

**ANALISIS DAMPAK MANUEVER KENDARAAN ANGKUTAN BARANG
PADA KINERJA SIMPANG DAN PUTARAN BALIK
MENGUNAKAN SIMULASI JEJAK KENDARAAN
(STUDI KASUS SIMPANG KAWASAN INDUSTRI CANDI, SIMPANG ARTERI
LINGKAR UTARA DAN PUTARAN BALIK KAWASAN INDUSTRI TERBOYO -
SEMARANG)**

Christian Adhika Haryanto, Gandhi Alif, Kami Hari Basuki ¹⁾, Djoko Purwanto ^{*)}

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Simpang-simpang dan putaran balik di Kota Semarang seringkali belum dapat melayani pergerakan arus lalu lintas secara maksimal, terlebih dalam melayani kendaraan angkutan barang. Hal ini ditunjukkan antara lain dengan seringnya terjadi tundaan, baik yang disebabkan oleh pengaturan lalu lintas yang kurang efisien maupun karena geometrik yang kurang memadai. Untuk itu perlu dilakukan analisis kinerja dan simulasi manuever kendaraan khususnya kendaraan angkutan barang menggunakan simulasi jejak kendaraan untuk mengevaluasi kondisi simpang dan putaran balik dengan mengambil contoh studi kasus pada Simpang Arteri Utara, Simpang Kawasan Industri Candi dan Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo.

Tahapan yang dilakukan adalah menganalisis kinerja simpang eksisting menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 dan mensimulasikan manuever kendaraan rencana pada simpang dan putaran balik eksisting menggunakan simulasi jejak kendaraan. Analisis kinerja simpang akan menghasilkan keluaran berupa nilai derajat kejenuhan yang selanjutnya akan menjadi tolak ukur apakah simpang dapat melayani arus eksisting atau tidak, sedangkan simulasi manuever kendaraan menghasilkan keluaran berupa jejak kendaraan yang menentukan apakah geometrik simpang dan putaran balik mampu melayani manuever kendaraan angkutan barang dengan efisien atau tidak. Setelah dilakukan analisis terhadap kondisi eksisting, dilanjutkan dengan optimasi jika diperlukan, baik dengan melakukan pengaturan ulang fase sinyal lalu lintas maupun dengan perubahan geometrik.

Pada hasil analisis kinerja Simpang Arteri Utara, didapat kinerja pendekat selatan 0,94. Geometrik simpang dinilai masih dapat dioptimasi untuk meningkatkan kinerja simpang dalam melayani kendaraan angkutan barang. Optimasi Simpang Arteri Utara dilakukan dengan pengaturan ulang waktu sinyal lalu lintas dan pelebaran jembatan. Pada Simpang Kawasan Industri Candi, didapat DS semua pendekat >0,85. Optimasi yang dapat dilakukan untuk Simpang Kawasan Industri Candi adalah dengan melakukan pelebaran pendekat, penyesuaian median dan mengatur ulang waktu sinyal lalu lintas serta diadakannya larangan belok kanan untuk pendekat timur. Pada Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo, putaran balik dinilai tidak mampu melayani kedatangan kendaraan yang diakibatkan oleh geometrik putaran balik tidak dapat melayani manuever kendaraan angkutan barang dengan efisien. Optimasi Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo adalah dengan menggunakan jenis putaran balik bundaran dengan diameter bundaran 20 meter dan panjang lajur khusus putaran balik 60 meter. Dengan studi ini, diharapkan adanya studi

*) Penulis Penanggung Jawab

lebih lanjut berkaitan dengan pengaruh manuver kendaraan pada kinerja simpang untuk menyempurnakan penelitian yang telah ada.

Kata kunci: Simpang, Putaran Balik, Manuver Kendaraan, Geometrik Simpang

ABSTRACT

Intersection and U-turns in Semarang on many occasion cannot provide a good traffic flow movement yet, especially when it comes to freight vehicle movement. It is indicated by delay, which is probably caused by bad traffic control or inadequate intersection/u-turn geometric. Therefore, it needs further analysis about intersection and u-turn performances and freight vehicle maneuver using vehicle tracking by taking case study at Candi Industrial Estate Intersection, Northen Ringroad Intersection and Terboyo Industrial Park U-turn.

Intersections performance is analyzed using 1997 Manual Kapasitas Jalan Indonesia and freight vehicle maneuver is simulated using Vehicle Tracking software. Output of intersection performance analysis is degree of saturation, which will determine intersections capability to serve the existing traffic flow. Output of freight vehicle maneuver simulation is vehicle track path which will be used to determine intersections geometric feasibility to efficiently serve freight vehicle maneuver. Optimization will be made if it is needed, by doing traffic signal rearrangement and geometric optimization.

Northen Ringroad Intersection's analysis generates degree of saturation for east, west and north approach is below than 0,85 while the south approach got 0,94, and by the freight vehicle maneuver simulation Northen Ringroad Intersection is considered as optimizable intersection in terms of its capability to serve freight vehicle maneuver. Northen Ringroad Intersection can be optimized by rearranging traffic signals and widen the bridge to reach less than 0,85 degree of saturation. On Candi Industrial Estate, performance analysis generates degree of saturation for all 4 approach is more than 0,85 and for the freight vehicle maneuver simulation, it is also considered as optimizable intersection. It can be optimized by widening all approach to increase its capacity, rearranging its traffic signal, doing some adjustment on median tip and restrict the right turn movement for east approach. On Terboyo Industrial Park U-turn analysis, it shows that Terboyo Industrial Park U-turn geometric cannot serve freight vehicle maneuver well. It can be optimized by changing its geometric shape into a roundabout which has 20 meter of roundabout diameter and 60 meter of U-turn lane. Based on this study alone, it still needs further research and study about vehicle maneuver impact on intersections performance to enhance the previous studies.

Keywords: Intersection, U-turn, Vehicle Maneuver, Intersection Geometric

PENDAHULUAN

Kota Semarang sebagai ibukota Jawa Tengah memiliki tingkat pergerakan angkutan yang cukup tinggi. Untuk mendukung terlaksananya kegiatan transportasi yang baik, diperlukan simpang yang baik pula dalam melayani pergerakan kendaraan yang melaluinya.

Simpang-simpang dan putaran balik di Kota Semarang seringkali belum dapat mengakomodasi pergerakan arus lalu lintas secara maksimal. Hal ini ditunjukkan antara lain dengan seringnya terjadi tundaan di simpang, baik karena pengaturan lalu lintasnya maupun karena geometrik simpang kurang memadai untuk manuver kendaraan. Untuk itu

perlu untuk dilakukan studi analisis pengaruh manuver kendaraan angkutan barang terhadap kinerja simpang dan putaran balik di Kota Semarang yang banyak dilalui oleh kendaraan angkutan barang, khususnya di Simpang Kawasan Industri Candi, Simpang Arteri Lingkar Utara dan Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo yang dianggap dapat merepresentasikan simpang-simpang utama yang dilalui kendaraan angkutan barang di Kota Semarang.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan analisis, diawali dengan melakukan survei volume lalu lintas pada lokasi penelitian serta pengumpulan data geometri simpang serta putaran balik yang ditinjau. Analisis kinerja simpang dilakukan dengan menggunakan form SIG-I - SIG-V dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Analisis kinerja ini akan menghasilkan parameter-parameter kinerja simpang seperti kapasitas, tundaan dan derajat kejenuhan simpang. Analisis kinerja putaran balik dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan antrian untuk mendapatkan nilai intensitas, waktu menunggu rerata dalam antrian dan jumlah kendaraan rerata dalam antrian. Setelah melakukan analisis kinerja simpang dan putaran balik, dilakukan simulasi manuver kendaraan angkutan barang menggunakan alat bantu Autodesk Vehicle Tracking untuk mendapatkan rute pergerakan kendaraan rencana dalam bermanuver di simpang dan putaran balik serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan manuver tersebut.. Berdasarkan hasil analisis kinerja eksisting dan simulasi manuver kendaraan yang didapat akan dicoba berbagai langkah optimasi untuk memperbaiki atau meningkatkan kinerja simpang dan putaran balik eksisting terutama dalam kaitannya dengan manuver kendaraan berat pada simpang dan putaran balik. Hasil optimasi tersebut selanjutnya akan dievaluasi untuk melihat perubahan yang terjadi pada simpang dan putaran balik.serta ditarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan optimasi.

ANALISIS DATA

Tahapan analisis data yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja simpang dan putaran balik adalah sebagai berikut :

1. Penentuan jam puncak volume lalu lintas
 - a. Simpang Arteri Utara
Data dari survei arus lalu lintas di lapangan diolah dan didapat arus lalu lintas tiap interval 1 jam untuk selanjutnya diambil nilai terbesar sebagai jam puncak simpang. Pada Simpang Arteri Utara didapat jam puncak arus lalu lintas adalah pukul 16.15-17.15.
 - b. Simpang Kawasan Industri Candi
Data dari survei arus lalu lintas di lapangan diolah dan didapat arus lalu lintas tiap interval 1 jam untuk selanjutnya diambil nilai terbesar sebagai jam puncak simpang. Pada Simpang Kawasan Industri Candi didapat jam puncak arus lalu lintas adalah pukul 16.30-17.30.
 - c. Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo
Dari hasil survei kendaraan putar balik pagi dan sore, dibandingkan dan dipilih salah satu yang memiliki jumlah kendaraan berat (HV) terbesar selama 3 jam pengamatan untuk digunakan sebagai data input pada analisis kinerja putaran balik. Diambil data kendaraan putar balik pada survei pagi dengan jumlah kendaraan berat (HV) 80 kendaraan/3 jam sebagai arus kedatangan kendaraan putar balik rencana

2. Analisis kinerja

a. Simpang Arteri Utara

Hasil perhitungan parameter-parameter kinerja Simpang Arteri Utara eksisting meliputi kapasitas (C), derajat kejenuhan (DS), antrian kendaraan dan Tundaan (D) ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi Analisis Parameter Kinerja Simpang Arteri Utara

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Rasio Hijau	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	319,9	7	0,144	2778,750	400,781	0,798	45,714	59,856
Selatan	1881,5	11,5	0,327	6096,150	1992,972	0,944	135,565	50,806
Barat	291,8	7	0,144	3087,500	445,313	0,655	40,000	49,739
Utara	1349,6	10,5	0,365	5566,050	2033,749	0,664	89,524	31,839

(Sumber : Analisis Data)

Berdasarkan hasil analisis kinerja Simpang Arteri Utara kondisi eksisting, simpang dinilai belum mampu melayani arus lalu lintas dengan baik, ditunjukkan dengan pendekatan selatan memiliki DS=0,944 (DS>0,85).

b. Simpang Kawasan Industri Candi

Hasil perhitungan parameter-parameter kinerja Simpang Kawasan Industri Candi meliputi kapasitas (C), derajat kejenuhan (DS), antrian kendaraan dan Tundaan (D) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi Analisis Parameter Kinerja Simpang Kawasan Industri Candi

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Green Ratio	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	4435,1	7	0,582	2992,500	1742,113	2,546	650,571	2750,632
Selatan	920,9	7	0,225	1291,082	290,948	3,165	322,857	4139,371
BST	2625,5	7	0,718	3990,000	2866,056	0,916	74,286	33,776
BLT	117,7	3,5	0,718	1995,000	1433,028	0,082	7,619	14,442
BRT	156,3	3,5	0,108	1995,000	215,423	0,726	30,476	109,419
Utara	413,2	3	0,225	863,040	194,488	2,125	693,333	2177,204

(Sumber : Analisis Data)

Berdasarkan hasil analisis kinerja Simpang Kawasan Industri Candi kondisi eksisting, pendekatan-pendekatan yang ada dinilai belum dapat melayani arus lalu lintas dengan baik (DS>0,85).

c. Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo

Analisis Putaran Balik dilakukan dengan metode pemodelan antrian. Pemodelan antrian menggunakan model antrian M/M/1. Untuk menentukan jenis distribusi kedatangan kendaraan putar balik digunakan aplikasi *IBM SPSS Statistics 23*.

Tingkat kedatangan $\lambda = \frac{80}{3} = 26,67$ kendaraan/jam

Dengan melakukan simulasi manuver kendaraan rencana menggunakan *vehicle tracking*, waktu yang dibutuhkan kendaraan rencana untuk bermanuver di putaran balik kondisi eksisting sebesar 105,9 detik.

Tingkat pelayanan $\mu = \frac{3600}{105,9} = 33,994$ kendaraan/jam

Intensitas $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{26,67}{33,994} = 0,785, \rho < 1$

Jumlah kendaraan rerata dalam antrian ($q = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} = \frac{0,785^2}{(1-0,785)} = 2,867$ kendaraan

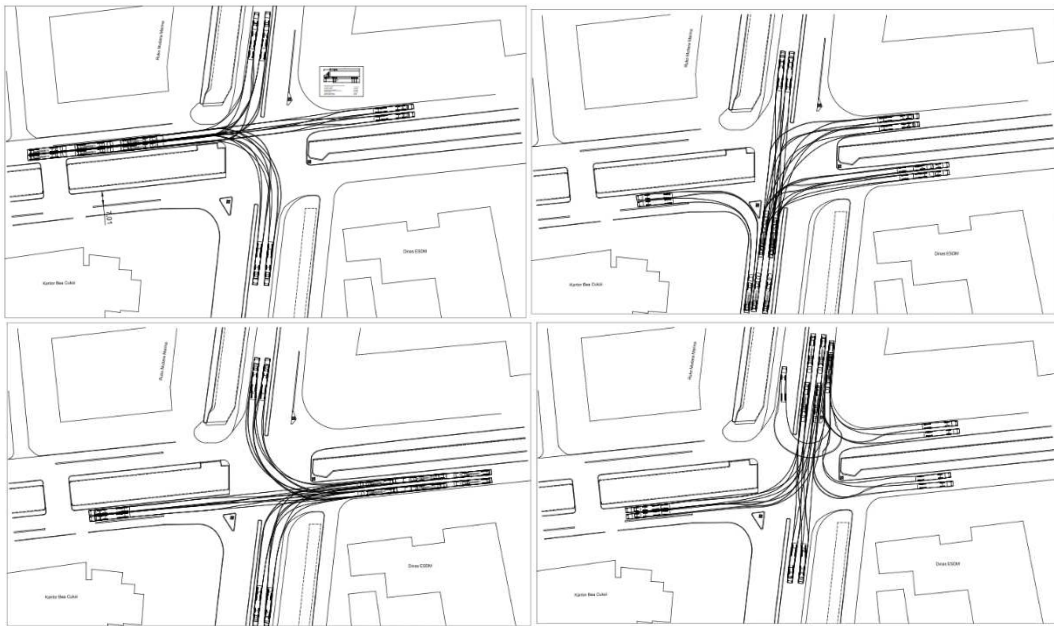
Waktu menunggu dalam antrian $w = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = 6,42$ menit/kendaraan

Berdasarkan hasil analisis kinerja Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo, putaran balik dinilai perlu dilakukan perbaikan berkaitan dengan lamanya waktu pelayanan untuk kendaraan memutar balik sehingga menyebabkan waktu menunggu dan jumlah kendaraan dalam antrian yang besar.

3. Simulasi manuver kendaraan rencana pada kondisi geometrik eksisting

a. Simpang Arteri Utara

Gambar 1 berikut menunjukkan hasil simulasi manuver kendaraan rencana yang dibagi berdasarkan tiap pendekatan simpang pada kondisi eksisting.

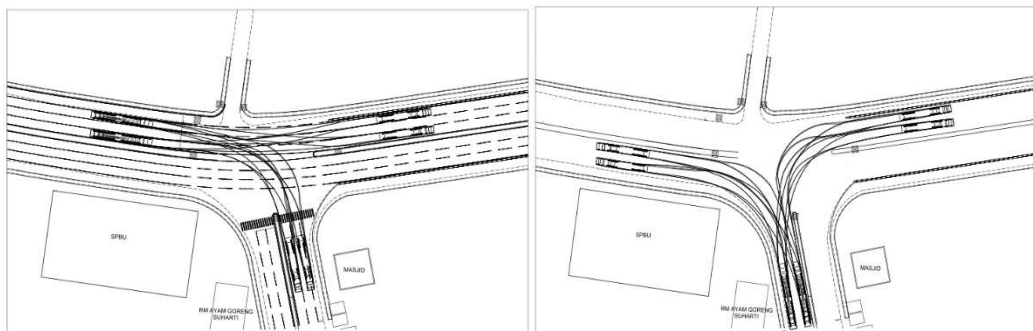


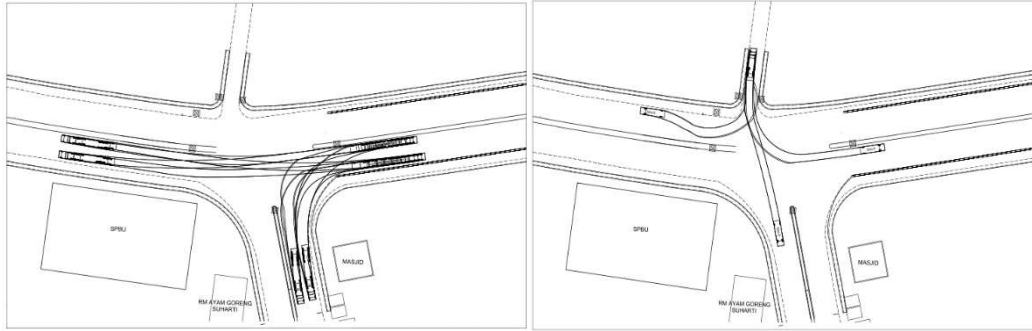
Gambar 1 Manuver Kendaraan Rencana Simpang Arteri Utara Eksisting
(Sumber : Analisis Data)

Geometri Simpang Arteri Utara eksisting masih bisa melayani pergerakan kendaraan rencana, namun dengan beberapa percobaan simulasi pergerakan kendaraan untuk mendapat rute pergerakan yang lebih efisien. Simpang dinilai masih dapat dioptimasi dengan melakukan perubahan pada geometrik simpang eksisting dengan tujuan berkurangnya waktu manuver kendaraan angkutan barang sehingga kinerja simpang membaik.

b. Simpang Kawasan Industri Candi

Gambar 2 berikut menunjukkan hasil simulasi manuver kendaraan rencana yang dibagi berdasarkan tiap pendekatan simpang pada kondisi eksisting.



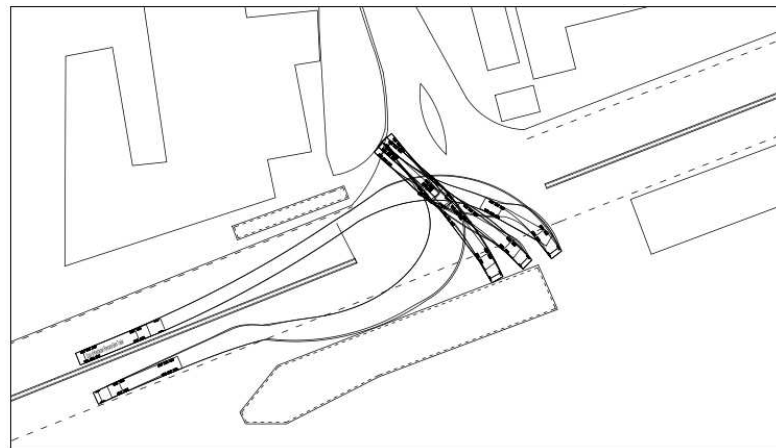


Gambar 2 Manuver Kendaraan Rencana Simpang Kawasan Industri Candi Eksisting
(Sumber : Analisis Data)

Hasil simulasi manuver geometri simpang Kawasan Industri Candi eksisting dinilai masih bisa melayani pergerakan kendaraan rencana, namun dengan beberapa percobaan simulasi pergerakan kendaraan untuk mendapat rute pergerakan yang lebih efisien simpang dinilai masih dapat dioptimasi dengan melakukan perubahan pada geometrik simpang eksisting dengan tujuan berkurangnya waktu manuver kendaraan angkutan barang sehingga kinerja simpang membaik.

c. Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo

Gambar 3 berikut menunjukkan hasil simulasi pergerakan kendaraan rencana pada putaran balik Kawasan Industri Terboyo kondisi eksisting.



Gambar 3 Manuver Kendaraan Rencana pada
Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo
(Sumber : Analisis Data)

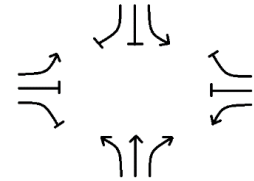
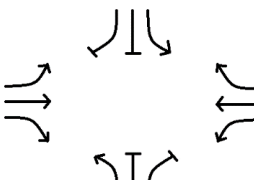
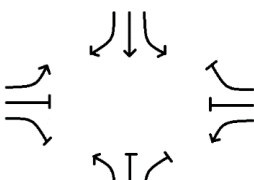
Berdasarkan hasil simulasi manuver kendaraan rencana di Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo, gerakan putar balik kendaraan rencana membutuhkan waktu manuver total sebesar 105,9 detik. Putaran balik Kawasan Industri Terboyo tidak dapat terlayani dengan baik karena kurangnya ruang untuk bermanuver. Untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan adanya perbaikan geometri pada putaran balik.

4. Optimasi simpang dan putaran balik

a. Simpang Arteri Utara

Optimasi simpang untuk melayani volume lalu lintas eksisting dilakukan dengan pengaturan ulang waktu sinyal lalu lintas dan dibuatnya larangan putar balik pada simpang. Tabel 3 berikut menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan optimasi waktu sinyal Simpang Arteri Utara.

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Optimasi Waktu Sinyal Simpang Arteri Utara

Fase	Pergerakan	Green (detik)	Amber (detik)	Red + All Red (detik)
1		36	3	57
2		13	3	79
3		28	3	65

(Sumber : Analisis Data)

Hasil analisis kinerja simpang setelah dilakukan pengaturan ulang sinyal lalu lintas ditampilkan pada Tabel 4.

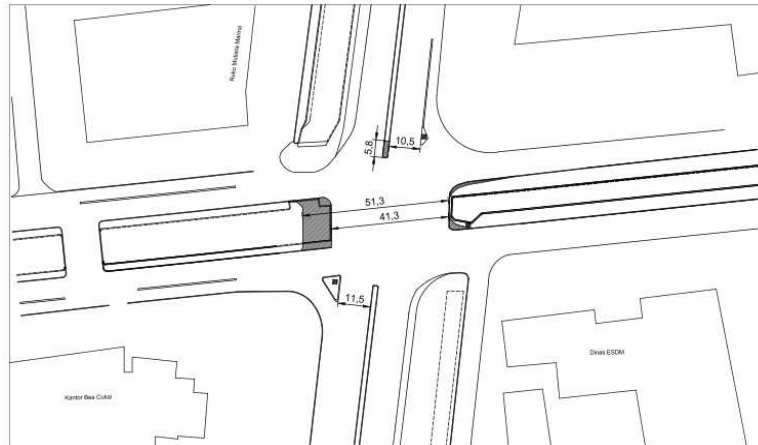
Tabel 4 Rekapitulasi Parameter Kinerja Simpang Arteri Utara dengan Pengaturan Sinyal Optimasi

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Rasio Hijau	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	319,9	7	0,140	2778,750	390,133	0,820	33,429	59,728
Selatan	1881,5	11,5	0,376	6096,150	2294,577	0,820	106,609	33,185
Barat	291,8	7	0,140	3087,500	433,481	0,673	28,857	47,589
Utara	1349,6	10,5	0,296	5566,050	1645,900	0,820	88,190	38,934

(Sumber : Analisis Data)

Setelah dilakukan pengaturan ulang sinyal lalu lintas, untuk lebih mengoptimasi Simpang Arteri Utara berkaitan dengan manuver kendaraan angkutan barang, dapat dilakukan optimasi geometrik sebagai berikut :

1. pelebaran jembatan yang semula 41,3 meter menjadi 51,3 meter.
 2. Penyesuaian ujung median pendekat utara dan timur
- Optimasi yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Denah Optimasi Geometrik Simpang Arteri Utara
(Sumber : Analisis Data)

Selisih waktu yang dibutuhkan kendaraan rencana angkutan barang untuk bermanuver antara kondisi simpang sebelum dan setelah dioptimasi geometrik ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Waktu Manuver Kendaraan Rencana pada Optimasi Simpang Arteri Utara

Manuver Kendaraan Rencana	Waktu yang dibutuhkan (s)	
	Eksisting	Optimasi
Barat-RT	27,7	25,4
Utara-RT	28,1	26,9
Timur-RT	25,6	24,0
Selatan-RT	31,5	30,6

(Sumber : Analisis Data)

Dengan berkurangnya waktu manuver belok kanan, tundaan rata-rata tiap pendekat pada simpang juga berkurang sehingga meningkatkan faktor belok kanan (kendaraan yang berbelok kanan mengalami pengurangan waktu manuver akibat optimasi geometrik dan jumlah kendaraan yang berbelok kanan semakin banyak, hal ini sejalan dengan konsep pembesaran faktor belok kanan (F_{RT}) menurut MKJI bahwa kendaraan belok kanan memiliki kecenderungan untuk memotong garis tengah jalan sebelum berbelok kanan sehingga jumlah kendaraan yang belok kanan bisa semakin banyak). Dengan meningkatnya faktor belok kanan, arus jenuh pendekat juga ikut meningkat yang berdampak pada kapasitas pendekat bertambah. Peningkatan kapasitas ini menjadikan derajat kejenuhan pada simpang berkurang.

Hasil analisis optimasi geometrik simpang Arteri Utara ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6 Analisis Kinerja Optimasi Geometrik Simpang Arteri Utara

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Rasio Hijau	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	319,9	7	0,140	2807,917	394,228	0,811	46,778	58,497
Selatan	1881,5	11,5	0,376	6230,859	2345,281	0,802	111,658	32,448
Barat	291,8	7	0,140	3280,501	460,578	0,634	38,704	45,834
Utara	1349,6	10,5	0,296	5706,801	1687,521	0,800	93,174	37,974

(Sumber : Analisis Data)

Sebagai data pembanding parameter kinerja simpang yang hanya dilakukan penyesuaian waktu sinyal dan kinerja simpang setelah dilakukan optimasi geometrik, ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Kinerja Sebelum dan Setelah Optimasi Geometrik Simpang Arteri Utara

Pendekat	Derajat Kejenuhan	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Panjang Antrian	Tundaan	Tundaan
	Eksisting	Optimasi	Eksisting	Optimasi	Eksisting	Optimasi
Timur	0,798	0,820	45,714	33,429	59,856	59,728
Selatan	0,944	0,820	135,565	106,609	50,806	33,185
Barat	0,655	0,673	40,000	28,857	49,739	47,589
Utara	0,664	0,820	89,524	88,19	31,839	38,934

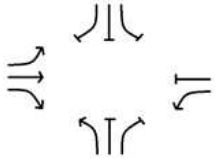
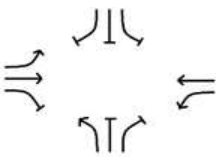
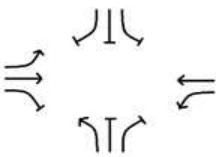
(Sumber : Analisis Data)

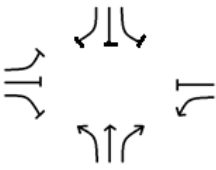
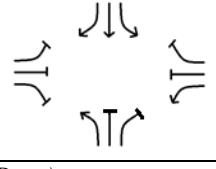
Berdasarkan hasil dari berbagai langkah optimasi yang dilakukan tersebut, terlihat bahwa kinerja simpang membaik dengan dilakukannya pengaturan ulang waktu sinyal lalu lintas, larangan memutar balik balik disertai dengan perbaikan geometrik simpang untuk mengoptimalkan pergerakan kendaraan angkutan barang di simpang.

b. Simpang Kawasan Industri Candi

Optimasi simpang untuk melayani volume lalu lintas eksisting dilakukan dengan pengaturan ulang waktu sinyal lalu lintas, penambahan lebar pendekat dan menerapkan larangan belok kanan pada pendekat timur. Tabel 8 berikut menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan optimasi waktu sinyal Simpang Kawasan Industri Candi.

Tabel 8 Rekapitulasi Hasil Optimasi Waktu Sinyal Simpang Kawasan Industri Candi

Fase	Pergerakan	Green (detik)	Amber (detik)	Red + All Red (detik)
1		21	3	119
1		119	3	101
2		92	3	128

3		44	3	176
4		42	3	178

(Sumber : Analisis Data)

Hasil analisis kinerja simpang setelah dilakukan pelebaran pendekat, pengaturan ulang sinyal lalu lintas dan larangan belok kanan pendekat timur ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Rekapitulasi Parameter Kinerja Simpang Kawasan Industri Candi

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Green Ratio	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	3195,7	16	0,413	9120	3762,511	0,849	312,771	65,561
Selatan	651,9	8,5	0,197	3889,26	767,388	0,850	133,704	101,261
BST	2625,5	10,5	0,534	5985	3193,789	0,822	269,933	48,262
BLT	117,7	3,5	0,534	1995	1064,596	0,111	7,124	30,879
BRT	156,3	3,5	0,094	1995	187,870	0,832	22,260	137,491
Utara	310,2	5,5	0,188	1964,16	369,931	0,839	102,814	110,528

(Sumber : Analisis Data)

Setelah dilakukan pengaturan langkah optimasi tersebut, untuk lebih mengoptimasi Simpang Kawasan Industri Candi berkaitan dengan manuver kendaraan angkutan barang, dapat dilakukan optimasi geometrik dengan melakukan penyesuaian pada ujung pendekat timur dan selatan.

Optimasi yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Denah Optimasi Geometrik Simpang Kawasan Industri Candi

(Sumber : Analisis Data)

Selisih waktu yang dibutuhkan kendaraan rencana angkutan barang untuk bermanuver antara kondisi simpang sebelum dan setelah dioptimasi geometrik ditunjukkan dalam Tabel 10.

Tabel 10 Perbandingan Waktu Manuver Kendaraan Rencana pada Optimasi Simpang Kawasan Industri Candi

Manuver Kendaraan Rencana	Waktu yang dibutuhkan (s)	
	Eksisting	Optimasi
Barat-RT	32,3	31,7
Selatan-RT	35,0	32,2

(Sumber : Analisis Data)

Dengan berkurangnya waktu manuver belok kanan, tundaan rata-rata tiap pendekat pada simpang juga berkurang sehingga meningkatkan faktor belok kanan (kendaraan yang berbelok kanan mengalami pengurangan waktu manuver akibat optimasi geometrik dan jumlah kendaraan yang berbelok kanan semakin banyak, hal ini sejalan dengan konsep pembesaran faktor belok kanan (F_{RT}) menurut MKJI bahwa kendaraan belok kanan memiliki kecenderungan untuk memotong garis tengah jalan sebelum berbelok kanan sehingga jumlah kendaraan yang belok kanan bisa semakin banyak). Dengan meningkatnya faktor belok kanan, arus jenuh pendekat juga ikut meningkat yang berdampak pada kapasitas pendekat bertambah. Peningkatan kapasitas ini menjadikan derajat kejenuhan pada simpang berkurang.

Hasil analisis optimasi geometrik simpang Kawasan Industri Candi ditampilkan dalam Tabel 11.

Tabel 11 Analisis Kinerja Optimasi Geometrik Simpang Kawasan Industri Candi

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Lebar Efektif	Green Ratio	Arus Jenuh	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian	Tundaan
	Q	We	GR	S	C	DS	QL	D
Timur	3195,7	16	0,412556	9120	3762,5112	0,84935295	312,771224	65,56144
Selatan	651,9	8,5	0,197309	3977,024	784,70435	0,83075874	132,053834	99,17097
BST	2625,5	10,5	0,533632	5985	3193,7892	0,82206426	269,933086	48,26196
BLT	117,7	3,5	0,533632	1995	1064,5964	0,11055833	7,12356789	30,87949
BRT	156,3	3,5	0,09417	1998,651	188,21378	0,83043868	22,2176646	137,0211
Utara	310,2	5,5	0,188341	1964,16	369,93148	0,83853367	102,813959	110,5277

(Sumber : Analisis Data)

Sebagai data pembanding parameter kinerja simpang yang hanya dilakukan penyesuaian waktu sinyal dan kinerja simpang setelah dilakukan optimasi geometrik, ditampilkan dalam Tabel 12.

Tabel 12 Perbandingan Kinerja Sebelum dan Setelah Optimasi Geometrik Simpang Kawasan Industri Candi

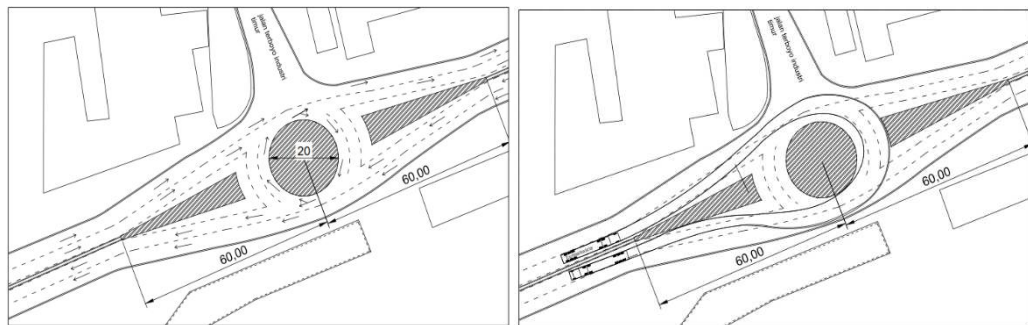
Pendekat	Tundaan Lalu Lintas		Kapasitas		Derajat Kejenuhan	
	Optimasi Sinyal	Optimasi Geometrik	Optimasi Sinyal	Optimasi Geometrik	Optimasi Sinyal	Optimasi Geometrik
Timur	61,434	61,434	3762,511	3762,511	0,849	0,849
Selatan	96,796	94,642	767,388	784,704	0,850	0,831
BST	45,231	45,231	3193,789	3193,789	0,822	0,822
BLT	25,772	25,772	1064,596	1064,596	0,111	0,111
BRT	133,292	132,831	187,870	188,214	0,832	0,830
Utara	106,374	106,374	369,931	369,931	0,839	0,839

(Sumber : Analisis Data)

Berdasarkan hasil dari berbagai langkah optimasi yang dilakukan tersebut, terlihat bahwa kinerja Simpang Kawasan Industri Candi membaik dengan dilakukannya pelebaran pendekat, pengaturan ulang waktu sinyal lalu lintas, larangan belok kanan pendekat timur disertai dengan perbaikan geometrik simpang untuk mengoptimalkan pergerakan kendaraan angkutan barang di simpang.

c. Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo

Optimasi putaran balik yang dilakukan adalah dengan merencanakan putaran balik dengan bentuk bundaran. Pemilihan jenis putaran balik dengan bundaran didasarkan pada pertimbangan adanya akses keluar masuk ke Kawasan Industri Terboyo yang terletak di sebelah utara putaran balik. Diameter bundaran ditentukan sebesar 20 meter dan untuk panjang lajur khusus putaran balik digunakan 60 meter. Desain rencana dan simulasi manuver pada optimasi Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo ditampilkan dalam Gambar 6.



Gambar 6 Denah dan Simulasi Manuver Kendaraan Rencana pada Optimasi Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo

(Sumber : Analisis Data)

Hasil simulasi jejak kendaraan menunjukkan pergerakan kendaraan angkutan barang lebih efisien setelah dilakukan optimasi, hal ini terlihat dari waktu yang dibutuhkan untuk melakukan putaran balik berkurang menjadi 38,5 detik dari sebelumnya 105,9 detik.

Perhitungan kinerja putaran balik setelah dioptimasi menghasilkan jumlah kendaraan

$$\text{rerata dalam antrian } q = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} = \frac{0,392^2}{(1-0,392)} = 0,253 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$\text{Waktu menunggu dalam antrian } w = \frac{\lambda}{\mu \mu - \lambda} = 15,37 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\text{Intensitas } \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{26,67}{93,5} = 0,392$$

Dengan adanya perbaikan waktu manuver pada Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo menghasilkan peningkatan kinerja putaran balik, hal ini ditunjukkan dengan turunnya nilai intensitas, kendaraan rerata dalam antrian dan waktu menunggu dalam antrian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis kinerja eksisting simpang dan putaran balik menggunakan data arus lalu lintas yang ada, diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Kinerja Simpang Arteri Utara ditunjukkan dengan derajat kejenuhan untuk pendekat timur 0,80, pendekat selatan 0,94, pendekat barat 0,66 dan pendekat utara 0,66. Derajat kejenuhan pendekat selatan Simpang Arteri Utara melebihi batas yang diijinkan sesuai Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yaitu 0,85.
 - b. Kinerja Simpang Kawasan Industri Candi ditunjukkan dengan derajat kejenuhan untuk pendekat timur 2,55, pendekat selatan 3,17, pendekat barat 0,92, pendekat utara 2,12. Derajat kejenuhan semua pendekat Simpang Kawasan Industri Candi melebihi batas yang diijinkan sesuai Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yaitu 0,85.
 - c. Kinerja Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo ditunjukkan dengan nilai intensitas Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo = 0,785, jumlah kendaraan rerata dalam antrian = 3 kendaraan dan waktu menunggu rata-rata dalam antrian = 6,42 menit. Putaran balik perlu dilakukan perbaikan untuk mengurangi waktu menunggu rerata dalam antrian.
2. Berdasarkan hasil simulasi manuver kendaraan rencana pada geometrik eksisting simpang dan putaran balik menggunakan simulasi jejak kendaraan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :
 - a. Geometrik eksisting Simpang Arteri Utara dinilai masih dapat dioptimasi untuk melayani manuver kendaraan angkutan barang dengan lebih baik, dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja simpang.
 - b. Geometrik eksisting Simpang Kawasan Industri Candi dinilai masih dapat dioptimasi untuk melayani manuver kendaraan angkutan barang dengan lebih baik, dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja simpang.
 - c. Geometrik eksisting Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo dinilai tidak dapat melayani manuver kendaraan memutar balik dengan efisien karena keterbatasan ruang manuver (kendaraan berdimensi besar tidak dapat melakukan putar balik hanya dengan satu kali gerakan memutar).
3. Berdasarkan hasil simulasi manuver kendaraan rencana pada layout geometrik eksisting menggunakan simulasi jejak kendaraan, diperoleh waktu manuver yang dibutuhkan kendaraan sebagai berikut :
 - a. Simpang Arteri Utara
 - i. Pendekat Timur-RT : 25,6 detik
 - ii. Pendekat Selatan-RT : 31,5 detik
 - iii. Pendekat Barat -RT : 27,7 detik
 - iv. Pendekat Utara-RT : 28,1 detik
 - b. Simpang Kawasan Industri Candi
 - i. Pendekat Selatan-RT : 35 detik
 - ii. Pendekat Barat-RT : 32,3 detik
 - c. Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo : 105,9 detik

4. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dilakukan optimasi simpang dan putaran balik. Dari hasil optimasi didapat kesimpulan sebagai berikut :
 - a. Optimasi Simpang Arteri Utara dilakukan dengan penyesuaian waktu sinyal (waktu siklus optimasi = 96 detik, hijau selatan 36 detik, hijau barat timur 13 detik, hijau utara 28 detik) untuk mengakomodasi arus lalu lintas eksisting serta membutuhkan optimasi geometrik berupa pelebaran jembatan (41,3 m menjadi 51,3 m) serta penyesuaian ujung median utara dan timur untuk mengurangi tundaan yang diakibatkan oleh manuver kendaraan angkutan barang sehingga dapat meningkatkan nilai faktor belok kanan (F_{RT}) yang berdampak pada peningkatan arus jenuh, kapasitas pendekat dan mengurangi nilai derajat kejenuhan yang meningkatkan kinerja simpang.
 - b. Optimasi Simpang Kawasan Industri Candi dilakukan dengan perubahan geometrik simpang berupa pelebaran pendekat (timur = 19,5 m, selatan = 11,5 m, barat = 14 m, utara = 5,5 m) dan penyesuaian median timur dan selatan serta penyesuaian ulang fase sinyal (waktu siklus optimasi = 223 detik, barat-rt 21 detik, timur 92 detik, selatan 44 detik, utara 42 detik) untuk melayani arus lalu lintas eksisting dan mengurangi tundaan yang diakibatkan oleh manuver kendaraan angkutan barang sehingga dapat meningkatkan nilai faktor belok kanan (F_{RT}) yang berdampak pada peningkatan arus jenuh, kapasitas pendekat dan mengurangi nilai derajat kejenuhan yang meningkatkan kinerja simpang.
 - c. Optimasi Putaran Balik Kawasan Industri Terboyo dilakukan dengan perubahan geometrik putaran balik menjadi putaran balik bentuk bundaran dengan panjang jalur putar balik sepanjang 60 m dan diameter bundaran 20 m untuk meminimalkan waktu yang dibutuhkan kendaraan rencana untuk melakukan gerakan memutar balik.

Berdasarkan simulasi manuver kendaraan rencana (kendaraan angkutan barang berdimensi panjang) dan analisis kinerjanya sebelum dan sesudah optimasi, didapat kesimpulan bahwa dengan berkurangnya tundaan sebesar 1-3 detik/kendaraan akibat berkurangnya waktu manuver kendaraan rencana akan meningkatkan kapasitas simpang dan berdampak turunnya derajat kejenuhan simpang.

Optimasi geometrik yang dilakukan dengan melakukan penyesuaian median dan pelebaran jembatan dinilai cukup efektif memberikan hasil dengan berkurangnya waktu manuver kendaraan yang meningkatkan faktor belok kanan (F_{RT}) sehingga derajat kejenuhan pendekat simpang berkurang. Peningkatan/optimasi kinerja simpang ini dapat dilakukan dengan catatan simpang telah terlebih dahulu mampu melayani arus kendaraan dengan baik ($DS \leq 0,85$) karena optimasi geometrik ini hanya bersifat perbaikan untuk meningkatkan kinerja simpang.

DAFTAR PUSTAKA

_____; (2009), *Undang Undang No. 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*, Pemerintah Negara Republik Indonesia

_____; (2012), *Peraturan Pemerintah no. 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan*, Pemerintah Negara Republik Indonesia

_____; (2014), *Peraturan Pemerintah no. 74 Tahun 2014 Tentang Angkutan Jalan*, Pemerintah Negara Republik Indonesia

- Andre Hapendra S. dan Paulus Dwi Susanto; (2004), *Evaluasi dan Perencanaan Simpang (Jl. Siliwangi - Jl. Gatot Subroto - Jl. Subali Raya) Kota Semarang*, Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang
- Arifin Dian Wardhanto dan Ilham Chandra Feriawan; (2016), *Analisa Konfigurasi dan Tata Ruang Parkir Kendaraan Berat Angkutan Barang Pada Jembatan Timbang Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2014*, Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang; (2016), *Kota Semarang dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Kota Semarang, Semarang
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah; (2002), *Tatacara Perencanaan Geometrik Persimpangan Sebidang*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga; (1992), *Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Perkotaan*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga; (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga; (2005), *Pedoman Perencanaan Putaran Balik*, Jakarta
- Google Earth; (2016, Mei 16), Diambil kembali dari Google Earth: earth.google.com
- May, A. D; (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, New Jersey
- Peraturan Pemerintah no. 55; (2012), *Peraturan Pemerintah no. 55*, Jakarta
- Tamin, O. Z; (2008), *Perencanaan Pemodelan & Rekayasa Transportasi : Teori, Contoh Soal dan Aplikasi*, ITB, Bandung