

PERENCANAAN SIMPANG *EXIT* TOL SALATIGA

Fachreza Ahmad, Ricky Sudrajat, Amelia Kusuma Indriastuti.^{*)}, Supriyono.^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50275, Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Simpang Exit Tol Salatiga menjadi penghubung antara Jalan Tol Bawen – Solo dengan Jalan Arteri Semarang – Solo melalui Jalan Tingkir – Barukan. Pengoperasian simpang tersebut memungkinkan terjadinya konflik arus lalu lintas, sehingga diperlukan perencanaan simpang yang matang. Untuk dapat merencanakan simpang yang dapat melayani seluruh pergerakan selama tahun rencana, perlu diprediksi volume lalu lintas yang akan melewati simpang ini. Prediksi volume jam puncak dilakukan dengan Metode Gravity, yang mempertimbangkan biaya perjalanan sebagai faktor hambatan. Biaya perjalanan dianalisis berdasarkan BOK (Biaya Operasional Kendaraan). Hasil analisis memperlihatkan volume lalu lintas pada tahun 2035 sebesar 1.986,08 smp/jam (lengan barat), 1.410,75 smp/jam (lengan timur), dan 901,71 smp/jam (lengan timur). Jenis simpang yang digunakan adalah 312 L. Simpang ini menggunakan 3 fase dengan waktu hijau (gi) sebesar 12 detik (lengan barat), 19 detik (lengan utara) dan 10 detik (lengan timur) dan waktu hilang total (LTI) 9 detik. Kapasitas simpang sebesar 551,31 smp/jam (lengan barat), 1.019, 001 smp/jam (lengan utara) dan 411,398 smp/jam (lengan timur). Tundaan simpang rata-rata 18,38 detik. Derajat kejenuhan pada lengan barat 0,57 ; lengan utara 0,38 ; dan lengan timur 0,49. Panjang antrian pada lengan barat 29,161 m ; lengan utara 19 m ; dan lengan timur 13,18 m.

Kata kunci: Simpang Exit Tol Salatiga, Model Sebaran Pergerakan, Hambatan Perjalanan, Biaya Operasional Kendaraan.

ABSTRACT

Intersection of Salatiga toll exit be a liaison between the Toll Road Bawen -Solo to Arterial Road Semarang - Solo via Jalan Tingkir – Barukan. Operation of the intersection allows for conflict trafict flow, so that the necessary planning mature. To be able to plan the intersection that can serve the entire movement during the years of the plan, it is necessary to predict the volume of traffic that will pass through this intersection. Prediction peak hour volume done by Gravity method, which takes into consideration the travel costs as obstacles. The travel expenses are analyzed by BOK (Vehicle Operating Costs). Obtained results predicted volume in 2035 of 1.986,08 smp / hour (western arm), 1410,75 smp / hour (eastern arm), and 901,71 smp / hour (eastern arm). Intersection type used is 312 L. It uses 3-phase intersection with the green time (gi) of 12 seconds (western arm), 19 seconds (northern arm) and 10 seconds (eastern arm) and the time lost in total (LTI) 9 seconds. The capacity of the intersection of 551,31 smp / hour (western arm), 1.019, 001 smp / hour (northern arm) and 411,398 smp / hour (eastern arm). Adverse average delay of 18,38 seconds. Saturation degree obtained, the western arm of 0,57; north arm of 0,38; and the eastern arm of 0,49. Long queues to get, west arm of 29,161 m; north arm of 19 m; and the eastern arm of 13,18 m.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Keywords: *Intersection Design of Salatiga Toll Exit, Origin Destination Matrix, Obstacles Trip, Vehicle Costs.*

PENDAHULUAN

Jalan Tol Semarang–Solo merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Jalan ini menghubungkan Kota Semarang, Salatiga, dan Surakarta serta melewati 3 (tiga) kabupaten, yaitu Kabupaten Semarang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sukoharjo. Tol ini mulai dibangun tahun 2009 oleh Jasa Marga dengan total lintasan sepanjang 72,64 km, dan saat ini konstruksi sudah mencapai seksi 3 (tiga), yaitu segmen Bawen – Salatiga.

Beroperasinya Tol segmen Bawen – Salatiga ini diharapkan dapat mereduksi pergerakan pada jalan eksisting namun berpotensi menimbulkan konflik pada pertemuan antara jalan eksisting dan *exit* tol. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan simpang *exit* tol dengan menerapkan rekayasa transportasi yang tepat, agar diperoleh desain yang efektif dan dapat meminimalisir tingkat konflik yang terjadi. Karena jalan ini belum beroperasi, maka sebelumnya perlu dilakukan prediksi terhadap volume lalu lintas yang akan melewati jalan ini sepanjang tahun rencana.

TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi volume lalu lintas yang akan melewati Simpang *Exit* Tol Salatiga dan merencanakan geometrik simpang beserta pengaturan lalu lintas yang sesuai dengan simpang ini.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat suatu metode yang menjelaskan tahapan-tahapan proses dari awal hingga akhir.

Pendahuluan

Tahapan pertama adalah pendahuluan yang merupakan pengamatan awal yang dilakukan secara visual pada lokasi studi untuk mengetahui kondisi lapangan dan dari studi pustaka, yang diperlukan supaya ditemukan masalah pada suatu penelitian.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk mendapatkan data awal yang akan dipergunakan dalam merancang Simpang *Exit* Tol Tingkir Salatiga. Data yang diperlukan berupa data sekunder antara lain data LHRT, data jumlah penduduk, data jarak antar zona dan daftar harga komponen kendaraan.

Analisis Data

1. Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) untuk jalan tol dan jalan non tol menggunakan metode yang dikembangkan oleh PCI (*Pacific Consultant International*) dalam Yolandri dan Santika (2016). Nilai BOK tersebut dipakai sebagai faktor hambatan untuk perhitungan prediksi volume.

2. Prediksi volume akses *Ramp* Tol Salatiga menggunakan metode distribusi pergerakan lalu lintas dalam bentuk MAT (Matrik Asal Tujuan) dengan model *gravity* jenis DCGR (dua batasan). Fungsi hambatan yang digunakan adalah biaya perjalanan.

Perencanaan Simpang

Perencanaan simpang mengacu pada MKJI (1997) yang terdiri dari pengaturan persinyalan yang sesuai dan penentuan kebutuhan komponen geometrik simpang.

1. Pengaturan persinyalan yang terdiri dari penentuan fase sinyal, perhitungan waktu merah semua dan perhitungan waktu siklus dan waktu hijau.
2. Penentuan komponen geometrik simpang berupa penentuan lebar beserta tikunganya yang dibutuhkan lajur belok kiri langsung (LTOR), penentuan jari-jari belok kanan, penentuan panjang antrian dan penentuan panjang taper.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya Operasional Kendaraan

Biaya operasional kendaraan baik yang menggunakan jalan arteri maupun jalan tol ditentukan berdasarkan berbagai macam komponen kendaraan. Berikut disajikan daftar harga komponen kendaraan pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Harga Komponen BOK (a_i)

No	Komponen	Standar Harga (Rp)			Sumber
		Mobil	Bus Besar	Truk	
1.	Bahan bakar Pertalite/Solar (Rupiah/liter)	6.900	5.500	5.500	www.pertamina.com
2.	Oli mesin (Rupiah/liter)	40000	85.000	85.000	www.oto.com
3.	Ban (Rupiah/ban)	650.000	6.950.000	6.850.000	www.bridgestone-tire.com dan www.gt-tire.com
4.	Pemeliharaan (Rupiah/rata-rata tahunan)	1.690.000	25.250.000	30.150.000	Nascmoco dan Dealer Servise Hino
5.	Awak kendaraan (Rupiah/kru/jam)	-	12.500	13.000	P.O Raya dan P.O Taruna
6.	Depresiasi (Rupiah/km)	1826,785	2749,805	1705,478	Rumus Kenya
7.	Harga mobil baru (Rupiah/unit)	165.000.000	720.500.000 (Chasis) + 650.500.000 (Karoseri) = 1.371.000.000	658.000.000 0 (Chasis) + 55.000.000 (Karoseri) = 713.000.000 0	Dealer Nasmoco, Hino dan Karoseri Adiputro/Skm

Sumber: Hasil Survei dan Analisis, 2016

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai PCI (Y). Dalam persamaan PCI terdapat dua variabel yaitu variabel Y yang merupakan nilai dari PCI dan variabel S yang merupakan

kecepatan rata-rata untuk masing-masing jenis kendaraan. Nilai S didapat dari hubungan antara derajat kejenuhan dengan kecepatan arus bebas.

Tabel 2 memperlihatkan persamaan dan hasil perhitungan nilai Y untuk jalan tol.

Tabel 2. Persamaan PCI dan Perhitungan Nilai Y pada Jalan Tol

Jenis Kenda-raan	Komponen biaya kendaraan	Nilai S (km/jam)	Persamaan PCI (Y)	Nilai Y
Kendaraan Ringan	1 Konsumsi bahan bakar	80	$Y = 0,04376 \times S^2 - 4,94078 \times S + 207,0484$	91,852
	2 Konsumsi oli mesin	80	$Y = 0,00209 \times S^2 - 0,24413 \times S + 13,29445$	1,045
	3 Pemakaian ban	80	$Y = 0,0012356 \times S - 0,0065667$	0,075
	4 Pemeliharaan	80	$Y = 0,0000332 \times S + 0,00020891$	0,001
	5 Penyusutan (Depresiasi)	80	$Y = 1 / (9 \times S + 315)$	0,003
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	80	$Y = 150 / (2.571,42857 \times S)$	0,004
	7 Asuransi	80	$Y = 60 / (2.571,42857 \times S)$	0,001
	8 Waktu perjalanan	80	$Y = 1.000/S$	0,000
	9 <i>Overhead</i>			
Bus	1 Konsumsi bahan bakar	80	$Y = 0,14461 \times S^2 - 16,10285 \times S + 636,50343$	273,77
	2 Konsumsi oli mesin	80	$Y = 0,00131 \times S^2 - 0,15257 \times S + 8,30869$	4,487
	3 Pemakaian ban	80	$Y = 0,0012356 \times S - 0,0065667$	0,092
	4 Pemeliharaan	80	$Y = 0,0000332 \times S + 0,00020891$	0,003
	5 Penyusutan (Depresiasi)	80	$Y = 1 / (9 \times S + 315)$	0,001
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	80	$Y = 150 / (2.571,42857 \times S)$	0,001
	7 Asuransi	80	$Y = 60 / (2.571,42857 \times S)$	0,000
	8 Waktu perjalanan	80	$Y = 1.000/S$	12,500
	9 <i>Overhead</i>			
Truk	1 Konsumsi bahan bakar	60	$Y = 0,13485 \times S^2 - 15,12463 \times S + 592,60931$	170,59
	2 Konsumsi oli mesin	60	$Y = 0,00188 \times S^2 - 0,13370 \times S + 7,54073$	3,527
	3 Pemakaian ban	60	$Y = 0,0015553 \times S - 0,005933$	0,099
	4 Pemeliharaan	60	$Y = 0,0000191 \times S + 0,0015400$	0,003
	5 Penyusutan (Depresiasi)	60	$Y = 1 / (6 \times S + 210)$	0,002
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	60	$Y = 150 / (1.714,28571 \times S)$	0,001
	7 Asuransi	60	$Y = 61 / (1.714,28571 \times S)$	0,001
	8 Waktu perjalanan	60	$Y = 1.000/S$	16,667
	9 <i>Overhead</i>			

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Perhitungan nilai PCI pada jalan non tol sama dengan cara di atas, tetapi menggunakan rumus PCI untuk jalan non tol. Setelah didapat nilai PCI (Y) maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai BOK dilihat pada tabel 2. Tabel tersebut memperlihatkan perhitungan untuk jalan tol. Untuk jalan non tol nilai BOK dihitung dengan cara yang sama, tetapi tidak menggunakan komponen biaya tarif tol.

Tabel 3. Perhitungan Nilai BOK pada jalan tol

Jenis Kendaraan	Komponen biaya kendaraan	Nilai Y	Harga Satuan Komponen (a _i) (Didapat dari Tabel 1)	Biaya per komponen per kendaraan per km ($B_k = Y \times (1/1000) \times a$)	Biaya per kendaraan per km (BOK) ($B_{km} = \sum B_k$)
Kendaraan Ringan	1 Konsumsi bahan bakar	91,852	6.900,00	633,78	1.538,44
	2 Konsumsi oli mesin	1,045	40.000,00	41,80	
	3 Pemakaian ban	0,075	650.000,00	48,96	
	4 Pemeliharaan	0,001	1.690.000,00	2,53	
	5 Penyusutan (Depresiasi)	0,003	1.826,79	5,56	

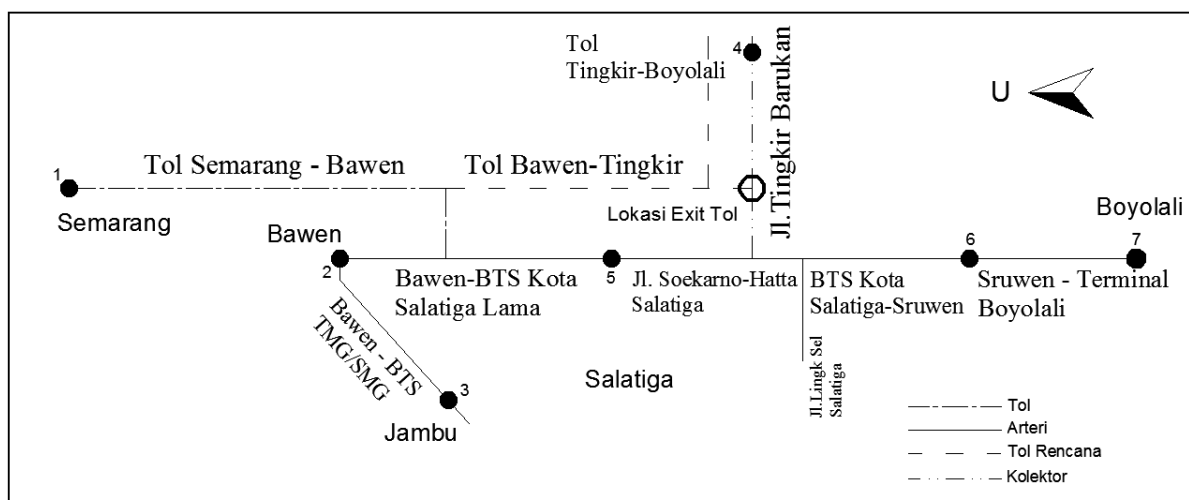
Jenis Kendaraan	Komponen biaya kendaraan	Nilai Y	Harga Satuan Komponen (a _i) (Didapat dari Tabel 1)	Biaya per komponen per kendaraan per km ($B_k = Y \times (1/1000) \times a$)	Biaya per kendaraan per km (BOK) ($B_{km} = \sum B_k$)
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	0,004	2,9370	0,01	
	7 Asuransi	0,001	165.000.000,00	156,75	
	8 Waktu perjalanan	-	-	-	
	9 <i>Overhead</i>	-	-	-	
	10 Tarif Tol	-	649,06	-	
Bus	1 Konsumsi bahan bakar	273,78	5.500,00	1.160,56	
	2 Konsumsi oli mesin	4,49	85.000,00	173,07	
	3 Pemakaian ban	0,11	6.950.000,00	433,02	
	4 Pemeliharaan	0,00	25.250.000,00	198,92	
	5 Penyusutan (Depresiasi)	0,00	2.749,81	3,65	
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	0,00	3,9759	0,00	4.534,45
	7 Asuransi	0,00	1.371.000.000,00	191,54	
	8 Waktu perjalanan	12,50	12.500,00	147,92	
	9 <i>Overhead</i>	-	-	126,70	
	10 Asuransi Penumpang	-	-	1.450,00	
	11 Tarif Tol	-	649,06	-	
Truk	1 Konsumsi bahan bakar	170,59	5.500,00	938,25	
	2 Konsumsi oli mesin	3,53	85.000,00	299,77	
	3 Pemakaian ban	0,10	6.850.000,00	679,87	
	4 Pemeliharaan	0,003	30.150.000	138,11	
	5 Penyusutan (Depresiasi)	0,002	1.705,48	2,55	4.838,39
	6 Suku bunga (<i>Interest</i>)	0,001	2,7807	0,00	
	7 Asuransi	0,001	713.000.000,00	422,85	
	8 Waktu perjalanan	16,67	13.000,00	216,67	
	9 <i>Overhead</i>	-	-	269,81	
	10 Asuransi Barang	-	-	550,00	
	11 Tarif Tol	-	1.320,50	-	

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Nilai BOK tersebut digunakan sebagai faktor hambatan yang pada langkah selanjutnya akan dikalikan dengan data jarak untuk mendapatkan biaya perjalanan.

Prediksi Volume Akses *Ramp* Tol

Volume lalu lintas yang diprediksi dengan metode *gravity* DCGR membutuhkan biaya perjalanan dalam bentuk matrik yang terdiri dari data jarak dan nilai BOK untuk setiap zona. Untuk memperoleh data jarak, langkah pertama adalah menentukan tujuh zona dan ruas jalan yang saling berkaitan, terdiri dari jalan tol dan non tol, sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 1



Gambar 1. Peta Sketsa Lokasi
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Data jarak antar zona bersumber dari *google maps*. data tersebut disusun dalam bentuk matrik seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Matrik Jarak Antar Zona (km)

Zona	1	2	3	4	5	6	7
1	1	27,7	45,3	52	42,3	53,7	65,8
2	27,7	1	18,7	25,7	15,9	27,3	39,4
3	45,3	18,7	1	43	33,2	44,6	56,7
4	52	25,7	43	1	7,7	14,7	26,8
5	42,3	15,9	33,2	7,7	1	9,8	21,9
6	53,7	27,3	44,6	14,7	9,8	1	12,1
7	65,8	39,4	56,7	26,8	21,9	12,1	1

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Langkah selanjutnya adalah menghitung hambatan antar zona, berupa biaya perjalanan (Cid), dengan mengalikan satuan jarak (km) dengan nilai BOK (Rp/km) pada masing-masing golongan dalam bentuk matrik. Tabel 5 memperlihatkan matrik biaya perjalanan untuk kendaraan ringan, untuk jenis kendaraan lainnya biaya perjalanan dapat dihitung dengan cara yang sama. Matrik biaya perjalanan tersebut nantinya akan digunakan dalam membuat matrik model *gravity* DCGR.

Tabel 5. Matrik Biaya (Cid) Dalam Satuan Rupiah untuk Kendaraan Ringan

Zona	1	2	3	4	5	6	7
1	1538,4365	42614,691	69691,173	79998,698	65075,864	82614,04	101229,12
2	27863,34	1005,8968	18810,269	25851,547	15993,758	27460,981	39632,332
3	48485,756	20015,091	1070,3257	46024,007	35534,815	47736,528	60687,47
4	55656,939	27507,372	46024,007	1070,3257	8241,5082	15733,788	28684,73
5	41462,856	15585,329	32542,95	7547,612	980,20935	9606,0516	21466,585
6	52637,242	26759,715	43717,337	14409,077	9606,0516	980,20935	11860,533
7	80857,709	48416,318	69675,26	32932,927	26911,608	14868,971	1228,8406

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Dari matrik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar biaya perjalanan maka akan semakin besar volume lalu lintas, dengan kata lain bahwa hasil tersebut tidak relevan dengan kondisi sebenarnya. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut, menurut Tamin (2000) perlu dilakukan perhitungan matrik eksponensial negatif dengan nilai α didapat dari persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{k}{RCid} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

K = 2 ~ 3

RCid = rata-rata nilai Cid

Dari persamaan diatas didapat nilai $\alpha = 0,00006$

Tabel 6. Matrik BOK $\exp(-\alpha.Cid)$ untuk Kendaraan Ringan

Zona	1	2	3	4	5	6	7
1	0,910390	0,074233	0,014223	0,007583	0,018850	0,006464	0,002076
2	0,182619	0,940461	0,317305	0,206473	0,376810	0,187159	0,089050
3	0,051880	0,294813	0,936771	0,060289	0,114349	0,054307	0,024639
4	0,033492	0,186629	0,060289	0,936771	0,604753	0,382835	0,173691
5	0,079638	0,386319	0,137254	0,630911	0,941937	0,556434	0,269822
6	0,040269	0,195342	0,069402	0,415069	0,556434	0,941937	0,484913
7	0,007195	0,052100	0,014237	0,134026	0,193539	0,403582	0,927753

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Untuk memperoleh prediksi pergerakan volume lalu lintas antar zona, dari matrik $(-\alpha.Cid)$ diatas kemudian dihitung menjadi matrik (Tid) dengan cara iterasi sampai didapat konvergensi nilai oi dengan Oi dan nilai dd dengan Dd dengan persamaan sebagai berikut.

$$Tid = Oi \times Dd \times Ai \times Bd \times f(Cid) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana dengan nilai batasan Ai dan Bd adalah sebagai berikut :

$$Bd = \frac{1}{\sum(Ai.Oi.Fcid)} \text{ untuk semua } d$$

$$Ai = \frac{1}{\sum(Bd.Oi.Fcid)} \text{ untuk semua } i$$

Setelah diiterasi sebanyak 58 kali, diperoleh besarnya pergerakan antar zona asal-tujuan (Tid) sebagaimana diperlihatkan pada tabel 7.

Tabel 7. Matrik Asal Tujuan Pergerakan (Tid) untuk Kendaraan Ringan

Zona	1	2	3	4	5	6	7	oi	Oi	Ei
1	9553	622	259	33	198	70	25	10758,5	10759	1
2	464	1907	1397	216	957	491	257	5689,5	5690	1
3	303	1376	9491	145	668	328	164	12476	12476	1
4	44	196	137	508	795	519	259	2458,54	2459	1
5	236	913	704	771	2787	1700	907	8017,5	8018	1
6	126	488	376	536	1740	3042	1722	8029,5	8030	1
7	32	188	111	250	873	1880	4753	8086	8086	1
dd	10759	5690	12476	2459	8018	8030	8086	55515,5		
Dd	10759	5690	12476	2459	8018	8030	8086		55516	

Zona	1	2	3	4	5	6	7	oi	Oi	Ei
Ed	1	1	1	1	1	1	1			1,000

Sumber: Hasil Analisis, 2016

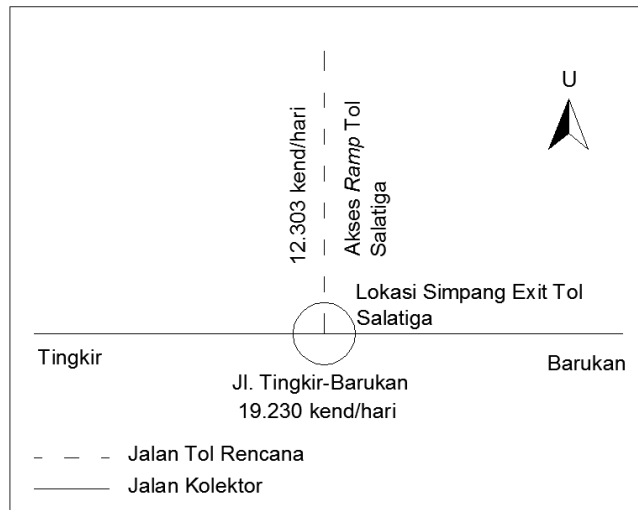
Matrik diatas memperlihatkan jumlah pergerakan antar zona berupa volume lalu lintas (kend/hari) untuk golongan kendaraan ringan. Baris pada matrik tersebut menunjukkan zona asal, sedangkan kolom pada matrik tersebut menampilkan zona tujuan. Dari matrik tersebut didapat prediksi volume lalu lintas pada tahun 2016 dengan cara menjumlahkan sel-sel terkait yang memperlihatkan jumlah pergerakan pada akses pintu Tol Salatiga. Berikut contoh perhitungan volume lalu lintas yang akan melewati akses pintu Tol Salatiga untuk golongan kendaraan ringan.

Tabel 8. Perhitungan Volume Akses Ramp Tol Kendaraan Ringan

Volume akses ramp tol	Pasangan Zona Asal Tujuan dan Besarnya Vol Antar Zona											Volume Total (kend/hari)	Total (kend/hari)
V masuk	(4,1) 44	(4,2) 196	(4,3) 137	(5,1) 236	(5,2) 913	(5,3) 704	(6,1) 126	(6,2) 488	(6,3) 376	(4,7) 259	(5,7) 907	4.467	8.773
V keluar	(1,4) 33	(1,5) 198	(1,6) 70	(2,4) 216	(2,5) 957	(2,6) 491	(3,4) 145	(3,5) 668	(3,6) 328	(7,4) 250	(7,5) 873	4.306	

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Dengan cara yang sama diperoleh volume untuk golongan bus sebesar 646 kend/hari dan golongan truk sebesar 2.884 sehingga didapat volume total akses pintu tol sebesar 12.303 kend/hari. Volume pada jalan Tingkir-Barukan diperoleh dari data sekunder sebesar 19.230 kend/hari.

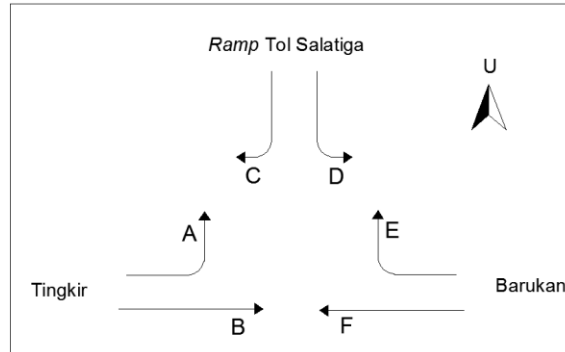


Gambar 2. Jumlah Lalu Lintas Pada Lokasi Simpang yang Berkaitan Tahun 2016
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui volume lalu lintas pada jalan mayor dan jalan minor pada tahun 2016. Jalan Tingkir-Barukan adalah jalan mayor dengan volume sebesar 19.230 kend/hari dan akses Ramp Tol Salatiga sebagai jalan minor dengan volume sebesar 12.303 kend/hari. Berdasarkan grafik kriteria pengaturan simpang (Perencanaan Bundaran untuk Persimpangan Sebidang, 2004) didapat jenis pengaturan simpang bersinyal.

Prediksi Volume Setiap Lengan Simping

Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu menentukan notasi arah pergerakannya seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Arah Pergerakan
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Untuk mendapatkan volume lalu lintas (*turning movement*) pada arah A, B, C, D, E dan F diasumsikan bahwa besarnya pergerakan sebanding dengan bangkitan dan tarikan Kecamatan Suruh yang terletak di sebelah timur dan Kota Salatiga yang terletak di sebelah barat. Angka bangkitan dan tarikan dapat dihitung menggunakan cara menurut Kementerian Pekerjaan Umum dalam Maulana dan Syahidan (2016). yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$O' \text{ (Bangkitan)} = 5492,6039 + 1793,129 \times P(\text{jumlah penduduk})/1000 \dots\dots\dots (3)$$

$$D' \text{ (Tarikan)} = 4932,262 + 1838,036 \times P(\text{jumlah penduduk})/1000 \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 9. Perhitungan Bangkitan dan Tarikan

No	Kecamatan dan Kota	Bangkitan Penduduk (Penduduk/hari)	Tarikan Penduduk (Penduduk/hari)	Bangkitan (%)	Tarikan (%)
1	Suruh	117666	119914	25,57	25,5
2	Salatiga	342461	350340	74,43	74,5
Jumlah		460127	470254	100	100

Sumber: Hasil Analisis, 2016

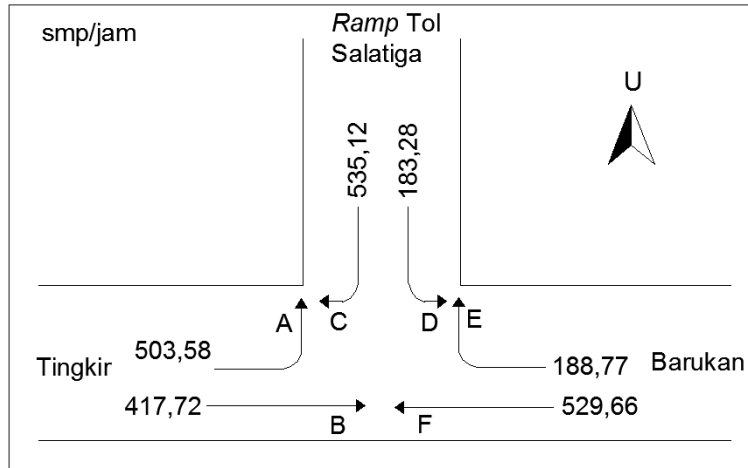
Setelah mendapatkan angka bangkitan tarikan, kemudian menghitung volume lalu lintas setiap arah (*Turning Movement*) yang disajikan pada tabel 10

Tabel 10. Perhitungan Setiap Arah (*Turning Movement*) Tahun 2016

Pendekat	Arah Pergerakan	Volume Pendekat (kend/hari)	Persentase Bangkitan/Tarikan (%)	Volume per Arah (kend/hari)
Barat	A	6.196	74,43	4.612
	B	-	-	2.657
Utara	C	6.107	74,5	4.549
	D	6.107	25,5	1.558
Timur	E	6.196	25,57	1.584
	F	-	-	3.374

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Hasil perhitungan diatas kemudian diproyeksi ke tahun rencana yaitu tahun 2035 dengan angka pertumbuhan 1,84% dan dikonversi menjadi stuan smp/jam menggunakan faktor jam puncak (K) untuk arah C dan D sebesar 7,66%, untuk arah A dan B sebesar 7,11% dan untuk arah E dan F sebesar 7,76%. Berikut hasil perhitungan disajikan pada gambar 4.

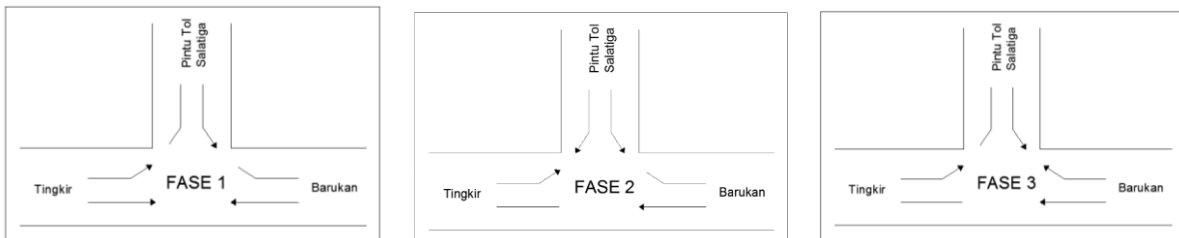


Gambar 4. Arus Pergerakan (smp/jam) Tahun 2035
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Volume hasil perhitungan tersebut untuk selanjutnya digunakan sebagai komponen perhitungan desain geometrik simpang.

Perhitungan Waktu Sinyal

Di dalam pengaturan persinyalan pada simpang ini menggunakan 3 fase sinyal yaitu sebagai berikut.



Gambar 5. Fase Rencana
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Setelah ditentukan jumlah fase sebagai berikut, maka fase tersebut dijadikan dasar untuk menghitung waktu hilang total (LTi), waktu hijau (gi) dan waktu siklus (c) dalam pengaturan simpang bersinyal. Nilai waktu hilang total (LTi) dihitung menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997). Waktu hilang total (LTi) pada persimpangan ini sebesar 9 detik.

Perhitungan waktu siklus dan hijau dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Waktu Siklus

$$Cua = (1,5 \times LTi + 5)/(1-IFR) \dots\dots\dots (7)$$

Waktu hijau (g)

$$Gi = (Cua - Lti) \times PRi \dots\dots\dots (8)$$

Nilai PRI dan IFR dihitung dengan menggunakan rumus Rasio Arus Jenuh menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997), untuk hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 11. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Fase	Ruas Jalan	IFR	LTi (det)	Cua (det)	Pri	gi (det)
1	Barat				0,26501	6,987
2	Utara	0,47688	9	35,3647	0,52936	13,956
3	Timur				0,20563	5,421

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Pada tabel terdapat nilai waktu hijau (gi) kurang dari 10 detik, maka waktu hijau tersebut disesuaikan menjadi minimal 10 detik sesuai syarat ketentuan yang terdapat pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997). Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu siklus yang disesuaikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$c = \sum g + Lti \dots \dots \dots (9)$$

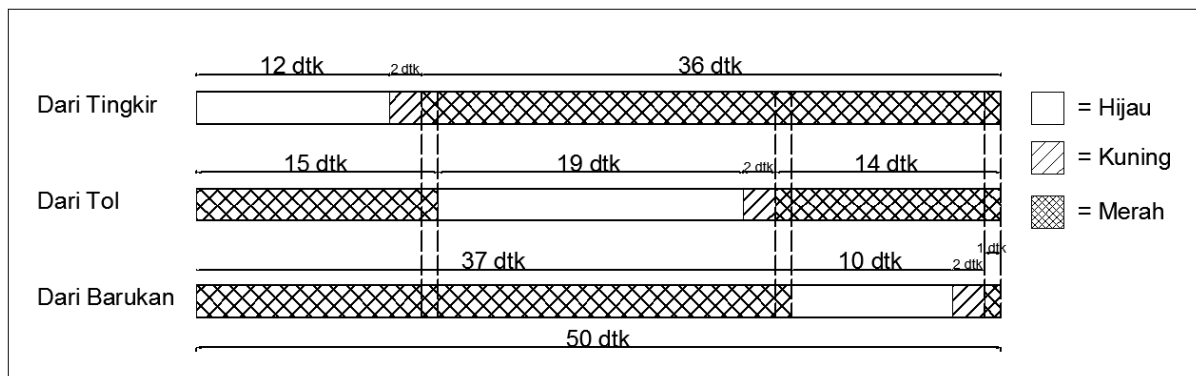
Untuk hasil perhitungan waktu siklus yang disesuaikan dapat dilihat pada tabel

Tabel 12. Waktu Siklus yang Disesuaikan

Fase	Ruas Jalan	gi (det)	Lti (det)	c (det)
1	Barat	12		
2	Utara	19	9	50
3	Timur	10		

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Hasil yang diperoleh dari perhitungan diatas selanjutnya dilakukan proyeksi ke dalam diagram sinyal dimana akan menunjukkan skema berjalannya periode sinyal. Berikut adalah hasil proyeksi perhitungan waktu sinyal ke dalam diagram.



Gambar 6. Diagram Waktu Persinyalan
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

Desain Lebar Lajur Menerus Lurus

Pada persimpangan ini terdapat tiga lajur menerus lurus yaitu pada lengan barat, lengan utara dan lengan timur. Lebar lajur menerus lurus untuk setiap lengan simpang diambil sebesar 3,5 m tipe 2/2 UD menyesuaikan dengan volume lalu lintas pada lajur tersebut. Berdasarkan lebar dan tipe jalan tersebut diperoleh kapasitas sebesar 3.100 smp/jam. Dengan volume lalu lintas pada lengan barat, utara dan timur secara berurutan sebesar 1.410,74 smp/jam, 1.986,09 smp/jam dan 1.319,43 smp/jam.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai DS (derajat kejenuhan) untuk setiap lengan dengan membagi jumlah volume dengan kapasitasnya. Dengan cara tersebut diperoleh nilai DS pada lengan barat, utara dan timur secara berurutan sebesar 0,45; 0,64; dan 0,43. Dari nilai DS tersebut dapat disimpulkan bahwa lebar dan tipe jalan yang sudah ditentukan memenuhi syarat menurut Permen Perhub KM 14, tahun 2006.

Perhitungan Kapasitas Simpang dan Derajat Kejenuhan

Kapasitas simpang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots (10)$$

Setelah didapatkan hasil kapasitas simpang kemudian menghitung derajat kejenuhan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$DS = Q/C \dots\dots\dots (11)$$

Tabel 13. Kapasitas Simpang dan Derajat Kejenuhan

Fase	Lengan	Q (smp/jam)	g/c	S (smp/jam)	C (smp/jam)	DS
1	Barat	417,72	0,24	33.052,656	793	0,527
2	Utara	535,12	0,38	211.979,174	806	0,664
3	Timur	188,77	0,20	19.250,448	385	0,490

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Desain Lajur Belok Kiri Langsung (LTOR)

Perhitungan lajur belok kiri langsung didasarkan pada kecepatan rencana yang akan memasuki lajur tersebut adalah 40 km/jam. Pada simpang ini terdapat dua lajur belok kiri langsung yaitu dari arah barat ke utara dan dari arah utara ke timur yang masing-masing menggunakan tipe SCS (*Spiral Circle Spiral*).

Tabel 14. Rekapitulasi Perhitungan Komponen Tikungan LTOR

Keterangan	Tikungan 1 (Barat ke Utara)	Tikungan 2 (Utara ke Timur)
Δ	83,94 °	96,06 °
Lc	58,57 m	55,6 m
Ls	44 m	45 m
Rc	70 m	60 m
Ts	85,93 m	90,72 m
A	83° 31' 53,95"	53° 5' 17,4"
Θs	18° 0' 26,08"	21° 29' 9,3"

Keterangan	Tikungan 1 (Barat ke Utara)	Tikungan 2 (Utara ke Timur)
Es	25,72 m	31,9 m
Xm	21,93 m	22,39 m
Xc	43,56 m	44,36 m
En	3 %	3 %
e max	5,8 %	6 %

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Desain Lajur Belok Kanan

Kebutuhan lajur belok kanan ditentukan berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometri Jalan Antar Kota (1997) yaitu menggunakan jari-jari belok kanan yang diambil dengan parameter kendaraan besar (HV).

Tabel 15. Rekapitulasi Perhitungan Komponen Tikungan LTOR

Arah Belok Kanan	Jari Belok Kanan (m)
Dari Utara	14,1
Dari Timur	14,1

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Perhitungan Panjang Antrian

Panjang antrian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

jika $DS > 0,5$; selain itu $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}$$

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots \dots \dots (12)$$

Tabel 16. Panjang Antrian

Lengan	NQ1 (smp)	NQ2 (smp)	NQ (smp)	QL (m)
Barat	0,056	5,047	5,103	29,161
Utara	0,488	6,164	6,652	19,005
Timur	0,019	2,325	2,306	13,180

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Dari tabel 13 dapat diketahui pada Jalan Tingkir-Barukan dari Arah Tingkir jumlah total smp yang tertinggal (NQ) sebesar 5,103 smp dengan panjang antrian (QL) 29,161 m

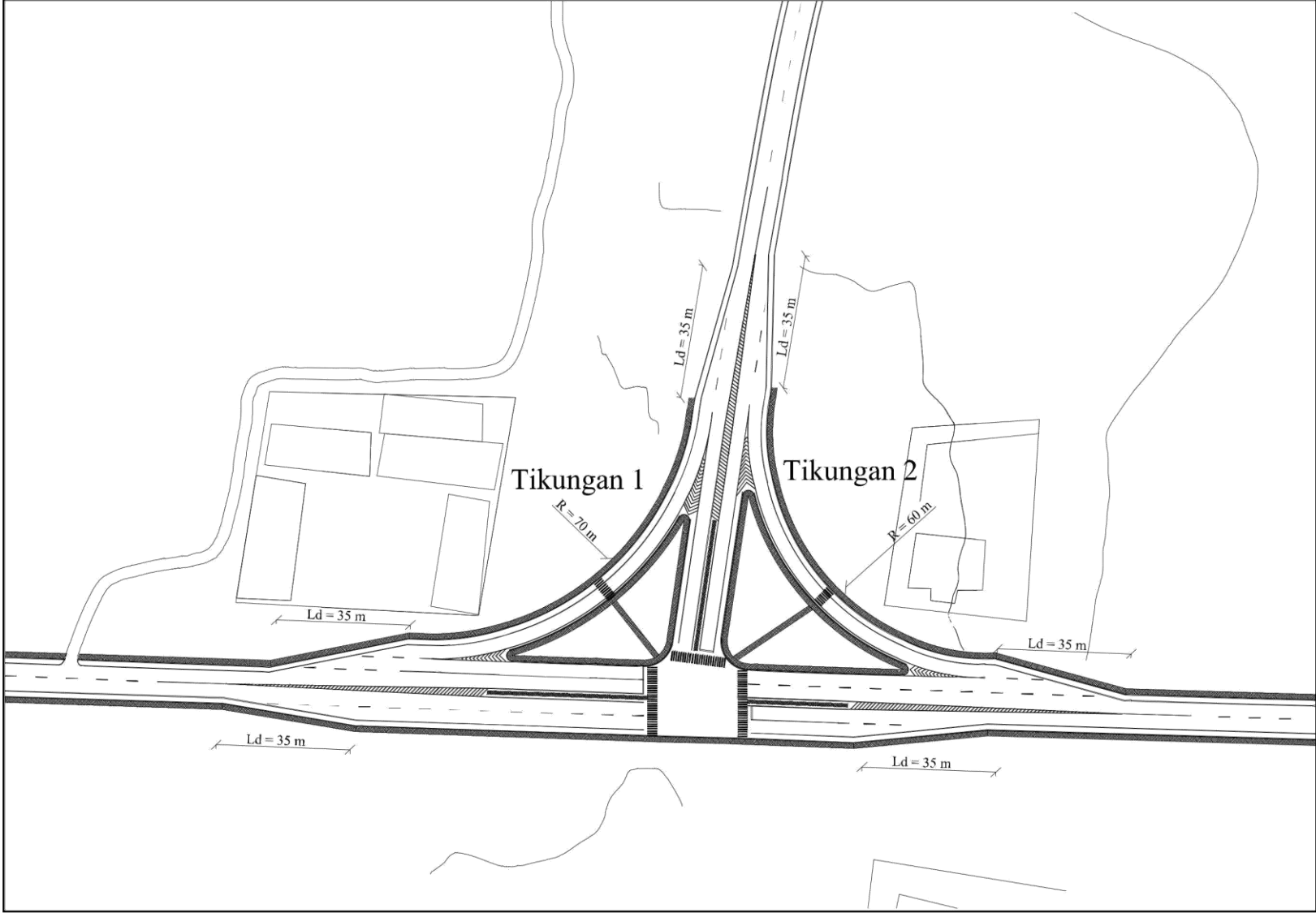
GAMBAR DESAIN SIMPANG

Hasil desain simpang *exit* tol berupa simpang tipe 312L yaitu berupa simpang tiga lengan dengan komposisi 1 lajur pada jalan minor (utara) dan 2 lajur pada jalan mayor (barat-timur). Berikut tabel elemen dan gambar desain simpangnya.

Tabel 17. Komponen Simpang

Pendekat	Bagian Simpang	Nilai
Barat	Jumlah Lajur Pendekat	2
	Jumlah Lajur LTOR	1
	Lebar Tiap Lajur	3,5 m
	Tipe Pendekat	Terlindung
	QL	29,161 m
	Ls (QL +12m)	41 m
	Ld	35 m
	Jari-jari LTOR	70 m
	Jari -jari belok Kanan	14,1 m
Utara	Jumlah Lajur Pendekat	1
	Jumlah Lajur LTOR	1
	Lebar Tiap Lajur	3,5 m
	Tipe Pendekat	Terlindung
	QL	19 m
	Ls (QL +12m)	31 m
	Ld	35 m
	Jari-jari LTOR	60 m
	Jari -jari belok Kanan	14,1 m
Timur	Jumlah Lajur Pendekat	1
	Jumlah Lajur LTOR	1
	Lebar Tiap Lajur	3,5 m
	Tipe Pendekat	Terlindung
	QL	13,18 m
	Ls (QL +12m)	25 m
	Ld	35 m
	Jari-jari LTOR	-
Jari -jari belok Kanan	14,1 m	

Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 7. Gambar Desain Simpang
(Sumber: Hasil Analisis, 2016)

KESIMPULAN

1. Hasil perhitungan persebaran volume untuk tahun perencanaan 2035:
 - a. Dari Utara ke Barat = 535,12 smp/jam
 - b. Dari Utara ke Timur = 183,28 smp/jam
 - c. Dari Timur ke Utara = 188,77 smp/jam
 - d. Dari Timur ke Barat = 529,66 smp/jam
 - e. Dari Barat ke Utara = 503,58 smp/jam
 - f. Dari Barat ke Timur = 417,72 smp/jam
2. Perhitungan Fase sinyal didapat dengan 3 Fase dengan tipe Terlindung. Waktu total siklus (c) yang disesuaikan adalah sebesar 50 detik, dengan waktu hijau (gi) untuk Arah dari Tingkir = 12 detik, Arah dari *Ramp* Tol = 19 detik, Arah dari Barukan = 10 detik dan waktu hilang total (LTI) = 9 detik.
3. Lebar lajur lajur menerus lurus untuk setiap pendekat dengan komposisi 2/2 UD sebesar 3,5 m
4. Komponen geometri pada kaki simpang didapat sebagai berikut:
 - a. Lengan simpang dari arah barat lebar tiap lajur 3,5 m. Panjang antiran QL sebesar 29,16 m dengan nilai DS = 0,527.
 - b. Lengan simpang dari arah utara lebar tiap lajur 3,5 m Panjang antiran QL sebesar 19 m dengan nilai DS = 0,664.
 - c. Lengan simpang dari arah timur lebar tiap lajur 3,5 m. Panjang antiran QL sebesar 13 m dengan nilai DS = 0,49.
 - d. Tikungan LTOR pada tikungan 1 dan tikungan 2 menggunakan S-C-S (*Spiral-Circle-Spiral*) dengan jari-jari 70 m dan 60 m

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah., 2004, *Perencanaan Bundaran untuk Persimpangan Sebidang*, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga., 1997, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga., 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Bina Karya, Jakarta.
- Kementrian Perhubungan Republik Indonesia., 2006, *Peraturan Menteri Perhubungan No KM 14 Tahun 2006 Tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas Di Jalan*, Jakarta.
- Maulana, R dan Syahidin, A.H.J., 2016, *Analisis Kinerja Ruas-Ruas Jalan Lingkungan Dengan Model Pembebanan Lalu Lintas Menggunakan EMME 3.4.1 (Studi Kasus: Kabupaten Sukamara, Kalimantan Tengah)*, Jurnal Karya Teknik Sipil Undip, 5 (2), 1-17.
- Tamin, O.Z., 2000, *Perencanaan dan Permodelan Transportasi 2ed*, ITB, Bandung.
- Yoaldri, R.W dan Santika, D., 2016, *Analisis Potensi Perpindahan Pengguna Kendaraan Dari Jalan Arteri Non Tol ke Jalan Tol Pada Segmen Semarang – Batang*, Jurnal Karya Teknik Sipil Undip, 5 (2), 211-219.