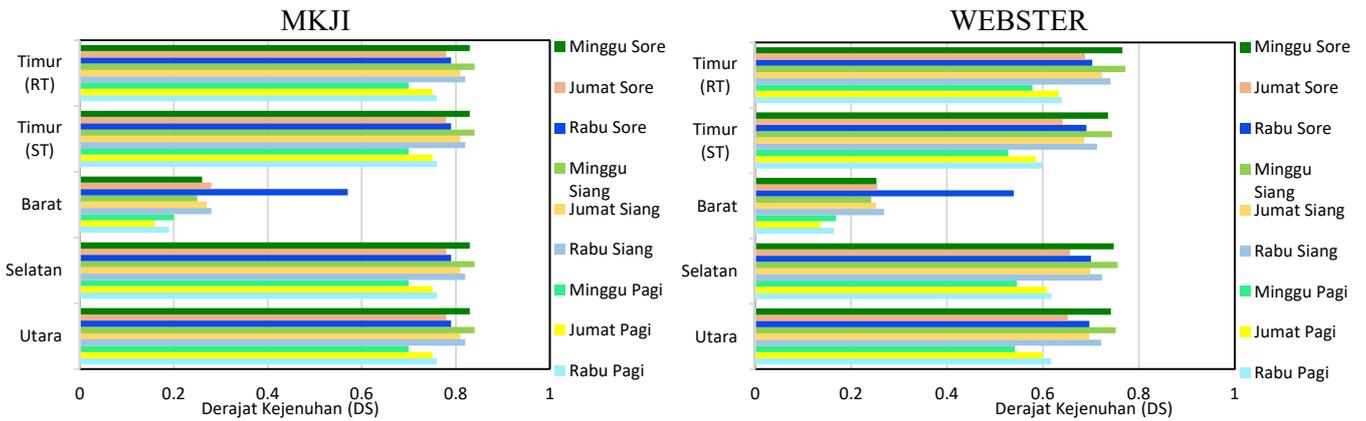


Gambar 4. Kapasitas Tiap Pendekat untuk Setiap Waktu Pengamatan Berdasarkan Analisis dengan MKJI dan Webster

Hasil analisis baik dengan MKJI maupun Webster menunjukkan bahwa pendekat barat merupakan pendekat dengan kapasitas tertinggi sedangkan pendekat timur untuk lajur belok kanan merupakan pendekat dengan kapasitas terkecil. Kapasitas maksimum terjadi pada hari Rabu pagi pada pendekat barat yakni sebesar 1867,97 smp/jam dengan MKJI dan 2147,533 smp/ jam dengan Webster. Adapun untuk kapasitas minimum terjadi pada Hari Jumat sore pendekat

timur belok kanan yaitu 116 smp/ jam untuk metode MKJI dan 130,827 smp/ jam untuk metode webster.

Variabel selanjutnya yang dapat menyatakan kinerja simpang adalah derajat kejenuhan. Derajat kejenuhan menunjukkan rasio perbandingan antara arus dan kapasitas. Karena kapasitas dinyatakan tiap pendekat simpang maka derajat kejenuhan juga dihitung per pendekat per waktu pengamatan.

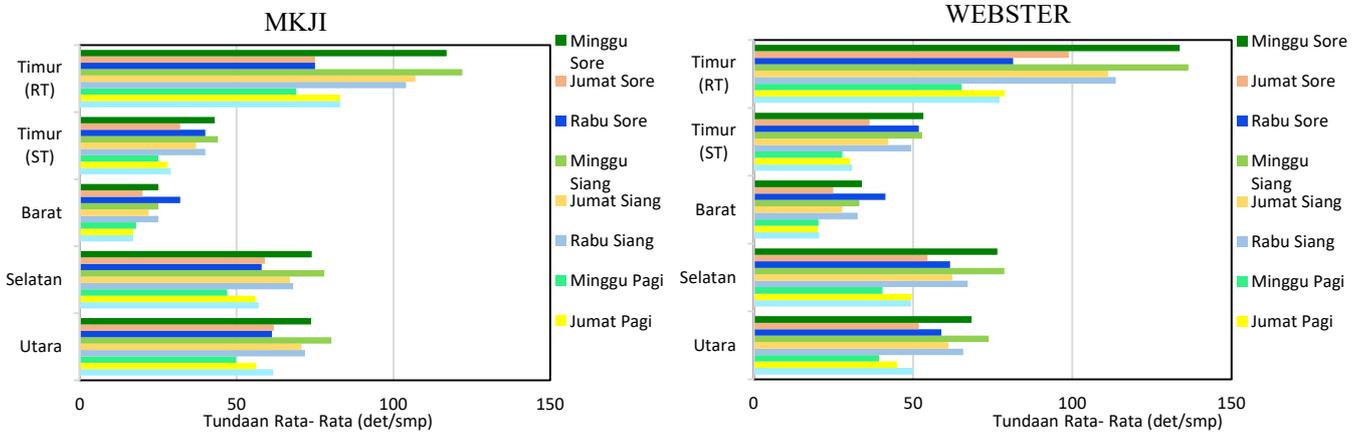


Gambar 5. Derajat Kejenuhan pada Tiap Pendekat untuk Setiap Waktu Pengamatan Berdasarkan Analisis dengan Pendekatan MKJI dan Webster

Perbandingan derajat kejenuhan untuk hasil analisis MKJI dan Webster yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dimana derajat kejenuhan di pendekat barat lebih rendah dibandingkan dengan dengan pendekat lainnya. Untuk metode MKJI, nilai derajat kejenuhan pendekat Timur, Selatan, dan Barat lebih besar dari 0,7 sedangkan untuk pendekat barat berada pada nilai yang kurang dari 0,6. Untuk metode webster, derajat kejenuhan untuk pendekat timur (pergerakan lurus dan belok kanan), pendekat Selatan, dan pendekat Utara memiliki derajat kejenuhan yang lebih besar

dari 0,5 sedangkan untuk pendekat barat, derajat kejenuhan tergolong rendah kecuali untuk pergerakan hari Rabu sore dengan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,539.

Kinerja simpang juga dapat digambarkan melalui tundaan rata-rata yang dialami kendaraan pada setiap pendekat. Nilai ini merupakan hasil penjumlahan dari tundaan lalu lintas rata-rata dan tundaan geometrik rata-rata yang dinyatakan dalam det/smp. Jika nilai tundaan rata-rata dikalikan dengan arus lalu lintas tiap pendekat maka dapat diperoleh tundaan total.

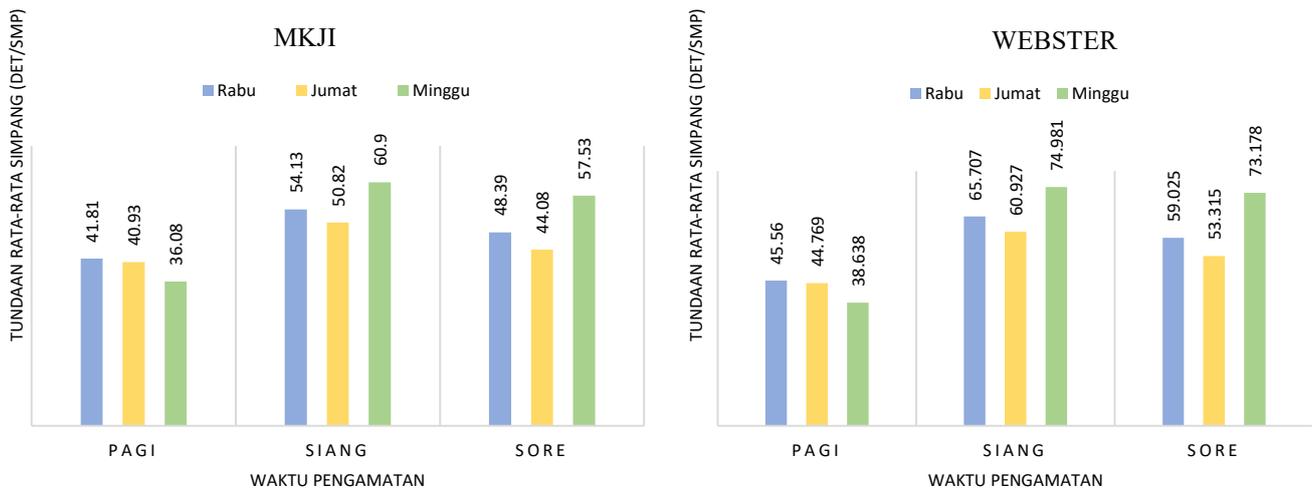


Gambar 6. Tundaan Rata-Rata Tiap Pendekat Untuk Setiap Waktu Pengamatan Berdasarkan Analisis Dengan Pendekatan MKJI dan Webster

Gambar 6 menunjukkan nilai tundaan rata-rata tiap pendekat. Pendekat timur untuk pergerakan belok kanan merupakan pendekat dengan tundaan terlama di antara pendekat lainnya dengan tundaan maksimum terjadi pada Hari Minggu siang sebesar 122 det/smp untuk MKJI dan 136,42 detik/smp untuk Webster. Sedangkan tundaan rata-rata minimum untuk MKJI terjadi pada hari Rabu sesi pagi di pendekat barat sebesar 17 det/smp dan untuk Webster terjadi

pada hari Jumat pagi sebesar 20,121 detik/smp untuk Webster.

Untuk mendapatkan gambaran kinerja simpang secara menyeluruh, nilai tundaan rata-rata di tiap pendekat selanjutnya dirata-ratakan per-segmen waktu. Nilai ini merupakan hasil pembagian antara jumlah nilai tundaan dengan arus total (Qtot).

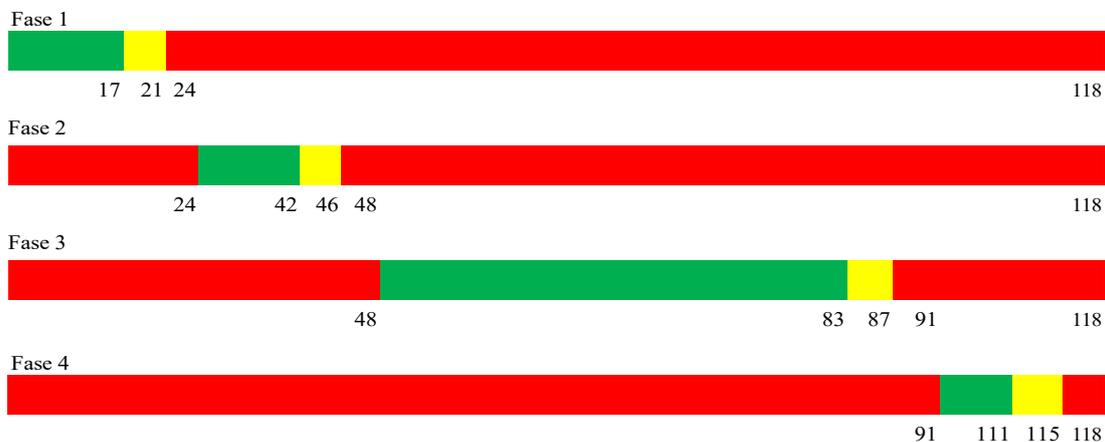


Gambar 7. Tundaan Rata-Rata Simpang Berdasarkan Analisis MKJI dan Webster

Berdasarkan nilai pada Gambar 7, tundaan rata-rata simpang pada siang hari, lebih tinggi dibanding dengan pada pagi dan sore hari sedangkan tundaan pada pagi hari adalah yang paling kecil di antara tiga waktu pengamatan. Tundaan rata-rata simpang maksimum terjadi pada hari minggu sesi siang sebesar 60,9 det/smp untuk MKJI dan sebesar 74,981 det/smp untuk Webster. Adapun tundaan rata-rata minimum terjadi pada hari Minggu sesi pagi sebesar 36,08 det/smp untuk MKJI dan 38, 638 det/smp untuk Webster.

Analisis Perbandingan Pengaturan lampu lalu lintas dengan Pendekatan MKJI dan Webster

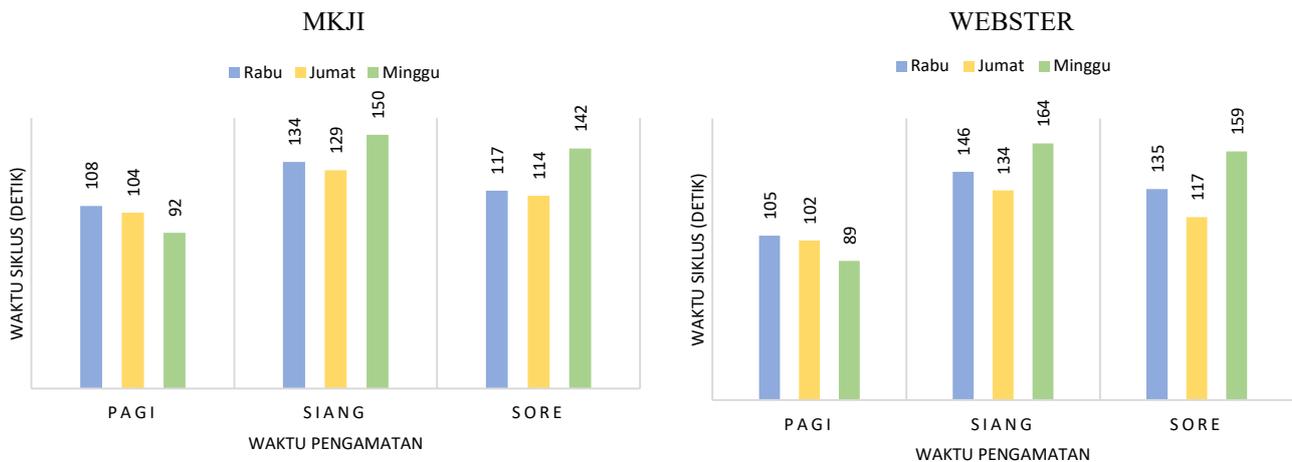
Berdasarkan hasil observasi di lapangan diketahui bahwa pengaturan waktu sinyal di Simpang Jl. Adiyaksa – Jl. Pengayoman masih menerapkan waktu sinyal tetap di sepanjang hari. Hasil ini diketahui dengan cara mencatat durasi waktu sinyal baik waktu hijau, kuning, merah, semua merah, serta waktu hilang setiap fase per jam pengamatan. Pengaturan waktu siklus eksisting di simpang dapat diamati melalui diagram sinyal berikut.



Gambar 8. Diagram Waktu Sinyal Eksisting

Dari Gambar 8 diketahui bahwa waktu kuning setiap fase adalah tetap sebesar 4 detik. Waktu semua merah dari fase 1 ke fase 2 adalah 3 detik, fase 2 ke 3 selama 2 detik, fase 3 ke 4 selama 4 detik, dan fase 4 ke 1 selama 3 detik. Durasi waktu antar hijau ini digunakan dalam penggambaran waktu sinyal dengan pendekatan MKJI dan webster sesuai dengan waktu hijau yang diperoleh pada analisis waktu siklus setiap metode.

Pada setiap sesi pengamatan, nilai arus lalu lintas berubah-ubah begitu pula dengan nilai arus jenuh. Perubahan nilai kedua variabel tersebut menyebabkan waktu siklus yang dihasilkan berbeda-beda. Dengan perubahan waktu siklus menyebabkan nilai waktu hijau setiap pendekat berbeda di setiap waktu pengamatan. Gambar 9 menunjukkan rekapitulasi waktu siklus untuk tiap waktu pengamatan.



Gambar 9. Waktu Siklus Setiap Waktu Pengamatan Berdasarkan Analisis MKJI dan Webster

Pada **Gambar 9** dapat diketahui bahwa untuk pendekatan MKJI waktu siklus maksimum terdata pada hari Minggu siang yakni 150 detik sedangkan waktu siklus minimum terdata di hari Minggu pagi yaitu 92 detik. Adapun untuk pendekatan Webster, waktu siklus maksimum terjadi dihari Minggu siang sebesar 164 detik sedangkan waktu siklus minimum terjadi pada hari Minggu pagi yaitu 89 detik. Hal ini sejalan dengan fluktuasi volume lalu lintas dimana volume di minggu siang merupakan volume tertinggi sedangkan volume di minggu pagi adalah yang terendah. Jika dibandingkan antara waktu pagi, siang, dan sore diperoleh kecenderungan waktu siklus pagi adalah yang terendah dibandingkan waktu siang dan waktu malam sedangkan waktu siang adalah yang tertinggi. Tren ini berlaku di seluruh hari pengamatan. Perbedaan waktu siklus untuk setiap waktu pengamatan menyebabkan perbedaan distribusi waktu hijau untuk setiap fase sehingga pengaturan lampu lalu lintas berbeda-beda sesuai dengan waktu pengamatan.

Pembahasan

Dari analisis perbandingan kinerja simpang dapat diketahui bahwa kinerja simpang Jl. Adiyaksa-Jl. Pengayoman menunjukkan tren yang sama baik melalui analisis dengan pendekatan MKJI maupun Webster. Hasil ini menandakan bahwa meskipun pendekatan MKJI dan webster menggunakan parameter dan langkah analisis yang berbeda dalam menilai kinerja simpang, namun kecenderungan hasil yang diperoleh tetap sama. Kinerja simpang menghasilkan nilai yang fluktuatif untuk kedua pendekatan yang digunakan sesuai dengan arus lalu lintas dari jam ke jam. Fluktuasi yang terjadi dari dua set data adalah sama untuk tiap variabel namun nilai yang diperoleh berbeda. Perbedaan nilai ini utamanya disebabkan karena perbedaan rumus dan faktor penyesuaian dalam perhitungan arus jenuh simpang.

Pendekatan MKJI dalam perhitungan arus jenuh simpang (dalam smp/ jam) dipengaruhi oleh arus jenuh dasar dan faktor penyesuaian dengan nilai yang dipilih dari tabel menyesuaikan dengan karakteristik lokasi simpang. Sedangkan untuk pendekatan webster, arus jenuh simpang dipengaruhi oleh lebar pendekat. Perbedaan formula ini menyebabkan nilai arus jenuh untuk kedua metode berbeda. Untuk pendekatan MKJI, arus jenuh berubah sesuai dengan perubahan pada nilai pada faktor penyesuaian, sehingga nilai arus jenuh berubah-ubah di setiap pendekat dan setiap waktu pengamatan. Sementara itu, untuk pendekatan webster, nilai arus jenuh tetap di setiap pendekat tanpa dipengaruhi waktu pengambilan data.

Nilai arus jenuh yang berbeda berpengaruh pada nilai keempat variabel kinerja simpang. Untuk kapasitas pendekat, rumus pada pendekatan MKJI melibatkan arus jenuh, waktu hijau, dan waktu siklus, sedangkan rumus untuk pendekatan webster dipengaruhi oleh waktu hijau aktual, total efektif waktu hijau, dan arus jenuh. Adanya arus jenuh pada rumus setiap pendekat, menyebabkan kapasitas dari rumus MKJI berubah-ubah pada setiap pendekat dan waktu pengamatan sementara kapasitas dari rumus webster tetap untuk setiap pendekat.

Variabel kedua adalah derajat kejenuhan. Variabel ini secara langsung dipengaruhi oleh volume lalu lintas dan kapasitas pendekat. Dengan nilai arus lalu lintas dan derajat kejenuhan yang berbanding lurus serta kapasitas dan derajat kejenuhan yang berbanding terbalik, menyebabkan pendekat barat memiliki derajat kejenuhan yang paling rendah dibandingkan pendekat lain. Selain itu, pendekat timur belok kanan merupakan pendekat dengan derajat kejenuhan tertinggi khususnya pada hari minggu sesi siang mengingat tingginya arus untuk pergerakan tersebut sementara kapasitas pendekatnya tergolong rendah.

Untuk tundaan rata-rata tiap pendekat, nilai yang diperoleh dipengaruhi oleh kapasitas pendekat, derajat kejenuhan, rasio hijau, dan jumlah kendaraan antri. Semakin tinggi volume lalu lintas yang tak didukung oleh kapasitas pendekat berdampak pada semakin lamanya waktu tundaan rata-rata pendekat yang dialami kendaraan. Selain itu, nilai tundaan dari analisis webster cenderung lebih kecil dibandingkan analisis MKJI. Hal ini disinyalir terjadi karena nilai arus jenuh pada analisis webster lebih kecil dibanding MKJI.

Parameter terakhir yang dibandingkan dalam analisis kinerja simpang adalah tundaan rata-rata simpang. Untuk metode Webster, tundaan rata-rata simpang merupakan rata-rata dari tundaan rata-rata pendekat, sehingga nilai yang diperoleh berbanding lurus. Sedangkan untuk metode MKJI, tundaan rata-rata simpang diperoleh dari hasil perbandingan antara jumlah tundaan total dengan jumlah arus lalu lintas di seluruh pendekat. Dari hasil yang diperoleh diketahui bahwa nilai tundaan dari hasil analisis MKJI lebih kecil daripada nilai tundaan dari hasil analisis Webster. Hal ini menandakan bahwa meskipun tundaan rata-rata pendekat dari analisis MKJI lebih besar dibandingkan webster, namun nilai tersebut tereduksi oleh nilai arus lalu lintas tiap pendekat untuk perhitungan tundaan simpang.

Pengaturan lalu lintas dipengaruhi hasil analisis waktu siklus dan pengaturan fase. Pergerakan pada persimpangan Jl. Adiyaksa-Jl. Pengayoman dibagi dalam empat fase sehingga distribusi waktu hijau dan penggambaran waktu sinyal disesuaikan dengan pembagian fase tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaturan sinyal eksisting di persimpangan diterapkan dengan pengaturan tetap sepanjang hari yang artinya pengaturan lalu lintas tidak menyesuaikan terhadap fluktuasi arus yang terjadi di setiap pendekat. Sistem ini dapat berdampak pada kinerja simpang yang tidak optimum dan tidak adaptif terhadap pergerakan lalu lintas.

Diagram pengaturan sinyal yang diperoleh pada setiap waktu pengamatan adalah berbeda-beda dengan waktu siklus total yang fluktuatif menyesuaikan pada perubahan arus lalu lintas. Dalam analisis dengan kedua metode, digunakan waktu antar hijau yang sama dengan yang diterapkan pada kondisi eksisting. Durasi waktu kuning/amber time setiap fase adalah tetap sebesar 4 detik sehingga yang mempengaruhi variasi waktu antar hijau adalah waktu semua merah yang berbeda-beda pada tiap fase. Nilai waktu antar hijau mempengaruhi besaran waktu siklus total tiap waktu pengamatan. Karena nilai waktu antar hijau adalah sama maka waktu hijau merupakan nilai yang bervariasi untuk setiap gambar sinyal.

Jika nilai waktu siklus MKJI dan Webster dibandingkan, diketahui bahwa untuk sesi pagi nilai waktu siklus hasil analisis MKJI lebih besar dibandingkan dengan Webster, sedangkan untuk sesi siang dan sore adalah sebaliknya. Hal ini terjadi karena pada analisis webster, waktu siklus dipengaruhi oleh nilai rasio arus (y) yang merupakan perbandingan arus dan arus jenuh. Meskipun arus jenuh dari analisis Webster secara konsisten lebih kecil dibandingkan nilai arus jenuh analisis MKJI, namun nilai rasio arus juga dipengaruhi oleh nilai arus lalu lintas. Diketahui bahwa volume lalu lintas di pagi hari lebih rendah dibandingkan waktu lainnya yang menyebabkan nilai rasio arus yang juga kecil. Semakin kecil rasio arus maka semakin kecil pula nilai waktu siklus yang diperoleh.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perbandingan hasil analisis waktu siklus pada persimpangan empat lengan Jl Adiyaksa- Jl. Pengayoman dengan menggunakan pendekatan MKJI dan Webster adalah memperoleh tren yang sama namun dengan nilai tiap variabel yang sedikit berbeda meskipun digunakan data arus yang sama. Waktu siklus maksimum untuk kedua metode terjadi di Hari Minggu siang sebesar 150 detik untuk pendekatan MKJI dan 164 detik untuk pendekatan Webster. Perbedaan hasil ini disebabkan karena arus jenuh tiap pendekat lebih besar dari perhitungan MKJI dibanding Webster.
2. Perbandingan antara waktu siklus aktual pada persimpangan empat lengan Jl Adiyaksa- Jl. Pengayoman dengan waktu siklus hasil analisis menggunakan pendekatan MKJI dan Webster adalah pengaturan sinyal eksisting di persimpangan diterapkan dengan pengaturan tetap sepanjang hari dengan waktu siklus tetap sebesar 118 detik. Hal ini kontradiktif dengan hasil penelitian yang menunjukkan nilai waktu siklus yang fluktuatif mengikuti volume lalu lintas di tiap pendekat pada setiap waktu pengamatan.

Daftar Pustaka

- [1] Y. D. Yogama, A. Sumarsono, and D. Handayani, "Hubungan Antara Tundaan dan Panjang Antrian dengan Konsumsi Bahan Bakar Minyak pada Pendekat Simpang di Surakarta," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 230–237, [Online]. Available: <http://matriks.sipil.ft.uns.ac.id/index.php/MaTekSi/article/view/499>.
- [2] J. Yu, L. Wang, and X. Gong, "Study on the Status

- Evaluation of Urban Road Intersections Traffic Congestion Base on AHP-TOPSIS Modal,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.08.071.
- [3] J. D. Anusanto and S. Tanggu, “Analisis Kinerja dan Manajemen pada Simpang dengan Derajat Kejenuhan Tinggi,” *Din. Rekayasa*, vol. 12, no. 2, pp. 79–86, 2016, [Online]. Available: <http://dinarek.unsoed.ac.id/jurnal/index.php/dinarek/article/view/157>.
- [4] B. M. Rosydah, D. Kurniasih, and R. Sandora, “Efek Karakteristik Individu dan Pengaruh Lingkungan Terhadap Perilaku Aggressive Driving pada Pengemudi Angkutan Umum di Kota Surabaya,” *Semin. MASTER PPNS*, vol. 2, no. 1, pp. 15–18, 2017, [Online]. Available: <http://journal.ppns.ac.id/index.php/SeminARMASTER/article/download/259/209>.
- [5] M. Eom and B. I. Kim, “The traffic signal control problem for intersections: a review,” *European Transport Research Review*. 2020, doi: 10.1186/s12544-020-00440-8.
- [6] M. A. Kamran, H. Ramezani, S. Masoumzadeh, and F. Nikkhoo, “Traffic Light Signal Timing Using Simulation,” *Commun. Adv. Comput. Sci. with Appl.*, 2017, doi: 10.5899/2017/cacsa-00061.
- [7] M. I. Fazlurrahman and B. H. Susilo, “Analisis Kemacetan Lalu Lintas Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus : Simpang Ir . H . Juanda – Raya Bogor) ANALYSIS OF TRAFFIC JAM IN SIGNALIZED INTERSECTIONS (Case Study : Intersection Ir . H . Juanda – Raya Bogor),” *Pros. Semin. Intelekt. Muda*, no. April, pp. 284–289, 2019.
- [8] S. S. S. M. Qadri, M. A. Gökçe, and E. Öner, “State-of-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities,” *European Transport Research Review*. 2020, doi: 10.1186/s12544-020-00439-1.
- [9] S. H. Prasetyo, E. Darma, and A. Hasan, “Kinerja Simpang Bersinyal pada Jalan Cut Meutia - Jalan Siliwangi – Jalan R. A. Kartini Kota Bekasi,” *J. Bentang*, vol. 2, no. 2, pp. 80–103, 2014, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/10668>.
- [10] A. J. Calle-Laguna, J. Du, and H. A. Rakha, “Computing optimum traffic signal cycle length considering vehicle delay and fuel consumption,” *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, 2019, doi: 10.1016/j.trip.2019.100021.
- [11] R. Agustaniah, “Perencanaan Geometrik Persimpangan Jalan Wahid Hasyim – Jalan H.M. Ardan di Kota Samarinda,” *Kurva S*, vol. 6, no. 2, pp. 7–20, 2020.
- [12] A. S. Amal, “Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal (Studi Kasus Simpang Empat Taman Dayu Kabupaten Pasuruan),” in *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2017*, 2017, vol. 3, pp. 1–9.
- [13] E. Saputro, “Studi Evaluasi Simpang Empat Bersinyal Jalan Adhiyaksa Kota Banjarmasin,” *J. Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 141–152, 2018.
- [14] R. Nasmirayanti, “Perencanaan Ulang Pengaturan Fase Alat Pengatur Lalu Lintas pada Persimpangan Bersinyal di Persimpangan Jl. Jend. Sudirman – Kis Mangun Sarkoro,” *Rang Tek. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 132–142, 2019.
- [15] A. Saha, S. Chandra, and I. Ghosh, “Delay at signalized intersections under mixed traffic conditions,” *J. Transp. Eng. Part A Syst.*, 2017, doi: 10.1061/JTEPBS.0000070.
- [16] Z. Wang, Q. Cai, B. Wu, L. Zheng, and Y. Wang, “Shockwave-Based Queue Estimation Approach For Undersaturated And Oversaturated Signalized Intersections Using Multi-Source Detection Data,” *J. Intell. Transp. Syst. Technol. Planning, Oper.*, 2017, doi: 10.1080/15472450.2016.1254046.
- [17] R. R. Sari, “Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Secara Teoritis Dan Praktis,” *Potensi J. Sipil Politek.*, 2015, doi: 10.35313/potensi.v17i1.517.
- [18] I. W. Kustanrika, “perhitungan sinyal pada simpang dengan metode webster,” *perhitungan sinyal pada simpang dengan metod. Webster*, 2015.
- [19] E. Widodo, “Analisa Kapasitas dan Tingkat Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan),” *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2017.