e-ISSN : 2775-0213

Tinjauan Pengaturan Waktu Sinyal pada Persimpangan Empat Lengan Menggunakan Pendekatan PKJI 2023 dan Webster (Studi Kasus: Persimpangan Jl. Andalas-Jl. Yos Sudarso-Jl. Tentara Pelajar-Jl. Ujung)

Review of Signal Timing at a Four-Arm Signalized Intersection Using the PKJI 2023 and Webster Approaches (Case Study: Jl. Andalas-Jl. Yos Sudarso-Jl. Tentara Pelajar-Jl. Ujung Intersection)

Muh. Alif Irham Ilyas[1,*], Andi Nurhasani[2], Aisyah Zakariah[3], Erning Ertami Anton[4], Abdul Fattah[5]

[1,2,3,4,5] *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia*

Abstrak

Peningkatan volume lalu lintas pada persimpangan empat lengan Jl. Andalas–Jl. Yos Sudarso–Jl. Tentara Pelajar–Jl. Ujung di Kota Makassar menyebabkan antrean panjang, tundaan, dan penurunan tingkat pelayanan (LOS). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, membandingkan pengaturan waktu sinyal PKJI 2023 dengan Metode Webster, serta menguji skenario perbaikan melalui simulasi PTV Vissim. Penelitian bersifat kuantitatif deskriptif komparatif dengan data primer volume lalu lintas, geometrik, dan waktu sinyal eksisting yang dikumpulkan selama empat hari. Pada kondisi eksisting dengan waktu siklus 95 detik dan konfigurasi 3 fase, LOS terburuk mencapai kategori F pada pendekat Timur dan Barat (Senin sore), atau D pada tingkat simpang. Perhitungan ulang pada konfigurasi 3 fase belum memperbaiki kinerja secara berarti: PKJI 2023 menghasilkan waktu siklus 138 detik dengan tundaan 59 detik/smp dan Webster 119 detik dengan tundaan 48 detik/smp, keduanya tetap pada LOS E, karena derajat kejenuhan seluruh pendekat telah mencapai 0,88. Perubahan konfigurasi dari 3 fase menjadi 2 fase, yang divalidasi melalui uji GEH (nilai < 5), terbukti jauh lebih efektif: PKJI 2023 menghasilkan waktu siklus 86 detik dengan tundaan simpang 33,29 detik/smp dan antrean 14,72 m, sedangkan Webster menghasilkan waktu siklus 76 detik dengan tundaan 32,77 detik/smp dan antrean 15,00 m, keduanya mencapai LOS C.

Kata Kunci

Simpang bersinyal, PKJI 2023, Metode Webster, PTV Vissim

PENDAHULUAN

Di Kota Makassar, permasalahan lalu lintas menjadi hal yang perlu ditangani secara serius seiring meningkatnya aktivitas perbelanjaan, perkantoran, dan bisnis yang menyebabkan kemacetan, terutama di lokasi-lokasi padat aktivitas yang berdampak pada menurunnya tingkat pelayanan jalan maupun simpang (1,2). Pengaturan waktu sinyal pada persimpangan bersinyal empat lengan merupakan elemen krusial dalam pengendalian arus kendaraan, pengurangan konflik antarpergerakan, serta penekanan tundaan dan panjang antrean. Ketidaksesuaian pengaturan waktu sinyal dengan karakteristik lalu lintas aktual dapat mengakibatkan distribusi

*Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifirham21@gmail.com

waktu hijau yang tidak proporsional antar pendekat, sehingga meningkatkan derajat kejenuhan dan menurunkan tingkat pelayanan persimpangan (3).

Penilaian kinerja persimpangan bersinyal di Indonesia umumnya mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (4), yang menyediakan prosedur dan parameter analisis kinerja melalui indikator derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean. Selain pendekatan pedoman nasional, pengaturan waktu sinyal juga dapat dianalisis menggunakan metode analitis Webster, yang bertujuan meminimalkan total tundaan kendaraan dan masih banyak digunakan sebagai dasar perencanaan maupun pembanding dalam kajian kinerja persimpangan bersinyal (5). Penelitian terdahulu pada persimpangan empat lengan di Kota Makassar dengan judul yang hampir serupa menganalisis pengaturan waktu sinyal menggunakan pendekatan MKJI dan Webster (6); perbedaan utama penelitian ini terletak pada pemutakhiran pedoman nasional dari MKJI 1997 ke PKJI 2023, yang mengubah sejumlah prosedur perhitungan arus jenuh dan faktor koreksi kapasitas. Kombinasi PKJI 2023 dengan simulasi PTV Vissim juga telah diterapkan pada beberapa studi kasus simpang bersinyal lain, baik di luar Kota Makassar (7,8) maupun di dalam Kota Makassar (9).

Namun demikian, studi-studi tersebut umumnya menerapkan ketiga pendekatan, yakni PKJI 2023, Webster, dan PTV Vissim secara terpisah, atau menghentikan analisis pada tahap perbandingan waktu siklus tanpa menelusuri lebih jauh mengapa kedua metode analitis dapat menghasilkan waktu siklus yang berbeda pada satu konfigurasi fase namun menyatu pada konfigurasi fase yang lain. Kebaruan penelitian ini bukan sekadar pada penggabungan ketiga pendekatan pada satu lokasi yang sama, melainkan pada temuan substantifnya: penelitian ini menunjukkan secara kuantitatif bahwa penyesuaian waktu siklus saja pada jumlah fase eksisting (3 fase), baik dengan PKJI 2023 maupun Webster, tidak mampu mengeluarkan simpang dari LOS E karena derajat kejenuhan pada seluruh pendekat telah melampaui batas ideal (DJ $\approx$ 0,88), sedangkan perubahan konfigurasi fase dari 3 menjadi 2 fase terbukti menurunkan tundaan simpang hingga 32,5% dan memperbaiki LOS secara terukur. Besaran perbaikan ini sejalan dengan temuan pada studi internasional yang menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi geometrik atau fase persimpangan umumnya memberikan perbaikan kinerja yang jauh lebih besar dibandingkan optimasi waktu sinyal semata (10).

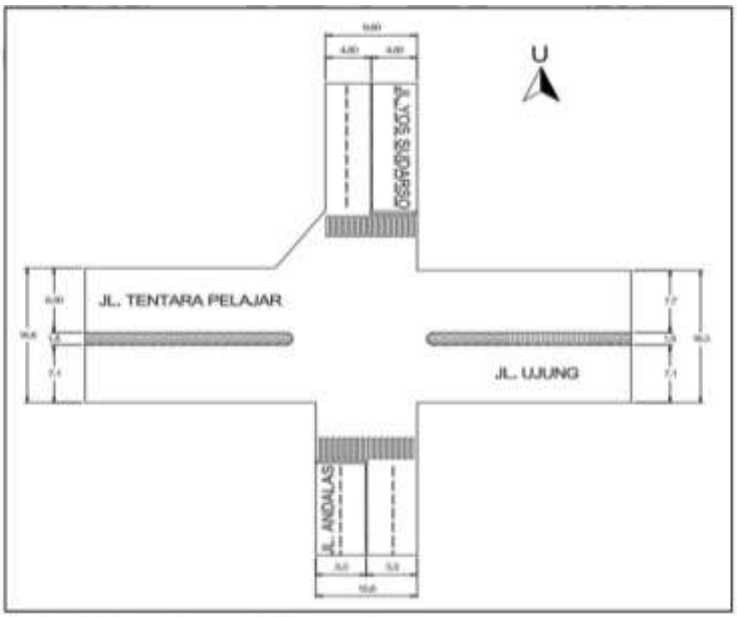
Persimpangan Jl. Andalas–Jl. Yos Sudarso–Jl. Tentara Pelajar–Jl. Ujung merupakan simpang bersinyal empat lengan dengan peran strategis dalam melayani pergerakan lalu lintas di Kota Makassar, dengan intensitas arus yang tinggi pada jam puncak sehingga memerlukan evaluasi efektivitas pengaturan waktu sinyal yang diterapkan saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang pada kondisi eksisting berdasarkan pendekatan PKJI 2023, kemudian menentukan pengaturan waktu sinyal menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan Metode Webster, lalu selanjutnya menganalisis skenario perbaikan kinerja simpang berdasarkan hasil simulasi PTV Vissim.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan analitis komparatif, yang menganalisis dan mengevaluasi kinerja persimpangan bersinyal empat lengan Jl. Andalas–Jl. Yos Sudarso–Jl. Tentara Pelajar–Jl. Ujung di Kota Makassar menggunakan pendekatan PKJI 2023, kemudian membandingkannya dengan hasil perhitungan waktu siklus optimum menggunakan Metode Webster. Pendekatan komparatif digunakan untuk mengidentifikasi metode pengaturan waktu sinyal yang menghasilkan kinerja simpang paling optimal.

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Survei dilaksanakan selama 4 hari, yaitu 3 hari kerja (Senin, Selasa, dan Kamis) dan 1 hari libur (Sabtu), pada periode pagi (08.00–09.00 WITA), siang (12.00–13.00 WITA), dan sore (17.00–18.00 WITA), berdasarkan jam puncak hasil survei pendahuluan selama 13 jam (06.00–19.00 WITA) yang dilaksanakan pada hari Kamis, 16 April 2026. Data primer yang dikumpulkan meliputi kondisi geometrik simpang (Tabel 1), volume lalu lintas per pergerakan (belok kiri, lurus, belok kanan) dengan interval 15 menit, waktu sinyal eksisting (waktu siklus, waktu hijau tiap fase, jumlah fase), panjang antrean, dan hambatan samping. Data sekunder berupa peta lokasi dan literatur pendukung, termasuk PKJI 2023 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 96 Tahun 2015 (11), juga digunakan sebagai dasar analisis. Denah geometrik kondisi eksisting simpang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Geometrik Simpang Eksisting

Tabel 1. Kondisi Eksisting Geometrik Simpang

Kode	Nama Jalan	Tipe Lingkungan	Median	Kelandaian (%)	Lebar Lajur L (m)	Lebar Garis Henti LM (m)	Lebar Lajur Belok Kiri LBKi (m)	Lebar Lajur Keluar LK (m)
U	Jl. Yos Sudarso	KOM	Tidak	0	4,8	2,7	1,5	2,7
S	Jl. Andalas	KOM	Tidak	0	5,3	3,3	2,0	3,3
T	Jl. Ujung	KOM	Ya	-1,5	7,2	5,2	2,0	5,2
B	Jl. Tentara Pelajar	KOM	Ya	+1,5	8,0	5,0	3,0	5,0

Penelitian ini menggunakan dua ambang tingkat pelayanan (LOS) yang berlaku pada satuan analisis yang berbeda, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Tundaan per-pendekat hasil perhitungan PKJI 2023 dan Metode Webster diklasifikasikan berdasarkan PM 96/2015 (11).

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Adapun tundaan rata-rata simpang keseluruhan yang dihasilkan oleh simulasi PTV Vissim diklasifikasikan menggunakan kriteria bawaan (*default*) perangkat lunak tersebut, yaitu kriteria LOS simpang bersinyal dari *Highway Capacity Manual* (12), karena keluaran evaluasi kinerja pada PTV Vissim secara baku mengikuti definisi tundaan kontrol (*control delay*) HCM, bukan PM 96/2015. Perbedaan ambang inilah yang menjelaskan mengapa nilai tundaan yang secara numerik berdekatan dapat memperoleh notasi huruf LOS yang berbeda pada Tabel 3 dan Tabel 10 penelitian ini; kedua ambang tetap dilaporkan secara eksplisit di setiap tabel agar tidak menimbulkan ambiguitas.

Tabel 2. Kriteria Tingkat Pelayanan (LOS) (11,12)

Tingkat Pelayanan	Tundaan PM 96/2015 (dtk/smp, per-pendekat)	Tundaan HCM 6th Ed. (dtk/smp, simpang bersinyal)
A	< 5	≤ 10
B	5 – 15	> 10 – 20
C	15 – 25	> 20 – 35
D	25 – 40	> 35 – 55
E	40 – 60	> 55 – 80
F	> 60	> 80

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan tundaan dan penentuan tingkat pelayanan (LOS) berdasarkan PKJI 2023 dan PM 96 Tahun 2015 pada keempat pendekat hari Senin menunjukkan variasi LOS dari kategori C hingga F, sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Tingkat pelayanan terburuk (LOS F) terjadi pada pendekat Timur (Jl. Ujung) dan Barat (Jl. Tentara Pelajar) periode sore, dengan tundaan masing-masing 74 dan 64 detik/smp. Secara umum, kinerja simpang cenderung menurun pada periode sore, sehingga jam puncak sore hari Senin (17.00–18.00 WITA) ditetapkan sebagai kondisi kritis yang menjadi dasar analisis pengaturan waktu sinyal pada sub-bab berikutnya. Perlu ditegaskan bahwa nilai dan notasi LOS pada Tabel 3 merupakan LOS per-pendekat (satuan analisis: satu arah masuk simpang), berbeda dari LOS simpang secara keseluruhan yang dilaporkan pada Tabel 10 dari hasil simulasi PTV Vissim.

Tabel 3. Tundaan dan Tingkat Pelayanan (LOS) per Pendekat Hasil Perhitungan PKJI 2023, pada Hari Senin

Periode	Utara (dtk/smp)	Selatan (dtk/smp)	Timur (dtk/smp)	Barat (dtk/smp)
Pagi (08.00–09.00)	34 (D)	48 (E)	43 (E)	48 (E)
Siang (12.00–13.00)	33 (D)	23 (C)	55 (E)	48 (E)
Sore (17.00–18.00)	50 (E)	54 (E)	74 (F)	64 (F)

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Volume arus lalu lintas dan hasil perhitungan arus jenuh, kapasitas, serta derajat kejenuhan pada jam puncak kritis (Senin sore) menggunakan prosedur PKJI 2023 disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Nilai WHi, C, dan DJ pada Tabel 5 dihitung menggunakan waktu hijau hasil perhitungan ulang PKJI 2023 (Tabel 6), bukan waktu hijau eksisting.

Tabel 4. Volume Arus Lalu Lintas Jam Puncak Kritis (Senin, 17.00–18.00 WITA)

Kode Pendekat	Nama Jalan	Volume Total (kend/jam)	Arus Lalu Lintas q (smp/jam)*
U	Jl. Yos Sudarso	1.444	832
S	Jl. Andalas	1.032	581
T	Jl. Ujung	1.510	529
B	Jl. Tentara Pelajar	1.667	678

Arus lalu lintas (q) dalam smp/jam dihitung menggunakan nilai emp yang sesuai dengan tipe pendekat: emp sepeda motor 0,15 untuk pendekat tipe terlindung (P) dan 0,40 untuk pendekat tipe terlawan (O), sesuai PKJI 2023 (4). Nilai emp sepeda motor pada simpang bersinyal terwaktu di Indonesia masih menjadi bahan penelitian yang berkembang (13,14).

Tabel 5a. Arus Jenuh, Rasio Arus, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan per Pendekat pada Konfigurasi 3 Fase

Pendekat	Tipe	J (smp/jam)	q (smp/jam)	Rq/J	WHi (detik)	C (smp/jam)	DJ
U (Yos Sudarso)	O	2.232,50	832,30	0,3728	58	942,04	0,884
S (Andalas)	O	1.568,45	581,40	0,3707	58	661,83	0,879
T (Ujung)	P	3.269,77	528,70	0,1617	25	598,41	0,883
B (Tentara Pelajar)	P	2.898,24	677,95	0,2339	37	767,34	0,883

Tabel 5b. Tipe Pendekat, Arus Jenuh, dan Rasio Arus per Pendekat pada Konfigurasi 2 Fase

Pendekat	Tipe	J (smp/jam)	q (smp/jam)	Rq/J
U (Yos Sudarso)	O	2.236,30	832,30	0,3722
S (Andalas)	O	1.619,75	581,40	0,3589
T (Ujung)	O	2.964,00	821,20	0,2771
B (Tentara Pelajar)	O	2.835,75	975,20	0,3439

Catatan: *Pada konfigurasi 2 fase, pendekat T dan B bergerak bersamaan sehingga berubah menjadi tipe terlawan (O). Arus kedua pendekat dihitung menggunakan emp sepeda motor 0,40, sedangkan pada konfigurasi 3 fase menggunakan 0,15 sesuai tipe terlindung (P)* (4,13).

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Tabel 5a menunjukkan bahwa keempat pendekat memiliki derajat kejenuhan (DJ) pada rentang 0,878–0,884, yang telah melampaui batas ideal DJ = 0,85 yang direkomendasikan PKJI 2023. Kondisi ini mengindikasikan bahwa simpang telah mendekati kapasitas maksimumnya (near-saturated), sehingga perpanjangan waktu siklus melalui perhitungan ulang PKJI 2023 maupun Webster hanya memberikan ruang hijau tambahan yang terbatas dampaknya terhadap tundaan, sebagaimana dibahas pada sub-bab berikut.

Perhitungan ulang waktu sinyal dilakukan pada konfigurasi 3 fase eksisting (Fase 1: Jl. Yos Sudarso dan Jl. Andalas, Fase 2: Jl. Tentara Pelajar, Fase 3: Jl. Ujung) menggunakan data jam puncak sore sebagai kondisi kritis. Kedua metode pada dasarnya menggunakan bentuk persamaan waktu siklus yang sama (persamaan Webster, karena PKJI 2023 mengadopsi struktur persamaan tersebut)

Perbedaan hasil waktu siklus antara kedua metode pada konfigurasi 3 fase (138 detik pada PKJI 2023 dan 119 detik pada Webster) bukan berasal dari perbedaan bentuk persamaan, melainkan sepenuhnya dari perbedaan waktu hilang total (L/WHH) yang digunakan. PKJI 2023 menggunakan WHH = 18 detik hasil akumulasi waktu kuning dan waktu merah semua aktual di lapangan (Tabel 7), sedangkan Metode Webster menggunakan rumus klasik L = 2n + R = (2×3) + 9 = 15 detik. Kedua metode menggunakan rasio arus kritis total yang sama, yaitu ΣRq/J = 0,373 + 0,234 + 0,162 = 0,769 (Tabel 5), sehingga selisih 3 detik pada waktu hilang diperbesar menjadi selisih 19 detik pada waktu siklus oleh bentuk persamaan yang sangat sensitif terhadap Y ketika Y mendekati 1.

Tabel 6. Perbandingan Waktu Sinyal 3 Fase antara PKJI 2023 dan Metode Webster, Jam Puncak Sore Hari Senin

Parameter	Eksisting	PKJI 2023	Metode Webster
Waktu siklus	95 detik	138 detik	119 detik
Waktu hilang total (L / WHH)	18 detik	18 detik	15 detik
Waktu hijau Fase 1 (U+S)	29 detik	58 detik	50 detik
Waktu hijau Fase 2 (B)	20 detik	37 detik	32 detik
Waktu hijau Fase 3 (T)	28 detik	25 detik	22 detik
Kontrol: Σ WHi + L	95 detik	138 detik (58+37+25+18)	119 detik (50+32+22+15)
Tundaan rata-rata simpang	–	59 det/smp	48 det/smp
Tingkat pelayanan (LOS)	–	E	E

Baris kontrol pada Tabel 6 menunjukkan bahwa penjumlahan waktu hijau tiap fase dengan waktu hilang total masing-masing metode sama dengan waktu siklusnya sendiri (PKJI 2023: 58+37+25+18 = 138 detik; Webster: 50+32+22+15 = 119 detik), sehingga kedua kolom secara internal konsisten meskipun menggunakan basis waktu hilang yang berbeda. Kedua metode juga menghasilkan waktu siklus (119 dan 138 detik) yang melampaui rentang waktu siklus yang umum direkomendasikan untuk simpang 3 fase (kurang lebih 50–100 detik). Hal ini merupakan konsekuensi langsung dari derajat kejenuhan yang sudah tinggi (Tabel 5): pada

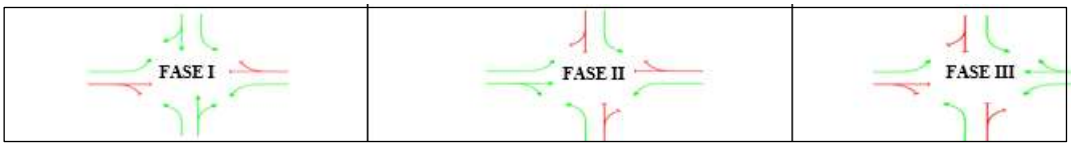
Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

kondisi mendekati jenuh, persamaan Webster/PKJI 2023 akan terus memperbesar waktu siklus untuk mengejar kapasitas tambahan yang semakin kecil, sehingga waktu siklus yang dihasilkan menjadi tidak praktis, berpotensi menambah frustrasi dan pelanggaran pengguna jalan, serta menegaskan bahwa penyesuaian waktu sinyal pada jumlah fase yang tetap bukan solusi yang memadai untuk simpang ini.

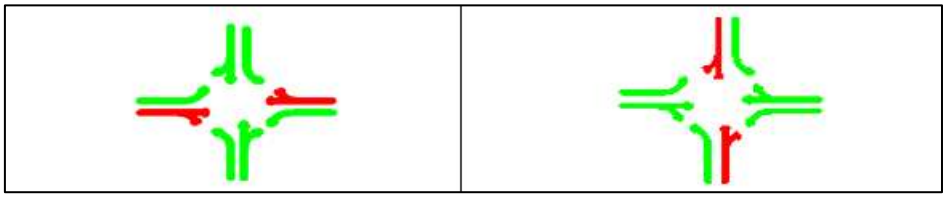
Kedua metode menghasilkan tundaan rata-rata simpang yang tetap berada pada tingkat pelayanan E (Tabel 6), sejalan dengan temuan penelitian sejenis pada persimpangan empat lengan lain (6). Kondisi ini menjadi dasar disusunnya skenario perbaikan berupa perubahan konfigurasi fase.

Skenario perbaikan disusun dengan mengubah konfigurasi sinyal dari 3 fase menjadi 2 fase, yaitu Fase 1 (Jl. Yos Sudarso dan Jl. Andalas) dan Fase 2 (Jl. Tentara Pelajar dan Jl. Ujung); skenario pelebaran geometrik tidak digunakan karena kondisi lahan di lokasi penelitian tidak memungkinkan pelebaran.

Perbandingan diagram pergerakan dan waktu tampilan sinyal untuk kedua konfigurasi disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Diagram Pergerakan Konfigurasi 3 Fase Eksisting (Fase I: U+S, Fase II: B, Fase III: T)



Gambar 3. Diagram Pergerakan Skenario 2 Fase (Fase 1: U+S, Fase 2: B+T)

Waktu hilang total pada skenario 2 fase (WHH = 13 detik) diperoleh dari waktu antarhijau pada dua pergantian fase yang tersisa, yaitu WAH Fase 1→Fase 2 = waktu merah semua (5 detik) + waktu kuning (3 detik) = 8 detik, dan WAH Fase 2→Fase 1 = waktu merah semua (2 detik) + waktu kuning (3 detik) = 5 detik. Nilai ini konsisten dengan Tabel 8. Perbedaan konvensi tersebut telah ditunjukkan pada konfigurasi 3 fase, yaitu 18 detik pada PKJI 2023 dan 15 detik pada Metode Webster.

Tabel 7. Waktu Tampilan Sinyal Kondisi Eksisting 3 Fase (Waktu Siklus 95 Detik)

eksisting	fase 1	Utara & selatan	29	3	5	58		
	fase 2	Barat	37	20	3	2	33	
	fase 3	Timur	62	28	3	2		

Tabel 8. Waktu Tampilan Sinyal Skenario 2 Fase (Waktu Siklus 86 Detik)

2 Fase	fase 1	Utara & selatan	30	3	5	25
	fase 2	Barat & Timur	38	20	3	2

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Pada konfigurasi 2 fase, pendekat Barat dan Timur bergerak bersamaan sehingga keduanya berubah dari tipe terlindung (P) menjadi tipe terlawan (O), yaitu kondisi ketika pergerakan belok kanan harus memanfaatkan celah pada arus lawan (15). Arus kedua pendekat karenanya dihitung ulang menggunakan nilai emp tipe terlawan, sebagaimana disajikan pada Tabel 5, dan menghasilkan rasio arus kritis total sebesar 0,716. Dengan rasio arus tersebut, PKJI 2023 menghasilkan waktu siklus 86 detik (WHH = 13 detik) dengan pembagian waktu hijau 38 detik untuk Fase 1 (Utara + Selatan) dan 35 detik untuk Fase 2 (Barat + Timur), sedangkan Metode Webster menghasilkan waktu siklus 76 detik (L = 2n + R = 11 detik) dengan waktu hijau 34 dan 31 detik.

Waktu siklus skenario 2 fase dihitung ulang menggunakan PKJI 2023 dan Metode Webster, kemudian disimulasikan secara mikroskopis menggunakan PTV Vissim yang telah dikalibrasi dan divalidasi menggunakan uji Geoffrey E. Havers (GEH) terhadap volume kendaraan hasil observasi, untuk memperoleh nilai tundaan, panjang antrean, dan LOS pada tiap skenario.

Model PTV Vissim dikalibrasi menggunakan parameter perilaku pengemudi (16). Validasi model dilakukan menggunakan uji statistik GEH (17,18), dengan kriteria model diterima apabila nilai GEH < 5 pada seluruh ruas dan periode yang diamati. Hasil uji GEH untuk skenario 2 fase disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Uji GEH Kalibrasi Model PTV Vissim terhadap Volume Observasi Lapangan

Fase	Pendekat	Q Observasi (kend/jam)	Q Obs./6* (kend/600 dtk)	Q Simulasi (kend/600 dtk)	Nilai GEH	Keterangan
1	Jl. Yos Sudarso (U)	1.444	241	251	0,64	Diterima
1	Jl. Andalas (S)	1.032	172	174	0,15	Diterima
2	Jl. Tentara Pelajar (B)	1.667	278	276	0,11	Diterima
2	Jl. Ujung (T)	1.510	252	239	0,80	Diterima

Simulasi dijalankan dengan durasi 600 detik akibat keterbatasan lisensi PTV Vissim Student version yang digunakan (batasan jumlah simpang dan durasi simulasi jaringan); nilai Q observasi dibagi 6 untuk disetarakan dengan durasi simulasi tersebut sebelum dibandingkan dengan Q simulasi.



Gambar 4. Tampilan Jaringan Model Simulasi PTV Vissim Setelah Kalibrasi

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

Kedua metode menggunakan rasio arus kritis yang sama tetapi konvensi waktu hilang yang berbeda, sehingga menghasilkan waktu siklus dan pembagian waktu hijau yang berbeda pula. Masing-masing rancangan disimulasikan secara terpisah pada PTV Vissim, dan hasilnya disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Simulasi PTV Vissim antara Kondisi Eksisting (3 Fase) dan Skenario 2 Fase

Parameter	Eksisting (3 Fase)	PKJI Skenario 2 Fase	Webster Skenario 2 Fase
Waktu siklus	95 detik	86 detik	76 detik
Waktu hilang total (WHH)	18 detik	13 detik	11 detik
Waktu hijau Fase 1 (U+S)	29 detik	38 detik	34 detik
Waktu hijau Fase 2 (B+T)	20 & 28 detik	35 detik	31 detik
Tundaan simpang (Vissim)	48,58 detik/smp	33,29 detik/smp	32,77 detik/smp
Panjang antrean (Vissim)	28,11 m	14,72 m	15,00 m
LOS – kriteria HCM (keluaran default Vissim)	D	C	C
LOS – kriteria PM 96/2015 (dihitung ulang)	E	D	D

Perubahan konfigurasi dari 3 fase menjadi 2 fase terbukti menurunkan tundaan simpang sebesar 31,5% pada rancangan PKJI 2023 (dari 48,58 menjadi 33,29 detik/smp) dan 32,5% pada rancangan Webster (menjadi 32,77 detik/smp), disertai penurunan panjang antrean sebesar 47,6% dan 46,6% (dari 28,11 m menjadi 14,72 m dan 15,00 m). Menurut kriteria HCM yang menjadi keluaran baku PTV Vissim, perbaikan ini membawa LOS simpang dari kategori D menjadi C pada kedua rancangan; sedangkan jika tundaan yang sama dikonversi ke ambang PM 96/2015 (Tabel 2), perbaikan tersebut setara dengan pergeseran dari kategori E menjadi D. Terlepas dari ambang yang digunakan, arah dan besaran perbaikannya konsisten dan bermakna secara operasional.

Perbandingan antara kedua rancangan menunjukkan pertukaran yang khas antara waktu siklus dan panjang antrean. Waktu siklus Webster yang lebih pendek (76 detik) menghasilkan tundaan simpang yang sedikit lebih rendah, namun waktu hijau per fase yang lebih pendek membuat antrean yang terbentuk setiap siklus sedikit lebih panjang dibandingkan rancangan PKJI 2023. Selisih keduanya kecil dan keduanya berada pada tingkat pelayanan yang sama, sehingga pemilihan di antara keduanya lebih ditentukan oleh pertimbangan operasional, yaitu apakah pengelola memprioritaskan tundaan rata-rata yang lebih rendah atau panjang antrean yang lebih terkendali.

Perbedaan kinerja antar pendekat pada kondisi eksisting sejalan dengan karakteristik geometrik dan pola arus pada Tabel 1, 4, dan 5. Pendekat Timur (Jl. Ujung) dan Barat (Jl. Tentara Pelajar) memiliki lebar lajur yang lebih besar (7,2 m dan 8,0 m) dibandingkan Utara dan Selatan, namun pada konfigurasi 3 fase eksisting keduanya masing-masing hanya memperoleh fase hijau tersendiri (Fase 2 dan Fase 3) sehingga secara bergantian berbagi total waktu hijau yang tersedia, sementara arus lalu lintasnya besar dan didominasi oleh proporsi

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

belok kanan yang tinggi (rasio belok kanan pendekat Timur ≈ 0,41 dan Barat ≈ 0,26, jauh lebih tinggi dibandingkan Utara ≈ 0,15 dan Selatan ≈ 0,12), yang meningkatkan konflik pergerakan dan menurunkan efisiensi pemakaian waktu hijau. Kombinasi lebar jalur besar namun waktu hijau per fase kecil serta proporsi belok kanan tinggi inilah yang menjelaskan mengapa Timur dan Barat mencatat tundaan tertinggi (LOS F) pada periode sore, sekalipun secara geometrik keduanya bukan pendekat tersempit. Temuan ini konsisten dengan studi internasional yang menunjukkan bahwa jumlah lajur belok kanan dan belok kiri berpengaruh nyata terhadap tundaan simpang bersinyal (19), serta bahwa penyediaan lajur belok kanan khusus dapat menurunkan tundaan secara berarti (20). Perbandingan antara rencana dua fase dan empat fase pada simpang empat lengan juga menunjukkan bahwa konfigurasi dua fase dapat menghasilkan tundaan rata-rata yang lebih rendah, meskipun keunggulannya bergantung pada besarnya rasio belok pada tiap pendekat (10) — sejalan dengan besaran perbaikan 31,5–32,5% yang diperoleh pada penelitian ini.

Perhitungan pada penelitian ini menggunakan nilai emp dan prosedur penaksiran arus jenuh baku PKJI 2023. Beberapa penelitian di Indonesia melaporkan nilai emp sepeda motor yang berbeda dari nilai baku tersebut pada kondisi lalu lintas dengan proporsi sepeda motor tinggi (13,14), dan menunjukkan bahwa model penaksiran arus jenuh dasar dalam pedoman nasional masih perlu dimutakhirkan untuk lalu lintas heterogen (21), sehingga uji sensitivitas terhadap kedua parameter tersebut perlu menjadi bahan penelitian lanjutan. Penelitian lanjutan juga disarankan menjalankan replikasi (multiple runs) dengan seed acak yang berbeda-beda dan durasi simulasi yang lebih panjang, memakai lisensi PTV Vissim penuh untuk menghilangkan batasan durasi jaringan dan simulasi, serta mengevaluasi aspek keselamatan pergerakan belok kanan pada konfigurasi 2 fase yang belum dibahas secara khusus pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Kinerja simpang bersinyal Jl. Andalas–Jl. Yos Sudarso–Jl. Tentara Pelajar–Jl. Ujung pada kondisi eksisting menunjukkan variasi LOS dari kategori C hingga F apabila dinilai per-pendekat dengan ambang PM 96/2015 (LOS terburuk F pada pendekat Timur dan Barat hari Senin periode sore), atau LOS D apabila dinilai pada tingkat simpang keseluruhan menggunakan kriteria HCM dari simulasi PTV Vissim; kedua nilai ini bukan kontradiksi, melainkan mencerminkan satuan analisis dan ambang klasifikasi yang berbeda, dengan waktu siklus eksisting 95 detik pada konfigurasi 3 fase. Perhitungan ulang waktu sinyal pada konfigurasi 3 fase menggunakan PKJI 2023 menghasilkan waktu siklus 138 detik dengan tundaan 59 detik/smp (LOS E), sedangkan Metode Webster menghasilkan waktu siklus 119 detik dengan tundaan 48 detik/smp (LOS E); kedua nilai waktu siklus ini melampaui rentang praktis 50–100 detik untuk simpang 3 fase karena derajat kejenuhan seluruh pendekat telah mencapai sekitar 0,88, sehingga penyesuaian waktu sinyal saja belum memperbaiki tingkat pelayanan simpang. Skenario perubahan konfigurasi dari 3 fase menjadi 2 fase (Fase 1: Utara dan Selatan, Fase 2: Barat dan Timur) mengubah pendekat Barat dan Timur menjadi tipe terlawan dan menghasilkan waktu siklus 86 detik dengan waktu hijau 38 dan 35 detik menurut PKJI 2023, serta 76 detik dengan waktu hijau 34 dan 31 detik menurut Metode Webster; perbedaan ini konsisten dengan perbedaan pada konfigurasi 3 fase dan bersumber sepenuhnya dari konvensi penetapan waktu hilang kedua metode. Setelah disimulasikan pada PTV Vissim dengan kalibrasi GEH < 5, kedua rancangan menghasilkan tundaan simpang 33,29 dan 32,77 detik/smp (turun 31,5% dan 32,5%) serta panjang antrean 14,72 dan 15,00 m (turun 47,6% dan 46,6%), keduanya memperbaiki LOS dari D menjadi C menurut kriteria HCM atau dari E menjadi D menurut PM 96/2015. Dengan demikian, pengurangan jumlah fase dari 3 menjadi 2 direkomendasikan sebagai strategi yang jauh lebih efektif untuk meningkatkan kinerja

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

simpang bersinyal ini dibandingkan sekadar penyesuaian waktu siklus pada jumlah fase eksisting, dengan catatan keterbatasan bahwa analisis ini berbasis data survei satu hari kritis (Senin sore) dan simulasi berdurasi terbatas akibat lisensi Student version, sehingga aspek keselamatan pergerakan belok kanan pada skenario 2 fase, yang pada operasi terlawan bergantung pada pemilihan celah oleh pengemudi (15), serta validasi dengan replikasi simulasi yang lebih banyak perlu menjadi fokus penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jurusan Teknik Sipil, Program Studi D-4 Jasa Konstruksi, serta dosen pembimbing atas arahan, bimbingan, dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zakariah A, Razak BA, Gani FA, Ardiansyah, Bahar MIA. Optimalisasi Kinerja Simpang dengan Metode Local Area Traffic Management (Studi Kasus: Simpang Empat Bersinyal Toddopuli Kota Makassar). J Appl Civ Environ Eng. 2024;4(2):32–44.
2. Berrill P, Nachtigall F, Javaid A, Milojevic-Dupont N, Wagner F, Creutzig F. Comparing urban form influences on travel distance, car ownership, and mode choice. Transp Res Part D Transp Environ. 2024;128(December 2023):104087.
3. Setiawan A, Eko Prasetyo H, Muhtadi D, Novriani S, Trijeti. Manajemen Lalu Lintas Pada Simpang 3 Lengan Dengan Tinjauan Tundaan. J Konstr. 2024;16(1):119–30.
4. Direktorat Jenderal Bina Marga. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. 2023.
5. Webster FV. Traffic Signal Settings. Road Res Tech Pap No 39. 1958;
6. Alkam RB, Muin SA, Istiawan, Syam DJWI. Tinjauan Pengaturan Waktu Sinyal pada Persimpangan Empat Lengan Menggunakan Pendekatan MKJI dan Webster. J Apl Tek Sipil. 2021;19(4):479–88.
7. Cahya P. P A, Angelica EG, Setijowarno D, Hartanto D. Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Program PTV Vissim (Studi Kasus : Simpang Peterongan dan Simpang Ahmad Yani). G-Smart. 2024;8(1):17–27.
8. Sideman IAOS, Rizfi C, Mahendra M. Analisis Kinerja Simpang Paokmotong, Lombok Timur Menggunakan Metode PKJI dan Program Simulasi PTV Vissim. ULIL ALBAB J Ilm Multidisiplin. 2025;4(8):1873–80.
9. Anton EE, Zakaria A, Tajuddin A, Ananda AA. Perencanaan Waktu Sinyal Lampu Lalu Lintas Menggunakan Mikrosimulasi Vissim pada Simpang Tiga di Kota Makassar. J Tek Sipil MACCA. 2022;7(2):94–103.
10. Jin CJ, Wang W, Jiang R. Four-phase or two-phase signal plan? A study on four-leg intersection by cellular automaton simulations. Int J Mod Phys C. 2016;27(3):1–14.
11. Menteri Perhubungan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. 2015.
12. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. 6th ed. Washington, DC; 2016.
13. Sugiarto S, Apriandy F, Darma Y, Saleh SM, Rusdi M, Miwa T. Determining passenger car equivalent (PCEs) for pretimed signalized intersections with severe motorcycle composition using Bayesian linear regression. PLoS One. 2021;16(9 September):1–14.
14. A'yuni Q, Sugiarto S, Saleh SM, Darma Y. A preliminary analysis for determining passenger car equivalent value for motorcycle during first lost time and saturation time

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom

at pretimed signalized intersections. E3S Web Conf. 2024;476.
15. Federal Highway Administration. Traffic Signal Timing Manual. Washington, DC; 2008.
16. Federal Highway Administration. Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Publication No. FHWA-HRT-04-040. Washington, DC; 2004.
17. Feldman O. The GEH measure and quality of the highway assignment models. In: Association for European Transport and Contributors. 2012. p. 1–18.
18. Hafram SM, Valery S, Hasim AH. Calibrating and validation microscopic traffic simulation models VISSIM for enhanced highway capacity planning. Int J Eng Trans B Appl. 2023;36(8):1509–19.
19. Rahmani O, Abdollahzadeh Nasiri AS, Aghayan I. The Effect of the Number of Right-Turn and Left-Turn Lanes on the Performance of Undersaturated Signalized Intersections. J Adv Transp. 2023;2023.
20. Alkaissi ZA. Evaluating the Performance of Right Turn Lanes at Signalized Intersection Using Traffic Simulation Model. Civ Eng J. 2024;10(7):2233–43.
21. Lulusi L, Sugiarto S, Saleh SM, Isya M, Rusdi M, Rahma R. Bayesian MCMC with Gibbs sampling for saturation flow rate estimation in heterogeneous traffic at pretimed signalized intersections. MethodsX. 2025;15:103507.

Koresponden : **Muh. Alif Irham Ilyas** alifrham21@gmailcom