



PERENCANAAN *DOUBLE TRACK* LINTASAN KERETA API PADA EMPLASEMEN STASIUN MOJOKERTO – BOHARAN (KM 57+358 - KM 33+867)

Raynaldi Meidianto^{1*}, Nugroho Utomo²

^{1*,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya

Telp. (031) 870 6369

Alamat E-mail: humas@upnjatim.ac.id

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Juni 2024

Disetujui: Juli 2024

Dipublikasikan: Des 2024

Keywords:

Double Track, Railway Loading, Geotextile Layer

Berdasarkan (RIPNAS) di 2030 terdapat penambahan jumlah perjalanan penumpang kereta api khususnya di Pulau Jawa mencapai 858,5 juta orang/tahun. Kapasitas lintas rel kereta api yang kurang memadai karena masih menggunakan jalur tunggal pada jalur Mojokerto – Boharan sehingga terdapat perencanaan *double track* kereta api. Di Pulau Jawa jalur kereta api terdapat 2 rute yaitu rute utara (pantura) dan rute selatan. Untuk rute utara atau jalur Pantai Utara yang menghubungkan Jakarta dan Surabaya sudah berupa jalur ganda. Sedangkan untuk jalur selatan yang berupa jalur ganda masih terealisasi pada lintas Jombang – Mojokerto. Kemudian, pada lintas Mojokerto – Boharan masih menggunakan jalur kereta api eksisting yang berupa *single track* atau jalur tunggal. Fokus Utama dalam penelitian ini yaitu merencanakan jalur rel ganda lintasan kereta api pada emplasemen stasiun Mojokerto – Boharan (KM 53+400 – KM 51+700). Struktur *double track* kereta api pada petak Mojokerto – Boharan ditinjau pada perencanaan *double track* ini yang diberi penambahan lapisan geotekstil terhadap pada aspek pembebanan kereta api rencana. Perencanaan *double track* disesuaikan dengan Peraturan Dinas No 10 Tahun 1986. *Output* dari penelitian ini yaitu meninjau faktor aman dari runtuh beban mati pada struktur jalan kereta api, faktor aman penggelinciran lereng dan lateral terhadap kekuatan lapisan geotekstil telah memenuhi syarat.

Kata Kunci: Jalur Ganda, Pembebanan Kereta Api, Lapisan Geotekstil.

Abstract

Based on National Railway Master Plan (RIPNAS) in 2030, there is an increase in train passenger travel, especially in Java Island, reaching 858.5 million people/year. The capacity of the railway crossing is inadequate because it still uses a single track on the Mojokerto - Boharan line, so there is a plan for a double track railway. On the island of Java, there are 2 railway routes, namely the northern route (pantura) and the southern route. For the northern route or the North Coast route connecting Jakarta and Surabaya, it is already a double track. While for the southern route, which is a double track, it is still realized on the Jombang - Mojokerto route. Then, on the Mojokerto - Boharan route, it still uses the existing railway line in the form of a single track or single track. The main focus of this study is the planning of a double track

railway track at the Mojokerto - Boharan station emplacement (KM 53 + 400 - KM 51 + 700). The structure of the double track railway on the Mojokerto - Boharan plot is reviewed in the planning of a double track that is given a geotextile layer for the aspect of the planned train load. The double track planning is adjusted to the Regulation of the Service No. 10 of 1986 from PT. KAI. The output of this study is to review the safety factor of the collapse of the dead load of the railway structure, the safety factor of slope and lateral derailment against the reinforcement of the geotextile layer meets the requirements.

© 2024

Universitas Abdurrah

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya

E-mail: humas@upnjatim.ac.id

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Pulau Jawa menjadi salah satu Pulau dengan tingkat kepadatan aktivitas penduduk yang cukup tinggi. Padatnya aktivitas tersebut menghasilkan peningkatan perpindahan manusia dan barang. Peningkatan perjalanan penumpang kereta api mencapai 858,5 juta orang/tahun dan perjalanan barang mencapai 534 juta ton/tahun, (RIPNAS,2011). Kereta api menjadi salah satu alternatif transportasi darat yang dapat mengangkut kapasitas massa dalam jumlah besar, harga relatif murah, dan jadwal keberangkatan dan kedatangan yang teratur dan memiliki kelebihan berupa fasilitas yang memadai seperti AC, stop kontak, toilet, tempat restorasi dan terdapat petugas keamanan serta mampu mengangkut penumpang dan barang dalam jumlah yang banyak. Besarnya minat penduduk dalam menggunakan transportasi darat seperti kereta api secara otomatis terdapat peningkatan jumlah permintaan. Sehingga, diperlukan penambahan unit disertai dengan lintasan kereta api yang efektif.

Di Pulau Jawa terdapat dua jalur kereta api: jalur Utara (pantura) dan jalur Selatan. Jalur Pantura atau Jalur Pantai Utara yang menghubungkan Jakarta dan Surabaya saat ini merupakan jalur ganda. Sedangkan jalur selatan berupa jalur ganda masih mencapai pada jalur Jombang - Mojokerto. Kemudian pada jalur Mojokerto - Boharan, jalur kereta api berupa jalur tunggal masih digunakan. Alasan penelitian ini adalah jalur Mojokerto – Boharan saat ini menggunakan jalur tunggal yang menjadi penyebab keterlambatan kereta api baik saat keberangkatan maupun kedatangan karena jalur kereta api digunakan secara bergantian dengan kereta api tertentu dan berpeluang menimbulkan tabrakan antar kereta yang lebih besar. Maka dari itu, direncanakan adanya jalur ganda kereta api (*double track*) pada jalur Mojokerto – Boharan agar jalur kereta api

tersebut dapat digunakan untuk perjalanan dengan dua arah, sehingga menjamin efisiensi lintas pada jalur Mojokerto – Boهران.

Dalam perencanaan jalur kereta api ganda ini, yang difokuskan adalah meninjau pada perencanaan struktur jalan kereta api berdasarkan kekuatan struktur bawah jalan kereta api pada lapisan *ballast*, lapisan *sub-ballast* dan lapisan *subgrade* dengan penambahan lapisan geotekstil pada aspek pembebanan kereta api rencana KA Turangga. Tujuan ditambahkannya lapisan geotekstil yaitu sebagai *separator* (pemisah) antara lapisan *ballast* dan lapisan *subgrade* serta sebagai perkuatan pada tanah dasar atau tanah asli pada kemungkinan terjadinya longsor dan kegagalan struktur. Penelitian ini mengacu pada Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 dan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Perkeretaapian.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembebanan Jalan Kereta Api

Perhitungan Distribusi Beban Pada Rangkaian Kereta Api

Beban lokomotif CC 201 dan 203 adalah 84 ton, sedangkan untuk lokomotif CC 206 memiliki beban lokomotif 90 ton. Untuk perhitungan beban gandar (*axle load*) dan beban roda pada lokomotif CC dijelaskan sebagai berikut:

Distribusi beban pada lokomotif CC 201, 203, dan 206:

$$\text{Beban pada } bogie (P_b) = W_{Lok}/2 \quad (1)$$

$$\text{Beban pada gandar } (P_g) = P_b/3 \text{ (3 gandar)} \quad (2)$$

$$\text{Beban pada roda } (P_r) = P_g/2 \quad (3)$$

Analisis Perhitungan Pembebanan Jalan Kereta Api

Pembebanan jalan kereta api berfungsi untuk mengetahui beban kereta api yang beroperasi. Perhitungan jalan kereta api meliputi perhitungan yang ditunjukkan sebagai berikut:

Perhitungan Beban Dinamis Lokomotif

Perhitungan beban dinamis lokomotif ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$P_d = P_s \left(1 + 0.01 \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) \right) \quad (4)$$

Dimana:

P_d = Beban dinamis lokomotif (kg)

P_s = Beban roda lokomotif (kg)

V_r = Kecepatan rencana (km/jam)

Faktor Reduksi/Pengurangan (*Dumping Factor*) (λ)

Perhitungan modulus kekakuan jalan kereta api (K) sebagai berikut:

$$K = b \times k_e \quad (5)$$

Dimana:

K = modulus kekakuan jalan rel (kg/cm^3)

b = lebar bawah bantalan rel (cm)

k_e = modulus reaksi lapisan *ballast* (kg/cm^3)

Perhitungan faktor reduksi/pengurangan (*dumping factor*) ditunjukkan pada rumus:

$$\lambda = \left(\frac{K}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (6)$$

Dimana:

λ = *Dumping factor* (cm^{-1})

E = Modulus elastisitas rel (kg/cm^2)

I = Momen inersia terhadap sumbu X= 2346 cm^4

K = Modulus kekakuan jalan rel (kg/cm^3)

Momen Maksimum Akibat Beban Lokomotif

Momen maksimum yang terjadi akibat beban lokomotif ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$Ma = \frac{Pd}{4\lambda} \quad (7)$$

Dimana:

Ma = Momen akibat beban dinamis (kg/cm^2)

λ = *Dumping factor* (cm^{-1})

Pd = Beban dinamis lokomotif (kg)

Tegangan Pada Rel

Untuk mengetahui tegangan pada rel maka diperlukan perhitungan tegangan pada rel, yang ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{Ma \cdot Y_b}{I} \quad (8)$$

Dimana:

σ_x = Tegangan pada rel (kg/cm^2)

Ma = Momen akibat beban dinamis (kg/cm^2)

Y_b = Jarak tepi bawah rel garis netral

I = Momen inersia terhadap sumbu X
= 2346 cm^4

Analisis Tegangan Pada Rel

Setelah terjadi tegangan pada rel maka perlu dilakukan analisis tegangan pada rel terhadap tegangan izin pada rel. Analisis tegangan pada rel ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$\sigma_x < \sigma \quad (9)$$

Dimana:

σ_x = Tegangan pada rel (kg/cm^2)

σ = Tegangan izin (kg/cm^2)

Bantalan Rel (*Railway Sleepers*)**Momen yang terjadi pada bantalan rel beton**

Perhitungan momen yang terjadi pada bantalan rel beton dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = 60\% \times Pd \quad (10)$$

Dimana: Pd = beban dinamis (kg)

Perhitungan momen yang terjadi di bawah/tepi rel.

$$M = \frac{60\% \cdot Pd}{4\lambda} \cdot \frac{1}{(\sinh\lambda L + \sin\lambda L)} [2 \cosh 2\lambda a (\cos^2 \lambda c + \cosh\lambda L) - 2\cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos\lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh\lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh\lambda L)] \quad (11)$$

Perhitungan momen yang terjadi di tengah bantalan rel.

$$M = \frac{60\% \cdot Pd}{4\lambda} \cdot \frac{1}{(\sinh\lambda L + \sin\lambda L)} [2 \cosh 2\lambda a (\cos^2 \lambda c + \cosh\lambda L) - 2\cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos\lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh\lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh\lambda L)] \quad (12)$$

Lapisan Geotekstil

Perencanaan lapisan geotekstil dihitung menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Persamaan kapasitas dukung tanah

$$N_c = 4,14 + (0,5(B/h)) \quad (13)$$

Dimana :

Nc = Faktor Kapasitas dukung tanah

B = Lebar rata-rata timbunan lapisan ballast (m)

h = Tebal timbunan lapisan ballast (m)

Persamaan Kapasitas Dukung Ultimit

$$q_u = c_u \times N_c \quad (14)$$

Dimana :

qu = Kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

c_u = Kohesi undrained (kN/m²)

Nc = Faktor kapasitas dukung tanah (B/h)

Tekanan akibat pembebanan struktur jalan kereta api terhadap dasar timbunan lapisan ballast.

$$P_q = (h \times \gamma t) + \frac{\text{berat bantalan beton} + \text{berat rel} + \text{beban roda statis lokomotif}}{\text{luas bidang tekan}} \quad (15)$$

Dimana :

P_q = Tekanan akibat pembebanan struktur jalan kereta api (kN/m³)

h = tebal lapisan ballast rencana (m)

γt = tekanan dasar timbunan (kN/m³)

Faktor aman (SF) terhadap keruntuhan

$$SF = \frac{qu}{Pq} \quad (16)$$

Dimana :

qu = Kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

Pq = Tekanan akibat pembebanan struktur jalan kereta api (kN/m³)

Gaya tarik yang bekerja pada permukaan atas perkuatan lapisan geotekstil

$$\begin{aligned} T_1 &= P_{a1} \\ &= 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \end{aligned} \quad (17)$$

Dimana :

P_{a1} = Tekanan tanah aktif di belakang bidang vertikal (kN/m)

γ = Berat volume tanah timbunan (kN/m³)

H = Tinggi timbunan dari permukaan tanah asli (m)

K_a = Koefisien Tekanan Tanah Aktif

= $\text{tg}^2(45^\circ - \phi/2)$, dengan $(45^\circ - \phi/2)$ merupakan sudut yang dihasilkan bidang gelincir terhadap bidang horizontal

T_1 = Kuat tarik geosintetik yang dibutuhkan untuk menahan sebaran lateral (kN/m)

Faktor aman (SF) penggelinciran lereng terhadap perkuatan lapisan geosintetik

$$\begin{aligned} SF &= \frac{Pg}{P_{a1}} \\ &= \frac{L(0,5H\gamma) \text{tg}\delta Pg}{0,5K_a H^2 \gamma} \\ &= \frac{L \text{tg}\delta}{K_a H} \end{aligned} \quad (18)$$

Dimana :

δ = Sudut gesek antara geosintetik dengan tanah ($^\circ$)

H = Tinggi timbunan (m)

Faktor aman (SF) terhadap penggelinciran lateral

$$SF = \frac{2(Lc_a + T_1)}{K_a \gamma H^2} \quad (19)$$

Dimana :

c_a = Adhesi antara tanah pondasi dan geosintetik (kN/m²)

L = Panjang lereng yang mengalami penggelinciran (m)

H = Tinggi timbunan (m)

γ = Berat volume tanah timbunan (kN/m³)

T_1 = Kuat tarik geosintetik yang dibutuhkan untuk menahan sebaran lateral (kN/m)

K_a = Koefisien Tekanan Tanah Aktif

= $\text{tg}^2(45^\circ - \phi/2)$, dengan $(45^\circ - \phi/2)$ merupakan sudut yang dihasilkan bidang gelincir terhadap bidang horizontal

Faktor aman (SF) terhadap tekanan arah lateral

$$SF = \frac{2cu}{\gamma h \operatorname{tg}\beta} + \frac{4,14cu}{H\gamma} \quad (20)$$

Dimana :

β = Sudut lereng ($^{\circ}$)

γ = Berat volume tanah timbunan (kN/m³)

cu = Kohesi undrained (kN/m²)

h = Tebal lapisan lunak di bawah lereng (m)

H = Tinggi timbunan (m)

Gaya tarik yang bekerja pada perkuatan lapisan geotekstil

$$T_2 = cu \times L \quad (21)$$

Dimana :

cu = Kohesi undrained (kN/m²)

L = Panjang lereng timbunan ke arah horizontal (m)

Total gaya tarik yang bekerja pada geotekstil

$$T_{\text{total}} = T_1 + T_2 \quad (22)$$

Dimana :

T₁ = Gaya tarik pada permukaan atas perkuatan lapisan geotekstil (kN/m)

T₂ = Gaya tarik yang bekerja pada perkuatan lapisan geotekstil (kN/m)

Kuat tarik ultimit geotekstil

$$T_a = T_u (1 / (RFID \times RFCR \times RFD \times SF_{\text{seam}})) \quad (23)$$

Dimana :

T_a = Kuat tarik izin (kN/m)

T_u = Kuat tarik ultimit (kN/m)

RFID = 1,2 (Faktor reduksi akibat kerusakan saat pemasangan)

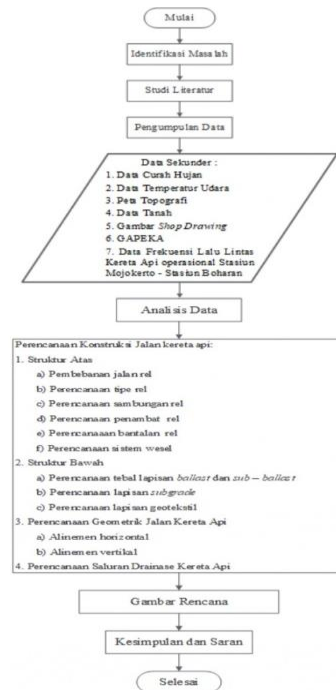
RFD = 1,2 (Faktor reduksi degradasi terhadap pengaruh serangan kimia dan biologi)

RFCR = 2 (Faktor reduksi oleh pengaruh rayapan saat masa layanan struktur)

SF_{seam} = 1,4 (Faktor aman lapisan geotekstil)

METODE

Dalam mencapai tujuan dari penelitian ini, maka dari itu disusun tahap-tahap penelitian perencanaan jalur ganda lintasan kereta api pada emplasemen stasiun Mojokerto – Boهران. Berikut adalah bagan alir metodologi penelitian:



HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Tipe Rel Kereta Api

Lokomotif CC 206 memiliki beban lokomotif (Wlok) sebesar 90 ton, dengan ditumpu oleh 2 bogie yang masing-masing bogie terdiri atas 3 gandar. Perhitungan beban pada rel akibat lokomotif CC 206 ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{Beban pada bogie (Pb)} = \frac{W_{Lok}}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ ton}$$

$$\text{Beban pada gandar (Pg)} = \frac{Pb}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ ton}$$

$$\text{Beban pada roda (Prs)} = \frac{Pg}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ ton}$$

Perhitungan Tegangan yang Terjadi pada Rel

Dari data spesifikasi kelas jalan rel kereta api dapat dilakukan perhitungan pembebanan lapisan atas dan lapisan bawah jalur rel kereta api. Hasil dari tahapan perhitungan bertujuan untuk mengetahui tingkat kekuatan rel terhadap beban terbesar yang bekerja yaitu lokomotif. Perhitungan pembebanan rel kereta api ditunjukkan sebagai berikut:

Perhitungan Beban Dinamis Lokomotif (Pd)

Beban dinamis lokomotif adalah beban yang terjadi yang disebabkan terjadi kontak antara roda lokomotif dengan rel. Perhitungan beban dinamis lokomotif ditunjukkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Pd &= Prs \left(1 + 0.01 \left(\frac{v}{1,609} - 5 \right) \right) \\ &= 7500 \left(1 + 0.01 \left(\frac{110}{1,609} - 5 \right) \right) \\ &= 12252,40 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan Faktor Reduksi (*dumping factor*)

Modulus kekakuan jalan kereta api (K) diperoleh dari perhitungan:

$$K = b \times k_e$$

$$K = 25 \times 9$$

$$K = 225 \text{ kg/cm}^3$$

Perhitungan Faktor Reduksi (*dumping factor*) ditunjukkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda &= \left(\frac{K}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= \left(\frac{225}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times 2346} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Maksimum pada Rel Akibat Beban Lokomotif CC-206

Perhitungan momen maksimum pada rel ditunjukkan sebagai berikut:

$$Ma = \frac{Pd}{4\lambda}$$

$$Ma = \frac{12252,40}{4 \times 0,01}$$

$$= 306310 \text{ kg.cm}$$

Perhitungan Tegangan pada Rel

Perhitungan tegangan pada rel ditunjukkan sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{Ma.Y_b}{I}$$

$$= \frac{306310 \times 7,62}{2346}$$

$$= 994,92 \text{ kg/cm}^2$$

Analisis Perhitungan Tegangan Izin pada Rel

Tegangan izin untuk tipe rel R54 dengan kelas jalan rel II ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Tegangan Izin Profil Rel

Kelas Jalan Rel	Daya Angkut Lintas (juta ton/thn)	Kecepatan Rencana (km/jam)	Beban Gandar (ton)	Beban Roda Dinamis (kg)	Jenis Rel	Tegangan Dasar Rel (kg/cm ²)	Tegangan Izin (kg/cm ²)
I	>20	120	18	19940	R-60 R-54	1042 1195	1325
II	10-20	110	18	16241	R-54 R-50	1146 1236	1325
III	5-10	100	18	15542	R-54 R-50 R-42	1048 1130 1409	1663
IV	2,5-5	90	18	14843	R-54 R-50 R-43	1098 1183 1474	1843
V	>2,5	80	18	14144	R-42	1343	2000

Sumber: Utomo, 2009

Pada tabel 1 dapat diketahui bahwa besar tegangan izin untuk kelas jalan rel II dengan tipe rel R54 adalah 1325 kg/cm². Analisis tegangan yang terjadi pada rel dengan tegangan izin rel adalah sebagai berikut:

$$\sigma_x < \sigma \quad 994,92 \text{ kg/cm}^2 < 1325 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil analisis tegangan terjadi akibat dari beban kereta api rencana KA Turangga lebih kecil dibandingkan dengan tegangan izin. Hasil ini menunjukkan bahwa rel tipe R54 yang digunakan dalam perencanaan jalur ganda dari Stasiun Mojokerto – Stasiun Boharan sudah memenuhi syarat.

Perhitungan Bantalan Rel Beton

Perhitungan momen yang terjadi pada tepi bantalan rel beton adalah sebagai berikut:

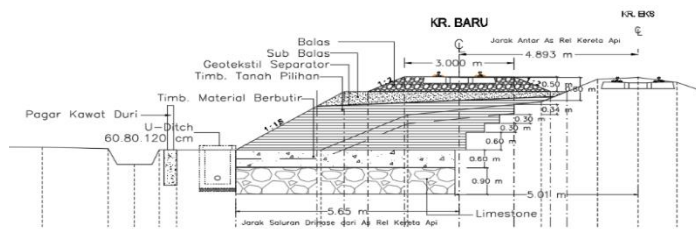
$$\begin{aligned}
 M &= \frac{Q}{4\lambda} \cdot \frac{1}{(\sinh\lambda L + \sin\lambda L)} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos^2 \lambda c + \cosh\lambda L) - 2\cos^2\lambda a (\cosh^2\lambda c + \cos\lambda L) - \\
 &\quad \sinh^2\lambda a (\sin^2\lambda c + \sinh\lambda L) - \sinh^2\lambda a (\sin^2\lambda c + \sinh\lambda L)] \\
 &= \frac{60\% \cdot 12.252,40}{4 \times 0,008} \cdot \frac{1}{(2,3756 + 0,0279)} [2 \times 1,0516 (0,9999 + 2,5775) - 2 \times 0,9999 (1,4973 + \\
 &\quad 0,9996) - 0,6846 (0,0167 + 2,3756) - 0,0112 (1,1144 + 2,3756)] \\
 &= 95582,48 \times (7,523 - 4,993 - 1,637 - 0,039) \\
 &= 81627,437 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

Analisis momen yang terjadi pada bantalan beton dengan momen izin bantalan rel beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M &< M' \\
 81627,437 \text{ kg.cm} &< 150000 \text{ kg.cm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Perencanaan Lapisan Geotekstil

Dalam perencanaan jalur ganda (*double track*) lintas Mojokerto – Boharan pada KM 41+800 – KM 33+700 dilakukan metode perbaikan tanah dengan direncanakan penambahan lapisan geotekstil. Lapisan geotekstil yang digunakan adalah geotekstil jenis *non-woven* yang berfungsi untuk perkuatan (*stabilisator*) dan separator antara tanah timbunan dan tanah dasar yang ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Spesifikasi Lapisan Ballast Dengan Tanah Asli

Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit Tanah Asli

Untuk menghitung kapasitas dukung ultimit tanah asli dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Menghitung lebar rata – rata timbunan :

$$B' = B + (h1 \times 2) = 3 + (0,8 \times 2) = 4,6 \text{ meter}$$

$$B'/h = 4,6 / 0,8 = 5,75$$

Menghitung nilai faktor kapasitas dukung tanah N_c :

$$N_c = 4,14 + (0,5(B'/h)) = 4,14 + (0,5(5,75)) = 7,015$$

Menghitung nilai kapasitas dukung ultimit :

$$q_u = c_u \times N_c = 25,44 \times 7,015 = 178,46 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan Nilai Tekanan Akibat Pembebanan Struktur Jalan Kereta Api Terhadap Dasar Timbunan Lapisan *Sub-Ballast*

Untuk menghitung nilai tekanan yang terjadi akibat pembebanan struktur jalan kereta api terhadap dasar timbunan lapisan *ballast* dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$P_q = (h \times \gamma_t) + \frac{\text{berat bantalan beton} + \text{berat rel} + \text{beban roda statis lokomotif}}{\text{luas bidang tekan}}$$

$$= (0,8 \times 18) + \frac{1,96 + 0,53 + 73,55}{\frac{(3+5) \times 0,8}{2}}$$

$$= 23,76 \text{ kN/m}^2$$

Berat bantalan rel beton = 1,96 kN (Hasil Analisis)

Berat Rel R54 = 0,53 kN (Hasil Analisis)

Beban roda statis lokomotif = 73,55 kN (Hasil Analisis)

Perhitungan Faktor Aman Terhadap Keruntuhan

Untuk menghitung nilai faktor aman terhadap keruntuhan penambahan lapisan geotekstil terhadap struktur jalan kereta api dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{q_u}{P_q} = \frac{178,46}{23,76} = 7,51 > 1,5 \dots \text{OK (memenuhi syarat } SF > 1,5)$$

Perhitungan Faktor Aman Terhadap Penggelinciran Lateral

Untuk menghitung nilai faktor aman keruntuhan akibat tekanan tanah aktif yang disebabkan lapisan geotekstil robek serta timbunan bergeser di atas tanah timbunan pondasi. Gaya tarik yang bekerja pada permukaan perkuatan lapisan geotekstil dapat diasumsikan sama dengan tekanan tanah aktif pada bidang AB, maka gaya tarik yang bekerja pada permukaan perkuatan lapisan geotekstil dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_1 = P_{a1} = 0,5 \times h^2 \times \gamma_t \times K_a$$

$$K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \text{tg}^2(45^\circ - 21/2) = 0,49$$

$$T_1 = 0,5 \times 0,8^2 \times 18 \times 0,49 = 2,82 \text{ kN/m}$$

Jadi gaya tarik bekerja pada permukaan perkuatan lapisan geotekstil sebesar 2,82 kN/m.

Pada kondisi keruntuhan terhadap lapisan geotekstil yang robek dan timbunan bergeser di atas tanah struktur badan jalan rel, maka Faktor aman (SF) terhadap penggelinciran lateral dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SF = \frac{2(Lca+T1)}{KayH2} = \frac{2(2,22 \times 22 + 2,82)}{0,49 \times 18 \times 0,8^2} = 18,3 > 1,5 \dots \text{OK (memenuhi syarat } SF > 1,5)$$

Perhitungan Faktor Aman Tanah Pondasi Terhadap Gaya Arah Lateral

Untuk menghitung nilai faktor aman tanah pondasi terhadap gaya arah lateral dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{2cu}{\gamma h \text{tg}\beta} + \frac{4,14cu}{H \gamma t} = \frac{2 \times 25,44}{22,3 \times 2,14 \times \text{tg } 40} + \frac{4,14 \times 25,44}{0,8 \times 18} = 5,04 > 1,5 \text{ OK (memenuhi syarat } SF > 1,5)$$

Perhitungan Gaya Tarik Yang Bekerja Pada Perkuatan Lapisan Geotekstil

Untuk menghitung nilai gaya tarik yang bekerja pada perkuatan lapisan geotekstil dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$T_2 = cu \times L = 25,44 \times 2,22 = 56,48 \text{ kN/m}$$

Perhitungan Total Gaya Tarik Yang Bekerja Pada Lapisan Geotekstil

Untuk menghitung nilai total gaya tarik yang bekerja pada lapisan geotekstil dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$T_{\text{total}} = T_1 + T_2 = 2,82 + 56,48 = 59,3 \text{ kN/m}$$

Perhitungan Kuat Tarik Ultimit pada Lapisan Geotekstil

Untuk menghitung nilai kuat tarik ultimit pada lapisan geotekstil dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$T_{\text{total}} = Tu \left(\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{D} \times SF_{\text{seam}}} \right)$$

$$Tu = (RF_{ID} \times RF_{D} \times RF_{CR} \times SF_{\text{seam}}) \times T_{\text{total}}$$

$$= (1,2 \times 1,2 \times 2 \times 1,4) \times 59,3 = 4,032 \times 59,3 = 239,1 \text{ kN/m}$$

Jadi dibutuhkan kuat tarik ultimit pada lapisan geotekstil sebesar 239,1 kN/m.

Perhitungan Kebutuhan Lapisan Geotekstil

Setelah didapatkan hasil nilai jumlah kebutuhan kuat tarik ultimit pada lapisan geotekstil sebesar 239,1 kN/m. Maka, direncanakan menggunakan lapisan geotekstil *non-woven* dari tipe Prima-Tex PP – 600 yang diproduksi oleh PT. Prima Geotex Indo dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

Tipe geotekstil : *Non-woven Polypropylene Geotextile*

Jenis geotekstil : Prima-Tex PP – 600

Warna : Putih

Kuat Tarik : 58,08 kN/m

Ketebalan : 4,39 mm

Maka, untuk kebutuhan kuat tarik pada lapisan geotekstil sebesar 239,1 kN/m, digunakan tujuh lapis geotekstil tipe Prima-Tex PP-600 dengan kuat tarik 58,08 kN/m per lapis. Dengan syarat faktor keamanan minimal atau lebih besar dari 1,5, $SF \geq 1,5$, maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{n \times \text{kuat tarik bahan}}{\text{kuat tarik kebutuhan}} = \frac{7 \times 58,08}{239,1} = 1,7 > 1,5 \dots \text{OK (memenuhi syarat } SF > 1,5)$$

Jadi lapisan geotekstil tipe Prima-Tex PP-600 dengan kuat tarik 58,08 kN/m telah memenuhi syarat.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada perencanaan jalur ganda (*double track*) lintasan kereta api pada emplasemen Stasiun Mojokerto – Stasiun Boharan (KM 57+358 - KM 33+867), didapatkan hasil perencanaan sebagai berikut:

1. Perencanaan rel dengan tipe R54 dapat digunakan dalam perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Stasiun Mojokerto – Stasiun Boharan karena rel mampu menerima beban kereta api terberat yang beroperasi yaitu lokomotif CC-206 sebagai lokomotif penarik Kereta Api Turangga, dengan hasil beban dinamis lokomotif sebesar 12718,54 kg, hasil nilai momen maksimum sebesar 317963,5 kg.cm, hasil analisis perhitungan tegangan rel sebesar 1032,771 kg/cm², tidak lebih besar dari tegangan izin sebesar 1325 kg/cm².
2. Pada lapisan *subgrade* juga direncanakan dengan penambahan lapisan geotekstil jenis *non-woven* yang berfungsi untuk perkuatan (*stabilisator*) dan separator antara tanah timbunan dan tanah dasar. Tinjauan faktor aman terhadap keruntuhan beban mati struktur jalan kereta api memenuhi syarat *safety factor* 7,51 > 1,5, faktor aman penggelinciran lateral terhadap perkuatan lapisan geotekstil memenuhi syarat *safety factor* 18,3 > 1,5, faktor aman tanah pondasi terhadap gaya arah lateral memenuhi syarat *safety factor* 5,04 > 1,5. Besaran nilai kuat tarik ultimit pada lapisan geotekstil adalah sebesar 239,1 kN/m. Perencanaan lapisan geotekstil dengan menggunakan lapisan geotekstil *non-woven* dari tipe Prima-Tex PP-600 yang diproduksi oleh PT. Prima Geotex Indo dengan nilai kuat tarik sebesar 58,08 kN/m per lapis, maka digunakan tujuh lapis geotekstil tipe Prima-Tex PP-600.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adi, C. P., Sukmajati, E. I., Hardiyati, S., & Prabandiyani, S. R. W. (2013). Perencanaan jalur ganda (*double track*) jalan rel ruas Semarang-Gubug. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(3), 74–92. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/3964>

- [2] Sukmana, Ari Dwipa & Raharjo, Budi. (2014). “Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Surabaya – Krian”. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 1 (1).
- [3] Munif, M. (2022). *Perencanaan jalur ganda (double track) lintasan kereta api pada emplasemen stasiun antara Baron-Nganjuk (KM 103+355-KM 118+842)* [Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur]. <http://repository.upnjatim.ac.id/id/eprint/4993>
- [4] Pemerintah Republik Indonesia. (1986). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 10 Tahun 1986*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/64362/pp-no-10-Tahun-1986>
- [5] Prasetio, I., & Rifai, A. I. (2020). Railway planning double-double track (case study of Bekasi Station km 26 + 652-Jatinegara Station km 12 + 050). *International Journal of Transportation and Infrastructure*, 4(1), 12–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.29138/ijti.v4i1.1161>
- [6] Sukmana, A. D., & Rahardjo, B. (2014). Perencanaan jalur ganda kereta api Surabaya-Krian. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.62401>
- [7] Utomo, N., & Estikhamah, F. (2020). Analisa kekuatan struktur jalan kereta api dengan penambahan lapisan geotekstil pada perencanaan jalur ganda Jombang –Peterongan (KM.69+100 –KM.76+100). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 23–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/kern.v6i1.24>
- [8] Utomo, S.H.T. (2009). *Jalan rel* (2nd ed.). Beta Offset. <https://sirherdiansyah.wordpress.com/2013/04/30/ebook-jalan-rel/>
- [9] Yodha, E. C., Alihudien, A., & Priyono, P. (2019). Studi perkuatan geotekstil pada lereng dengan variasi kemiringan dan jarak pondasi dangkal melalui pemodelan di laboratorium [Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember]. In *Universitas Muhammadiyah Jember*. <http://repository.unmuhjember.ac.id/3691/>