

Perancangan Geometri dan Perkerasan Kaku Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5

Anna Aulya Pantja Gelora, Catur Arif Prastyanto
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: catur_ap@ce.its.ac.id

Abstrak—Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan seksi 5 merupakan proyek strategis nasional yang dibangun oleh pemerintah untuk mencapai konektivitas 1,5 jam per 100 km dan sebagai penghubung menuju Bandara Kertajati untuk meningkatkan perekonomian di daerah sekitar. Pembangunan jalan tol dilakukan dengan perencanaan geometri, yaitu berupa bentuk fisik jalan yang baik dan sesuai dengan kondisi topografi. Tugas akhir ini merencanakan geometri, tebal perkerasan kaku, dan dimensi drainase berdasarkan peraturan Pengerjaan tugas akhir dimulai ini dari studi literatur, pengumpulan data, perencanaan geometri jalan tol berupa alinyemen horizontal yang dilakukan untuk mendapatkan perancangan trase baru dengan memerhatikan kondisi topografi yaitu daerah perbukitan dan alinyemen vertikal yang dilakukan untuk mengetahui galian dan timbunan. Perencanaan tebal perkerasan kaku sesuai dengan beban lalu lintas yang terjadi, perencanaan dimensi saluran drainase sesuai dengan curah hujan yang terjadi, dan rencana anggaran biaya dengan batasan tertentu berdasarkan Harga Satuan Pokok Kegiatan Kota Madiun yang dikonversi dengan Indeks Kemahalan Konstruksi (IKK) ke Kabupaten Sumedang. Hasil perancangan tugas akhir ini adalah Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5 dengan panjang 13,289 km, 10 PI dengan jenis tikungan *Spiral-Circle-Spiral* (SCS), 10 PVI (4 lengkung cembung dan 6 engkung cekung), tipikal dimensi drainase $B = 0,45$ m dan $H = 1$ m, volume galian 5.192.500,5 m³, volume timbunan 4.309.199,7 m³, tebal pelat beton 305 mm, tebal lapis *Lean Mean Concrete* (LMC) 100 mm, tebal lapis drainase 150 mm, stabilisasi semen 300 mm, sambungan batang pengikat berdiameter 16 mm, sambungan susut melintang dengan diameter ruji 38 mm, dan total Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp936.254.823.670,42.

Kata Kunci—Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5, Geometri, Jalan Tol, Perancangan, Perencanaan.

I. PENDAHULUAN

PERENCANAAN Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan diletakkan batu pertama pada tanggal 29 November 2011 memiliki perencanaan panjang 60 km dan dibagi ke dalam 6 seksi. Pembangunan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan sempat terhambat akibat permasalahan pembebasan lahan. Pembebasan lahan sulit dilakukan dan memakan waktu yang lama diduga disebabkan oleh perencanaan jalan tol yang melewati beberapa kawasan rumah warga dengan terkendala aturan teknis dan administrasi yang berulang-ulang.

Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan merupakan salah satu proyek strategis nasional dengan target meningkatkan konektivitas 1,5 jam per 100 km. Untuk mencapai target tersebut, perencanaan geometri jalan tol harus benar-benar baik agar pengendara dapat berkendara dengan kecepatan yang tinggi dengan nyaman dan aman. Perencanaan geometri jalan tol seperti alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal merupakan aspek yang harus

diperhatikan dalam pembangunan jalan tol untuk meminimalisir resiko angka kecelakaan pengendara.

Indonesia merupakan negara yang memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Pada musim penghujan, jalan tol akan menerima air hujan namun tidak bisa langsung menyerap air hujan tersebut sehingga diperlukan sistem drainase untuk mengalirkan air hujan yang diterima jalan tol.

Mengacu kepada kebutuhan dan permasalahan tersebut maka perencanaan geometri Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan dengan menghindari kawasan rumah warga, memerhatikan timbunan dan galian yang efisien, perencanaan geometri yang aman untuk pengendara dalam kecepatan tinggi, perencanaan tebal perkerasan kaku jalan sesuai dengan beban lalu lintas, dan perencanaan sistem drainase jalan yang baik.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal dalam penyusunan tugas akhir dengan menganalisa permasalahan menggunakan *gap analysis* yang menjadi latar belakang pengerjaan tugas akhir.

B. Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka dalam tugas akhir ini adalah peraturan yang berlaku di Indonesia dan referensi tugas akhir terdahulu dengan judul sejenis. Peraturan yang digunakan adalah Standar Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol No. 007/BM/2009 [1], Manual Desain Perkerasan Jalan No 04/SE/Db/2017 [2], Pd-T-14-2003 tentang Perkerasan Jalan Beton Semen [3], Pd T-02-2006-B tentang Perencanaan Sistem Drainase Jalan [4], dan Indeks Kemahalan Konstruksi [5].

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data yang digunakan sebagai dasar dalam perancangan yang sesuai dengan keadaan sebenarnya dan dapat diimplementasikan. Data yang digunakan adalah peta lokasi, data LHR, data CBR, data curah hujan, dan data HSPK 2021.

D. Pemilihan Trase Jalan

Tahap perencanaan geometri jalan diawali dengan pemilihan trase alternatif terbaik dengan menggunakan Multi Criteria Analysis dengan *Matrix Zero-One*. Kriteria yang digunakan dalam pemilihan trase ditetapkan dan dilakukan pembobotan berdasarkan latar belakang dan permasalahan pada tugas akhir ini. Setelah dilakukan pembobotan kriteria, trase alternatif dinilai dengan

Tabel 1.
Kriteria Desain

| Kriteria Desain | Ukuran | Satuan |
|-------------------------------|------------|--------------------|
| LHRT 2021 | 15355 | Kendaraan/hari |
| qJP per Arah | 839 | Kendaraan/jam/arah |
| Klasifikasi Jalan | Perbukitan | |
| Konfigurasi Jalan | 4/2 D | |
| Kecepatan Rencana | 100 | km/jam |
| Superelevasi Normal | 2% | |
| Superelevasi Bahu | 4% | |
| Jari-jari Tikungan Minimum | 365 | m |
| Lebar Lajur | 3,6 | m |
| Lebar Bahu Jalan | 3,5 | m |
| Lebar Bahu Dalam | 1,5 | m |
| Lebar Median Concrete Barrier | 0,8 | m |

| Pelebaran Jalan Tahun 2041 | | |
|----------------------------|--------|--------------------|
| Kriteria Desain | Ukuran | Satuan |
| LHRT 2041 | 47818 | Kendaraan/hari |
| qJP per Arah | 2613 | Kendaraan/jam/arah |
| Konfigurasi Jalan | 6/2 D | |

Tabel 2.
Perhitungan Sudut Azimuth dan Sudut Tikungan

| Titik | Jarak (m) | Kuadran | α | ϕ | Δ |
|------------|-----------|---------|----------|--------|----------|
| Legok | | | | | |
| PI 1 | 1775.7 | I | 40.1 | 40.1 | |
| PI 2 | 1214.5 | IV | -0.8 | 359.2 | 40.9 |
| PI 3 | 635.2 | I | 12.5 | 12.5 | 13.3 |
| PI 4 | 845.8 | IV | -37.9 | 322.1 | 50.4 |
| PI 5 | 910.0 | IV | -3.1 | 356.9 | 34.7 |
| PI 6 | 1085.6 | I | 60.5 | 60.5 | 63.6 |
| PI 7 | 2447.7 | II | -86.6 | 93.4 | 33.0 |
| PI 8 | 1064.3 | I | 56.0 | 56.0 | 37.5 |
| PI 9 | 1136.9 | II | -83.4 | 96.6 | 40.7 |
| PI 10 | 794.1 | I | 34.8 | 34.8 | 61.8 |
| Ujung Jaya | 1695.6 | I | 60.8 | 60.8 | 26.0 |

dibandingkan dengan trase alternatif lainnya. Penilaian trase kemudian dikalikan dengan pembobotan kriteria sehingga didapatkan pembobotan nilai dimana trase dengan pembobotan nilai tertinggi akan digunakan dalam perancangan.

E. Penetapan Kriteria Perencanaan

Kriteria perencanaan ditetapkan sesuai dengan peraturan Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol tahun 2009, yaitu: konfigurasi jalan, klasifikasi jalan, kecepatan rencana, superelevasi maksimum, kelandaian maksimum, jari-jari minimum, dimensi ruang jalan, lebar lajur, dan lebar bahu jalan tol.

F. Perencanaan Alinyemen Horizontal

Tahapan perencanaan alinyemen horizontal, yaitu: penentuan klasifikasi medan jalan, penetapan kecepatan rencana berdasarkan medan jalan dan referensi, penentuan lebar jalan, penetapan jari-jari rencana, perhitungan sudut tikungan, perhitungan nilai superelevasi, penentuan jenis tikungan, perhitungan panjang lengkung peralihan, perhitungan parameter lengkung sesuai jenis lengkung, perhitungan pelebaran tikungan, dan penetapan stasioning.

G. Perencanaan Alinyemen Vertikal

Tahapan perencanaan alinyemen vertikal, yaitu: penentuan kelandaian dengan memerhatikan kelandaian minimum dan maksimum, penentuan Panjang landau kritis

Tabel 3.
Perhitungan Lengkung Peralihan

| Ls (m) | | | | Ls min | Ls max | Ls Desain |
|--------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------|--------|-----------|
| Waktu Per-jalan-an | Perubahan Kelandaian | Gaya Sentrifugal | Kelandaian Relatif | m | m | m |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |
| 56 | 89 | 25 | 85 | 58 | 130 | 120 |

sesuai kecepatan rencana, penentuan tipe kelengkungan berdasarkan nilai selisih antara dua kemiringan jalan dengan ketentuan $A > 0$ termasuk lengkung cembung dan $A < 0$ termasuk lengkung cekung, penentuan panjang lengkung sesuai tipe kelengkungan dengan memerhatikan panjang minimum, perhitungan elevasi, penetapan stasioning, dan perhitungan volume galian timbunan.

H. Perencanaan Perkerasan Kaku

Pekerasan kaku direncanakan sesuai ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017 dan Pd-T-14-2013 tentang Perkerasan Jalan Beton Semen dengan tahapan, yaitu: penentuan umur rencana, survey kendaraan selama 3 jam, penentuan volume kendaraan, penentuan faktor distribusi, perhitungan beban sumbu, penetapan daya dukung tanah dasar, penentuan lapisan perkerasan, penetapan sambungan.

I. Perencanaan Drainase Jalan Tol

Sistem drainase jalan direncanakan sesuai ketentuan pada Pd. T-02-2006-B dengan tahapan, yaitu: perhitungan data curah hujan, analisis hidrologi, analisis hidrolika dan penetapan dimensi saluran, perhitungan bangunan terjun.

J. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya dilakukan dengan analisis work breakdown structure, analisis Harga Satuan Pokok Kegiatan dengan mengkonversi Harga Satuan Pokok Kegiatan Kota Madiun ke Kabupaten Sumedang dengan menggunakan indeks kemahalan konstruksi, perhitungan volume pekerjaan, dan perhitungan Rencana Anggaran Biaya yang diperlukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Geometri

1) Pemilihan Trase

Penentuan trase jalan dilakukan dengan *Multi Criteria Analysis* menggunakan matriks *zero-one* dalam pembobotan dan penilaian trase pada setiap kriteria. Hasil penilaian dengan pembobotan pada tiga trase alternatif dan satu trase rencana didapatkan trase alternatif dua dengan nilai tertinggi sehingga perencanaan geometri pada tugas akhir ini berdasarkan trase alternatif dua. Kriteria perencanaan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 4.
Perhitungan Parameter Lengkung

| PI | R m | θ s ° | Δ ° | Δ c ° | Lc m | Yc m | Xc m |
|----|--------|----------|--------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 700 | 4.91 | 40.87 | 31.04 | 379.26 | 3.43 | 119.91 |
| 2 | 700 | 4.91 | 13.29 | 3.47 | 42.42 | 3.43 | 119.91 |
| 3 | 700 | 4.91 | 50.39 | 40.57 | 495.62 | 3.43 | 119.91 |
| 4 | 700 | 4.91 | 34.74 | 24.91 | 304.37 | 3.43 | 119.91 |
| 5 | 700 | 4.91 | 63.62 | 53.80 | 657.24 | 3.43 | 119.91 |
| 6 | 700 | 4.91 | 32.96 | 23.13 | 282.64 | 3.43 | 119.91 |
| 7 | 700 | 4.91 | 37.48 | 27.66 | 337.94 | 3.43 | 119.91 |
| 8 | 700 | 4.91 | 40.66 | 30.84 | 376.79 | 3.43 | 119.91 |
| 9 | 700 | 4.91 | 61.81 | 51.99 | 635.20 | 3.43 | 119.91 |
| 10 | 700 | 4.91 | 61.81 | 51.99 | 635.20 | 3.43 | 119.91 |

Tabel 5.
Perhitungan Parameter Lengkung (Lanjutan)

| PI | R m | θ s ° | Δ ° | Δ c ° | Lc m |
|----|--------|----------|--------|----------|---------|
| 1 | 59.99 | 0.86 | 321.09 | 47.92 | 619 |
| 2 | 59.99 | 0.86 | 141.66 | 5.60 | 282 |
| 3 | 59.99 | 0.86 | 389.70 | 74.54 | 736 |
| 4 | 59.99 | 0.86 | 279.19 | 34.34 | 544 |
| 5 | 59.99 | 0.86 | 494.69 | 124.72 | 897 |
| 6 | 59.99 | 0.86 | 267.30 | 30.88 | 523 |
| 7 | 59.99 | 0.86 | 297.78 | 40.10 | 578 |
| 8 | 59.99 | 0.86 | 319.68 | 47.42 | 617 |
| 9 | 59.99 | 0.86 | 479.56 | 116.85 | 875 |
| 10 | 59.99 | 0.86 | 479.56 | 116.85 | 875 |

2) *Perencanaan Alinyemen Horizontal*

Perencanaan alinyemen horizontal dilakukan dengan menganalisis sudut tikungan dan disesuaikan dengan trase pada AutoCAD Civil 3D. Perhitungan sudut azimuth:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \right) \tag{1}$$

Nilai azimuth (δ) ditentukan berdasarkan kuadran azimuth. Nilai azimuth digunakan untuk mendapatkan sudut tikungan.

Perhitungan sudut tikungan:

$$\Delta = |\delta_2 - \delta_1| \tag{2}$$

Hasil perhitungan sudut azimuth dan sudut tikungan terdapat pada Tabel 2.

Perhitungan superelevasi dengan jari-jari rencana 700 m pada setiap tikungan didapatkan e = 6.9%. Penetapan lengkung peralihan dilakukan dengan memerhatikan empat jenis perhitungan lengkung peralihan yang terdapat pada Tabel 3.

Berdasarkan nilai superelevasi 6,9% dan panjang busur tikungan, ditetapkan jenis *Spiral-Circle-Spiral* (SCS) pada setiap tikungan. Hasil perhitungan parameter lengkung SCS terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Pelebaran jalur seluruh tikungan dengan jari-jari tikungan 700 m adalah 0,35 m.

Tabel 6.
Stasioning

| PI | STA TS | STA SC | STA Mid | STA CS | STA ST |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1+454.67 | 1+574.67 | 1+764.29 | 1+953.9 | 2+73.9 |
| 2 | 2+825.64 | 2+945.64 | 2+966.85 | 2+988.06 | 3+108.06 |
| 3 | 3+211.88 | 3+331.88 | 3+579.69 | 3+827.5 | 3+947.5 |
| 4 | 4+124.39 | 4+244.39 | 4+396.59 | 4+548.77 | 4+668.77 |
| 5 | 4+804.9 | 4+924.9 | 5+253.52 | 5+582.14 | 5+702.14 |
| 6 | 6+25.7 | 6+145.7 | 6+287.03 | 6+428.35 | 5+548.35 |
| 7 | 8+430.96 | 8+550.96 | 8+719.93 | 8+888.9 | 9+8.9 |
| 8 | 9+455.79 | 9+575.79 | 9+764.19 | 9+952.59 | 10+72.59 |
| 9 | 10+410.21 | 10+530.21 | 10+847.81 | 11+165.41 | 11+285.41 |
| 10 | 11+378.21 | 11+498.21 | 11+597.03 | 11+695.84 | 11+815.84 |

Tabel 7.
Gradien Jalan dan Jenis Tikungan

| PVI | G1 | G2 | A | Jenis Lengkung |
|-----|--------|--------|--------|----------------|
| 1 | -3,98% | -3,99% | 0,005% | Cembung |
| 2 | -3,99% | -1,53% | -2,46% | Cekung |
| 3 | -1,53% | -3,99% | -2,46% | Cembung |
| 4 | -3,99% | -3,46% | -0,53% | Cekung |
| 5 | -3,46% | -3,67% | 0,21% | Cembung |
| 6 | -3,67% | -3,66% | -0,02% | Cekung |
| 7 | -3,66% | -2,29% | -1,37% | Cekung |
| 8 | -2,29% | -2,95% | 0,66% | Cembung |
| 9 | -2,95% | -0,99% | -1,96% | Cekung |
| 10 | -0,99% | -0,98% | -0,01% | Cekung |

Stasioning dilakukan dengan perhitungan dan disesuaikan dengan AutoCAD Civil 3D. Perhitungan *stasioning* dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{STA TS} &= \text{PI} - \text{TS} \\ \text{STA SC} &= \text{STA TS} + L_s \\ \text{STA Mid} &= \text{STA SC} + 0,5 L_c \\ \text{STA CS} &= \text{STA SC} + L_c \\ \text{STA ST} &= \text{STA CS} + L_s \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan STA terdapat pada Tabel 6.

3) *Perencanaan Alinyemen Vertikal*

Perencanaan alinyemen vertikal dilakukan dengan menghitung kelandaian jalan dengan batas maksimum 4% dan menetapkan jenis lengkung, yaitu lengkung cembung atau cekung dengan memerhatikan nilai A (selisih gradien) yang terdapat pada Tabel 7.

Penetapan panjang landai kritis dengan jari jari tikungan 700 m dan kecepatan 100 km/jam adalah 700 m. Jarak pandang henti dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$S_s = 0,278 \times V_R \times T + \frac{V_R^2}{254 \left[\left(\frac{a}{9,81} \right) \pm G \right]} \tag{3}$$

Panjang lengkung cembung dan cekung dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$L_{min} = 0,6V_R = 60m \tag{4}$$

Lengkung Cembung

$$L = \frac{AS^2}{658}, S < L \tag{5}$$

$$L = 2S - \frac{658}{A}, S > L \tag{6}$$

Lengkung Cekung

$$L = \frac{AS^2}{120+3,55}, S < L \tag{7}$$

Tabel 8.
Panjang Jarak Pandang Henti dan Panjang Lengkung

| PVI | Jenis Lengkung | Ss Pakai (m) | L Cembung (m) | L Cekung (m) |
|-----|----------------|--------------|---------------|--------------|
| 1 | Cembung | 198 | 60 | |
| 2 | Cekung | 198 | | 60 |
| 3 | Cembung | 189 | 110.6 | |
| 4 | Cekung | 198 | | 60 |
| 5 | Cembung | 196 | 60 | |
| 6 | Cekung | 197 | | 60 |
| 7 | Cekung | 197 | | 60 |
| 8 | Cembung | 192 | 60 | |
| 9 | Cekung | 194 | | 60 |
| 10 | Cekung | 187 | | 60 |

Tabel 9.
Perhitungan Intensitas Hujan

| STA | T0 pakai (jam) | Tf (jam) | Tc (jam) | R24 (mm/jam) | I (mm/jam) |
|--------------------|----------------|----------|----------|--------------|------------|
| 0+00 – 1+775.76 | 0,1311 | 0,3288 | 0,4600 | 124,910 | 72,673 |
| 1+775.76 – 2+967.3 | 0,0825 | 0,2207 | 0,3031 | 124,910 | 95,965 |
| 2+967.3 – 3+601.58 | 0,1094 | 0,1175 | 0,2269 | 124,910 | 116,417 |
| 3+601.58 – 4+403.5 | 0,1236 | 0,1485 | 0,2721 | 124,910 | 103,122 |
| 4+403.5 – 5+299.59 | 0,1109 | 0,1659 | 0,2769 | 124,910 | 101,943 |
| 5+299.59 – 6+293 | 0,0612 | 0,1840 | 0,2452 | 124,910 | 110,549 |
| 6+293 – 8+728.74 | 0,0477 | 0,4511 | 0,4988 | 124,910 | 68,854 |
| 8+728.74 – 9+775.4 | 0,0447 | 0,1938 | 0,2386 | 124,910 | 112,573 |
| 9+775.4 – 10+889.7 | 0,0430 | 0,2064 | 0,2494 | 124,910 | 109,301 |
| 10+889.7 – 11+857 | 0,1368 | 0,1793 | 0,3160 | 124,910 | 93,330 |
| 11+857 – 13+289.67 | 0,1100 | 0,2652 | 0,3751 | 124,910 | 83,253 |

$$L = 2S - \frac{120+3,55}{A}, S > L \tag{8}$$

Rekapitulasi perhitungan jarak pandang henti dan panjang lengkung terdapat pada Tabel 8. Penetapan *stasioning* dan elevasi pada lengkung dilakukan sebagai berikut.

$$STA_{PLV} = STA_{PVI} - \frac{L}{2} \tag{9}$$

$$STA_{PTV} = STA_{PVI} + \frac{L}{2} \tag{10}$$

$$elevasi_{PTV} = elevasi_{PVI} + \left(\frac{G_1 L}{100 \cdot 2} \right) \tag{11}$$

$$elevasi_{PTV} = elevasi_{PVI} + \left(\frac{G_1 L}{100 \cdot 2} \right) \tag{12}$$

Volume galian dan timbunan didapatkan dari hasil analisis AutoCAD Civil 3D, yaitu:

Total volume galian = 5.182.500,48 m³

Total volume timbunan = 4.309.199,66 m³

Total volume pengangkutan tanah ke luar proyek = 873.301,82 m³

B. Perencanaan Perkerasan Jalan

Jenis Perkerasan = Perkerasan Kaku

Umur Rencana = 40 Tahun

Data LHR yang didapatkan dalam golongan I, II, III, IV, dan V dikonversi menjadi golongan 1, 2, 3, 4, 5a, 6b, 7a, 7b, 7c, dan 8 dengan pembobotan hasil *survey* kendaraan selama tiga jam untuk perencanaan tebal perkerasan kaku.

Penentuan arus lalu lintas jam desain diperlukan nilai faktor jam rencana (k) untuk jalan bebas hambatan, yaitu sebesar 11% [6].

Perhitungan derajat kejenuhan dengan syarat < 0,85 menggunakan persamaan 13.

$$D_j = \frac{q}{c} \tag{13}$$

Tabel 10.
Perhitungan Q Hidrologi

| STA | (mm/jam) | A total (km ²) | C gabungan | Q Hidrologi (m ³ /s) |
|--------------------|----------|----------------------------|------------|---------------------------------|
| 0+00 – 1+775.76 | 72,673 | 0,0812 | 0,4334 | 0,7111 |
| 1+775.76 – 2+967.3 | 95,965 | 0,0293 | 0,3963 | 0,3102 |
| 2+967.3 – 3+601.58 | 116,417 | 0,0055 | 1,9066 | 0,3405 |
| 3+601.58 – 4+403.5 | 103,122 | 0,0070 | 2,1410 | 0,4282 |
| 4+403.5 – 5+299.59 | 101,943 | 0,0078 | 1,1218 | 0,2478 |
| 5+299.59 – 6+293 | 110,549 | 0,0086 | 1,3480 | 0,3580 |
| 6+293 – 8+728.74 | 68,854 | 0,0212 | 1,1218 | 0,4550 |
| 8+728.74 – 9+775.4 | 112,573 | 0,091 | 1,1218 | 0,3197 |
| 9+775.4 – 10+889.7 | 109,301 | 0,0097 | 1,1218 | 0,3304 |
| 10+889.7 – 11+857 | 93,330 | 0,0084 | 1,1218 | 0,2451 |
| 11+857 – 13+289.67 | 83,253 | 0,0125 | 1,1218 | 0,3234 |

Tabel 11.
Perhitungan Dimensi Saluran

| STA | B (m) | H (m) | A (m ²) | W (m) | H saluran (m) |
|--------------------|-------|-------|---------------------|-------|---------------|
| 0+00 – 1+775.76 | 0,45 | 0,7 | 0,805 | 0,59 | 1,3 |
| 1+775.76 – 2+967.3 | 0,45 | 0,65 | 0,715 | 0,57 | 1,3 |
| 2+967.3 – 3+601.58 | 0,45 | 0,5 | 0,475 | 0,50 | 1,0 |
| 3+601.58 – 4+403.5 | 0,45 | 0,6 | 0,630 | 0,55 | 1,2 |
| 4+403.5 – 5+299.59 | 0,45 | 0,55 | 0,550 | 0,52 | 1,1 |
| 5+299.59 – 6+293 | 0,45 | 0,5 | 0,475 | 0,50 | 1,0 |
| 6+293 – 8+728.74 | 0,45 | 0,6 | 0,630 | 0,55 | 1,2 |
| 8+728.74 – 9+775.4 | 0,45 | 0,5 | 0,475 | 0,50 | 1,0 |
| 9+775.4 – 10+889.7 | 0,45 | 0,5 | 0,475 | 0,50 | 1,0 |
| 10+889.7 – 11+857 | 0,45 | 0,6 | 0,630 | 0,55 | 1,2 |
| 11+857 – 13+289.67 | 0,45 | 0,65 | 0,715 | 0,57 | 1,3 |

Dengan q = 2177 smp/jam/jalur dan C = 4500 smp/jam/jalur, didapatkan derajat kejenuhan sebesar 0,4839. Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas dilakukan dengan persamaan 14.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \tag{14}$$

Faktor pertumbuhan lalu lintas (R) = 40,870

Faktor distribusi arah (DD) = 0,5 (jalan dua arah)

Faktor distribusi lajur (DL) = 80% (2 lajur tiap arah)

Perhitungan beban sumbu kumulatif dilakukan dengan persamaan 15.

$$jmlh \text{ kel sumbu} = \text{kel sumbu} \times DD \times DL \times R \times 365 \tag{15}$$

Kumulatif jumlah kelompok sumbu 2021-2061 adalah 110.497.485,6 sehingga termasuk struktur perkerasan R5 dan memiliki nilai CBR 6% yang merupakan asumsi berdasarkan jurnal. Tebal perkerasan kaku berdasarkan data tersebut, yaitu:

Stabilisasi semen = 300 mm

Tebal pelat beton = 305 mm

Lapis pondasi LMC= 100 mm

Lapis drainase = 150 mm

Dibutuhkan = Dowel pada sambungan bahu beton

Perkerasan kaku direncanakan dengan sambungan sebagai berikut.

1) Batang pengikat (*tie bars*)

Diameter = 16 mm

Panjang = 678,8 mm

Jarak = 750 mm

2) Sambungan susut melintang (*dowel*)

Diameter ruji = 38 mm [7]

Tabel 12.
Perhitungan Q Hidrolika

| STA | P (m) | R (m) | V Hidrolika (m/s) | Q Hidrolika (m ³ /s) | ΔQ (m ³ /s) |
|--------------------|-------|-------|-------------------|---------------------------------|------------------------|
| 0+00 – 1+775.76 | 2,430 | 0,331 | 0,946 | 0,762 | 0,051 |
| 1+775.76 – 2+967.3 | 2,288 | 0,312 | 0,910 | 0,651 | 0,340 |
| 2+967.3 – 3+601.58 | 1,864 | 0,255 | 0,794 | 0,377 | 0,037 |
| 3+601.58 – 4+403.5 | 2,147 | 0,293 | 0,873 | 0,550 | 0,122 |
| 4+403.5 – 5+299.59 | 2,006 | 0,274 | 0,834 | 0,459 | 0,211 |
| 5+299.59 – 6+293 | 1,864 | 0,255 | 0,794 | 0,377 | 0,019 |
| 6+293 – 8+728.74 | 2,147 | 0,293 | 0,873 | 0,550 | 0,095 |
| 8+728.74 – 9+775.4 | 1,864 | 0,255 | 0,794 | 0,377 | 0,058 |
| 9+775.4 – 10+889.7 | 1,864 | 0,255 | 0,794 | 0,377 | 0,047 |
| 10+889.7 – 11+857 | 2,147 | 0,293 | 0,873 | 0,550 | 0,305 |
| 11+857 – 13+289.67 | 2,288 | 0,312 | 0,910 | 0,651 | 0,327 |

Tabel 13.
Kebutuhan Bangunan Terjun

| STA | ΔHm (m) | ΔHs (m) | ΔH (m) | N (buah) |
|--------------------|---------|---------|--------|----------|
| 0+00 – 1+775.76 | 70,67 | 1,776 | 68,899 | 46 |
| 1+775.76 – 2+967.3 | 47,54 | 1,192 | 46,351 | 31 |
| 2+967.3 – 3+601.58 | 9,70 | 0,634 | 9,070 | 7 |
| 3+601.58 – 4+403.5 | 31,99 | 0,802 | 31,197 | 21 |
| 4+403.5 – 5+299.59 | 27,95 | 0,896 | 27,059 | 19 |
| 5+299.59 – 6+293 | 39,53 | 0,993 | 38,544 | 26 |
| 6+293 – 8+728.74 | 89,14 | 2,436 | 86,712 | 58 |
| 8+728.74 – 9+775.4 | 23,97 | 1,047 | 22,923 | 16 |
| 9+775.4 – 10+889.7 | 16,38 | 1,114 | 15,265 | 11 |
| 10+889.7 – 11+857 | 26,04 | 0,968 | 25,071 | 17 |
| 11+857 – 13+289.67 | 15,03 | 1,432 | 13,603 | 10 |

Panjang = 450 mm
Jarak antar ruji = 300 mm

C. Perencanaan Drainase

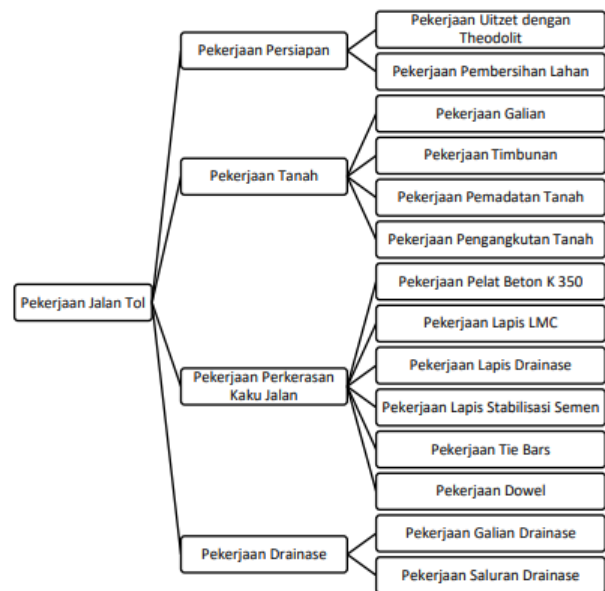
Perhitungan data curah hujan dilakukan dengan mencari tinggi hujan maksimum, yaitu sebesar 95 mm, tinggi hujan rata-rata, yaitu sebesar 94,563 mm, penentuan nilai Sx, yaitu 9,759 mm, penentuan nilai YT (faktor reduksi) dengan T = 40 tahun, yaitu 3,676, penentuan nilai YN dengan interpolasi dari tabel nilai YN [8] sehingga didapatkan YN = 0,512, penentuan nilai SN dilakukan dengan interpolasi tabel nilai SN [8] sehingga didapatkan SN = 1,0175, penentuan nilai K dan R20 dengan nilai K sebesar 3,11 didapatkan nilai R20 sebesar 124,91 mm/jam.

Analisis hidrologi dilakukan dengan menghitung T0 jalan yang terdiri dari T0 jalan, T0 bahu dalam dan T0 bahu luar serta menghitung T0 lereng dan kemudian diambil nilai terbesar antara T0 jalan dan T0 lereng untuk perhitungan waktu konsentrasi (Tc). Setelah ditentukan nilai T0, dilakukan perhitungan waktu pengaliran di saluran (Tf) dan perhitungan nilai Tc dapat dilakukan dengan menjumlahkan nilai Tf dan T0 terbesar. Nilai Tc diperlukan dalam perhitungan Intensitas hujan dengan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24} \cdot 24^{2/3}}{24 \cdot T_c} \tag{16}$$

Rekapitulasi perhitungan T0, Tc, R24, dan intensitas hujan terdapat pada Tabel 9.

Penetapan nilai koefisien pengaliran (C), yaitu C jalan = 0,8, C bahu dalam = 0,8, C bahu luar = 0,8, C lereng = 0,75, dan faktor limpasan (fk) = 0,4. Nilai C tersebut digunakan dalam perhitungan koefisien pengaliran gabungan (C gabungan) dengan mengalikan nilai C dengan luasan aliran (catchment area) dibagi dengan luasan aliran (catchment area). Setelah didapatkan nilai C gabungan,



Gambar 1. Work Breakdown Structure.

dilakukan perhitungan debit hidrologi (Q Hidrologi) dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q = 0,278 \times C \text{ gabungan} \times I \times A \text{ total} \tag{17}$$

Rekapitulasi perhitungan Q hidrologi terdapat pada Tabel 10.

Analisa hidrolika dilakukan dengan menghitung luas (A) saluran ijin dengan membagi Q Hidrologi dengan V ijin sebesar 1,5 m/s² serta menghitung luas (A) saluran dengan syarat A saluran > A ijin. Perhitungan A saluran dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$A \text{ saluran} = (b + mh) \tag{18}$$

Untuk mendapatkan jari-jari hidrolis (R) maka diperlukan perhitungan keliling basah saluran dengan persamaan sebagai berikut.

$$P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} \tag{19}$$

Perhitungan tinggi jagaan dilakukan untuk mengetahui H saluran yang merupakan penjumlahan tinggi (H) rencana + tinggi jagaan (W). Perhitungan tinggi jagaan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$W = \sqrt{0,5 + h \text{rencana}} \tag{20}$$

Rekapitulasi penetapan dimensi saluran terdapat pada Tabel 11.

Pehitungan jari-jari hidrolis (R) adalah dengan membagi luas (A) saluran dengan keliling basah (P). Kecepatan aliran (V) hidrolika memiliki syarat V hidrolika < V ijin, yaitu 1,5 m/s. Perhitungan V hidrolika dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V \text{ hidrolika} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \tag{21}$$

Perhitungan debit (Q) hidrolika dilakukan dengan mengalikan V hidrolika dengan A hidrolika dengan ketentuan Q hidrolika ≥ Q hidrologi. Rekapitulasi perhitungan P, R, V hidrolika, dan Q hidrolika terdapat pada Tabel 12.

Tabel 14.
Nilai HSPK dan Volume Pekerjaan

| Uraian Pekerjaan | Volume | Satuan | Nilai HSPK |
|---------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Pekerjaan Persiapan | | | |
| Uitzet dengan theodolite | 334.889,684 | m ² | Rp2.878,42 |
| Pembersihan Lahan | 40.019,07 | m ² | Rp13.858,63 |
| Pekerjaan Tanah | | | |
| Galian | 5.182.500,48 | m ³ | Rp51.222,02 |
| Timbunan | 4.309.199,66 | m ³ | Rp24.413,19 |
| Pemadatan Tanah | 4.309.199,66 | m ³ | Rp25.845,80 |
| Pengangkutan Tanah | 873.300,82 | m ³ | Rp114.969,73 |
| Pekerjaan Perkerasan Kaku | | | |
| Pelat Beton K350 | 106.480,27 | m ³ | Rp1.316.673,36 |
| Lapis LMC | 34.911,56 | m ³ | Rp1.426.456,76 |
| Lapis Drainase | 57.624 | m ³ | Rp947.717,05 |
| Stabilisasi Semen | 109.891,63 | m ³ | Rp808.051,36 |
| Tie Bars | 37.748,916 | kg | Rp15.886,01 |
| Dowel | 398.167,39 | kg | Rp14.962,10 |
| Pekerjaan Drainase | | | |
| Galian | 25.356,89 | m ³ | Rp51.039,61 |
| Saluran Drainase | 4.993,46 | m ³ | Rp1.316.673,36 |

Perhitungan bangunan terjun dilakukan dengan menghitung ΔH_m (panjang saluran dikalikan dengan i eksisting), ΔH_s (panjang saluran dikalikan dengan i rencana), ΔH (selisih ΔH_m dan ΔH_s). Kebutuhan bangunan terjun didapatkan dari ΔH dibagi tinggi terjun pakai, yaitu 1,5 m. Rekapitulasi kebutuhan bangunan terjun terdapat pada Tabel 13

D. Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya diawali dengan analisis *work breakdown structure* yang terdapat pada Gambar 1.

Harga Satuan Pokok Kegiatan yang digunakan adalah Harga Satuan Pokok Kegiatan Kota Madiun 2021 yang dikonversi dengan Indeks Kemahalan Konstruksi (IKK), yaitu:

$$\text{IKK Kota Madiun} = 101,5$$

$$\text{IKK Kabupaten Sumedang} = 101,49$$

Perhitungan volume pekerjaan dilakukan dengan manual dan *Output Civil 3D*. Rekapitulasi perhitungan nilai HSPK dan volume pekerjaan terdapat pada Tabel 14.

Perhitungan harga pekerjaan didapatkan dari hasil perkalian volume pekerjaan dengan nilai HSPK. Seluruh harga pekerjaan dijumlahkan sehingga didapatkan Rencana Anggaran Biaya, yaitu sebesar Rp936.780.187.209,42.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Tugas Akhir Perancangan Geometri dan Perkerasan Kaku Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5 memiliki hasil akhir yaitu, (1) Konfigurasi jalan yang digunakan adalah 4/2 D dengan keterangan selama masa konsesi (40 tahun) akan terjadi pelebaran jalan menjadi 6/2 D pada tahun 2041. Jalan memiliki 10 PI dan 10 PVI, dengan detail

perancangan geometri jalan, yaitu: panjang jalan 13,289 km, lebar 1 jalur 6,2 m (3,6 m x 2), lebar bahu luar 3,5 m, lebar bahu dalam 1,5 m, lebar median jalan 0,8 m, kecepatan rencana 100 km/jam, jari-jari 700 m, jenis tikungan *Spiral-Circle-Spiral* (SCS), lengkung cembung sebanyak 4 buah, lengkung cekung sebanyak 6 buah, volume galian 5.182.500,48 m³, dan volume timbunan 4.309.199,66 m³. (2) Perencanaan perkerasan jalan berdasarkan perhitungan kumulatif beban sumbu, yaitu tebal pelat beton 305 mm, lapis fondasi LMC 100 mm, lapis drainase 150 mm, stabilisasi semen 300 mm, diameter *tie bars* 16 mm, dan diameter Ruji 38 mm. (3) Terdapat empat tipikal dimensi saluran, yaitu B = 0,45 m dan H Saluran = 1,3 m; B = 0,45 m dan H Saluran = 1,2 m; B = 0,45 m dan H Saluran = 1,1 m; B = 0,45 m dan H Saluran = 0,5 m. (4) Hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5 dengan Batasan, yaitu sebesar Rp936.780.187.209,42.

B. Saran

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan tugas akhir ini, yaitu (1) Perencanaan trase perlu memerhatikan pembebasan lahan dan pemukiman yang minimum dengan memertahankan daerah layan jala tol tersebut, (2) Perhitungan data galian timbunan dalam pemilihan trase menggunakan aplikasi global mapper seharusnya dilakukan sesuai dengan kemiringan rencana agar lebih akurat, (3) Pada jalan menurun bukit diperlukan beberapa bagian jalan yang memiliki kelandaian rendah sehingga kendaraan dapat melewati jalan dengan aman dan nyaman, dan (4) Detail lereng timbunan diperlukan kajian geoteknik yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, Standar Konstruksi dan Bangunan: Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No. 007/BM/2009, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2009.
- [2] K. A. Zamhari, E. M. James, and G. Jameson, Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017) Nomor 02/M/BM/2017, Jakarta Selatan: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017.
- [3] F. Affandi, D. Widajat, A. T. Dachlan, Roestaman, J. Purnomo, and Suhaili, Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan Sistem Drainase Jalan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2006.
- [5] D. Daniaty and D. R. T. Lolyta, Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi Dan Kabupaten/Kota 2020, D. S. Takarini, M. Jaya, Munipah, and H. Ferdinan, Eds., Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2020.
- [6] H. Iskandar, "Kapasitas dasar jalan bebas hambatan," *Jalan dan Jembatan*, vol. 29, no. 1, 2012.
- [7] E. J. Yoder and W. M. W., Principles of pavement design, 2nd ed., New York: Wiley, 1975.
- [8] Suripin, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Yogyakarta: Andi, 2004.