

Perancangan Geometrik dan Perkerasan Jalan Tol Malang-Kepanjen

Wisnu Hardian Pradito dan Wahyu Herijanto
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wahjoesoeperto@gmail.com

Abstrak—Malang merupakan salah satu daerah di Provinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk sebanyak 3.438.010 jiwa yang tersebar di kabupaten dan kota. Dengan banyaknya populasi penduduk menyebabkan kendaraan pribadi seperti sepeda motor dan mobil menjadi bertambah tak terkendali. Hal ini menyebabkan sering terjadinya kemacetan pada berbagai titik di Kota Malang maupun Kabupaten Malang. Karena berbagai permasalahan tersebut, Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD) Provinsi Jawa Timur mengusulkan agar jalan Tol Malang - Pandaan dapat dibangun hingga ke wilayah Kepanjen, Kabupaten Malang. Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis perancangan jalan tol yang menghubungkan daerah Madyopuro dengan daerah Kepanjen. Analisis diawali dengan pekerjaan persiapan, kemudian tinjauan pustaka, selanjutnya pengumpulan dan pengolahan data, kemudian perencanaan berupa perancangan geometrik jalan tol yang meliputi lengkung horizontal dan lengkung vertikal beserta rambu lalu lintas yang berdasarkan pada Peraturan Bina Marga No.007/BM/2009, perencanaan tebal perkerasan kaku yang didasarkan pada Peraturan Pd T-14-2003, perencanaan saluran tepi (drainase) yang mengacu pada Peraturan SNI 03-3424-1994 dan Peraturan Pd. T-02-2006-B, dan perencanaan anggaran biaya yang berdasarkan pada Harga Satuan Pokok Kerja (HSPK) Pemerintah Kota Malang tahun 2018. Setelah dilakukan analisis pada perancangan jalan tol ini, didapatkan panjang jalan tol ini adalah 21,04 km dengan *Point of Interest* (PI) sebanyak 11 buah dan *Point Vertical of Interest* (PVI) sebanyak 14 buah serta digunakan rambu lalu lintas sebanyak 151 buah. Kemudian digunakan perkerasan kaku setebal 265 mm dengan subbase berupa Campuran Beton Kurus (CBK) setebal 100 mm dan diberi lapisan tambahan aspal setebal 50 mm. Total biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan jalan tol ini sebesar Rp 952.053.675.000,00 dengan biaya per km sebesar Rp 45.249.699.382,13.

Kata Kunci—Anggaran Biaya, Drainase, Geometrik Jalan, Jalan Tol, Perkerasan Kaku.

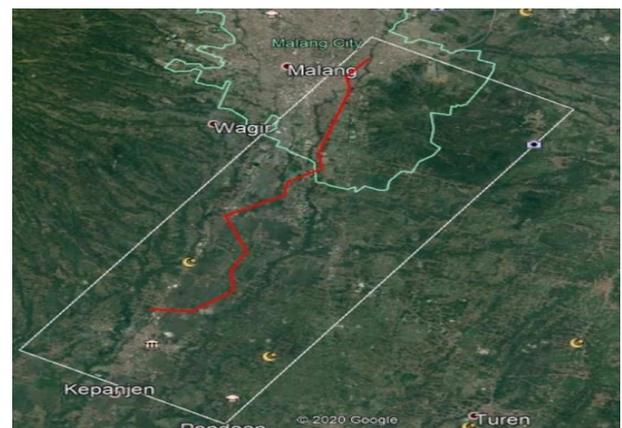
I. PENDAHULUAN

JAWA Timur adalah salah satu provinsi dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di Indonesia. Dengan luas wilayah sebesar 47.922 Km² Jawa Timur memiliki jumlah penduduk pada tahun 2017 sebesar 39.292.972 jiwa. Hal ini menyebabkan pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Timur meningkat sebesar 0,13 persen pada Triwulan I-2019. Peningkatan pertumbuhan ekonomi ini disebabkan oleh kegiatan ekonomi yang terjadi di Kabupaten maupun Kota yang ada di Jawa Timur.

Malang merupakan salah satu daerah di Provinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk sebanyak 3.438.010 jiwa yang tersebar di kabupaten dan kota. Dengan banyaknya populasi penduduk menyebabkan kendaraan pribadi seperti sepeda motor dan mobil menjadi bertambah tak terkendali. Hal ini menyebabkan sering terjadinya kemacetan pada berbagai titik di Kota Malang maupun Kabupaten Malang.



Gambar 1. Wilayah yang menjadi rencana trase.



Gambar 2. Rencana trase yang akan digunakan.

Permasalahan ini diperparah dengan Kota Batu yang dikenal sebagai salah satu kota wisata populer di Jawa Timur memiliki lokasi yang dekat dengan Kota Malang menyebabkan para wisatawan dari luar kota yang akan berlibur di sana harus melewati wilayah Kota Malang. Terutama ketika *weekend* atau libur panjang banyak wisatawan dari luar kota yang memadati Kota Malang sehingga kondisi lalu lintas menjadi lebih macet dibandingkan hari biasanya.

Untuk mengatasi berbagai masalah kemacetan tersebut, maka diperlukan sebuah solusi berupa dibangunnya jalan tol. Hal ini sejalan dengan keinginan dari Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD) Provinsi Jawa Timur yang mengusulkan agar jalan Tol Malang - Pandaan dapat dibangun hingga ke wilayah Kepanjen, Kabupaten Malang. Dengan adanya jalan tol ini diharapkan dapat mengurai kemacetan yang sering terjadi dan kendaraan besar (niaga) tidak perlu masuk wilayah Malang Raya, baik wilayah Kota Malang maupun Kabupaten Malang yang ditakutkan dapat memperparah kemacetan. Jalan tol ini juga dapat membantu para pengendara agar bisa langsung menuju Kediri,

Tabel 1.

Kriteria Perancangan Alinyemen Horizontal			
No	Parameter	Desain	Satuan
1	Perbedaan Sudut Azimuth	50.60	°
2	Kecepatan rencana	100	km/jam
3	Superelevasi Maksimum	0.1	%
4	Superelevasi Normal	0.02	%
5	Koefisien Gesek maksimum	0.116	
6	jari-jari tikungan minimum	365	m
7	jari-jari tikungan rencana	600	m
8	Lengkung Peralihan yang dipakai	133	m
9	Superelevasi	7.43%	%
10	Panjang lengkung total	574.51	m
11	Jarak pandang henti	185	m
12	Jari-jari sumbu lajur dalam	598.20	m
13	Daerah bebas samping pakai	7.12	m
14	Lebar jalan pada tikungan	7.61	m
15	Lebar jalan pada jalan lurus	7.20	m
16	Pelebaran jalan pada tikungan	0.41	m

Tabel 2.

Kriteria Perancangan Alinyemen Vertikal			
No	Parameter	Desain	Satuan
1	Kecepatan Rencana	100	km/jam
2	Beda gradien	1.21	%
3	Jarak pandang henti	185	m
4	Tinggi Mata Pengemudi	1.08	m
5	Tinggi Objek	0.6	m
6	Panjang Lengkung Vertikal Sesungguhnya	60	m

Tulungagung, Blitar dan daerah lainnya tanpa melalui wilayah Malang Raya.

Malang Raya merupakan wilayah di Jawa Timur yang memiliki kondisi geografis yang cukup ekstrim. Hal ini disebabkan wilayahnya yang berada dekat dengan daerah pegunungan. Sedangkan jalan tol adalah jenis jalan yang memiliki spesifikasi tinggi dibanding jalan biasanya. Dimana bentuk jalan naik dan turunnya untuk daerah pegunungan sepanjang lebih dari 30 m/km dan lengkung horizontalnya sepanjang lebih dari 2,5 rad/km [1]. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan geometrik jalan tol agar didapat bentuk geometrik yang sesuai dengan spesifikasi dan persyaratan yang ada.

Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis perancangan jalan tol Malang – Kapanen yang meliputi perancangan geometrik jalan tol, perkerasan kaku, saluran tepi (drainase) dan total anggaran biaya. Wilayah yang menjadi rencana trase dapat dilihat pada Gambar 1.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Pekerjaan Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap pertama yang dilakukan sebelum memulai suatu pekerjaan yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan selanjutnya. Tahap persiapan meliputi pengumpulan data dari instansi terkait, mengurus surat pengantar atau proposal yang ditujukan kepada instansi terkait, mempelajari segala kegiatan yang dapat mendukung pengerjaan tugas akhir ini.

B. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Dalam perancangan Jalan Tol Malang – Kapanen tentu dibutuhkan data-data yang bisa didapat dari instansi terkait seperti pemilik (*owner*), konsultan, maupun kontraktor. Data-data yang diperlukan antara lain peta topografi, data lalu

Tabel 3.

Kriteria Perancangan Ramp			
No	Parameter	Desain	Satuan
1	Kecepatan rencana	40	km/jam
2	Lebar lajur	4	m
3	Lebar bahu luar (kiri)	2.5	m
4	Lebar bahu dalam (kanan)	0.5	m
5	Kemiringan melintang normal	2	%
6	Landai maksimum	6	%
7	Panjang lajur percepatan	300	m
8	Panjang taper	250	m
9	Perbedaan sudut azimuth	82.07	°
10	Jari-jari tikungan minimum	55	m

Tabel 4.

Kriteria Perancangan Alinyemen Vertikal			
Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Jumlah Kendaraan
		73% Tahun 2016 (kend.hari)	73% Tahun 2021 (kend.hari)
2	MP	2821	3727
3	Oplet, pick up oplet, Combi	990	1308
5a	Bus kecil	51	67
5b	Bus besar	70	92
6a	Truck sedang 2 as	46	61
6b	truck berat 2 As	433	572
7a	Truck berat 3 As	23	30
7b	Truck gandeng/semi trailer tandem	8	11
7c	Truck Trailer Tridem	34	46

lintas harian, data tanah dasar, dan harga satuan pokok kegiatan (HSPK).

C. Perencanaan

Dalam tahap perencanaan, dilakukan analisis dari data-data yang sudah didapat sebelumnya. Analisis yang dilakukan meliputi analisis geometrik jalan berupa alinyemen horizontal dan vertikal, analisis perkerasan jalan dengan perkerasan kaku, analisis saluran drainase, analisis rambu lalu lintas, dan analisis rencana anggaran biaya.

D. Gambar Desain

Setelah semua perencanaan selesai dilaksanakan, selanjutnya dibuatkan gambar yang meliputi gambar layout, gambar plan & profile, dan gambar *cross section* jalan.

E. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan rangkuman dari hasil keseluruhan pekerjaan perencanaan jalan tol tersebut.

III. PERANCANGAN GEOMETRIK JALAN

A. Trase Jalan

Jalan tol merupakan jenis jalan bebas hambatan yang memiliki ketentuan dan spesifikasi khusus yang wajib diikuti dan berbeda dengan jenis jalan lainnya. Para pengendara yang melewati jalan tol pun berkendara dengan kecepatan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, perencanaan trase jalan sangat diperlukan untuk memenuhi syarat ketentuan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan demi kenyamanan pengendara ketika berkendara di jalan tol an dapat dilihat rencana trase yang akan digunakan pada Gambar 2. Detail untuk trase jalan tol yang telah direncanakan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.
Beban Lalu Lintas Desain Berdasarkan Tabel HVAG

Beban Kelompok Sumbu	STRT	Jenis Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga			STrRG	Jumlah Kelompok Sumbu
		STRG	STdRT	STdRG		
		Kelompok sumbu sebagai persen dari kendaraan niaga				
10 - 20	66.7	-	-	-	-	66.7
20 - 30	144.8	1.8	-	-	-	146.6
30 - 40	161.5	4.4	-	-	-	165.9
40 - 50	103.6	9.7	-	-	-	113.2
50 - 60	166.8	19.3	-	-	-	186.1
60 - 70	66.7	43.0	-	-	-	109.7
70 - 80	89.5	65.0	-	-	-	154.5
80 - 90	6.1	60.6	-	-	-	66.7
90 - 100	9.7	22.8	-	-	-	32.5
100-110	-	15.8	15.8	-	-	31.6
110 - 120	-	14.0	-	2.6	-	16.7
120 - 130	-	26.3	-	0.9	-	27.2
130 - 140	-	29.0	15.8	3.5	-	48.3
140 - 150	-	13.2	15.8	6.1	-	35.1
150 - 160	-	2.6	15.8	8.8	-	27.2
160 - 170	-	31.6	-	9.7	-	41.3
170 - 180	-	0.9	-	9.7	-	10.5
180 - 190	-	-	-	4.4	-	4.4
190 - 200	-	-	-	14.0	-	14.0
200 - 210	-	3.5	-	23.7	1.1	28.4
210 - 220	-	21.1	-	7.0	-	28.1
220 - 230	-	0.9	-	8.8	-	9.7
230 - 240	-	0.9	-	7.9	-	8.8
240 - 250	-	-	-	6.1	-	6.1
250 - 260	-	-	-	2.6	-	2.6
260 - 270	-	-	-	16.7	-	16.7
270 - 280	-	-	-	8.8	-	8.8
280 - 290	-	-	-	10.5	-	10.5
290 - 300	-	-	-	0.9	-	0.9
300 - 310	-	-	-	-	-	0.0
310 - 320	-	-	-	6.1	1.1	7.3
320 - 330	-	-	-	3.5	1.1	4.7
330 - 340	-	-	-	-	-	0.0
340 - 350	-	-	-	-	-	0.0
350 - 360	-	-	-	3.5	-	3.5
360 - 370	-	-	-	-	-	0.0
370 - 380	-	-	-	7.9	1.1	9.0
380 - 390	-	-	-	3.5	-	3.5
390 - 400	-	-	-	-	2.3	2.3
400 - 410	-	-	-	-	2.3	2.3
410 - 420	-	-	-	-	1.1	1.1
420 - 430	-	-	-	-	-	0.0
430 - 440	-	-	-	-	-	0.0
440 - 450	-	-	-	-	3.5	3.5
450 - 460	-	-	-	-	1.1	1.1
460 - 470	-	-	-	-	-	0.0
470 - 480	-	-	-	-	1.1	1.1
480 - 490	-	-	-	-	-	0.0
490 - 500	-	-	-	-	-	0.0
500 - 510	-	-	-	-	-	0.0
510 - 520	-	-	-	-	1.1	1.1
520 - 530	-	-	-	-	-	0.0
530 - 540	-	-	-	-	-	0.0
540 - 550	-	-	-	-	-	0.0
550 - 560	-	-	-	-	1.1	1.1
		Kumulatif				1460,7

1. Trase berawal di daerah Madyopuro, Kota Malang dan berakhir di Jl. Kawi, Kabupaten Malang.
2. Panjang jalan trase : 21,04 km
3. Luas lahan yang dibebaskan (diasumsikan panjang trase dikali RUWASJA = 75 m): 21.039,78 m x 75 m = 1.577.983,5 m²

B. Ketentuan Perancangan Geometrik Jalan

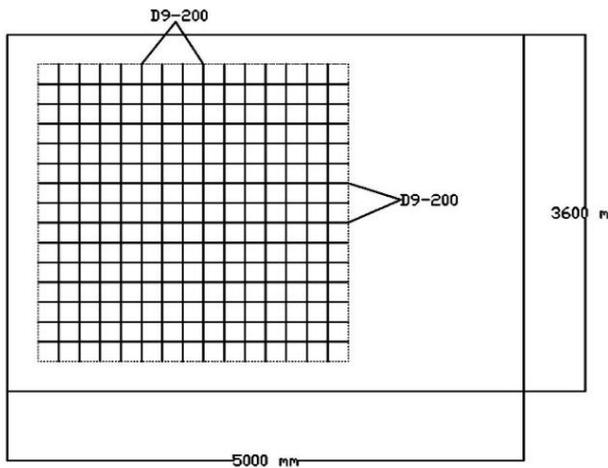
Dalam perancangan geometrik jalan, ada beberapa ketentuan yang harus direncanakan [2] sebagai berikut:

- Nama Jalan : Jalan Tol Malang – Kapanjen
 Klasifikasi Jalan : Jalan Bebas Hambatan

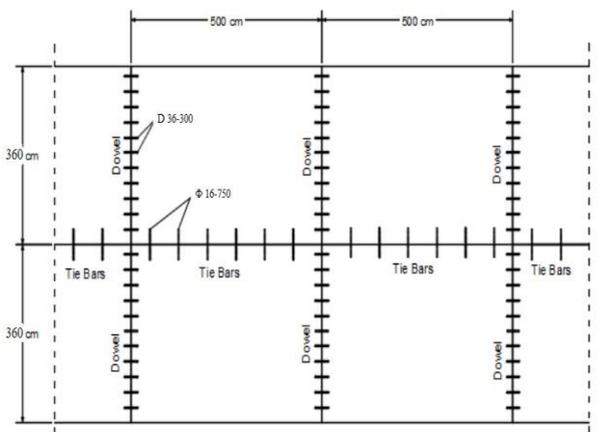
- Tipe Jalan : 4/2D (Empat Lajur, Dua Arah Terbagi)
 Lebar Jalan : 2 x 7 m
 Lebar Bahu Luar : 3,5 m
 Lebar Bahu Dalam : 1 m
 Kecepatan Rencana : 100 km/jam
 Kelandaian Minimum : 2%
 Kelandaian Maksimum : 10%

C. Perancangan Alinyemen Horizontal

Perencanaan alinyemen horizontal pada ruas jalan tol Malang – Kapanjen menggunakan tipe tikungan *Spiral-Circle-Spiral* (S-C-S). Digunakan lengkung peralihan pada



Gambar 3. Penulangan Plat Memanjang dan Melintang.



Gambar 4. Gambar Detail Perencanaan Sambungan.

tipe tikungan ini untuk menghindari perubahan kemiringan yang mendadak. Untuk kriteria perancangan alinyemen horizontal dapat dilihat pada Tabel 1.

D. Perancangan Alinyemen Vertikal

Perancangan alinyemen vertikal pada tugas akhir ini meliputi alinyemen vertikal cembung dan cekung. Dalam kasus ini yang digunakan hanya jarak pandang henti (Ss) saja. Untuk kriteria perancangan alinyemen vertikal dapat dilihat pada Tabel 2.

E. Perencanaan Ramp

Dalam perencanaan jalan tol ini, akan direncanakan jalan penghubung antara jalan utama dan jalan tol yang biasa disebut ramp. Dalam perencanaan ramp digunakan tipe tikungan *Full Circle* (FC). Untuk kriteria perancangan ramp dapat dilihat pada Tabel 3.

IV. PERENCANAAN PERKERASAN JALAN

A. Dasar Perencanaan Perkerasan Jalan

Di bawah ini akan ditentukan poin-poin yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan perkerasan jalan tol Malang – Kapanjen. Poin-poin tersebut adalah sebagai berikut:

1. Nama Jalan : Jalan Tol Malang – Kapanjen
2. Klasifikasi Jalan : Jalan Bebas Hambatan
3. Tipe Jalan : 4 Lajur, 2 Arah Terbagi (4/2 D)
4. Umur Rencana : 20 Tahun
5. Tipe Perkerasan : Perkerasan Kaku (Rigid)

Tabel 6. Spesifikasi Tulangan Memanjang dan Melintang

No	Tipe Tulangan	Spesifikasi Tulangan
1	Memanjang	D9-200
2	Melintang	D9-200

Tabel 7. Data Curah Hujan

Tahun	Curah Hujan Maximum (Xi)	Xt	Xi - Xt	(Xi - Xt) ²
2004	72	81.90	-9.90	98.01
2005	71.0	81.90	-10.90	118.81
2006	85.0	81.90	3.10	9.61
2007	70.0	81.90	-11.90	141.61
2008	73.0	81.90	-8.90	79.21
2009	36.0	81.90	-45.90	2106.81
2010	152.0	81.90	70.10	4914.01
2011	78	81.90	-3.90	15.21
2012	98.0	81.90	16.10	259.21
2013	84.0	81.90	2.10	4.41
Total				7746.9

Tabel 9. Rekapitulasi Anggaran Biaya

No	Material	Volume	Satuan	Total Biaya
IDR				
1	Urugan Sirtu	3352995.1	m3	595,745,913,808.55
IDR				
2	Galian	435846.88	m3	103,368,492,630.49
IDR				
3	Aspal Perkerasan	26015.91	m3	301,784,556.00
IDR				
4	Beton Campuran	166164.48	m3	152,374,577,871.97
IDR				
5	Beton Kuru	89553.71	m3	66,612,154,905.72
IDR				
6	Tulangan	1513062.1	kg	19,568,054,442.82
IDR				
7	Saluran Rambu Lalu	6018.52	m3	3,726,544,594.45
IDR				
8	Lintas	151	buah	87,580,000.00
IDR				
9	Guard Rail	42080	m3	10,268,572,000.00
IDR				
Total Biaya yang Diperlukan				952,053,674,810.00
IDR				
Pembulatan				952,053,675,000.00

6. Pelapis Tambahan : Aspal (Lentur)
7. CBR Alternatif : 6% (CBR Tanah Dasar Efektif)

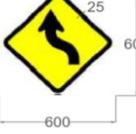
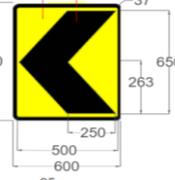
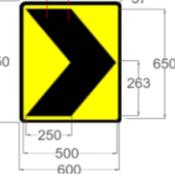
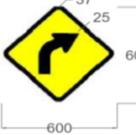
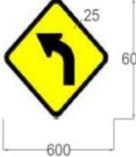
B. Pengolahan Data CBR

Data CBR yang digunakan didapat dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) dan diasumsikan CBR untuk jalan tol sama dengan nilai CBR terkecil dari data yang didapat. Data CBR yang didapat dapat dilihat pada tabel di *Lampiran 1*. Dikarenakan ruas jalan yang memiliki nilai CBR tanah dasar paling kecil adalah 1,54%, maka berdasarkan peraturan No. 02/M/BM/2017 harus diberi pondasi bawah berupa timbunan tanah sirtu setebal 30 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 6%.

C. Pengolahan Data Lalu Lintas Rencana

Data lalu lintas harian didapat dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) dimana survei dilakukan pada tahun 2016. Dikarenakan data lalu lintas harian menggunakan data dari jalan nasional, maka dilakukan *trip assignment* untuk menentukan persentase kendaraan yang melewati jalan tol. Dalam perencanaan ini digunakan metode *smock* dengan hasil persentase kendaraan yang melewati jalan tol rencana sebesar 73% dan yang lewat

Tabel 8.
Rambu-rambu Lalu Lintas

No	Rambu	Keterangan
1		Rambu Petunjuk Batas Awal Jalan Tol
2		
3		Rambu Petunjuk Untuk Mengurangi Kecepatan
4		Rambu Larangan Melebihi Batas Kecepatan
5		Rambu Peringatan Tikungan ke Kiri Kemudian ke Kanan
6		Rambu Penunjuk Pengarak ke Tikungan Kiri
7		Rambu Penunjuk Pengarak ke Tikungan Kanan
8		Rambu Peringatan Tikungan ke Kanan Kemudian ke Kiri
9		Rambu Peringatan Tikungan Ke Kanan
10		Rambu Peringatan Tikungan Ke Kiri
11		Detail Tiang Rambu

perhitungan prediksi jumlah kendaraan rencana pada tahun 2021 menggunakan Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) daerah Malang sebesar 5,73%. Untuk perkiraan jumlah kendaraan yang melewati jalan tol pada tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 4.

D. Repetisi Sumbu Beban

Dari jumlah lalu lintas harian di atas yang diperhitungkan hanya kendaraan niaga. Kemudian ditentukan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dari umur rencana dan PDRB Malang didapat sebesar 20,11. Kemudian dari total lalu lintas harian dihitung beban lalu lintas desain menggunakan tabel *heavy vehicle axle group* (HVAG). Untuk perhitungan beban lalu lintas desain dapat dilihat pada Tabel 5. Setelah itu dihitung untuk *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) sebagai berikut:

$$\text{CESAL} = 1460,7 \times 365 \times R \times \text{DD} \times \text{DL} \quad (1)$$

Dimana:

1460,7 = Beban lalu lintas desain

R = 20,11

DD = 50%

DL = 80%

Maka:

$$\text{CESAL} = 1460,7 \times 365 \times 20,11 \times 50\% \times 80\% \\ = 4,29 \times 10^6 \text{ buah}$$

E. Perencanaan Pondasi Bawah

Dikarenakan dari data yang didapat dari *P2JN* ada ruas jalan yang memiliki nilai CBR tanah dasar paling kecil sebesar 1,54%, maka berdasarkan peraturan No. 02/M/BM/2017 harus diberi pondasi bawah yang berupa tanah sirtu setebal 30 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 6%. Maka:

- Tebal pondasi bawah = 300 mm (dengan Bahan Pengikat)
- CBR tanah dasar efektif = 6%

F. Perencanaan Tebal Plat

Dalam perencanaan tebal plat beton digunakan acuan Bagan Desain 4 dari peraturan No.02/M/BM/2017 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan. Dari Bagan Desain 4 didapat untuk CESAL sebesar $4,29 \times 10^6$ buah, kelompok sumbu kendaraan beratnya adalah R1 [3] yang berarti:

- Tebal Pelat Beton = 265 mm
- Lapis Pondasi LMC = 100 mm
- Lapis Drainase = 150 mm

G. Perencanaan Pelapis Tambahan

Pelapis tambahan berfungsi untuk menambah kenyamanan pada pengendara ketika melaju dengan kecepatan tinggi. Pada perencanaan ini direncanakan pelapis tambahan aspal setebal 5 cm.

H. Perencanaan Tulangan

Dalam perencanaan tulangan pada perkerasan kaku dibagi menjadi dua jenis, yaitu penulangan memanjang dan penulangan melintang. Untuk spesifikasi tulangan dapat dilihat pada Tabel 6. Penulangan plat memanjang dan melintang dapat dilihat pada Gambar 3.

I. Perencanaan Sambungan

Ada beberapa perencanaan sambungan yang perlu diperhitungkan dalam merencanakan perkerasan kaku. Diantaranya adalah sambungan memanjang (*tie bars*),

sambungan susut (*dowel*), dan sambungan isolasi. Untuk detail perencanaan sambungan dapat dilihat pada Gambar 4.

V. PERENCANAAN DRAINASE

A. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan didapat dari stasiun hujan Karangploso yang berlokasi di wilayah Malang. Data curah hujan dapat dilihat pada Tabel 7. Kemudian menentukan besarnya curah hujan pada periode ulang T tahun (R_t):

$$R_t = X_t + (K \times S_x) \quad (2)$$

Dimana:

X_t = Nilai rata-rata curah hujan maksimum

S_x = Standar deviasi

Maka:

$$R_t = 81,9 + (1,848 \times 27,83) = 133,34 \text{ mm/jam}$$

B. Menghitung Intensitas Curah Hujan

Dalam perhitungan intensitas curah hujan (I) ada beberapa poin yang perlu diperhatikan yaitu *inlet time*, *flow time*, dan waktu konsentrasi (T_c) [4]. Untuk perhitungannya sebagai berikut:

$$I = \frac{R_t}{24} \times \left(\frac{24}{T_c}\right)^{2/3} \quad (3)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan

R_t = Besar curah hujan periode ulang

T_c = Waktu konsentrasi

Maka:

$$I = \frac{133,34}{24} \times \left(\frac{24}{0,28}\right)^{2/3} = 108,86 \text{ mm/jam}$$

C. Menghitung Debit Hidrologi

Dalam menghitung debit hidrologi ada beberapa poin yang perlu diperhatikan yaitu koefisien pengaliran (C), luas daerah pengaliran (A), dan intensitas curah hujan (I). Untuk perhitungannya sebagai berikut:

$$Q \text{ hidrologi} = \frac{1}{3,6} \times C \text{ gabungan} \times A \text{ total} \times I \quad (4)$$

Dimana:

C gabungan = koefisien pengaliran gabungan

A total = total luas daerah pengaliran

I = intensitas curah hujan

Maka:

$$Q \text{ hidrologi} = \frac{1}{3,6} \times 0,33 \times 0,04227 \times 108,86 = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

D. Menghitung Dimensi Saluran

Dari debit hidrologi dapat direncanakan dimensi saluran. Untuk perhitungannya sebagai berikut:

1) Menghitung penampang basah saluran (F_d)

$$F_d = \frac{Q}{v} \quad (5)$$

Dimana:

Q = Debit hidrologi

v = Kecepatan aliran ijin

Maka:

$$F_d = \frac{0,42}{1,5} = 0,281 \text{ m}^3$$

2) Menghitung lebar saluran (b)

$$b = \frac{F_d}{h} \quad (6)$$

Dimana:

h = tinggi air

Maka:

$$b = \frac{0,42}{1,5} = 0,56 \text{ m (dibulatkan 0,6 m)}$$

3) Menghitung tinggi jagaan saluran (W)

$$W = (0,5 \times h)^{1/2} \quad (7)$$

$$= (0,5 \times 0,5)^{1/2} = 0,5 \text{ m}$$

4) Menghitung tinggi saluran (H)

$$H = W + h \quad (8)$$

$$= 0,5 + 0,5 = 1 \text{ m}$$

5) Menghitung kemiringan saluran ijin (s ijin)

$$s \text{ ijin} = \left(\frac{V \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \quad (9)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran ijin

n = kekasaran *manning*

$$R = \frac{Fd}{P}$$

Maka:

$$s \text{ ijin} = \left(\frac{1,5 \times 0,03}{0,18^{2/3}} \right)^2 = 2,06\%$$

Dengan s lapangan sebesar 1,21% (didapat dari Civil 3D) < s ijin sebesar 2,06% maka tidak diperlukan pematah arus.

VI. PERENCANAAN RAMBU LALU LINTAS

A. Penempatan Rambu Lalu Lintas

Dalam perencanaan penempatan rambu lalu lintas dibedakan menjadi tiga yaitu rambu peringatan, rambu larangan, dan rambu petunjuk [5]. Dalam perencanaan ini digunakan jarak sebagai berikut:

1. Rambu peringatan, diletakkan pada sisi jalan sebelum tempat berbahaya paling sedikit 100 (seratus) meter, untuk jalan dengan kecepatan rencana lebih dari 80 km/jam sampai 100 km/jam. Pada jalan tol ini direncanakan 200 m sebelum tempat berbahaya.
2. Rambu larangan ditempatkan pada awal bagian jalan yang dimulainya larangan.
3. Rambu petunjuk, ditempatkan dengan jarak minimum 250 (dua ratus lima puluh) meter. Pada jalan tol ini direncanakan 300 m sebelum tempat berbahaya.

B. Perencanaan Rambu Lalu Lintas dan Ukurannya

Pada perencanaan jalan tol ini akan direncanakan rambu lalu lintas sebagai fasilitas penunjang. Untuk detail rambu yang digunakan dan ukurannya dapat dilihat pada Tabel 8.

VII. PERENCANAAN ANGGARAN BIAYA

Dalam perencanaan anggaran biaya yang diperhitungkan adalah volume pekerjaan dan Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK) [6]. Untuk detail rekapitulasi anggaran biaya dapat dilihat pada Tabel 9. Jadi, pembangunan Jalan Tol Malang – Kapanjen membutuhkan biaya sebesar Rp 952.053.675.000,00. Biaya yang dikeluarkan untuk membangun Jalan Tol Malang – Kapanjen per km adalah sebesar Rp 45.249.699.382,13.

VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan dalam perancangan Jalan Tol Malang – Kapanjen, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut: (1) Untuk geometrik jalan dan rambu, didapat *Point of Interest* (PI) dari alinyemen horizontal sebanyak 11 buah dan *Point Vertical of Interest* (PVI) dari alinyemen vertikal sebanyak 14 buah serta digunakan rambu lalu lintas sebanyak 151 buah; (2) Untuk perkerasan jalan, didapat hasil sebagai berikut

1) *Tebal lapisan perkerasan sebagai berikut:*

Tebal lapisan perkerasan sebagai berikut: (a) Tebal pelat beton = 285 mm, (b) Lapis pondasi LMC = 100 mm, (c) Lapis drainase = 150 mm, (d) Tebal pelapis aspal = 50 mm.

2) *Digunakan tulangan dengan ketentuan*

Digunakan tulangan dengan ketentuan sebagai berikut: (a) Tulangan memanjang D9-200; (b) Tulangan melintang D9-200; (c) Tie bars Φ 16-750; (d) Dowel D36-300

3) *Untuk perencanaan drainase*

Untuk perencanaan drainase, digunakan saluran berbentuk persegi dengan pasangan batu tanpa penyelesaian dengan kondisi baik.

4) *Untuk perencanaan anggaran biaya*

Untuk perencanaan anggaran biaya, dari analisa perencanaan biaya didapat biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan jalan tol ini sebesar Rp 952.053.675.000,00. Dengan biaya yang dikeluarkan per km sebesar Rp 45.249.699.382,13.

B. Saran

Dalam perancangan jalan tol ini ada beberapa hal yang sebaiknya perlu untuk diperhatikan yaitu sebagai berikut: (1) Dalam perencanaan trase jalan tol, pemilihan trase yang memiliki kondisi topografi dominan datar serta tidak berbukit akan lebih menguntungkan karena lebih mudah dalam perencanaan untuk memenuhi syarat kelandaian dan lebih ekonomis dalam hal galian dan timbunan; (2) Agar konstruksi perkerasan dapat awet dan mencapai umur rencana yang diharapkan, maka perlu dilakukan perawatan rutin agar peluang kerusakan dapat diminimalisir; (3) Pada pelaksanaan konstruksi di lapangan harus berpedoman pada spesifikasi teknis yang tertera agar kegiatan berlangsung aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol no.007/BM/2009," Jakarta, 2009.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, No.007/BM/2009-Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol, no. 007. Jakarta, 2009.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, No. 02/M/BM/2017-Manual Desain Perkerasan Jalan. Jakarta Selatan, 2017.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum, Pd.T-02-2006-B-Perencanaan Sistem Drainase Jalan. Jakarta, 2006.
- [5] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 13 Tahun 2014 Tentang Rambu Lalu Lintas. Jakarta, 2014.
- [6] Pemerintah Kota Malang, Hspk Pemerintah Kota Malang 2018. Malang, 2018.