

Perencanaan Struktur Bawah Jembatan Kereta Api di Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Arisma Havino¹, Ayu Prativi², Nila Sutra³, Puspita Dewi⁴

Teknologi Bangunan dan Jalur Perkeretaapian^{1,2,3,4},

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun^{1,2,3,4}

Corresponding Author: ayu.prativi@pengajar.ppi.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan jembatan kereta api di Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun (PPIM) bertujuan untuk menyediakan prasarana pendidikan taruna PPI Madiun. Keterbatasan ruang gerak saat pelaksanaan pekerjaan menyebabkan pemilihan dimensi struktur abutmen dan jenis pondasi dalam harus dipertimbangkan dengan baik. Studi ini bertujuan untuk merencanakan usulan struktur bawah jembatan kereta di PPIM. Perencanaan struktur bawah jembatan dilakukan menggunakan data hasil uji CPT (Cone Penetrometer Test). Penentuan karakteristik fisik dan teknis tanah menggunakan metode korelasi dari data CPT. Perhitungan beban jembatan dan dimensi struktur bawah jembatan mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia. Berdasarkan data uji CPT, lokasi tanah keras berada di kedalaman 10 m dengan jenis tanah dasar didominasi oleh pasir. Berdasarkan hasil analisis stabilitas abutmen diperoleh dimensi tapak sebesar 6.5 m x 2.7 m dan kedalaman 2.2 m. Dengan mempertimbangkan sulitnya akses alat berat menuju lokasi pekerjaan, abutmen direncanakan akan didukung oleh pondasi sumuran dengan diameter 80 cm dan kedalaman tanam 3 m.

Kata Kunci: abutmen, CPT (Cone Penetrometer Test), jembatan kereta, pondasi sumuran.

ABSTRACT

The purpose of railway bridge construction in Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun (PPIM) is to facilitate student learning. The limitation of the work area causes the abutment dimension, and the deep foundation type should be well considered. This study aims to design the bottom structure of a railway bridge in PPIM. The CPT (Cone Penetrometer Test) data is used to design the bottom structure of the bridge. Soil physical and technical characteristics were determined by the CPT data correlation method. Analysis of bottom structure load and stability refers to Indonesian building regulations. Based on CPT test data, the location of dense soil is 10 m in depth and dominated by sand. The analysis shows abutment base dimension is 6.5 m x 2.7 m in area and 2.2 m in depth. Considering the difficulties of heavy equipment in accessing the work area, the abutment will be supported by a caisson foundation of 80 cm in diameter and an embedded depth of 3 m.

Keywords: abutment, caisson foundation, CPT (Cone Penetrometer Test), railway bridge.

1 PENDAHULUAN

Jembatan kereta api dikenal juga sebagai bangunan hikmat. Menurut Soekhardjo (2016), bangunan Hikmat (BH) dapat merupakan bangunan sipil sebagai konstruksi penghubung dan atau suatu terusan bangunan sipil yang terpotong akibat adanya jalur kereta api. Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun merencanakan pembangunan sebuah jembatan kereta untuk meningkatkan fasilitas pembelajarannya. Struktur atas jembatan yang direncanakan akan dibangun di PPI Madiun merupakan bongkaran jembatan rangka baja Kertosono–Sembung BH-259. Jembatan ini memiliki panjang as ke as tumpuan jembatan atau yang disebut dengan bentang teori sebesar 37,12m. Lokasi pembangunan jembatan

direncanakan di jalan rel buntu BM3 seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1.

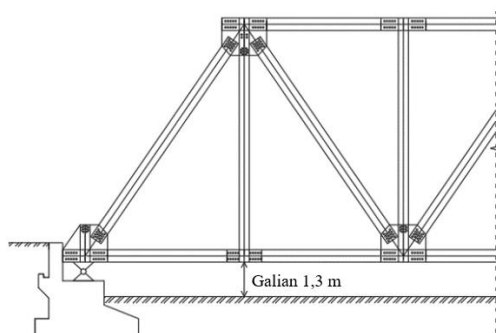
Menurut Unsworth (2010), kondisi sekitar proyek, kondisi geoteknik, dan lingkungan (selama dan setelah pembangunan) merupakan aspek penting dalam perencanaan dan *preliminary design* jembatan kereta. Terdapat dua persyaratan fungsi pada jembatan kereta, yaitu: 1) dukungan terhadap lalu lintas sarana dan prasarana selama masa layan jembatan, dan 2) ruang bebas yang cukup antara struktur dan ruang lintas sarana di jembatan (Iles, 2004). Persyaratan pertama secara rinci harus memenuhi syarat kekuatan dan ketahanan fatik, batas deformasi jembatan, dan durabilitas. Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), data yang diperlukan untuk merencanakan bangunan jembatan meliputi: lokasi (topografi, lingkungan, dan tanah dasar), keperluan (melintasi sungai atau jalan

lain), karakteristik dan ketersediaan bahan struktur, dan peraturan.



Gambar 1. Foto satelit jalan rel di PPI Madiun

Pemilihan jenis dan dimensi struktur bawah jembatan kereta di PPI Madiun akan memperhatikan hal tersebut disertai aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan pembangunan di lapangan. Oleh sebab itu, tanpa mengurangi manfaatnya sebagai prasarana pembelajaran, galian di bawah jembatan akan dibuat dengan kedalaman sekitar satu meter dari dasar gelagar memanjang jembatan seperti ilustrasi yang disajikan dalam Gambar 2. Dengan galian yang dangkal, gaya lateral yang harus dipikul abutmen jembatan juga akan mengecil. Sehingga, diharapkan dimensi abutmen dan pondasi dalam akan menjadi lebih kecil dan lebih ekonomis. Berdasarkan pemikiran tersebut, penelitian ini akan menghasilkan usulan rencana struktur bawah jembatan PPI Madiun.



Gambar 2. Rencana kedalaman galian

2 METODE PENELITIAN

Alur perencanaan usulan struktur bawah jembatan di PPI Madiun ditampilkan pada Gambar 3. Berdasarkan diagram alir tersebut, rincian tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder sebagai berikut:

- a. Data primer, meliputi: data hasil pengujian sondir atau CPT (Cone Penetrometer Test) tanah di sekitar lokasi pembangunan jembatan.

Pengujian sondir dilakukan sesuai standar SNI 2827:2008.

- b. Data sekunder: meliputi gambar tipikal jembatan KA rangka baja dengan panjang teoritis 37,12 m. Selain itu, penentuan respon spektrum gempa mengacu pada pedoman penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan (Kementerian PUPR, 2015) dan manual aplikasi online spektrum respons desain Indonesia (Kementerian PUPR, 2019).

2. Olah data

Proses olah data pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran stratigrafi tanah di sekitar lokasi pembangunan jembatan. Stratigrafi tanah adalah metode untuk mengelompokkan dan mengkorelasikan sedimen dan batuan berdasarkan kriteria yang berhubungan dengan tanah (Holliday et al., 2017). Olah data dilakukan pada data hasil uji sondir dengan metode korelasi Robertson & Cabal (2010), sehingga jenis lapisan tanah dan parameter fisik maupun mekanik tanah di sekitar abutmen dan pondasi dalam dapat ditentukan.

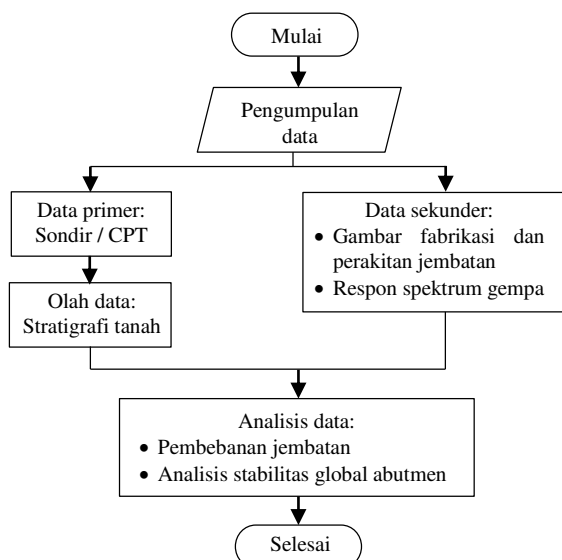
3. Analisis data

- a. Analisis pembebanan jembatan

Analisis pembebanan jembatan dilakukan pada kondisi beban layan dan beban ultimit dengan mengacu pada Permenhub No. 60 tahun 2012 tentang spesifikasi teknis jalan rel, panduan praktis perencanaan teknis jembatan (Kementerian PUPR, 2021), standar teknis kereta api Indonesia untuk struktur jembatan baja (Dirjen Perkeretaapian, 2006) dan SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan.

- b. Analisis stabilitas global abutmen jembatan

Analisis stabilitas global jembatan dilakukan dengan membuat rencana dimensi abutmen yang disesuaikan dengan dimensi lebar struktur atas jembatan dan dimensi tumpuan jembatan. Penentuan dimensi struktur bawah jembatan dilakukan secara trial and error hingga diperoleh dimensi dengan faktor keamanan (SF) sesuai dalam persyaratan SNI 8460:2017. Setelah dimensi abutmen ditentukan, dilakukan perhitungan kebutuhan pondasi tiang bor untuk menentukan kedalaman penanaman tiang yang mampu memenuhi syarat keamanan daya dukung pondasi.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

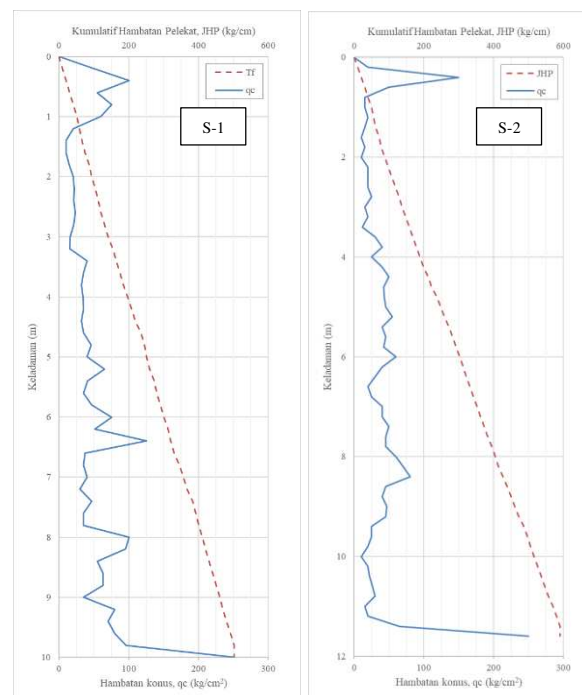
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Tanah

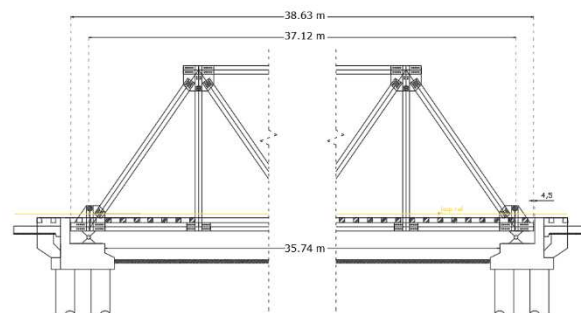
Untuk dapat memprediksi sifat tanah di area jembatan, dilaksanakan pengujian sondir sebanyak 2 titik uji. Gambar 3 merupakan data hasil pengujian sondir S-1 dan S-2. Berdasarkan data tersebut, Nampak bahwa lokasi tanah keras berada di kedalaman 10 sampai 12 meter. Kemudian, dengan melakukan korelasi antara nilai tahanan ujung terhadap rasio gesek menggunakan metode Robertson & Cabal (2010), prediksi jenis lapisan tanah di titik sondir didominasi oleh pasir. Oleh sebab itu, dalam Budhu (2011) jenis penurunan tanah yang akan terjadi pada tanah pasir adalah penurunan seketika (*immediate settlement*).

3.2 Beban Layan Struktur Bawah Jembatan

Dimensi struktur abutmen yang akan dianalisis kestabilannya ditampilkan dalam Gambar 4. Karena struktur atas jembatan merupakan bongkaran dari jembatan eksisting, dimensi struktur atas dan andas (tumpuan) akan mempengaruhi penetapan dimensi abutmen. Penentuan dimensi abutmen mempertimbangkan panjang konstruksi, bentang teori, dan bentang BH-259 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Panjang konstruksi jembatan BH-259 adalah 38.63 m. Jarak as ke as jembatan (bentang teori) adalah 37.12 m. Sedangkan bentang, yang merupakan jarak antar sisi dalam abutmen adalah 35.74 m. Ketiga jenis bentang ini akan mengunci dimensi *back wall* dan *breast wall* abutmen. Dimensi rencana abutmen ditampilkan dalam Gambar 5. Abutmen direncanakan memiliki panjang tapak yang sejajar dengan sisi melintang jembatan (B_y) sebesar 6.5 m. Sedangkan, panjang tapak yang sejajar dengan sisi memanjang jembatan (B_x) sebesar 2.7 m. Kedalaman abutmen (h_0) direncanakan 2.7 m.

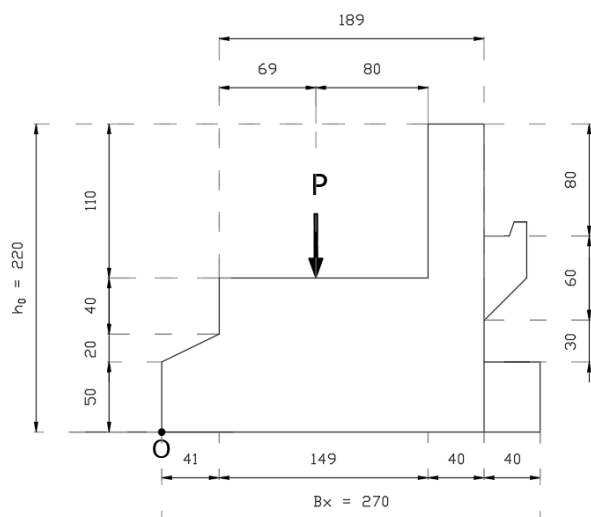


Gambar 3. Hasil uji CPT di titik S-1 dan S-2



Gambar 4. Dimensi struktur atas jembatan BH-259

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, perhitungan beban layan struktur bawah jembatan mengacu pada Permenhub No. 60 tahun 2012 tentang spesifikasi teknis jalan rel dan SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan. Hasil perhitungan beban layan ditampilkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 1, diketahui bahwa kombinasi beban kuat I menghasilkan gaya aksial paling besar dibanding kombinasi beban lainnya. Akibatnya, beban kuat I juga menghasilkan momen tahanan arah sumbu X terbesar. Nilai positif dan negatif pada perhitungan momen dalam Tabel 2 menunjukkan arah kerja gaya. Pada penelitian ini, momen yang bernilai positif merupakan momen tahanan. Sebaliknya, momen yang bernilai negatif merupakan momen guling.



Gambar 5. Dimensi rencana abutmen

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kombinasi Beban Aksial dan Lateral

No.	Kombinasi beban	P (kN)	F _x (kN)	F _y (kN)
1	Kuat I	2208.862	557.47	285
2	Kuat III	1446.208	600.14	1949.5
3	Kuat IV	1191.51	386.47	0
4	Kuat V	1264.281	386.47	145.04
5	Ekstrem I	1208.102	489.25	0
6	Daya layan I	1811.283	573.97	267.11
7	Daya layan II	1812.264	308.5	205.83
8	Fatik	1615.406	71.25	118.75

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kombinasi Gaya Momen

No.	Kombinasi beban	M _x (kN.m)	M _y (kN.m)
1	Kuat I	2788.4	-870.0
2	Kuat III	2588.5	-290.3
3	Kuat IV	1669.4	-493.8
4	Kuat V	1749.4	-493.8
5	Ekstrem I	1669.4	-527.1
6	Daya layan I	2351.1	-906.3
7	Daya layan II	2352.2	-678.7
8	Fatik	2135.6	-156.8

3.3 Analisis Stabilitas Abutmen terhadap Guling

Berdasarkan SNI 8460:2017, nilai faktor keamanan (SF_{min}) minimum abutmen terhadap guling adalah sebesar 2. Hasil perhitungan faktor keamanan abutmen rencana terhadap guling pada sumbu X dan sumbu Y dirangkum dalam Tabel 3 dan Tabel 4. Sebagai contoh, nilai faktor keamanan untuk kuat I dihitung sebagai berikut:

$$SF = \frac{M_{R,x}}{M_{O,x}} = \frac{2788.44}{869.99} = 3.2$$

Nilai SF lebih besar dari SF_{min} sehingga abutmen aman terhadap guling berdasarkan kriteria kuat I.

Tabel 3. Faktor Keamanan Guling pada Sumbu X

No.	Kombinasi beban	M _{R,X} (kN.m)	M _{O,X} (kN.m)	SF
1	Kuat I	2788.44	-869.99	3.2
2	Kuat III	1949.52	1590.8	8.9
3	Kuat IV	1669.36	1310.7	3.4
4	Kuat V	1749.40	1390.7	3.5
5	Ekstrem I	1669.36	1328.9	3.17
6	Daya layan I	2351.11	1992.4	2.6
7	Daya layan II	2352.19	1993.5	3.5
8	Fatik	2135.64	1776.9	13.6

Tabel 4. Faktor Keamanan Guling pada Sumbu Y

No.	Kombinasi beban	M _{R,Y} (kN.m)	M _{O,Y} (kN.m)	SF
1	Kuat I	7178.8	627	11.4
2	Kuat III	4700.18	0	
3	Kuat IV	3872.41	0	
4	Kuat V	4108.91	797.72	5.2
5	Ekstrem I	3926.33	0	
6	Daya layan I	5886.67	946.62	6.2
7	Daya layan II	5889.86	452.83	13.0
8	Fatik	5250.07	261.25	20.1

3.4 Stabilitas Abutmen Terhadap Geser

Nilai angka keamanan geser minimum (SF_{min}) berdasarkan SNI 8460:2017 adalah 1.5. Hasil perhitungan faktor keamanan gaya geser pada sumbu X dan Y ditampilkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6. Sesuai SNI 1725:2016, nilai sudut geser dalam antara dasar abutmen dan tanah (δ) yang digunakan pada perhitungan adalah sebesar 29° .

Tabel 5. Faktor Keamanan Geser pada Sumbu X

No.	Kombinasi beban	P (kN)	F _x (kN)	T _x (kN)	SF
1	Kuat I	2208.9	557.5	2979.4	5.3
2	Kuat III	1446.2	600.1	2556.6	4.3
3	Kuat IV	1191.5	386.5	2415.5	6.3
4	Kuat V	1264.3	386.5	2455.8	6.4
5	Ekstrem I	1208.1	489.2	2424.7	5.0
6	Daya layan I	1811.3	574.0	2759.0	4.8
7	Daya layan II	1812.3	308.5	2759.6	8.9
8	Fatik	1615.4	71.3	2650.4	37.2

Contoh perhitungan tahanan geser di dasar abutmen pada Kuat I terhadap geser (T) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T &= P \tan \delta + B_x \times B_y \times c \\
 &= 2208.9 \times \tan 29^\circ + 2.7 \times 6.5 \times 100 \\
 &= 2979.4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan tahanan geser (T) sebesar 2979.4 kN, diperoleh SF terhadap geser sebesar:

$$SF = \frac{T}{F_x} = \frac{2979.4}{557.5} = 5.3$$

Nilai SF sebesar 5.3 lebih besar dari SF_{min} , sehingga abutmen aman terhadap geser.

Tabel 6. Faktor Keamanan Geser pada Sumbu Y

No.	Kombinasi beban	P (kN)	F _Y (kN)	T _Y (kN)	SF
1	Kuat I	2208.9	285.0	2979.4	10.5
2	Kuat III	1446.2	600.1	2556.6	4.3
3	Kuat IV	1191.5	0.0	2415.5	
4	Kuat V	1264.3	145.0	2455.8	16.9
5	Ekstrem I	1208.1	0.0	2424.7	
6	Daya layan I	1811.3	267.1	2759.0	10.3
7	Daya layan II	1812.3	205.8	2759.6	13.4
8	Fatik	1615.4	118.8	2650.4	22.3

3.5 Stabilitas Abutmen terhadap Daya Dukung Tanah Dasar

Nilai angka keamanan daya dukung tanah dasar minimum (SF_{min}) berdasarkan SNI 8460:2017 adalah 3. Selain itu, perlu dilakukan kontrol nilai eksentrisitas (e) gaya pada tapak abutmen lebih kecil dari $B/6$ untuk memastikan tanah di bawah tapak abutmen tidak mengalami gaya tarik. Hal ini dilakukan mengingat sifat tanah yang tidak mampu menahan gaya tarik. Perhitungan kontrol eksentrisitas (e) adalah sebagai berikut:

$$\frac{B_X}{6} = \frac{2.7}{6} = 0.45$$

$$e = \frac{B_X}{2} - \frac{M_X}{P} = \frac{2.7}{2} - \frac{2979.4}{2208.9} = 0.001$$

Karena nilai $e < \frac{B_X}{6}$, maka tanah di bawah abutmen tidak mengalami tarik. Selanjutnya, daya dukung tanah dasar (q_u) dihitung dengan langkah sebagai berikut:

$$B'_X = B_X - 2e = 2.7 - 2 \times 0.001 = 2.7$$

$$n = \left(2 + \frac{B'_X}{B'_Y}\right) / \left(1 + \frac{B'_X}{B'_Y}\right) = \left(2 + \frac{2.7}{6.5}\right) / \left(1 + \frac{2.7}{6.5}\right) = 1.71$$

$$i_Y = \left(1 - \frac{F_X}{P}\right)^{n+1} = \left(1 - \frac{557.5}{22.08.9}\right)^{1.71+1} = 0.61$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'_p \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'_p}{2}\right)} = 4.77$$

$$N_Y \text{ (Vesic, 1973)} = 2(N_q + 1) \times \tan \phi = 3.53$$

Daya dukung tanah dasar, q_u :

$$q_u = 0.5 \gamma' B'_X N_Y i_Y$$

$$= 0.5 \times 17.2 \times 2.7 \times 3.53 \times 0.61 = 49.84 \text{ kPa}$$

Tegangan maksimum di dasar abutmen (σ_{maks}) akibat beban yang ditumpu oleh abutmen dihitung dengan langkah sebagai berikut:

$$\sigma_{maks} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{6e}{B_X}\right)$$

$$= \frac{2208.9}{2.7 \times 6.5} \left(1 + \frac{6 \times 0.001}{2.7}\right) = 820.21 \text{ kPa}$$

$$SF = \frac{q_u}{\sigma_{maks}} = \frac{49.84}{820.21} = 0.06$$

Hasil perhitungan SF daya dukung tanah dasar menunjukkan nilai yang lebih kecil dari SF_{min} , sehingga tanah di dasar abutmen tidak mampu mendukung beban di atasnya. Oleh sebab itu, perlu digunakan pondasi dalam.

3.6 Daya Dukung Pondasi Dalam

Berdasarkan Tabel 1, diketahui gaya aksial terbesar adalah sebesar 2208.9 kN (kuat I). Dalam perhitungan ini, pondasi dalam direncanakan hanya untuk menahan gaya aksial yang tidak mampu didukung oleh tanah dasar di dasar abutmen. Pondasi dalam direncanakan berbentuk pondasi sumuran dengan diameter 80 cm. Kedalaman tanam pondasi diusahakan tidak lebih dari 3 m untuk memudahkan pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Dengan menggunakan data tahanan ujung (q_c) dan tahanan lekat (JHP) pengujian sondir, nilai daya dukung tanah ditentukan di setiap kedalaman sehingga dapat diketahui kebutuhan pondasi dalam (n) untuk menahan gaya aksial yang didistribusikan oleh abutmen seperti yang ditampilkan dalam Tabel 7. Perhitungan ini mulai dilakukan pada kedalaman tepat di bawah dasar abutmen, yaitu 2.4 m. Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 7, dapat ditentukan bahwa kebutuhan pondasi tiang pada kedalaman tanam 3 meter dari dasar tapak abutmen adalah sebanyak 4 tiang. Selanjutnya, dilakukan perhitungan daya dukung tiang kelompok sebagai berikut:

Berat sendiri *pile cap*, $W = 32.40 \text{ kN}$

$$\text{Beban per tiang, } P = \frac{P_{maks} + W}{n} = \frac{2208.9 + 32.40}{4} = 560.32 \text{ kN}$$

Jumlah tiang pada sumbu X, $n_X = 2$ tiang

Jumlah tiang pada sumbu Y, $n_Y = 2$ tiang

Jarak terpendek antar tiang, $S = 150 \text{ cm}$

Efisiensi kelompok tiang:

$$E_f = \frac{2 \cdot (n_Y + n_X - 2) \cdot S + 4D}{\pi \cdot D \cdot n_Y \cdot n_X} = 0.915$$

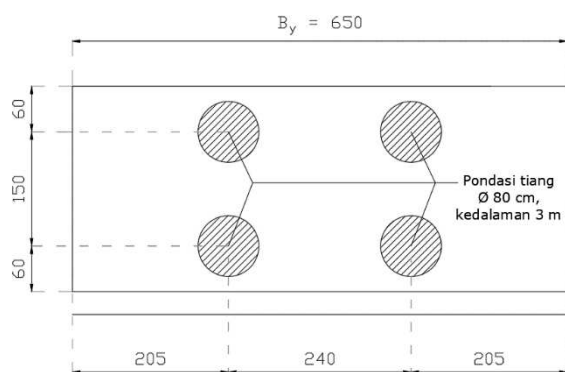
$$\text{Daya dukung ijin per tiang} = Q_{all} \cdot E_f = 1105.84 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan daya dukung ijin per tiang menunjukkan nilai yang lebih besar dari beban aksial per tiang, sehingga penggunaan pondasi dalam berdiameter 80 cm dengan kedalaman 3 m sebanyak 4

tiang mampu menahan beban per tiang. Rencana pondasi tiang sumuran ini disajikan dalam Gambar 6.

Tabel 7. Perhitungan kebutuhan tiang pondasi

d (m)	q_c (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	Qp (kg)	Qs (kg)	Qall (kg)	n
2.2	20.00	98	Dasar Pile Cap			
2.4	20.0	108	100531.0	27143.4	38939.0	5.7
2.6	20.0	118	100531.0	29656.6	39441.6	5.6
2.8	25.0	128	125663.7	32169.9	48321.9	4.6
3.0	15.0	138	75398.2	34683.2	32069.4	6.9
3.2	20.0	148	100531.0	37196.5	40949.6	5.4
3.4	12.0	158	60318.6	39709.7	28048.1	7.9
3.6	30.0	168	150796.4	42223.0	58710.1	3.8
3.8	40.0	178	201061.9	44736.3	75967.9	2.9
4.0	25.0	188	125663.7	47249.6	51337.8	4.3
4.2	40.0	198	201061.9	49762.8	76973.2	2.9
4.4	50.0	212	251327.4	53281.4	94432.1	2.3
4.6	42.0	222	211115.0	55794.7	81530.6	2.7
4.8	43.0	236	216141.6	59313.3	83909.8	2.6
5.0	45.0	248	226194.7	62329.2	87864.1	2.5
5.2	55.0	258	276460.2	64842.5	105122	2.1



Gambar 6. Rencana pondasi tiang sumuran

4 KESIMPULAN

Hasil pengujian sondir atau CPT di area rencana pembangunan jembatan kereta PPI Madiun menunjukkan bahwa lokasi tanah keras berada pada kedalaman 10 hingga 12 meter. Jenis tanah di sepanjang kedalaman uji didominasi oleh pasir. Hasil analisis menunjukkan bahwa abutmen jembatan dengan dimensi tapak 2.7 x 6.5 m dan kedalaman 2.7 m memiliki faktor keamanan (SF) yang lebih besar dari SF_{min} yang disyaratkan dalam SNI 8460:2017, sehingga abutmen tersebut stabil terhadap guling dan geser. Diperlukan penggunaan pondasi dalam jenis sumuran dengan diameter 80 cm dan kedalaman tanam 3 meter untuk dapat mencapai faktor keamanan minimum (SF_{min}) terhadap daya dukung tanah.

5 REFERENSI

Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 2827:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir*.

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *"SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan"*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. www.bsn.go.id
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations 3rd Edition* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Holliday, V. T., Mandel, R. D., & Beach, T. (2017). Soil Stratigraphy. In *Encyclopedia of Earth Sciences Series* (pp. 841–855). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4409-0_177
- Iles, D. C. (2004). *Design guide for steel railway bridges*. Steel Construction Institute.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Manual Aplikasi Online Spektrum Desain Indonesia*.
- Pedoman Penentuan Spektrum Respons Desain Di Permukaan Tanah Untuk Jembatan, Pub. L. No. SURAT EDARAN NOMOR: 43/SE/M/2015 (2015).
- Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 Tentang Standar Teknis Perencanaan Jalur Kereta Api*.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2010). Estimating Soil Unit Weight from CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*.
- Soekhardjo. (2016). *Konstruksi Jembatan Kereta Api. Prasarana Jalan Rel dan Jembatan*.
- Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja (2006).
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Beta Offset.
- Unsworth, J. F. (2010). *Design of Modern Steel Railway Bridges*. CRC Press.