

ANALISIS KOORDINASI SINYAL ANTAR SIMPANG WIROBRAJAN DAN SIMPANG NGABEAN YOGYAKARTA

Krisnandio Sepnanda Patrias¹ dan Yohannes Lulie²

Program Studi S1 Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Depok, Sleman, Yogyakarta
email : ¹krisnandiosp@gmail.com, ²y.lulie@uajy.ac.id

Abstract: The quantity of intersection in huge urban areas like Yogyakarta, particularly at intersection points that are excessively near distance, for example, Wirobrajan and Ngabean intersection points, make vehicles at times stop at every intersection because of red signs. It is necessary to calculate the Wirobrajan and Ngabean intersections and to implement coordinated signal intersections to reduce delays and queues. Information were gathered by direct survey at the two intersection during the morning, day and afternoon times of heavy traffic. The information assortment study was done on 4, 5 and 10 November 2020. The data taken is the road geometric data, signal time, traffic volume, and the development speed of vehicles experiencing the two unions. The assembly execution assessment uses the MKJI (1997) and the Green Bandwidth Maximization Theory. From the overview results it is realized that the two crossing points have not been facilitated. From the six plans, another sign season of 163 seconds was acquired, with a offset of 24 seconds. Then, the Green Bandwidth Maximization Theory acquired 38 seconds for the East and 39 seconds for the West. The average performance value in the coordinated mainstream is a degree of saturation (DS) of 0.94, a queue length (QL) of 291.5 meters, and a delay of 120 seconds. After planning the coordination between intersections, the average value for the degree of saturation (DS) has a value of 0.88, a queue length (QL) of 238 meters, and a delay of 79.68 seconds in the coordinated mainstream.

Keywords: signal coordination, delay, queue length, offset, bandwidth

Abstrak: Banyaknya persimpangan di kota besar seperti Yogyakarta terlebih pada simpang dengan jarak yang terlalu dekat seperti pada Simpang Wirobrajan dan Simpang Ngabean, membuat kendaraan terkadang berhenti pada setiap simpang dikarenakan sinyal merah. Perlu dilakukan perhitungan Simpang Wirobrajan dan Simpang Ngabean dan menerapkan simpang bersinyal terkoordinasi untuk mengurangi tundaan dan panjang antrian. Pengambilan data dilakukan dengan cara survei langsung di kedua simpang pada jam sibuk pagi, siang, dan sore. *Survey* pengambilan data dilakukan pada tanggal 4, 5 dan 10 November 2020. Data yang diambil ialah data geometrik jalan, waktu sinyal, volume lalu lintas, dan kecepatan tempuh kendaraan yang melalui kedua simpang. Data yang didapatkan digunakan dalam memperoleh kondisi eksisting terjenuh untuk menjadi acuan dalam perencanaan waktu siklus baru dengan memperhatikan teori koordinasi simpang. Analisis kinerja simpang menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) dan Teori Maksimasi *Green Bandwidth*. Dari hasil survei diketahui bahwa kedua simpang belum terkoordinasi. Dari enam perencanaan didapatkan waktu sinyal baru sebesar 163 detik, dengan *offset* sebesar 24 detik. Sedangkan dengan Teori Maksimasi *Green Bandwidth* didapatkan 38 detik untuk arah Timur dan 39 detik untuk arah Barat. Nilai kinerja rata-rata pada arus utama yang dikoordinasikan berupa derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,94, panjang antrian (QL) sebesar 291.5 meter, dan tundaan sebesar 120 detik. Setelah dilakukan perencanaan koordinasi antar simpang memiliki nilai rata-rata untuk derajat kejenuhan (DS) memiliki nilai sebesar 0,88, panjang antrian (QL) 238 meter, dan tundaan sebesar 79.68 detik pada arus utama yang dikoordinasikan

Kata Kunci : koordinasi sinyal, tundaan, panjang antrian, *offset*, *bandwidth*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang setiap tahun selalu meningkat di Yogyakarta, mengakibatkan peningkatan volume kendaraan. Jarak yang

pendek di tiap simpang dapat membuat kendaraan akan terhenti pada setiap simpang yang mengakibatkan keamanan, kenyamanan, serta kejenuhan dalam berkendara. Salah satu lokasi simpang yang berdekatan dan cukup padat

ialah Simpang Wirobrajan dan Simpang Ngabean yang memiliki jarak ± 500 m. Pada kedua daerah tersebut sering terjadinya kemacetan terutama pada jam-jam sibuk. Hal ini perlu dilakukan analisis koordinasi sinyal antar simpang pada kedua simpang. Perlakuan ini dilakukan dengan mengutamakan jalur utama yang memiliki volume lebih besar sehingga dapat menghindari waktu tundaan akibat lampu merah. Dengan demikian, kelambatan dan antrian panjang dapat diminimalisir.

Meningkatnya arus lalu lintas yang tidak sebanding dengan tingkat kinerja atau kapasitas simpang yang berakibat terjadinya panjang antrian dan tundaan kendaraan, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melewati kedua simpang tersebut. Untuk itu penulis meneliti koordinasi sinyal antar simpang untuk mengetahui kinerja simpang pada kedua lokasi tersebut pada saat ini. Bagaimana kondisi simpang setelah dilakukan koordinasi sinyal antar simpang? Sehingga dapat menjadi sumber informasi untuk yang membutuhkan, terutama untuk pengelola terkait dalam meningkatkan pelayanan bagi masyarakat.

Tujuan dari penelitian ini ialah menganalisis kinerja lalu lintas dan transportasi pada kedua simpang. Menganalisis penerapan koordinasi simpang bersinyal pada kedua simpang, serta mendapatkan koordinasi yang tepat untuk mengurangi waktu tundaan dan panjang antrian.



Gambar 1. Simpang Wirobrajan dan Simpang Ngabean

TINJAUAN PUSTAKA

Simpang bersinyal merupakan simpang yang mewajibkan pengendara mengikuti sinyal sesuai pelaksanaan pengoperasian. Pengguna jalan hanya boleh lewat ketika menunjukkan warna sinyal hijau di lengan simpang.

Menurut McShane (1990) dalam mengkoordinasikan sinyal terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu:

1. jarak antar simpang yang dikoordinasikan tidak lebih dari 800 meter. Jika lebih dari 800 meter maka kordinasi sinyal tidak akan efektif lagi,
2. semua sinyal harus mempunyai panjang waktu siklus (cycle time) yang sama,
3. umumnya digunakan pada jaringan jalan utama (arteri, kolektor) dan juga dapat digunakan untuk jaringan jalan yang berbentuk grid,
4. terdapat sekelompok kendaraan (platoon) sebagai akibat lampu lalu lintas di bagian hulu.

LANDASAN TEORI

Analisis kinerja simpang bersinyal menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997).

1. Waktu siklus
Waktu siklus merupakan urutan lengkap dari indikasi sinyal (antara dua saat permulaan hijau yang berurutan didalam pendekatan yang sama).
 - a. Waktu siklus sebelum penyesuaian
 $C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR)$ (1)
 - b. Waktu hijau
 $g_i = (C_{ua} - LTI) \times Pri$ (2)
 - c. Waktu siklus yang disesuaikan
 $c = \sum g + LTI$ (3)
2. Arus jenuh dasar
Arus jenuh dasar (S_o) ialah besarnya keberangkatan antrian dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau)
 $S_o = 600 \times W_e$ (4)
3. Arus jenuh
Arus jenuh yang disesuaikan (S) dinyatakan sebagai arus jenuh diwaktu keadaan lalu lintas standar.
 $S = S_o \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}$ (5)
di mana :
 S_o = arus jenuh dasar,
 F_{CS} = faktor penyesuaian ukuran kota,
 F_{SF} = faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan,
 F_G = faktor penyesuaian untuk kelandaian,
 F_P = faktor penyesuaian parkir,

F_{RT} = faktor penyesuaian belok kanan,

F_{LT} = faktor penyesuaian belok kiri.

4. Kapasitas dan derajat kejenuhan kapasitas (C) ialah kemampuan suatu jalan dalam menampung kendaraan yang melintasi titik di suatu jalan simpang.

$$C = S \times g/c \quad (6)$$

di mana :

C = kapasitas (smp/jam),

S = arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam hijau),

g = waktu hijau (detik),

c = Waktu siklus disesuaikan (det).

Nilai kapasitas digunakan untuk menghitung derajat kejenuhan (DS) pada setiap pendekat.

$$DS = Q/C \quad (7)$$

di mana :

Q = arus lalu lintas (smp/jam).

5. Jumlah antrian dan panjang antrian Jumlah antrian merupakan jumlah antrian yang terdapat pada waktu awal sinyal hijau (NQ_1) ditambah dengan sisa pada fase hijau sebelumnya (NQ_2)

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (8)$$

Untuk $DS > 0,5$

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times [(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + (3 \times \frac{DS - 0,5}{c})}] \quad (9)$$

Untuk $DS \leq 0,5$

$$NQ_1 = 0$$

di mana :

NQ_1 = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.

Dalam menentukan besar jumlah antrian smp yang tersisa pada fase hijau sebelumnya (NQ_2).

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (10)$$

di mana :

NQ_2 = jumlah smp yang datang selama fase merah,

Q_{masuk} = arus lalu lintas pada pendekat (smp/detik).

Dalam menentukan nilai NQ_{max} dapat digunakan grafik dengan menghubungkan nilai NQ dan probabilitas P_{OL} (%). Untuk perencanaan dan desain disarankan nilai $P_{OL} < 5\%$ sedangkan untuk operasional disarankan 5–10%. Setelah itu dapat menentukan panjang antrian dengan rumus berikut.

$$QL = \frac{NQ_{max} \times 20}{W_{masuk}} \quad (11)$$

di mana:

QL = panjang antrian.

6. Kendaraan Henti Kendaraan henti adalah kendaraan yang berhenti pada di tiap pendekat karena penerapan sinyal. Angka henti (NS) adalah jumlah rata-rata kendaraan yang berhenti di suatu pendekat.

$$NS = 0,9 \times NQ / Q \times c \times 3600 \quad (12)$$

di mana :

NS = angka henti,

NQ = jumlah kendaraan yang antri pada suatu pendekat,

c = waktu siklus disesuaikan,

Q = arus lalu lintas (smp/jam).

selanjutnya dilakukan penjumlahan nilai kendaraan terhenti (N_{sv}) pada setiap pendekat.

$$N_{sv} = Q \times NS \quad (13)$$

di mana :

N_{sv} = jumlah kendaraan terhenti,

Q = arus lalu lintas (smp/jam).

selanjutnya menjumlahkan nilai N_{sv} yang dibagi dengan arus simpang total (Q) menjadi NS_{total} .

$$NS_{Total} = \sum N_{sv} / Q_{TOT} \quad (14)$$

di mana :

NS_{Total} = angka henti total,

$\sum N_{sv}$ = jumlah kendaraan terhenti,

Q_{Total} = arus lalulintas (smp/jam).

7. Tundaan

- a. Tundaan lalu lintas

Tundaan lalu lintas terjadi karena adanya akibat dari interaksi dan gerakan lalu lintas yang bertentangan.

$$DT = c \times d \times ((NQ_1 \times 3600) / C) \quad (15)$$

di mana:

DT = tundaan lalu lintas rata-rata (detik/smp),

$$d = 0,5 \times (1 - GR)^2 / (1 - GR \times DS) \quad (16)$$

- b. Tundaan geometri

Suatu tundaan yang terjadi karena perlambatan dan percepatan gerak kendaraan yang membelok pada simpang.

$$DG_j = (1 - P_{sv} \times P_T \times 6 \times (P_{sv} \times 4)) \quad (17)$$

di mana :

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

P_{sv} = rasio kendaraan terhenti pada pendekat = $Min(NS, 1)$,

P_r = rasio kendaraan berbelok pada pendekat.

Tundaan rerata pada tiap pendekat (D) dihitung dengan menjumlahkan tundaan lalu lintas dan tundaan geometri di setiap pendekat.

$$D = DT + DG \quad (18)$$

$$DG_{TOT} = D \times Q \quad (19)$$

8. Metode Maksimasi *Green Bandwidth* metode yang umum digunakan untuk mengkoordinasi sinyal persimpangan pada

jalan dua arah. Penggunaan metode ini *offset* diatur hingga mendapatkan suatu jalur hijau (*Green Bandwidth*) pada jalur *inbound* dan *outbound*.

9. Tingkat Pelayanan (*Level of Service*) Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 tingkat pelayanan untuk persimpangan dibagi menjadi 6, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kriteria Tingkat Pelayanan pada Persimpangan Bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan Henti Tiap Kendaraan (det)
A	0-5
B	5,1-15
C	15,1-25
D	25,1-40
E	40,1-60
F	<60

METODOLOGI PENELITIAN

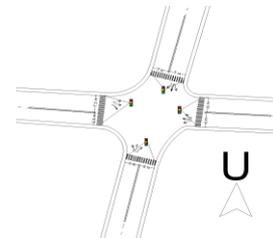
Data yang diambil dalam penelitian ini meliputi data primer yaitu data volume lalu lintas, geometrik jalan, kecepatan rata-rata, kondisi lingkungan, dan jumlah fase dan waktu sinyal. Data sekunder meliputi peta lokasi dan data jumlah penduduk. Penelitian ini dilaksanakan pada Simpang Empat Wirobrajan dan Simpang Empat Ngabean selama 3 hari dilakukan pada jam sibuk pagi (06.00-08.00 WIB), jam sibuk siang (11.00-13.00 WIB), dan jam sibuk sore (16.00-18.00 WIB) pada tanggal 4,5, dan 10 November 2020.

HASIL PENELITIAN

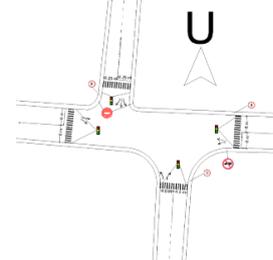
1. Volume Arus Lalu Lintas
Tabel volume lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 2. Penelitian ini dilakukan selama tiga hari. Lalu lintas terpadat di Simpang Wirobrajan pada hari Rabu, 4 November 2020 dengan jumlah 4234.1 smp/jam dan untuk Simpang Ngabean pada hari Selasa, 10 November 2020 sebesar 3197 smp/jam.
2. Data Kecepatan Rata-rata
Tabel kecepatan ruas jalan Simpang Empat Wirobrajan dapat dilihat pada Tabel 3.
3. Kondisi Geometrik

Kondisi Geometrik Simpang Empat Wirobrajan pada Gambar 2 dan Simpang Empat Ngabean dapat dilihat pada Gambar 3.

4. Data Sinyal Lampu Lalu Lintas
Pengaturan fase sinyal pada kedua simpang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

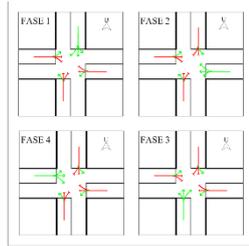


Gambar 2. Denah Simpang Empat Wirobrajan

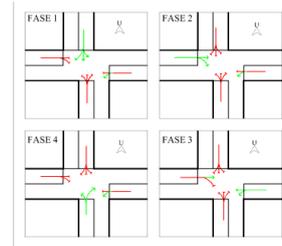


Gambar 3. Denah Simpang Empat Ngabean

Dari survei lapangan yang telah dilakukan pada kedua simpang empat diperoleh data pengaturan sinyal lalu lintas yang ditunjukkan dalam Tabel 4.



Gambar 4. Pengaturan Fase Sinyal Simpang Wirobrajan



Gambar 5. Pengaturan Fase Sinyal Simpang Ngabean

Tabel 2. Volume Lalu Lintas

Persimpangan	Waktu	Hari Pengamatan							
		Rabu, 4 November 2020		Kamis, 5 November 2020		Selasa, 10 November 2020			
	Jam Puncak	jam puncak	smp/jam	jam puncak	smp/jam	jam puncak	smp/jam		
Simpang Empat Wirobrajan	Pagi	07.00-08.00	3452		07.00-08.00	3288.7		07.00-08.00	2814.2
	Siang	12.15-13.15	3275.1		12.00-13.00	3063.9		12.15-13.15	2748.1
Simpang Empat Ngabean	Sore	16.30-17.30	4234.1		16.30-17.30	4158.1		16.30-17.30	3772.9
	Pagi	07.00-08.00	2958.5		07.00-08.00	2997.8		07.00-08.00	3005.3
Simpang Empat Ngabean	Siang	12.00-13.00	2930.5		12.00-13.00	2989.4		12.00-13.00	2856.7
	Sore	16.30-17.30	2928.3		16.00-17.00	3162.9		16.15-17.15	3197

Tabel 3. Kecepatan Ruas Jalan Simpang Empat Wirobrajan

Waktu (det)	Jarak (m)	kecepatan (m/s)	kecepatan (km/j)
58	515	8.9	32.0
62	515	8.3	29.9
55	515	9.4	33.7
52	515	9.9	35.7
69	515	7.5	26.9
64	515	8.0	29.0
59	515	8.7	31.4
58	515	8.9	32.0
67	515	7.7	27.7
67	498	7.4	26.8
52	498	9.6	34.5
64	498	7.8	28.0
54	498	9.2	33.2
70	498	7.1	25.6
65	498	7.7	27.6
66	498	7.5	27.2
59	498	8.4	30.4
55	498	9.1	32.6
Rata-rata			30.2

Tabel 4. Pengaturan Fase Sinyal Lalu Lintas

Simpang	Kode Pendekat	Waktu		
		hijau	kuning	merah
Simpang Wirobrajan	U	50	3	149
	T	50	3	149
	S	42	3	157
	B	40	3	159
Simpang Ngabean	U	45	3	76
	T	27	3	94
	S	19	3	102
	B	13	3	108
	BST	45	3	76

5. Arus Jenuh

Tabel 5. Arus Jenuh Dasar

Simpang Pendekat	Wirobrajan				Ngabean				
	U	T	S	B	U	T	S	B	BST
We	6.9	6.6	6.3	7.2	10.5	5.4	4.8	3.0	3.6
So	4140	3960	3780	4320	6300	3240	2880	1800	2160

Arus jenuh yang dihasilkan dari analisis yaitu :

Tabel 6. Penentuan Faktor Koreksi dan Arus Jenuh untuk Simpang Wirobrajan

Kode Pendekat	So	Faktor Penyesuaian						Q
		Fcs FSF FG Fp FRT FLT						
		U	4140	0.83	0.94	1	1	
T	3960	0.83	0.94	1	1	1.07	0.95	738
S	3780	0.83	0.94	1	1	1.03	0.94	406
B	4320	0.83	0.94	1	1	1.07	0.92	794

Tabel 7. Penentuan Faktor Koreksi dan Arus Jenuh untuk Simpang Wirobrajan

Kode Pendekat	So	Faktor Penyesuaian						Q
		Fcs	FSF	FG	Fp	FRT	FLT	
B	1800	0.83	0.94	0.93	1	1.26	1	104
BST	2160	0.83	0.94	0.93	1	1	1	530
T	3240	0.83	0.94	1	1	1	0.98	544
S	2880	0.83	0.94	1	1	1	0.9	362
U	6300	0.83	0.94	1	1	1.07	0.95	1595

6. Waktu Hijau, Rasio Waktu Hijau, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan
Perhitungan rasio waktu hijau, kapasitas dan derajat kejenuhan setiap pendekat sebagai berikut.

Tabel 8. Rasio Waktu Hijau, Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Simpang	Kode Pendekat	Waktu Hijau (g) (detik)	Rasio Waktu Hijau	C (smp /jam)	DS
Simpang Wirobrajan	U	50	0.25	1271	1.06
	T	50	0.25	1078	0.95
	S	42	0.21	842	0.69
	B	40	0.20	1024	1.21
Simpang Ngabean	U	45	0.36	1808	0.88
	B	13	0.10	173	0.60
	BST	45	0.36	569	0.93
	T	27	0.22	537	1.01
	S	19	0.15	341	1.06

Dilihat dari hasil analisis hanya terdapat dua pendekat yang $DS < 0,75$, selain itu $DS > 0,75$.

7. Panjang Antrian
Panjang antrian didapatkan melalui NQ_1 dan NQ_2 , setelah itu mencari NQ_{max} dan menghitung QL .

Tabel 9. Panjang Antrian

Simpang	Kode Pendekat	NQ_{Total}	NQ_{MAX}	Panjang Antrian (meter)
Simpang Wirobrajan	U	80.9	95	475
	T	46.4	65	361
	S	21.8	30	167
	B	116.0	130	542
Simpang Ngabean	U	54.6	79	150
	B	3.4	8	53
	BST	22.6	35	194
	T	32.5	42	307
	S	29.1	46	175

8. Kendaraan Henti
Perhitungan kendaraan terhenti terdiri dari nilai angka henti, jumlah kendaraan terhenti dan nilai angka henti total seluruh simpang. Hasilnya dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Kendaraan Terhenti Simpang Wirobrajan

Simpang Empat Wirobrajan				
Kode Pendekat	U	T	S	B
NS	1.05	1.04	0.86	1.01
Nsv	962	765	347	806

Tabel 11. Kendaraan Terhenti Simpang Ngabean

Simpang Empat Ngabean					
Kode Pendekat	U	B	BST	T	S
NS	0.9	0.92	1.11	1.56	2.1
Nsv	1428	58.2	590	849	760

9. Tundaan
Perhitungan tundaan terdiri dari perhitungan tundaan lalu lintas rata-rata, tundaan geometrik rata-rata, tundaan rata-rata, tundaan total dan tundaan simpang rata-rata.

Tabel 12. Tundaan pada Kedua Simpang

Simpang	Pen-dekat	D =				
		DT	DG	DT + DG	D x Q	LOS
Simpang Wirobrajan	U	108	4	112.3	103157	F
	T	107	4	111	81998	F
	S	77.6	3.8	81.4	33026	E
	B	103	4	107.1	85050	F
Simpang Ngabean	U	43.3	6.2	47.2	75354	E
	B	58.2	4.2	62.4	6463	F
	BST	69.8	4.5	74.3	39345	F
	T	140	5.8	146.2	79584	F
	S	227	1.8	229	82882	F

10. Perencanaan Waktu Siklus Baru
Dalam setiap perencanaan, berdasar pada waktu siklus pada salah satu simpang yang telah dihitung. Perencanaan simpang lain mengikuti waktu siklus tersebut agar mendapatkan waktu siklus yang sama. Waktu siklus yang akan dipilih yaitu yang mempunyai kinerja simpang dengan rata-rata terbaik dari setiap simpang setiap perencanaan.
- Perencanaan 1 dengan memakai waktu siklus Simpang Wirobrajan sebesar 202 detik.
 - Perencanaan 2 dengan memakai waktu siklus Simpang Ngabean sebesar 124 detik.
 - Perencanaan 3 dengan memakai waktu siklus rata-rata perencanaan 1 dan 2 sebesar 163 detik.

- d. Perencanaan 4 dengan memakai waktu siklus maksimum menurut MKJI 1997 sebesar 130 detik.
- e. Perencanaan 5 dengan memakai waktu siklus yang disesuaikan pada Simpang Wirobrajan dengan rumus yang terdapat di MKJI 1997 sebesar 293 detik.
- f. Perencanaan 6 dengan melakukan uji coba hingga menemukan derajat kejenuhan terendah pada Simpang Wirobrajan sebesar 389 detik.

13, pada perencanaan 3 didapatkan waktu tundaan dan panjang antrian paling kecil, sehingga dipilih waktu siklus 163 detik.

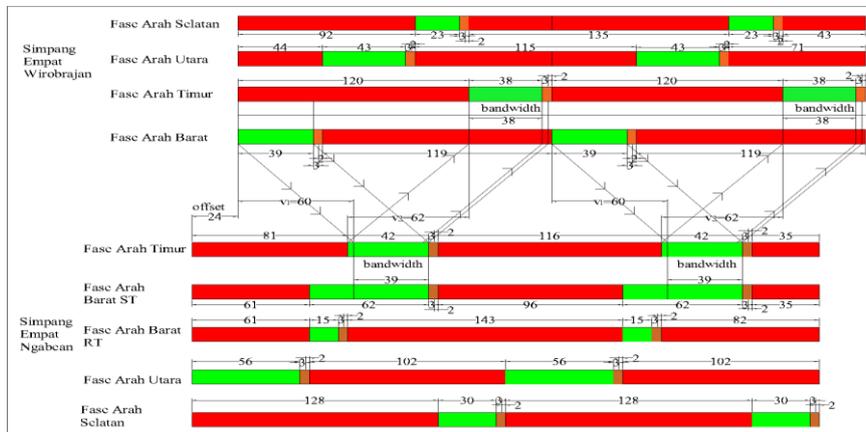
11. Koordinasi Sinyal Antar Simpang

Dalam perencanaan ini digunakan kecepatan rata-rata eksisting sebesar 30 km/jam. Kecepatan rencana ini diambil karena cukup memenuhi kecepatan maksimum dalam kota, dengan kecepatan lambat maka akan didapatkan waktu *offset* yang cukup panjang, sehingga kendaraan terakhir dalam kondisi *platoon* masih mempunyai kesempatan untuk mendapatkan sinyal hijau yang membuat pengemudi tidak perlu menunggu waktu merah selama satu siklus. Sedangkan kendaraan yang terlalu cepat hanya akan menunggu waktu hijau sebentar saja. Waktu tempuh sebesar 60 detik dan 62 detik digunakan sebagai waktu *offset* digunakan dalam menggambarkan lintasan pergerakan *platoon* pada diagram koordinasi.

Tabel 13. Rekapitulasi Kinerja Perencanaan Koordinasi Sinyal Antar Simpang

Perencanaan	DS	QL (meter)	Delay (det)	LOS
1	0.90	256.00	109.87	F
2	0.96	256.88	126.37	F
3	0.92	239.41	107.06	F
4	0.94	249.97	120.37	F
5	0.87	386.49	108.54	F
6	0.86	528.02	133.99	F

Berdasarkan hasil kinerja perencanaan koordinasi sinyal antar simpang pada Tabel



Gambar 6. Diagram Koordinasi Sinyal Antar Simpang

KESIMPULAN

- 1. Pada kedua Simpang belum terkoordinasi. Hal ini dilihat dengan perbedaan panjang waktu siklus di kedua simpang, dimana panjang waktu siklus 202 detik untuk Simpang Wirobrajan, sedangkan untuk Simpang Ngabean memiliki panjang waktu siklus 124 detik.
- 2. Waktu siklus dengan kinerja terbaik sebesar 163 detik. Dengan memakai teori diagram maksimasi *green bandwidth* didapat waktu

offset 24 detik dari Barat ke Timur dengan kecepatan 30 km/jam.

- 3. Nilai kinerja simpang empat Wirobrajan dan simpang empat Ngabean dengan nilai rata-rata pada arus utama yang dikoordinasikan berupa derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,94, panjang antrian (QL) sebesar 291.5 meter. Tundaan Berdasarkan Gambar 6 didapatkan *bandwidth* untuk arah Barat ke Timur sebesar 39 detik dan untuk arah Timur ke Barat sebesar 38 detik. Dengan catatan untuk arah Barat ke Timur hanya berjalan lurus ke Timur pada

simpang empat Ngabean. Nilai *bandwidth* sendiri didapatkan dari lamanya kendaraan yang dapat melewati lengan barat simpang Ngabean maupun lengan Timur simpang Wirobrajan sebesar 120 detik. Sedangkan setelah dilakukan perencanaan koordinasi antar simpang memiliki nilai rata-rata untuk derajat kejenuhan (*DS*) memiliki nilai sebesar 0,88, panjang antrian (*QL*) 238 meter, dan tundaan sebesar 101 detik.

Berdasarkan kesimpulan dari analisis dengan metode MKJI 1997 dan hasil perhitungan menggunakan teori maksimasi *Green Bandwidth*. Ada beberapa saran yang dapat disampaikan dari temuan di atas.

1. Pada simpang empat Wirobrajan memiliki kinerja yang lebih jenuh dibandingkan dengan simpang empat Ngabean, terutama untuk pendekat Barat. Untuk itu, perlunya dilakukan manajemen lalu lintas pada simpang empat Wirobrajan.
2. Seiring dengan jalannya waktu jumlah kendaraan akan meningkat, sedangkan kapasitas simpang tidak mungkin untuk ditambah. Maka perlunya kebijakan serius dan tegas oleh pemerintah dalam menekan jumlah kendaraan. Tentunya hal ini diiringi dengan penyediaan moda angkutan umum yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga., 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Bina Karya. Jakarta.
- McShane. et al, 1990, *Traffic Engineering*, New Jersey, Prentice Hall.
- Menteri Perhubungan, 2015, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas*. Menteri Perhubungan. Jakarta.