

Perencanaan Pembangunan Angkutan Umum Massal Light Rail Transit (LRT) di Kota Semarang, Jawa Tengah

Planning for the Development of Light Rail Transit (LRT) Mass Public Transportation in Semarang City, Central Java

Nanda Rian Prasetya^{1,a)}

¹⁾Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Koresponden : ^{a)}nandarianp@gmail.com

ABSTRAK

Seperti yang tertuang pada Peraturan Daerah Kota Semarang No.6 Tahun 2016 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Semarang Tahun 2016-2021 dengan arah kebijakan pengembangan sistem angkutan umum massal berbasis rel, demi terwujudnya pelayanan transportasi yang efektif dan efisien. Sehingga dibuat perencanaan pembangunan *Light Rail Transit* (LRT) Semarang untuk mengurangi kemacetan di Kota Semarang sekaligus untuk meningkatkan manajemen infrastruktur massal di Kota Semarang. Metodologi penelitian dalam penelitian ini menggunakan data sekunder untuk merencanakan trase dan perencanaan geometrik berupa alinemen horizontal dan alinemen vertikal kemudian menghitung besarnya Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dengan tujuan untuk dapat menentukan besarnya tarif LRT Semarang. Perencanaan LRT Semarang untuk koridor 9 dengan trase Bandara Ahmad Yani – Madukoro – Pasar Bulu – Cokroaminoto – Simpang Lima dengan panjang lintas 8,1 km. Terdapat 6 lengkung *horizontal* dan dengan kecepatan maksimum 120 km/jam. Total biaya operasional LRT Semarang adalah sebesar Rp 7.017.697,77 / lintas, kemudian besarnya tarif dasar lintas pelayanan sebesar Rp 1.784,68 pnp/km dan untuk tarif jarak sebesar Rp 14.455,93 / lintas.

Kata Kunci : manajemen infrastruktur, trase, geometrik, BOK, tarif

PENDAHULUAN

Kota Semarang, Jawa Tengah merupakan kota metropolitan yang mejadi pusat perdagangan dan perkantoran yang tentunya dalam melaksanakan kegiatan sehari-hari tidak bisa lepas dari penggunaan moda transportasi, selain itu Kota Semarang juga merupakan tujuan destinasi wisata yang cukup populer, sehingga adanya kegiatan transportasi yang cukup padat. Hal ini menimbulkan kemacetan dan peningkatan kapasitas jalan seperti yang pada penelitian yang dilakukan oleh Murdiyono R. dan Anindyawati N (2017) menunjukkan bahwa pada ruas jalan di Kota Semarang memiliki derajat kejenuhan sebesar 0,88 yang mendekati nilai 1 dan tingkat pelayanan kategori E yaitu arus tidak stabil dan kecepatan kadang terhenti. Saat ini Pemerintah Kota Semarang sudah berupaya mengajak masyarakat untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dan beralih menggunakan kendaraan umum tetapi hal itu masih belum bisa mengurangi minat masyarakat untuk beralih ke angkutan umum. Salah satu rencana yang sudah dibuat untuk mengurangi kemacetan di Kota Semarang adalah perencanaan transportasi umum berbasis rel yang disebut LRT (*Light Rail Transit*) seperti yang tertuang pada Peraturan Daerah Kota Semarang No.6 Tahun 2016 yang memuat Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Semarang Tahun 2016-2021.

LRT (*Light Rail Transit*) adalah salah satu transportasi massal modern yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerakannya, mempunyai kapasitas besar dan mempunyai lajur sendiri. Perencanaan LRT (*Light Rail Transit*) di Kota Semarang merupakan alternatif dalam mengurangi tingkat kemacetan yang terjadi di Kota Semarang sehingga masyarakat dapat beralih untuk menggunakan transportasi umum. LRT (*Light Rail Transit*) di Kota Semarang memiliki rencana 9 koridor, dengan rute awal yang akan dibangun adalah koridor 9 sepanjang 8,1 kilometer dengan rute dari Bandara Ahmad Yani – Madukoro – Pasar Bulu – Cokroaminoto – Simpang Lima yang digunakan untuk memberikan akses pada wisatawan untuk menuju Kawasan wisata Simpang Lima dan Lawang Sewu.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai perencanaan konstruksi jalur LRT (*Light Rail Transit*) di Kota Semarang meliputi perencanaan trase, perencanaan geometri yang meliputi perencanaan alinemen yang dilakukan sesuai dengan spesifikasi dari Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dan rencana tarif LRT (*Light Rail Transit*) di Kota Semarang menunjuk pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api.

TINJAUAN PUSTAKA

Trase Jalan Rel

Menurut Permenhub No. 11 Tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Kereta Api, trase adalah rencana jalur kereta api yang telah diketahui titik koordinatnya dengan tujuan untuk mewujudkan keharmonisan antara jaringan jalur kereta api dan perencanaan tata ruang dan wilayah sesuai dengan tatarannya. Sasaran penetapan trase jalur kereta api adalah untuk mewujudkan tersedianya ruang yang memadai untuk rumaja, rumija, dan ruwasja guna menjamin keselamatan, keamanan dan kelancaran perjalanan kereta api. Pemilihan trase jalur kereta api menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 11 Tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Kereta Api, harus mempertimbangkan beberapa hal seperti keamanan, kenyamanan bagi pengguna kereta api. Trase jalur kereta api paling sedikit memuat:

1. Titik-titik koordinat
2. Lokasi stasiun
3. Rencana kebutuhan lahan, dan
4. Skala gambar

Geometrik Jalan Rel

Menurut Utomo (2009), geometri jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel baik pada arah melebar yang meliputi lebar sepur, kelandaian, lengkung *horizontal* dan lengkung vertikal, peninggian rel, pelebaran sepur. Geometri jalan rel harus direncanakan dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman, dan ekonomis. Geometri jalan rel harus direncanakan berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomis dan keserasian dengan lingkungan sekitarnya. Perencanaan geometri jalan rel pada bagian lengkung dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kereta api yang berjalan di kecepatan rencana (V_r).

Karakteristik Desain (*Light Rail Transit*) LRT

Light Rail Transit (LRT) adalah sistem jalur kereta listrik metropolitan yang digolongkan atas kemampuannya menjalankan gerbong atau kereta pendek satu per satu sepanjang jalur-jalur khusus eksklusif pada lahan bertingkat, struktur menggantung, *subway*, atau biasanya di jalan, serta menaikkan dan menurunkan penumpang pada lintasan atau

tempat parkir mobil (Kittelson dan Associates, 1999 dalam Muhammad A.N. dan Triana S, 2017).

Susunan Jalan Rel

1. Struktur Rel

Menurut Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api mengenai prasarana kereta api, rel disebut juga sebagai batang baja longitudinal. Menurut Rosyidi (2012) rel kereta api wajib memiliki nilai kekakuan tertentu karena rel berfungsi untuk memberikan tumpuan terhadap pergerakan roda kereta api yang terpasang berhubungan secara langsung untuk menerima dan mendistribusikan beban roda kereta api dengan sempurna. Kelas jalan rel dibagi menjadi dua berdasarkan beban gandar, beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar diantaranya beban gandar untuk lebar jalan rel 1.067 mm untuk semua kelas jalur dengan lebar maksimum sebesar 18 ton dan beban gandar untuk lebar jalan rel 1.435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22.5 ton.

2. Bantalan Rel

Bantalan jalan rel dibagi berdasarkan bahan konstruksinya, seperti bantalan kayu, beton, bantalan besi, dan bantalan *slab*. Fungsi penting dari bantalan adalah untuk menahan pergerakan rel, mempertahankan sistem penambat, dan menerima beban dari rel dan di distribusikan ke lapisan balas dengan tekanan yang kecil. Perancangan bantalan yang baik sangat diperlukan untuk menunjang fungsi bantalan agar bekerja secara optimal. (Rosyidi, 2012).

3. Balas

Lapisan balas atau lapisan pondasi atas merupakan lapisan atas dari konstruksi substruktur. Lapisan atas merupakan terusan tegangan yang berasal dari bantalan. Besarnya tegangan yang terjadi merupakan akibat dari lalu lintas kereta api pada jalan rel. lapisan balas berfungsi untuk mempertahankan jalan rel pada posisi yang disyaratkan, serta menahan gaya vertikal yang dibebankan pada bantalan. (Rosyidi, 2012).

Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Dalam peraturan Menteri Perhubungan Nomor 69 Tahun 2014 tentang Pedoman Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api, perhitungan tarif untuk pelayanan kereta api penumpang ditetapkan secara resmi oleh pemerintah, yaitu dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 69 Tahun 2014 Tentang Pedoman Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang dengan Kereta Api. Kemudian dilakukan dua kali perubahan untuk peraturan ini, yaitu menjadi Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 196 Tahun 2015 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 69 Tahun 2014 Tentang Pedoman Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 64 Tahun 2016 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 69 Tahun 2014 Tentang Pedoman Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api. Kemudian peraturan diatas dirubah kembali menjadi peraturan yang saat ini resmi digunakan untuk perhitungan tarif kereta api yaitu yang tertuang dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api.

Berdasarkan peraturan yang ada, perhitungan tarif *Light Rail Transil (LRT)* Semarang berdasarkan banyak komponen, yaitu:

1. Modal
 - a. Biaya Operasional
 - b. Biaya Pemeliharaan Sarana
 - c. Keuntungan

Tarif

Warpani S.P (2002) berpendapat tarif adalah harga jasa angkutan yang harus dibayar oleh pengguna jasa, baik melalui mekanisme perjanjian sewa menyewa, tawar menawar, maupun ketetapan pemerintah. Harga pada jasa angkutan yang ditentukan mengikuti sistem tarif, berkala secara umum dan tidak ada ketentuan lain yang mengikat perusahaan angkutan dan pemilik barang atau penumpang kecuali apa yang sudah diatur dalam buku tarif.

Menurut Tamin O.Z (2000), ada beberapa macam prinsip umum yang melandasi penentuan tarif, yaitu didasarkan pada:

1. Jumlah penumpang dan karakteristik penumpang
2. Karakteristik penumpang angkutan umum
3. Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api, penentuan tarifnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

1. Tarif Dasar

$$\text{Tarif Dasar KA} = \frac{(100\% + \text{Keuntungan}) \times (\text{Jumlah Biaya Pokok})}{(\text{LF} \times \text{Kapasitas} \times \text{Jarak Tempuh})} \quad \dots(1)$$

(Sumber : PM No.17 Tahun 2018)

2. Tarif Jarak

Tarif Jarak dapat dihitung dan atau ditetapkan oleh penyelenggara sarana perkeretaapian, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Tarif Jarak} = \text{Tarif Dasar} \times \text{Jarak Tempuh} = \text{Rp/Lintas} \quad \dots(2)$$

(Sumber : PM No.17 Tahun 2018)

METODA PENELITIAN

Dalam metoda pengumpulan data primer dan sekunder diperlukan survei primer dan sekunder, dengan masing-masing metodenya yang dimulai dengan tahap analisis data. Tahap analisis data merupakan tahapan perencanaan berupa perencanaan lengkung *horizontal* jalan rel dan perencanaan Biaya Operasi Kendaraan (BOK) dan perencanaan tarif LRT. Berikut adalah tahapan penelitian yang dilakukan:

1. Data yang telah didapatkan dianalisa menggunakan metode konvensional dengan acuan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
2. Menentukan trase jalur LRT
3. Merencanakan desain lengkung *horizontal* sesuai dengan data dan trase yang telah ditentukan
 - a. Tahapan perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - Kecepatan rencana berpedoman pada Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 mengenai Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
 - Ketentuan jari-jari minimum untuk lengkung horizontal berkaitan dengan kecepatan rencana yang digunakan sesuai dengan Tabel 3.1.
 - Lengkung peralihan panjang minimum dari lengkung peralihan adalah tergantung pada pertinggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan dengan kecepatan rencana yang digunakan dalam perencanaan lengkung peralihan
 - Pelebaran jalan rel yang dilakukan untuk mengetahui nilai pelebaran jalan rel atau pelebaran sepur bergantung pada jari-jari lengkung rencana

b. Peninggian jalan rel:

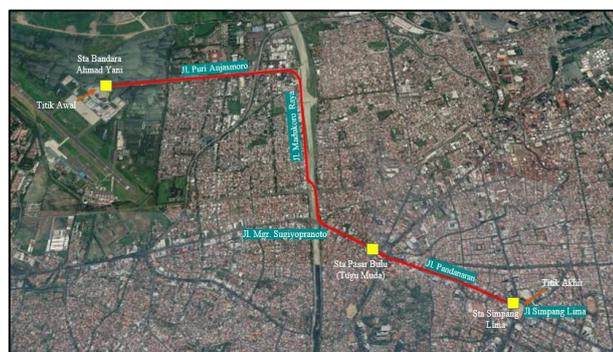
- Peninggian jalan rel minimum dilakukan berdasar pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang
- Peninggian rel normal berdasarkan pada kondisi komponen jalan rel dan diasumsikan tidak ikut menahan gaya sentrifugal
- Peninggian rel maksimum dianalisis berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan, $SF = 3,0$), sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10 % atau h maksimum = 150 mm.
- Menghitung panjang lengkung Horizontal
- Menghitung panjang lengkung peralihan
- Menghitung X_c , Y_c , k dan p
- Menghitung T_t dan E_t
- Menghitung Lengkung Vertikal
- Mencari nilai X_m dan Y_m
- Melakukan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) yang terdiri atas modal, biaya operasi, biaya perawatan sarana, dan keuntungan.
- Penentuan tarif LRT berdasarkan komponen Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

ANALISIS PENELITIAN

Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

Tahap awal dari perancangan ini dilakukan dengan menentukan lokasi titik rencana penetapan jalur *Light Rail Transit* (LRT) yang berada di Kota Semarang Jawa Tengah. Jalur rencana rute LRT Semarang untuk tahap awal pembangunan adalah dari Bandara Ahmad Yani Semarang menuju Simpang Lima sepanjang 8,1 kilometer melewati Bandara Ahmad Yani – Madukoro – Pasar Bulu – Cokroaminoto – Simpang Lima. Tahapan awal yang dilakukan adalah tahapan persiapan yang terdiri dari menentukan rencana jalan rel seperti titik koordinat penting dan penggunaan lahan disekitar rencana pembangunan jalur LRT.

Rencana jalur LRT Semarang adalah menggunakan rencana jalan layang (elevated rail) dengan struktur U Shaped Girder yang rencananya melintasi median jalan raya. Lahan di sekitar rencana jalur LRT adalah pemukiman warga yang padat di pusat Kota Semarang dengan melewati Kecamatan Semarang Barat, Semarang Utara, dan Semarang Tengah. Untuk jalur LRT Semarang berkonsep jalan layang yang pada rencananya melewati beberapa ruas jalan yaitu ruas jalan Puri Anjasmoro – jalan Madukoro Raya – jalan Mgr. Sugiyopranoto – jalan Pandanaran – jalan Simpang Lima seperti yang ditunjukkan pada rencana Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Peta Kawasan Ruas Jalur LRT Semarang

Kriteria Desain

Berdasarkan peraturan yang ada, ketentuan-ketentuan atau kriteria desain jalur *Light Rail Transit* (LRT) Kota Semarang Koridor 9 dari Bandara Ahmad Yani Semarang hingga Kawasan Simpang Lima Semarang dengan jalur sepanjang 8,1 km sebagai berikut:

1. Lebar dan Jarak Rel

Lebar dan jarak rel sesuai dengan persyaratan yang terdapat pada Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, terdapat dua jenis lebar jalan rel yaitu 1.067 mm dan 1.435 mm. Lebar Jalur LRT Semarang menggunakan lebar jalur 1.435 mm
2. Kecepatan Beban Gandar
 - a. Kecepatan Maksimum 120 km/jam
 - b. Kecepatan Rencana 150 km/jam
 - c. Beban Gandar 22,5 Ton
 - d. Kelas jalan I dengan Tipe Rel R.60
 - e. Wesel biasa 1:10 (R.60) dengan nomor wesel W10 terdiri dari wesel biasa searah dan wesel biasa berlawanan arah
 - f. Penambat terdiri dari sistem elastis tunggal dan sistem elastis ganda
 - g. Menggunakan slab track bantalan beton prategang K600 kg/cm
 - h. Menggunakan ballastless track
 - i. Desain struktur jalan layang menggunakan struktur U shaped girder

Perencanaan Geometri

Perencanaan Geometri pada jalan rel meliputi perhitungan alinemen horizontal dan alinemen vertikal. Berikut ini adalah perencanaan alinemen horizontal dan Vertikal LRT Semarang:

1. Koordinat dan Koreksi Sudut IP

Berikut ini adalah perhitungan koordinat dan sudut koreksi untuk 6 lengkung secara lengkap akan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat dan Koreksi Sudut IP

| IP | Koordinat X | Koordinat Y | Δx | Δy | $\Delta x/\Delta y$ | $\tan (\Delta x/\Delta y)$ | β Azimuth | Δ^0 |
|-------------|---------------|----------------|------------|-------------|---------------------|----------------------------|-----------------|------------|
| Titik Awal | 4,311,403,779 | 92,301,918,356 | 24,974,285 | 2,568,913 | 9,722 | 84,127 | 84,127 | |
| IP1 | 4,336,378,064 | 92,304,487,269 | 1,912,585 | -15,229,245 | -0,126 | -7,158 | 172,819 | 88,69 |
| IP2 | 4,338,290,649 | 92,289,258,024 | 868,656 | -232,287 | -3,740 | -75,029 | 104,970 | -67,85 |
| IP3 | 4,339,159,305 | 92,289,025,737 | 65,831 | -6,159,395 | -0,107 | -6,101 | 173,893 | 68,92 |
| IP4 | 4,339,817,615 | 92,282,866,342 | 12,722,612 | -5,852,508 | -2,174 | -65,297 | 114,702 | -59,19 |
| IP5 | 4,352,540,227 | 92,277,013,834 | 3,818,425 | -1,146,848 | -3,329 | -73,283 | 106,720 | -7,98 |
| IP6 | 4,356,358,652 | 92,275,866,986 | 561,821 | -2,591,054 | -2,168 | -65,241 | 114,762 | 8,04 |
| Titik Akhir | 4,361,976,862 | 92,273,275,932 | | | | | | |

2. Perencanaan Alinemen Horizontal

Perencanaan Alinemen *Horizontal* berpedoman pada Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Pada perencanaan rel LRT Semarang dengan Jalur Bandara Ahmad Yani Semarang - Kawasan Simpang Lima Semarang sepanjang 8,1 km terdapat data kecepatan rencana dan 6 tikungan dengan kode lengkung IP1 – IP2 – IP3 – IP4 – IP5 – IP6 . Berikut adalah contoh perhitungan alinemen horizontal pada titik lengkung IP4.

- a. Gaya Sentrifugal yang Diimbangi Oleh Gaya Berat dan Gaya Dukung Komponen Jalan Rel

$$R_{min} = 0,054 (150)^2 = 1.215 \text{ m} \quad \dots(3)$$

Jadi, berdasarkan kedua kondisi diatas maka diperoleh nilai R min terendah sebesar 1.215 m dibulatkan menjadi 1.300 m. maka digunakan R rencana sebesar 1.300 m.

3. Peninggian Rel

Pada perencanaan untuk peninggian rel menggunakan kecepatan maksimal sebesar 120 km/jam.

4. Peninggian Rel Minimum

$$h_{min} = \frac{8,8 \times (150)^2}{1.300} - 53,5 = 98,808 \text{ mm} \quad \dots(4)$$

5. Peninggian Rel Normal untuk rel 1.435 mm

$$h_{normal} = 8,1 \times \frac{150^2}{1.300} = 140,192 \text{ mm}$$

6. Peninggian Rel Maksimum

Peninggian rel maksimum dilakukan berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan SF = 3,0, sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10% atau h maksimum = 150 mm. pada hasil perhitungan diatas diperoleh h min = 98,808 mm dan h normal = 140,192 mm (dibulatkan menjadi bilangan kelipatan lima) maka nilai h yang dipakai adalah sebesar h = 145 mm.

7. Lengkung Peralihan

$$L_s = 0,01 \times 145 \times 120 = 174 \text{ m} \quad \dots(5)$$

Jadi, dari perhitungan diperoleh panjang lengkung peralihan dengan kecepatan rencana 120 km/jam adalah sebesar 174 m.

8. Pelebaran Sepur

Berdasarkan R rencana pada tikungan horizontal 1.300 m, maka perancangan rel Kelas Jalan I tidak memerlukan pelebaran sepur. Karena sesuai dengan Peraturan Menteri No 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api pelebaran jalan rel untuk 1.435 mm untuk jari-jari tikungan (R) > 400 m dilakukan pelebaran sebesar 0 m.

9. Lengkung Peralihan (Ls)

$$L_s = 0,01 \times 145 \times 120 = 174 \text{ m} \quad \dots(6)$$

10. Menghitung Panjang Lengkung

$$\theta_s = \frac{90 \times 174}{\pi \times 1.300} = 3,836^\circ$$

$$\theta_c = 59,19 - (2 \times 3,836) = 51,517^\circ$$

$$L_c = \frac{51,517}{360} \times 2\pi \times 1.300 = 1.168,298 \text{ m} \quad \dots(7)$$

$$L = (2 \times 174) + 1.168,298 = 1.516,298 \text{ m}$$

11. Menghitung Xc, Yc, k, dan P

$$X_c = 174 - \frac{174^2}{40 \times 1.300} = 173,418 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{174^2}{6 \times 1.300} = 3,882 \text{ m}$$

$$k = X_c - R \sin \theta_s = 173,418 - 1.300 \sin 3,836 = 86,439 \text{ m}$$

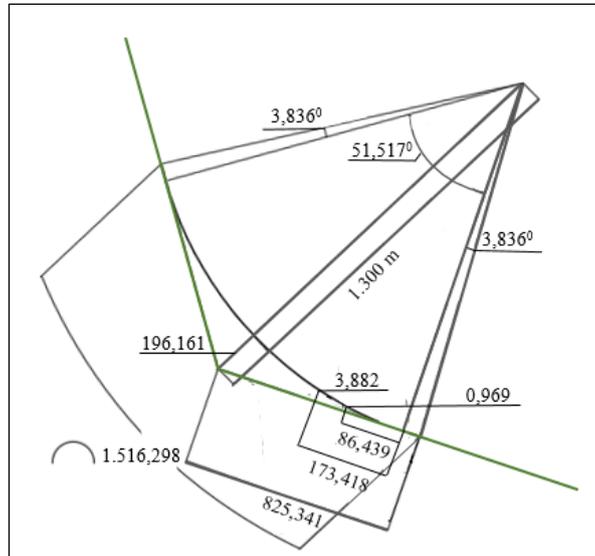
$$P = 3,882 - 1.300(1 - \cos 3,836) = 0,969 \text{ m} \quad \dots(8)$$

12. Menghitung Tt dan Et

$$T_t = (1.300 + 0,969) \operatorname{tg} \frac{59,19}{2} + 86,439 = 825,341 \text{ m}$$

$$Et = (1.300 + 0,969)sec \frac{59,19}{2} - 1.300 = 196,161 m \quad \dots(10)$$

Dari hasil contoh perhitungan *alinemen horizontal* untuk kode lengkung IP4, kemudian hasil dari perhitungan di *plotting* pada gambar rencana proyeksi *alinemen horizontal* untuk lengkung IP4 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Proyeksi Tikungan IP4 pada *Alinemen Horizontal*

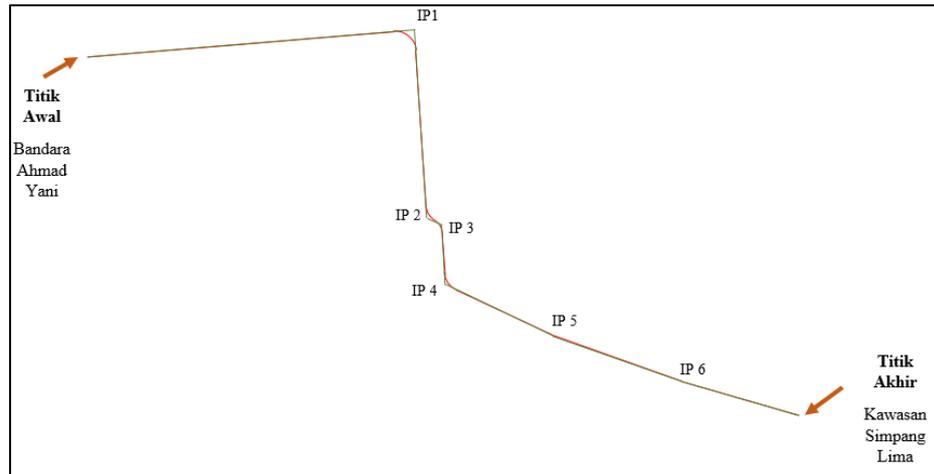
Untuk perhitungan dan penentuan kecepatan rencana akan dijabarkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kecepatan Rencana

| Kecepatan Rencana | |
|----------------------|------------------------------|
| Perencanaan Struktur | Jari-Jari Lengkung Peralihan |
| 150 km/jam | 120 km/jam |

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Alinemen Horizontal* Jalur LRT Semarang

| No IP | Δ | θ_s | θ_c | Lc (m) | L (m) | Xc (m) | K (m) | Tt (m) | Et (m) |
|-------|----------|------------|------------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|---------|
| IP 1 | 88,69 | 3,836 | 81,017 | 1,837,292 | 2,185,292 | 173,418 | 86,439 | 1,357,997 | 519,170 |
| IP 2 | 67,85 | 3,836 | 60,177 | 1,364,687 | 1,712,687 | 173,418 | 86,439 | 961,477 | 267,869 |
| IP 3 | 68,92 | 3,836 | 61,247 | 1,388,952 | 1,736,952 | 173,418 | 86,439 | 979,233 | 277,847 |
| IP 4 | 59,19 | 3,836 | 51,517 | 1,168,298 | 1,516,298 | 173,418 | 86,439 | 825,341 | 196,161 |
| IP 5 | 7,98 | 3,836 | 0,307 | 6,969 | 3,549,687 | 173,418 | 86,439 | 177,183 | 4,129 |
| IP 6 | 8,04 | 3,836 | 0,367 | 8,329 | 3,563,293 | 173,418 | 86,439 | 177,868 | 4,177 |



Gambar 3. Trase Rencana Alinemen Horizontal

13. Perencanaan Alinemen Vertikal

Untuk rencana jalan rel kelas I digunakan R min 8.000 m, untuk kecepatan rencana >100 km/jam jari-jari minimum (R) lengkung vertikal ditetapkan sebesar 8.000 m (Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api).

14. Nomor Lengkung A1

Elevasi Awal : 0,000 m
 Elevasi Akhir : 0,000 m
 Panjang : 564,024 m
 Beda Elevasi : 0,000 m
 Permil kemiringan : $(0,000/564,024) \times 1.000 = 0,000 \%$

15. Nomor Lengkung A2

Elevasi Awal : 0,000 m
 Elevasi Akhir : 0,000 m
 Panjang : 329,336 m
 Beda Elevasi : 0,000 m
 Permil kemiringan : $(0,000/329,336) \times 1.000 = 0,000 \%$

$$\varphi = 0.000 \text{ ‰} - 0,000 \text{ ‰} = 0.000 \text{ ‰}$$

$$Xm = \frac{8.000}{2} \times 0,000 \text{ ‰} = 0,000 \text{ m}$$

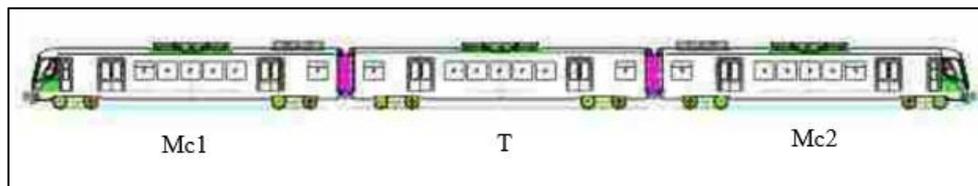
$$Ym = \frac{8.000}{8} \times 0,000 \text{ ‰}^2 = 0,000 \text{ m}$$

$$\text{Lengkung} = (0,000 \text{ ‰}) \times 8.000 = 0,000 \text{ ‰ (Datar)} \quad \dots(11)$$

Pada perencanaan jalur rel untuk LRT Semarang ini menggunakan konsep jalan layang dengan menggunakan konstruksi *U Shaped Girder*, oleh karena itu untuk perencanaan lengkung vertikal akan dibuat datar tanpa adanya kelandaian pada konstruksi.

Biaya Operasional Kendaraan (BOK) LRT Semarang

Kereta Light Rail Transit (LRT) Semarang merupakan kereta produksi dari PT. INKA (Industri Kereta Api) dengan rute perjalanan dari Bandara Ahmad Yani Semarang – Kawasan Simpang Lima Semarang dengan rute tempuh sepanjang 8,1 km. Konfigurasi LRT Semarang yang digunakan adalah Mc1 – T – Mc2. Stamformasi standar dari LRT Semarang terdiri dari 2 (dua) motor car (Mc1 dan Mc2), kereta dengan roda penggerak yang mempunyai kabin masinis dan 1 (satu) trailer car (T).



Sumber : Direktorat Sarana Perkeretaapian,2019

Gambar 4. Stamformasi LRT Semarang

Berikut ini adalah spesifikasi jumlah penumpang pada *Light Rail Transit* (LRT) Semarang untuk stamformasi Mc1 – T – Mc2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Penumpang LRT Semarang

| Uraian | Mc1 | T | Mc2 | |
|-------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| Desain 8 orang/m ² | Kursi | 40 | 48 | 40 |
| | Berdiri | 127 | 152 | 127 |
| | Total | 167 | 200 | 167 |
| Total Penumpang | | | 534 | |

Karakteristik dari Biaya Operasi Kendaraan (BOK) untuk LRT Semarang adalah komponen yang sering keluar dalam perhitungan masing – masing pada komponen penyusun biaya operasi. Karakteristik dibawah ini adalah beberapa komponen yang mengacu pada kondisi lapangan perjalanan.

| | |
|--------------------------------|----------------------------|
| Jarak Tempuh (km) | : 8,1 |
| Waktu Tempuh (WT) (jam/lintas) | : 0,23 |
| Jumlah Lintas | : 2 |
| Jumlah Sarana | : 3 |
| Hari Kerja (hari) | : 304 |
| Utilisasi Sarana (jam/hari) | : 18 |
| Km KA Total | : 50 x 8,1 x 365 = 147.852 |

Dimana :

| | |
|--|---------|
| Jumlah perjalanan satu rangkaian dalam satu hari | : 50 |
| Jarak antara stasiun awal dan stasiun akhir | : 8,1 |
| Jumlah hari dalam satu tahun | : 365 |
| Kapasitas Penumpang | : 534 |
| <i>Load Factor</i> (LF) | : 100 % |
| Keuntungan | : 10 % |
| Umur Ekonomis (ue) (tahun) | : 25 |

Berikut ini adalah biaya operasional *Light Rail Transit* (LRT) Semarang atau yang disebut biaya pokok yang akan digunakan pada perhitungan tarif dasar LRT Semarang. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Daftar Biaya Operasional (BOK) LRT Semarang

| No | Komponen | Biaya |
|----|---|-----------------|
| 1 | Modal | Rp 1.262.709,03 |
| 2 | Biaya Pegawai Awak Sarana LRT | Rp 115.287,35 |
| 3 | Biaya Penggunaan Sarana LRT | Rp 1.437.782,23 |
| 4 | Asuransi | Rp 65.934,04 |
| 5 | Listrik Aliran Bawah (LAB) | Rp 78.422,18 |
| 6 | <i>On Train Cleaning</i> (OTC) | Rp 24.230,45 |
| 7 | <i>Customer Service on Train</i> (CSOT) | Rp 57.643,68 |
| 8 | <i>Security</i> | Rp 30.241,93 |
| 9 | Cuci Sarana Harian | Rp 377.282,01 |
| 10 | Fumigasi | Rp 802,85 |
| 11 | <i>Pest Control</i> | Rp 802,85 |
| 12 | Pelumas | Rp 110.997,05 |
| 13 | Pelumas Genset | Rp 73.998,04 |
| 14 | Tunjangan Kerja Operasional (TKO) | Rp 25.294,27 |
| 15 | Gaji Pegawai Non Awak LRT | Rp 1.624.384,72 |
| 16 | Biaya Umum Kantor | Rp 458.412,27 |
| 17 | Pajak Perusahaan | Rp 341.580,22 |
| 18 | Perizinan dan Sertifikasi | Rp 473.629,92 |
| 19 | Pelayanan Penumpang Stasiun | Rp 289.731,41 |
| 20 | Biaya Pemasaran | Rp 9.605,09 |
| 21 | Pengembangan SDM | Rp 47.820,47 |
| 22 | Lokomotif Elektrik | Rp 60.215,41 |
| 23 | Genset | Rp 50.890,31 |

Sumber : Biaya Operasional Kereta Api 2020

Tabel 6. Biaya Operasional Kendaraan (BOK) LRT Semarang

| No | Komponen Biaya | Biaya Pengeluaran (Rp/lintas) |
|----|---|-------------------------------|
| 1 | TOTAL Modal | Rp 1.262.709,03 |
| 2 | TOTAL Biaya Operasi | Rp 5.643.883,02 |
| | Biaya Langsung Tetap | Rp 1.619.003,62 |
| | Biaya Langsung Tidak Tetap | Rp 779.715,30 |
| | Biaya Tidak Langsung Tetap | Rp 3.187.738,54 |
| | Biaya Tidak Langsung Tidak Tetap | Rp 57.425,55 |
| 3 | TOTAL Biaya Perawatan Sarana | Rp 111.105,72 |
| 4 | Keuntungan 10% | Rp 701.769,78 |
| | Total Biaya Operasional Kendaraan (BOK) LRT | Rp 7.719.467,55 |

Tarif LRT Semarang

Berikut adalah perhitungan tarif *Light Rail Transit* (LRT) Semarang dengan menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

- Tarif Dasar LRT Semarang

$$\text{Tarif Dasar Lintas Pelayanan} = \frac{(100\% + 10\%) \times (\text{Rp } 7.017.697,77)}{(100\% \times 534 \times 8,1)}$$

$$\text{Tarif Dasar Lintas Pelayanan} = \text{Rp } 1.784,68 \text{ pnp/km} \quad \dots(12)$$

- Tarif Jarak LRT Semarang

$$\text{Tarif Jarak} = \text{Rp } 1.784,68 \times 8,1$$

$$\text{Tarif Jarak} = \text{Rp } 14.455,93/\text{lintas}$$

Jadi, jumlah tarif *Light Rail Transit* (LRT) Semarang berdasarkan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) yang berpedoman pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api, maka berdasarkan perhitungan diperoleh besarnya tarif dasar lintas pelayanan LRT Semarang sebesar Rp 1.784,68 pnp/km dan tarif jarak LRT Semarang sebesar Rp 14.455,93/lintas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari perencanaan pembangunan angkutan umum massal *Light Rail Transit* (LRT) Kota Semarang, Jawa Tengah koridor 9, dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Perencanaan trase *Light Rail Transit* (LRT) Semarang untuk Koridor 9 dengan rute Bandara Ahmad Yani – Madukoro – Pasar Bulu – Cokroaminoto – Simpang Lima dengan panjang 8,1 km.
2. Perencanaan desain geometrik jalan rel dan analisa data berdasarkan peraturan dan standar konstruksi jalan rel yang berlaku di Indonesia, maka didapatkan perencanaan kriteria desain untuk LRT Semarang koridor 9 adalah sebagai berikut:
 - a. Lebar jalur LRT Semarang 1.435 mm
 - b. Menggunakan Kelas jalan I dengan Tipe Rel R.60
 - c. Menggunakan rel ketiga (*third rail*) sebagai konduktor dan sumber listrik dengan tegangan sebesar 750 VDC
 - d. Wesel biasa 1:10 (R.60) dengan nomor wesel W10 terdiri dari wesel biasa searah dan wesel biasa berlawanan arah
 - e. Kecepatan maksimum sebesar 120 km/jam
 - f. Kecepatan rencana sebesar 150 km/jam
 - g. Beban gandar 22,5 ton
 - h. Jari – jari lengkung *horizontal* (R) sebesar 1.300 m
 - i. Jari – jari lengkung vertikal (R) sebesar 8.000 m
 - j. Kelandaian sebesar 0,000 ‰
 - k. Penambat terdiri dari sistem elastis tunggal dan sistem elastis ganda
 - l. Menggunakan *slab track* bantalan beton prategang K600 kg/cm
 - m. Menggunakan *ballastless track*
 - n. Desain struktur jalan layang menggunakan struktur *U shaped girder*.
3. Desain geometrik LRT Semarang koridor 9 berdasarkan hasil perhitungan:
 - a. Terdapat 6 lengkung *horizontal* dengan kode IP1 – IP2 – IP3 – IP4 – IP5 – IP6 dengan panjang lengkung terbesar sebesar 2.185,292 m pada titik lengkung IP1 dan panjang lengkung terkecil sebesar 354,969 m pada titik lengkung IP5.
 - b. Lengkung vertikal dan kelandaian pada jalur LRT Semarang memiliki kelandaian sebesar 0,000 ‰. Pada perencanaan LRT Semarang kelandaian dibuat sekecil mungkin dengan kondisi jalur datar karena pada perencanaan LRT Semarang menggunakan sistem jalan layang dengan konstruksi *U shaped girder*.
4. Biaya Operasional Kendaraan (BOK) LRT Semarang

Berdasarkan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) LRT Semarang sesuai dengan standar Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api, maka diperoleh biaya operasional pokok untuk LRT Semarang koridor 9 sebesar Rp 7.017.697,77 / lintas.

5. Tarif LRT Semarang

Berdasarkan perhitungan biaya operasional kendaraan dan tarif LRT Semarang sesuai dengan standar Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api, maka diperoleh besarnya tarif dasar lintas pelayanan untuk LRT Semarang koridor 9 sebesar Rp 1.784,68 pnp/km dan untuk tarif jarak untuk LRT Semarang koridor 9 sebesar Rp 14.455,93 / lintas. Diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa mempertimbangkan untuk besarnya tarif LRT Semarang agar tarif LRT Semarang dapat sesuai dengan kemampuan membayar masyarakat di Kota Semarang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditya, W. (2020). *Rel Ketiga (Third Rail) pada Kereta LRT*. 28 Desember 2020
- [2] Atlantea, D.E. (2019). *Analisa Tarif Kereta Api Berdasarkan Biaya Operasional (Studi Kasus : Kereta Api Kalijaga Solo-Semarang)*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- [3] Central Java Investment Platform (2019). *Pembangunan Light Rail Transit (LRT) Kota Semarang*. 01 Desember 2020.
- [4] Direktorat Sarana Perkeretaapian, Kementerian Perhubungan (2019), *Teknologi Sarana Perkeretaapian Ramah Lingkungan*. 08 Desember 2020.
- [5] Dishub Kota Semarang (2018). *Rencana pembangunan LRT di Kota Semarang*. Paparan FGD Angkutan Massal – DP2K. Semarang.
- [6] Hadihardaja, J. (1997). *Sistem Transportasi*. Gunadarma. Jakarta.
- [7] Herawati, H.J.W. (2017). *Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan Light Rail Transit (LRT) Jakarta dengan Prestress U-Shape Girder*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- [8] Jamaludin dan Astuti, S.W. (2018). *Kajian Biaya Operasi Kereta Api*. Politeknik Perkeretaapian Indonesia. Madiun.
- [9] Muhammad, A.N & Triana, S. (2017). *Analisis Teknis Operasional Light Rail Transit Kota Bandung*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- [10] Murdiyono, R. & Anindyawati, N. (2017). *Analisis Kinerja Ruas Jalan Majapahit Kota Semarang Studi Kasus: Segmen Jalan Depan Kantor pegadaian sampai jembatan tol gayamsari*. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- [11] PD (06/16). *Peraturan Daerah Kota Semarang No.6 Tahun 2016 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Semarang Tahun 2016-2021*.
- [12] PD (10/86). *Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, Perusahaan Jawatan Kereta Api*.
- [13] Pergub (27/20). *Peraturan Gubernur Jawa Tengah No. 27 tahun 2020 tentang Standar Harga Satuan Provinsi Jawa Tengah*.
- [14] Perpres (46/19). *Peraturan Presiden Nomor Kep. 46/M.PPN/HK/04/2019 tentang Penetapan Daftar Rencana Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha Tahun 2019*.
- [15] Perpres (65/16). *Peraturan Presiden No.65 Tahun 2016 tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden No.98 Tahun 2015 tentang Percepatan Penyelenggaraan Kereta api Ringan / Light Rail Transit Terintegrasi Di Wilayah Jakarta, Bogor, Depok, dan, Bekasi*.

- [16] PM (11/12). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 11 tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api.*
- [17] PM (17/18). *Peraturan Menteri Perhubungan No. 17 Tahun 2018 tentang Pedoman Tata Cara Perhitungan dan Penetapan Tarif Angkutan Orang dengan Kereta Api, Kementerian Perhubungan.*
- [18] PM (60/12). *Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.*
- [19] PP (15/16). *Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2016 Tentang Jenis Dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak Yang Berlaku Pada Kementerian Perhubungan.*
- [20] Ramadhan D.I & Rahmadini.H. (2012). *Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Antara Box Girder dan PC-I Girder Pada Proyek Pembangunan Jalan Layang Non Tol Antasari Blok-M.* Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- [21] Rosyidi, S.A.P. (2012). *Prasarana Transportasi Jalan Rel.* Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- [22] SK-Gub (560/58/19). *Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 560/58 Tahun 2019 tentang Upah Minimum pada 35 (tiga puluh lima) kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah*
- [23] Suseno, D.P. (2019). *Kajian Angkutan Massal Berbasis Rel untuk Transportasi Berkelanjutan di Kota Semarang.* Universitas 17 Agustus 1945. Semarang.
- [24] Tamin, O.Z. (2000). *Perencanaan dan Permodelan Transportasi.* Institut Teknologi Bandung. Bandung
- [25] Utomo, S.H.T. (2009). *Jalan Rel.* Beta Offset. Yogyakarta.
- [26] UU (23/07). *Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, Kementerian Perhubungan.*
- [27] Warpani, S.P. (2002). *Pengelolaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.* Institut Teknologi Bandung. Bandung.