

Analisis dan Perencanaan Pondasi Tiang Bored Pile pada Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Way Pengubuan Kabupaten Lampung Tengah

Muhamad Aditya Pratama Hendri¹⁾

Nur Arifaini²⁾

Idharmahadi Adha³⁾

Abstract

So to maximize the coal's potential, the Ministry of Transportation through the Directorate General of Railways plans to build a double track railway line between Tarahan - Tanjung Enim, one of the roads going through the river is needed a bridge to facilitate the train journey to transport the coal.

The railroad bridge that was built was located in KM132 in the burial way of Central Lampung Province. In this bridge construction, the carrying capacity of the foundation needs to be analyzed so that it can withstand the burden of the upper structure and the train.

From the results of the study showed that the analysis of the carrying capacity of the permit pile of 1700 kN was greater than the maximum carrying capacity that burdened the pile of 1508.93 kN so that it could be concluded that the structure under the bridge was able to withstand the load from the upper structure.

Keywords: analysis, coal, bridge, carrying capacity.

Abstrak

Indonesia memiliki sumber cadangan batubara yang cukup besar, akan tetapi baru sedikit bahkan sangat sedikit yang dapat dieksploitasikan. Potensi batubara yang dimiliki Provinsi Sumatera Selatan diketahui mencapai sekitar 85% dari total cadangan yang terkandung dalam bumi Sumatera, atau sekitar 22,24 milyar ton. Artinya, sekalipun penambangannya dimaksimalkan hingga 50 juta ton pertahunnya, batubara tidak akan habis ditambang selama 200 tahun.

Maka untuk memaksimalkan potensi batubara tersebut Kementerian Perhubungan melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian merencanakan pembangunan jalur ganda kereta api antara Tarahan – Tanjung Enim, salah satu jalan tersebut ada yang melalui sungai maka dibutuhkan suatu jembatan untuk memudahkan perjalanan kereta api untuk mengangkut batubara tersebut.

Jembatan kereta api yang dibuat tersebut tertelak di KM132 way pengubuan propinsi lampung tengah, dalam pembuatan jembatan ini perlu dianalisis daya dukung pondasi, agar dapat menahan beban dari struktur atas maupun kereta api.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis nilai daya dukung ijin tiang sebesar 1700 kN lebih besar dari daya dukung maksimum yang membebani tiang sebesar 1508,93 kN sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur bawah jembatan mampu menahan beban dari struktur atasnya.

Kata kunci : analisis, batubara, jembatan, daya dukung.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonggoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonggoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Terdapat hubungan erat antara transportasi dengan jangkauan dan lokasi kegiatan manusia, barang-barang dan jasa. Dalam kaitannya dengan kehidupan manusia, transportasi memiliki peranan signifikan dalam aspek social, ekonomi, lingkungan, politik dan pertahanan keamanan.

Indonesia memiliki sumber cadangan batubara yang cukup besar, akan tetapi baru sedikit bahkan sangat sedikit yang dapat dieksploitasikan. Potensi batubara yang dimiliki Provinsi Sumatera Selatan diketahui mencapai sekitar 85% dari total cadangan yang terkandung dalam bumi Sumatera, atau sekitar 22,24 milyar ton. Artinya, sekalipun penambangannya dimaksimalkan hingga 50 juta ton pertahunnya, batubara tidak akan habis ditambang selama 200 tahun.

Berdasarkan hal tersebut, Kementerian Perhubungan melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian merencanakan pembangunan jalur kereta api antara Tarahan – Tanjung Enim yang diakibatkan meningkatnya mobilisasi kereta api dari Sumatera Selatan ke Lampung begitupun sebaliknya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang memungkinkan route transportasi melalui sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai saluran irigasi dan pembuang. Jalan ini yang melintang yang tidak sebidang dan lain-lain.

2.2.1 Penambat Rel

Alat penambat yang digunakan adalah alat penambat jenis elastis yang terdiri dari system elastis tunggal dan system elastis ganda. Pada bantalan beton terdiri dari *shoulder/insert, clip, insulator* dan *rail pad*. Pada bantalan kayu dan baja terdiri dari pelat landas (*baseplate*), *clip*, tarpon (*screw spike*)/ baut dan cincin per (*lock washer*).

2.2.2 Bantalan Rel

Bantalan berfungsi meneruskan bahan dari rel ke balas, menahan lebar sepur dan stabilitas kearah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja ataupun beton. Pemilihan didasarkan pada kelas yang sesuai dengan klasifikasi jalan rel Indonesia.

2.2.3 Rel

Rel memiliki beberapa tipe yang setiap tipenya memiliki dimensi dan ketentuan lain yang berbeda. Selain hal tersebut di atas, demi tercapainya konstruksi jembatan kereta api yang aman dan nyaman, perlu diperhatikan ruang bangun dan ruang bebas lintas kereta api.

2.3 Pondasi Bored Pile

Pondasi *bored pile* adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hary Christady Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi *bored pile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan *temporary*

casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton.

2.4 Daya Dukung Aksial

Dalam perencanaan pondasi perlu diperhitungkan daya dukung. Daya dukung Pondasi dihitung untuk mengetahui berapa jumlah tiang yang dibutuhkan sehingga pondasi mampu menahan beban yang bekerja. Nilai daya dukung aksial tiang bor didapat dari nilai terkecil dari daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan dan berdasarkan kekuatan tanah. Nilai daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan dapat diperoleh dari rumus :

$$P = A \times f_c - W \quad (1)$$

dengan :

- P = Daya dukung ijin tiang bor
- A = Luas penampang tiang bor (m²)
- F_c = Tegangan ijin beton(Mpa)
- W = Berat tiang (kN)

Daya dukung ijin tiang bor berdasarkan kekuatan tanah diperoleh dengan dua pengujian. Pengujian yang pertama dengan menggunakan data hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT). Nilai daya dukung ijin tiang bor dengan menggunakan SPT dapat diperoleh dengan rumus :

$$P = \frac{A \times Q_{ult}}{S_f} \quad (2)$$

dengan :

- P = Daya dukung ijin tiang bor
- A = Luas penampang tiang bor (m²)
- Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *bored pile* (Ton/ m²)
- S_f = Faktor aman

Kapasitas daya dukung ijin tiang bor juga dapat diperoleh dengan uji somdir atau *cone penetration test* (CPT). Untuk menghitung daya dukung *bored pile* berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{A \times Q_c}{3+k} + \frac{K \times L \times Q_f}{5} \quad (3)$$

dengan :

- P = Daya dukung ijin tiang bor
- A = Luas penampang tiang bor (m²)
- Q_c = Nilai konus rata-rata (kN/m²)
- Q_f = Nilai hambatan lekat rata-rata (kN/m²)
- K = Keliling penampang tiang bor (m)
- L = Panjang tiang bor (m)

Daya dukung aksial bor untuk tiang yang dipakai lebih dari satu, maka perlu diperhitungkan efisiensi kelompok tiang bor tersebut. Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan efisiensi daya dukung aksial dari perhitungan sebelumnya.

2.5 Perencanaan Pile Cap

Pile Cap berfungsi mengngikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. *Pile Cap* biasanya terbuat dari beton bertulang. Perencanaan *Pile Cap* dilakukan anggapan sebagai berikut (Pamungkas, 2013 : 87)

Pile Cap sangat kaku.

Ujung atas tiang menggantung pada *Pile Cap*. Karena itu, tidak ada momen luar lentur yang diakibatkan oleh ke *Pile Cap* tiang.

Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata.

2.5.1 Tinjau Terhadap Geser

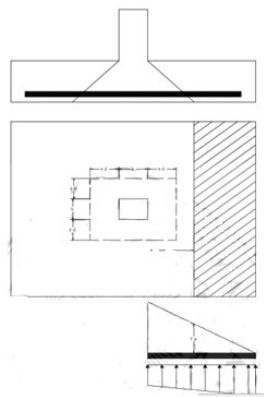
Perilaku pondasi terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan pelat (Rusdianto, 2005 : 191).

2.5.1.1 Kontrol Terhadap Geser Pons yang Bekerja Satu Arah

Penampang kritis terhadap geser pada pelat pondasi terlerak sejarak d dari muka reaksi terpusat dan terletak pada bidang yang melintang pada seluruh lebar pelat seperti yang terlihat pada gambar 2.5. Apabila hanya gaya geser dan lentur yang bekerja, maka kekuatan yang disumbangkan beton adalah

$$V_c = 1/6 .(\sqrt{f'_c}).bw.d \quad (4)$$

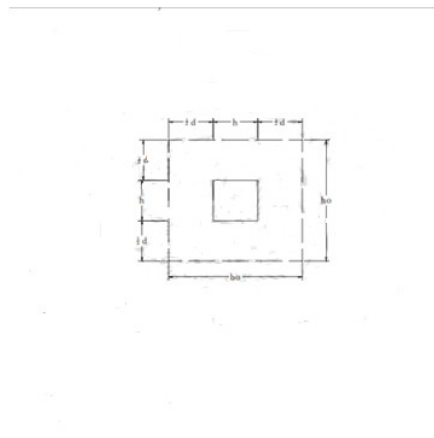
Gaya geser nominal sejarak d dari muka kolom harus lebih kecil atau sama dengan kekuatan geser beton sehingga $V_n < V_c$



Gambar 1. Penampang kritis pada pelat pondasi geser satu arah (pamungkas, 2013 : 89)

2.5.1.2 Kontrol Terhadap Geser Pons yang Bekerja Dua Arah

Bidang penampang kritis yang tegak lurus bidang pelat mempunyai keliling dengan masing-masing sisi sebesar b_o , dimana penampang kritis terjadi sejarak $1/2 d$ dari muka tumpuan yang diperlihatkan pada Gambar 2.6. Kekuatan geser beton pada penampang kritis tersebut adalah



Gambar 2. Daerah geser aksi dua arah pada pelat pondasi (Pamungkas, 2013 : 89)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian analisis dan perencanaan pondasi tiang *bored pile* ini terletak di jembatan jalur ganda kereta api BH. 132 di Way Pengubuan Kabupaten Lampung Tengah



Gambar 3. Lokasi Penelitian

3.2. Tahap Pengumpulan Data

Tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan data-data dari suatu proyek pembangunan jembatan kereta api. Metode pengumpulan data dilakukan dengan beberapa metode, antara lain :

Data sekunder

Data sekunder yang didapat antara lain data pengujian tanah. Data-data tersebut adalah data yang telah diuji yang didapat dari pihak yang terkait.

Analisis

Dengan diperolehnya data, selanjutnya dilakukan analisis. Data diolah kemudian dilakukan perencanaan dengan berpedoman pada literatur yang didapat serta bimbingan dengan dosen pembimbing.

3.3 Tahapan Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan beberapa analisis dari data yang telah diperoleh, diantaranya :

Analisis daya dukung tanah

Analisis pondasi *bored pile*

Analisis *pembesian abutmen* dan *bored pile*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Subjek penelitian pada skripsi ini adalah jembatan kereta api jalur ganda BH. 132 Way Pengubuan yang berada di Provinsi Lampung Tengah. Yang menjadi objek penelitian pada skripsi ini adalah kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* pada struktur *abutment* jembatan kereta api jalur ganda BH. 132 Way Pengubuan. Perencanaan pondasi tiang *bored pile* jembatan jalur ganda kereta api pada penelitian ini meliputi pembebanan struktur atas, pekerjaan *abutment*, pekerjaan *pile cap* dan pondasi *bored pile*. Data-data yang digunakan pada perencanaan struktur bawah ini berdasarkan data yang ada di lapangan dan hasil uji laboratorium yang dilakukan oleh instansi terkait.

4.1 Daya Dukung Aksial Ijin Tiang Bor

Menghitung daya dukung aksial menurut kekuatan bahan dengan metode kekuatan bahan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung ijin tiang bor (Pijin)} &= A \times f_c - W \\ &= 0,5024 \times 8715 - 125,6 \\ &= 4252,816 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung aksial menurut pengujian SPT (Meyerhooff)

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung ijin tiang bor (Pijin)} &= A \times q_{ult} / SF \\ &= 0,5024 \times 15000 / 3 \\ &= 2512 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung menurut Bagement (Pengujian CPT)

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung ijin tiang bor (Pijin)} &= A \times q_c / 3 + K \times L \times q_f / 5 \\ &= 0,5024 \times 24000 / 3 + 2,512 \times 10 \times 20 / 5 \\ &= 4119,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis diatas diperoleh kapasitas daya dukung aksial terkecil adalah $P = 2512$ kN

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung ijin tiang bor (Pijin)} &= P \times E_f \\ &= 2512 \times 0,6768 \\ &= 1700 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2 Gaya yang Diterima Tiang Bor

Dari kombinasi pembebanan, diperoleh :

Tabel 1 Rekapitulasi beban

No	Kombinasi Beban	Pu KN	Tux KN	Tuv KN	Mux KNm	Muv KNm
1	KOMBINASI - 1a	15.778.0	3.093.90	459.47	2.83.71	3.733.65
	KOMBINASI - 1b	15,941.62	3,093.90	257.30	2,883.71	2,862.70
	KOMBINASI - 1c	15,778.40	4,242.58	459.47	13940.6	3,733.65
	KOMBINASI - 1d	15,941.62	4,242.58	257.30	13,9408	2,862.70
2	KOMBINASI - 2a	12,687.39	3,098.60	459.47	2,914.22	3,733.65
	KOMBINASI - 2b	12,687.39	3,672.14	459.47	8,437.65	3,733.65
3	KOMBINASI - 3a	12,456.29	3,084.66	459.47	2,823.66	3,733.65
	KOMBINASI - 3b	12,652.15	3,084.66	308.76	2,823.66	3,435.24
	KOMBINASI - 3c	12,456.29	3,659.00	459.47	8,352.23	3,733.65
	KOMBINASI - 3d	12,652.15	3,659.00	308.76	8,352.23	3,435.24
4	KOMBINASI - 4	11,431.53	6,079.45	1,540.	1,6556	5,914.48

Tinjau beban arah X

$$y = 3 \text{ m}$$

$$y^2 = y^2 = 3^2 = 9 \text{ m}^2$$

$$ny = 4 \text{ buah}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\Sigma y^2 = ny \cdot y^2 = 4 \cdot 9 = 36 \text{ m}^2$$

Tinjau beban arah Y

$$y = 3 \text{ m}$$

$$y^2 = y^2 = 3^2 = 9 \text{ m}^2$$

$$ny = 4 \text{ buah}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\Sigma y^2 = ny \cdot y^2 = 4 \cdot 9 = 36 \text{ m}^2$$

$$P_{max} = Pu/n + (Mux \cdot y) / \Sigma y^2 + (Muy \cdot x) / \Sigma x^2$$

$$P_{min} = Pu/n - (Mux \cdot y) / \Sigma y^2 - (Muy \cdot x) / \Sigma x^2$$

Dari rumus diatas diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2 Rekapitulasi perhitungan Pmax dan Pmin terhadap beban arah x

No	Kombinasi Pembebanan	P (kN)	Mx (kNm)	P / n (kN)	Pxi (kN)	Pmax (kN)	Pmin (kN)
1	Kombinasi - 1a	15778,40	2883,71	986,15	108,14	1094,29	878,01
	Kombinasi - 1b	15941,62	2883,71	996,35	108,14	1104,49	888,21
	Kombinasi - 1c	15778,40	13940,86	986,15	522,78	1508,93	463,37
	Kombinasi - 1d	15941,62	13940,86	996,35	522,78	1094,29	473,57
2	Kombinasi - 2a	12687,39	2914,22	792,96	109,28	902,25	878,01
	Kombinasi - 2b	12687,39	8437,65	792,96	316,41	1109,37	476,55
3	Kombinasi - 3a	12456,29	2823,66	778,52	105,89	884,41	672,63
	Kombinasi - 3b	12652,15	2823,66	790,76	105,89	896,65	684,87
	Kombinasi - 3c	12456,29	8352,23	778,52	313,21	1091,73	465,31
	Kombinasi - 3d	12652,15	8352,23	790,76	313,21	1103,97	477,55
4	Kombinasi - 4	11431,53	16556,11	714,47	620,85	1335,325	93,62

Tabel 3 Rekapitulasi perhitungan P_{max} dan P_{min} terhadap beban arah x

No	Kombinasi Pembebanan	P (kN)	M _y (kNm)	P / n (kN)	P _{yi} (kN)	P _{max} (kN)	P _{min} (kN)
1	Kombinasi – 1a	15778,40	3733,65	986,15	140,01	1126,16	846,14
	Kombinasi – 1b	15941,62	2862,70	996,35	107,35	1103,70	889,00
	Kombinasi – 1c	15778,40	3733,65	986,15	140,01	1126,16	846,14
	Kombinasi – 1d	15941,62	2862,70	996,35	107,35	1103,70	889,00
2	Kombinasi – 2a	12687,39	3733,6	792,96	140,01	932,97	652,95
	Kombinasi – 2b	12687,39	3733	792,96	140,01	932,97	652,95
3	Kombinasi – 3a	12456,29	3733,6	778,52	140,01	918,53	638,51
	Kombinasi – 3b	12652,15	3435,24	790,76	128,82	918,58	661,94
	Kombinasi – 3c	12456,29	3733,65	778,52	140,01	918,53	638,51
4	Kombinasi – 3d	12652,15	3435,24	790,76	128,82	918,58	661,94
	Kombinasi – 4	11431,53	5914,48	714,47	221,79	936,26	492,68

Daya dukung maksimum yang membebani tiang bor :

$$P_{max} = 1508,93 \text{ kN}$$

Daya dukung ijin tiang :

$$P_{ijin} = 1700 \text{ kN}$$

Dari hasil analisis diatas diperoleh $P_{ijin} > P_{max}$ sehingga pondasi *bored pile* mampu mendukung beban yang bekerja.

4.3 Pembesian Pile Cape

Dari Tabel 4.2 dan 4.3 didapat Gaya Ultimit Maksimum (rencana) Tiang Bor (P_{max})

$$= 1519,13 \text{ kN}$$

Momen dan Gaya Geser Ultimit Pile Cap

Parameter Berat Bagian Beton

$$\begin{aligned}
 B \quad (b) &= 3,3 \text{ m} \\
 (h) &= 1,5 \text{ m} \\
 (\text{Panjang}) &= 7 \text{ m} \\
 (\text{Shape}) &= 1 \\
 (\text{Volume}) &= b \times h \times \text{Panjang} \times \text{shape} \\
 &= 3,3 \times 1,5 \times 7 \times 1 \\
 &= 34,65 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat } (W_s) &= \text{Volume} \times W_c \\
 &= 34,65 \times 25 \\
 &= 866,25 \text{ kN} \\
 \text{Lengan } (X_w) &= 1,65 \text{ m} \\
 \text{Momen } (M_s) &= W_s \times X_w \\
 &= 86,25 \times 1,65 \\
 &= 1429,313 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Beban Ultimit } (k) = 1,3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Ultimit Akibat File Cap } (M_{us}) &= K \times M_s \\
 &= 1,3 \times 1429,313 \\
 &= 1858,11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya Geser Ultimit Akibat File Cap } (W_{us}) &= K \times W_s \\
 &= 1,3 \times 866,25 \\
 &= 1126,13 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Breast Wall } (B_d) &= B_x - L_1 - L_2 \\
 &= 7 - 2,85 - 2,65 \\
 &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baris Tiang Bor } (n_y) = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 &= Bx / 2 - (L2 + \frac{1}{2} \times Bd) \\
 &= 7 / 2 - (2,65 + \frac{1}{2} \times 1,5) \\
 &= 0,1 \\
 \text{Jarak Tiang Terhadap Pusat(X)} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Lengan Terhadap Sisi Luar Dinding(Xp)} &= X - Bd / 2 + i \\
 &= 3 - 1,5 / 2 + 0,1 \\
 &= 2,35 \text{ m} \\
 \text{Momen(M)} &= ny \times P_{\text{max}} \times Xp \\
 &= 4 \times 1519,13 \times 2,35 \\
 &= 14279,86 \text{ kNm} \\
 \text{Momen Max Pada Pile Cap Akibat Reaksi Tiang Bor (Mp)} &= 14279,86 \text{ Knm} \\
 \text{Momen Ultimit Rencana Pile Cap (Mur)} &= Mp - Mus \\
 &= 14279,86 - 1858,11 \\
 &= 12421,75 \text{ kNm} \\
 \text{Lebar Pile Cap (By)} &= 7 \text{ m} \\
 \text{Momen Ultimit Rencana Per Meter Lebar(Mu)} &= Mur / By \\
 &= 12421,75 / 7 \\
 &= 1774,54 \text{ kNm} \\
 \text{Gaya Geser Rencana Pile Cap(Vur)} &= ny \times P_{\text{max}} - W_{\text{us}} \\
 &= 4 \times 1519,13 - 1126,13 \\
 &= 4950,4 \text{ kN} \\
 \text{Gaya Geser Ultimit Rencana Per Meter Lebar(Vu)} &= Vur / By \\
 &= 4950,4 / 7 \\
 &= 707,2 \text{ Kn} \\
 \text{Tulangan Lentur Pile Cap} & \\
 \text{Momen Rencana Ultimit (Mu)} &= 1774,54 \text{ kNm} \\
 \text{Mutu Beton (K)} &= 350 \\
 \text{Kuat Tekan Beton (f'c)} &= 29,05 \text{ Mpa} \\
 \text{Mutu Baja (U)} &= 40 \\
 \text{Tegangan Leleh Baja (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal Pile Cap (h)} &= 1500 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Tulangan Terhadap Sisi Luar Beton (d')} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Modulus Elastis Baja (Es)} &= 200000 \text{ Mpa} \\
 \text{Faktor Bentuk Distribusi Tegangan Beton (\beta)} &= 0,85 \\
 \rho_b &= \beta \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 600 / (600 + f_y) \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 29,05 / 400 \times 600 / (600 + 400) \\
 &= 0,0315 \\
 R_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f_c')] \\
 &= 0,75 \times 0,0315 \times 400 \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,0315 \times 400 / (0,85 \times 29,05)] \\
 &= 7,6596 \\
 \text{Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (\Phi)} &= 0,8 \\
 \text{Tebal Efektif Pile cap (d)} &= h - d' \\
 &= 1500 - 100 \\
 &= 1400 \text{ mm} \\
 \text{Lebar Pile Cap Yang Ditinjau (b)} &= 1000 \text{ MM} \\
 \text{Momen Nominal Rencana (Mn)} &= Mu / \Phi \\
 &= 1774,54 / 0,8 \\
 &= 2218,17 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Faktor Tahanan Momen (Rn)	= Mn x 10 ⁶ / (b x d ²) = 2218,17x10 ⁶ /(1000 x1400 ²) = 1,1317 Rn > Rmax ... (OK)
Rasio Tulangan yang Diperlukan ρ	= 0,85 x fc' / fy x √ [1 - 2 x Rn / (0,85 x fc')] = 0,85 x 29,05 / 400 x √ [1 - 2 x 1,1317 / (0,85 x 29,05)] = 0,0029
Rasio Tulangan Minimum (ρmin)	= 25% x 1,4 / fy = 25% x 1,4 / 400 = 0,0009
Rasio Tulangan yang Digunakan (ρ)	= 0,0029
Luas Tulangan yang Diperlukan (As)	= ρ x b x d = 0,0029 x 1000 x 1400 = 4056,2 mm ²
Diameter Tulangan yang Digunakan	= D 25
Jarak Tulangan yang Diperlukan (s)	= π / 4 x D ² x b / As = π / 4 x 25 ² x 1000 / 4056,2 = 120,96 mm
Digunakan Tulangan	D 25 - 100
Luas Tulangan(As)	= π / 4 x D ² x b / s = π / 4 x 25 ² x 1000 / 100 = 4906,25 mm ²
Untuk Tulangan Susut Diambil 50% Tulangan Pokok As'	= 50% x As = 50% x 4056,2 = 2028,1 mm ²
Diameter Tulangan yang Digunakan	= D 19
Jarak Tulangan yang Diperlukan (s)	= π / 4 x D ² x b / As = π / 4 x 19 ² x 1000 / 4056,2 = 139,73 mm
Digunakan Tulangan	D 19 - 100
Luas Tulangan(As)	= π / 4 x D ² x b / s = π / 4 x 19 ² x 1000 / 100 = 2833,85 mm ²
Tulangan Geser Pile Cap Gaya Geser Ultimit (Vu)	= Vu x 1000 = 707,20 x 1000 = 707201,29 N
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (Φ)	= 0,7
Kapasitas Geser Ultimit (Vucmax)	= 0,5 x Φ x (√fc') x b x d = 0,5 x 0,7 x (√29,05) x 1000 x 1400 = 2641004,54 N
Vu < Vucmax ... Dimensi aman terhadap geser (Vc)	= 1/6 x (√fc') x b x d = 1/6 x (√29,05) x 1000 x 1400 = 1257621,21 N
Gaya Geser yang Ditahan oleh Beton	= Φ x Vc = 0,7 x 1257621,21

$$= 880334,8479 \text{ N}$$

$$V_u < \Phi \times V_c \dots \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

Kontrol Terhadap Geser Pons

Kuat Geser Pons yang Disyaratkan (f_v) $= 0,3 \times \sqrt{f_c'}$
 $= 0,3 \times \sqrt{29,05}$
 $= 1,62 \text{ Mpa}$

Faktor Reduksi Kekuatan Geser (Φ) $= 0,7$

Jarak Antara Tiang Bor Arah x (X) $= 2000 \text{ mm}$

Jarak Antara Tiang Bor Arah y (Y) $= 2000 \text{ mm}$

Jarak Tiang Bor Terhadap Tepi (a) $= 500 \text{ mm}$

$r = X / 2$
 $= 2000 / 2$
 $= 1000 \text{ mm}$

$r = Y / 2$
 $= 2000 / 2$
 $= 1000 \text{ mm}$

Maka Diambil (r) $= 1000 \text{ mm}$

$ht = h$
 $= 1500 \text{ mm}$

$hp = h$
 $= 1500 \text{ mm}$

$L1 = 3300 \text{ mm}$

Tebal Bidang Kritis Geser Pons (h_k) $= hp + (r + a) / L1 \times (ht - hp)$
 $= 1500 + (1000 + 500) / 3300 \times (1500 - 1500)$
 $= 1500 \text{ mm}$

Tebal Efektif Bidang Kritis Geser Pons (d) $= h - d'$
 $= 1500 - 100$
 $= 1400 \text{ mm}$

Panjang Total Bidang Kritis (L_v) $= 2 \times (r + a) + \pi / 2 \times r$
 $= 2 \times (1000 + 500) + \pi / 2 \times 1000$
 $= 4570 \text{ mm}$

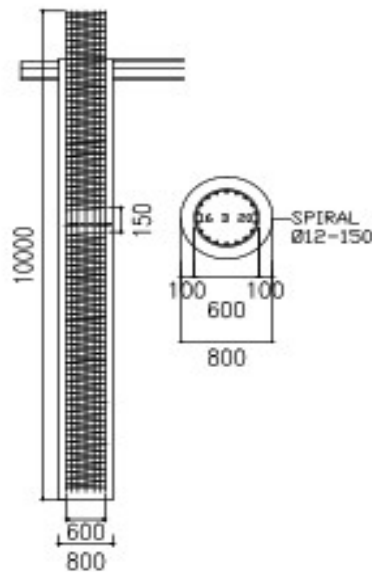
Luas Bidang Kritis Geser Pons (A_v) $= L_v \times h$
 $= 4570 \times 1500$
 $= 6855000 \text{ mm}^2$

Gaya Geser Pons Nominal (P_n) $= A_v \times f_v$
 $= 6855000 \times 1,62$
 $= 11084134,38 \text{ N}$

Kapasitas Geser Pons $= \Phi \times P_n$
 $= 0,7 \times 11084134,38$
 $= 7758894,06 \text{ N}$
 $= 7758,89 \text{ kN}$

Reaksi Ultimit Satu Tiang Bor (P_{umax}) $= 1519,13 \text{ kN}$

$P_{umax} < \Phi \times P_n \text{ Aman} \dots\dots(\text{Ok})$



Gambar 4. Penulangan Pondasi Bore Pile

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perencanaan pondasi pada jembatan kereta api jalur ganda BH.132 Way Pengubuan Provinsi Lampung Tengah diperoleh kesimpulan :

Hasil analisis daya dukung ijin pondasi bored pile untuk satu tiang adalah 1700 kN.

Formasi pondasi bored pile untuk satu abutment adalah 4 x 4 sehingga jumlah tiang bored pile sebanyak 16 buah dengan panjang 7 meter. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa nilai daya dukung ijin tiang sebesar 1700 kN lebih besar dari daya dukung maksimum yang membebani tiang sebesar 1508,93 kN sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur bawah jembatan mampu menahan beban dari struktur atasnya. Pondasi yang digunakan adalah *borepile* dengan diameter tiang 10000 mm dan tebal selimut 100 mm. Tulangan yang digunakan adalah 16 D20 dengan tulangan spiral D12-150

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph, E., 1983, *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1 Edisi ke 3*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja, M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Erlangga, Surabaya.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hadihardaja, Joetata., 1997, *Rekayasa Pondasi II Pondasi Dangkal dan Pondasi Dalam*, Gunadarma.