

Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Statis Dan Dinamis Pada Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar

Klotok Budi Hastono¹, Annisa Kesya Garside²

^{1,2} Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Klotok Budi Hastono
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang
E-mail: budihastono@gmail.com

Abstrak

Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar sepanjang 38,3 Km yang menghubungkan Krian Kabupaten Sidoarjo sampai dengan Manyar Kabupaten Gresik. Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar ini memiliki 2 (dua) simpang susun yang berada pada Sta 9+700 (*Interchange Kedamean*) dan Sta 22+800 (*Interchange Cerme*). Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar memiliki beberapa tipe konstruksi yaitu *at grade* dan *elevated*, konstruksi *elevated* juga memiliki 2 tipe konstruksi yaitu konstruksi jembatan dan konstruksi pile slab. Salah satu jembatan yang berada pada Desa Putat Lor pada Sta 17+250 – 17+275 yang membentang diatas sungai yang terdiri dari 1 span girder dengan bentang 24,80 meter dengan menggunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm.. Dari penelitian ini didapat daya dukung ijin kelompok tiang berdasarkan metode statis sebesar 2,824.124 ton pada kedalaman 36 meter sehingga dapat dinyatakan mampu memikul beban. Sedangkan untuk daya dukung ijin kelompok tiang berdasarkan metode dinamis yaitu 2,045.508 ton pada P1 dan 1,687.897 ton pada P2 dengan menggunakan formula *Engineering News Record (ENR) (1888)* sehingga berdasarkan formula ini dinyatakan pondasi tidak mampu memikul beban. 2,561.045 ton pada P1 dan 2,112.847 ton pada P2 dengan menggunakan formula *modified ENR formula (1965)*, dari formula ini dapat dinyatakan daya dukung pondasi kelompok tiang pada P1 dinyatakan mampu memikul beban namun daya dukung pada P2 tidak mampu memikul beban. Serta menggunakan formula *Janbu (1953)* 4,347.065 ton pada P1 dan 3,414.448 ton dan dengan formula ini daya dukung ijin pondasi tiang kelompok dapat dinyatakan mampu memikul beban.

Kata kunci: Kapasitas Daya Dukung, Pondasi Tiang Pancang, Dinamis, Statis

1. Pendahuluan

Menurut Peraturan Pemerintah No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol pengertian jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Berdasarkan Undang-undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, dinyatakan bahwa wewenang penyelenggaraan jalan tol berada pada pemerintah yang meliputi pengaturan, pembinaan, pengusahaan, dan pengawasan. Tujuan dari pada pembangunan jalan tol yaitu untuk meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi sebagai salah satu penunjang untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi pada suatu daerah.

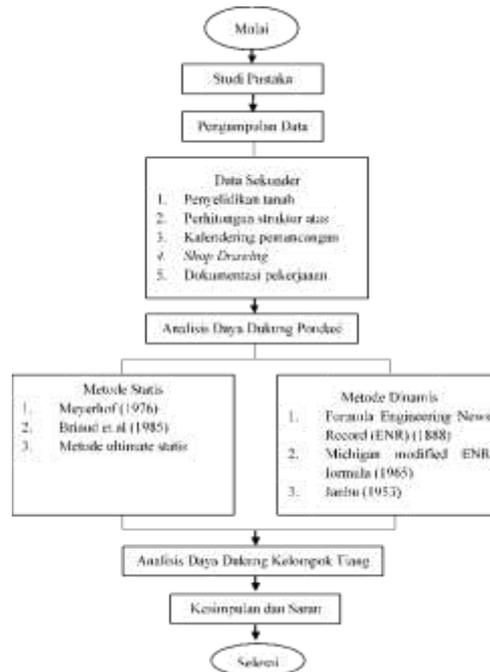
Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar mempunyai panjang 38,3 Km yang menghubungkan Krian Kabupaten Sidoarjo sampai dengan Manyar Kabupaten Gresik. Dengan adanya pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar ini diharapkan meningkatkan kenyamanan pengguna kendaraan dan juga kepadatan di daerah tersebut berkurang, sehingga dapat melancarkan lalu lintas di daerah tersebut dan meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi. Proyek Pembangunan Jalan Krian-Legundi-Bunder-Manyar ini adalah Proyek Strategis Nasional sesuai dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 58 Tahun 2017 tanggal 15 Juni 2017. Proyek Strategis Nasional adalah Proyek yang dilaksanakan Pemerintah atau badan usaha yang langsung diawasi oleh Presiden dan juga memiliki sifat strategis untuk peningkatan pertumbuhan dan pemerataan pembangunan dalam rangka meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan pembangunan daerah.

Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar ini memiliki 2 (dua) simpang susun yang berada pada Sta 9+700 (*Interchange Kedamean*) dan Sta 22+800 (*Interchange Cerme*). Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar memiliki beberapa tipe konstruksi yaitu *at grade* dan *elevated*, konstruksi *elevated* juga memiliki 2 tipe konstruksi yaitu konstruksi jembatan dan konstruksi pile slab. Salah satu jembatan yang berada pada Desa Putat Lor pada Sta 17+250 – 17+275 yang membentang diatas sungai yang terdiri dari

1 span girder dengan bentang 24.80 meter. Jembatan ini menggunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm dengan 36 tiang pancang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi terhadap pemancangan yang dilaksanakan pada Jembatan Putat Lor tersebut dan menganalisa daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode statis dan dinamis.

2. Metode Penelitian

Metodologi yang dilakukan untuk analisis daya dukung tiang pancang ini yaitu mengumpulkan studi pustaka yang sesuai dengan pembahasan utama, pengumpulan data sekunder yang dibutuhkan pada analisis daya dukung tiang pancang dan perhitungan daya dukung menggunakan metode statis dan dinamis.



Gambar 1 Bagan alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Penyelidikan Tanah

Sebelum dilakukan pemancangan, dilaksanakan penyelidikan tanah (*soil investigation*) dengan tujuan untuk mengetahui daya dukung tanah serta sebagai pedoman untuk menentukan konfigurasi. Dari hasil penyelidikan tanah didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 1 Data penyelidikan tanah

Kedalaman (m)	N-SPT	Berat Volume (γ _d) (gr/cm ³)	Berat jenis	Kohesi (c) (kg/cm ²)	φ (°)
2	1.00	1.143	2.624	0.30	15.00
4	2.00	1.017	2.597	0.36	9.00
6	2.00	1.102	2.603	0.33	12.00
8	7.00	0.973	2.587	0.39	7.00
10	5.00	0.949	2.583	0.40	6.00
12	8.00	0.988	2.594	0.37	8.00
14	10.00	1.019	2.607	0.35	11.00

16	13.00	0.983	2.616	0.30	14.00
18	16.00	0.994	2.613	0.34	11.00
20	19.00	1.017	2.621	0.29	16.00
22	21.00	1.046	2.612	0.31	14.00
24	23.00	0.967	2.626	0.28	16.00
26	18.00	0.957	2.608	0.32	13.00
28	22.00	0.944	2.611	0.27	17.00
30	23.00	0.980	2.606	0.34	12.00
32	24.00	1.102	2.632	0.27	18.00
34	20.00	1.138	2.627	0.28	17.00
36	24.00	1.069	2.585	0.41	5.00
38	24.00	1.015	2.609	0.31	15.00
40	25.00	1.104	2.605	0.33	13.00
42	26.00	1.137	2.589	0.40	6.00
44	23.00	1.144	2.598	0.37	9.00
46	21.00	1.113	2.592	0.38	7.00
48	18.00	1.142	2.596	0.39	8.00
50	20.00	1.090	2.581	0.42	5.00
52	29.00	1.087	2.604	0.36	10.00
54	33.00	1.105	2.602	0.35	10.00
56	46.00	1.268	2.643	0.26	18.00
58	48.00	1.195	2.678	0.25	20.00
60	52.00	1.188	2.654	0.26	19.00

Sumber: Data sekunder proyek jalan tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar

Dari data tanah yang didapat dari hasil penyelidikan tanah diatas, dilakukan perhitungan koreksi nilai N-SPT yaitu pada tanah yang mengandung pasir halus atau pasir berlanau yang terletak di bawah muka air dan nilai N-SPT lebih dari 15 (N'). nilai N juga dikoreksi akibat pengaruh tekanan *overburden* (N_{60}) dan juga pengaruh prosedur lapangan (N_{60}'). Berikut hasil perhitungan perhitungan koreksi nilai N:

Tabel 2 Rekapitulasi perhitungan nilai N

Kedalaman (m)	N-SPT	N_{60}	N_{60}'
2	1.00	0.78	1.61
4	2.00	1.56	2.34
6	2.00	1.56	1.91
8	7.00	5.45	5.86
10	5.00	3.90	3.78
12	8.00	6.23	5.54
14	10.00	7.79	6.42
16	13.00	10.13	7.83
18	16.00	12.47	9.10
20	19.00	14.80	10.25
22	21.00	16.36	10.79
24	23.00	17.92	11.34
26	18.00	14.03	8.54
28	22.00	17.14	10.09

30	23.00	17.92	10.20
32	24.00	18.70	10.27
34	20.00	15.58	8.27
36	24.00	18.70	9.64
38	24.00	18.70	9.38
40	25.00	19.48	9.50
42	26.00	20.26	9.62
44	23.00	17.92	8.30
46	21.00	16.36	7.40
48	18.00	14.03	6.19
50	20.00	15.58	6.74
52	29.00	22.60	9.57
54	33.00	25.71	10.68
56	46.00	35.84	14.56
58	48.00	37.40	14.89
60	52.00	40.52	15.83

3.2 Perhitungan Struktur Atas

Berdasarkan hasil analisa struktur, didapat gaya reaksi perletakan satu tiang akibat beban normal sebesar 40.27 ton, reaksi satu tiang akibat beban normal dan gempa sebesar 90.20 ton, reaksi grup tiang akibat beban normal 1 sebesar 998.20 ton dan reaksi grup tiang akibat beban normal dan gempa = 2520.58 ton.

3.3 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Statis [1]

Meyerhof

Berikut persamaan yang disarankan oleh Meyerhof [1]:

Untuk tiang dalam pasir dan kerikil

$$f_b = 0,4N_{60}' \left(\frac{L}{d}\right) \quad r \leq 4N_{60}' \quad r(kN/m^2) \quad (1)$$

Untuk tiang dalam lanau tidak plastis

$$f_b = 0,4N_{60}' \left(\frac{L}{d}\right) \quad r \leq 3N_{60}' \quad r(kN/m^2) \quad (2)$$

Nilai persamaan di atas diberikan bila $L/d \geq 10$ untuk pasir dan kerikil dan $L/d \geq 7,5$ untuk lanau. Sedangkan untuk menghitung tahanan gesek satuan (f_s), Meyerhof [1] menyarankan persamaan berikut ini:

Untuk tiang perpindahan besar (tiang pancang) pada tanah tidak kohesif (pasir) yaitu:

$$f_s = \frac{1}{50} \quad r \quad N_{60}'(kN/m^2) \quad (3)$$

Untuk tiang dalam lanau tidak plastis

$$f_s = \frac{1}{100} \quad r \quad N_{60}'(kN/m^2) \quad (4)$$

Briaud et al

Selain metode Meyerhof, Briaud, et al. [2] menyarankan persamaan tahanan ujung satuan sebagai berikut:

$$f_b = 19,7 \quad r \quad (N_{60}')^{0,36}(kN/m^2) \quad (5)$$

Sedangkan untuk tahanan gesek satuan Briaud, et al. [2] menyarankan persamaan tahanan gesek satuan sebagai berikut:

$$f_s = 0,224 \quad r (N_{60}')^{0,29} (kN/m^2) \quad (6)$$

Ultimit statis

Persamaan umum untuk menghitung kapasitas dukung ultimit tiang tunggal adalah sebagai berikut:

$$Q_u = A_b (C_b N_c + p_b N_b + 0.5d N_s) + A_s (c_d + K_d P_o tg) - W_p \quad (7)$$

3.4 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Dinamis [3]

Engineering News Record (ENR)

$$Q_u = \frac{W_h h}{s+c} E \frac{W_h + n^2 W_p}{W_h + W_p} \quad (8)$$

Michigan Modified ENR Formula

$$Q_u = \frac{1.25 K_h}{s+c} E \frac{W_h + n^2 W_p}{W_h + W_p} \quad (9)$$

Janbu (1953)

Rumus yang disarankan oleh Janbu [4] adalah sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{K_u s} \quad (10)$$

dengan

$$K_u = C_d \left[1 + \left(1 + \frac{1}{C_d} \right)^{1/2} \right] \quad (11)$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \quad (12)$$

$$= \frac{e_h E_h L}{A E s^2} \quad (13)$$

3.5 Daya Dukung Kelompok Tiang [5]

Efisiensi kelompok tiang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_g = 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn} \quad (14)$$

Sehingga daya dukung ujung kelompok dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_g = E_g n Q_a \quad (15)$$

Converse-Labarre

Dengan menganggap grup tiang sebagai sebuah blok solid, maka dimensi dari blok grup tiang tersebut adalah:

$$B_g = (n - 1)S_n + B \quad (16)$$

dan

$$L_g = (m - 1)S_m + B \quad (17)$$

Sehingga daya dukung ujung kelompok dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{g,p} = \frac{B_g L_g}{m n A_p} \quad (18)$$

Daya dukung ijin pondasi tiang tunggal menggunakan metode statis dengan menggunakan formula Meyerhof, Briaud et al dan ultimit statis pada kedalaman 36 yaitu 45.72 ton, 70.88 ton dan 88.23 ton. Sedangkan daya dukung ijin menggunakan metode dinamis dengan menggunakan formula ENR, Michigan dan Janbu yaitu 74.79 ton, 93.86 ton dan 159.32 ton pada P1 dan 61.86 ton, 77.46 ton dan 125.14 ton pada P2. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2 Grafik perbandingan daya dukung tiang pancang pada P1
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 3 Grafik perbandingan daya dukung tiang pancang pada P2
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4 Grafik perbandingan daya dukung kelompok
Sumber: Hasil perhitungan

4. Kesimpulan

Daya dukung ijin pondasi tiang tunggal menggunakan metode statis untuk formula Meyerhof, Briaud et al dan ultimit statis pada kedalaman 36 masing-masing sebesar 45.72 ton, 70.88 ton dan 88.23 ton, Sedangkan daya dukung ijin menggunakan metode dinamis dengan menggunakan formula ENR, Michigan dan Janbu masing-masing sebesar 74.79 ton, 93.86 ton dan 159.32 ton pada P1 dan 61.86 ton, 77.46 ton dan 125.14 ton pada P2. Daya dukung menggunakan formula Michigan lebih besar 25.197% daripada formula ENR, daya dukung menggunakan formula Janbu lebih besar 112.512% dari pada formula ENR dan daya dukung menggunakan formula Janbu lebih besar 69.742% daripada formula Michigan. Daya dukung menggunakan formula Briaud et al lebih besar 55.031% daripada Meyerhof, daya dukung menggunakan formula Ultimit statis lebih besar 92.979% daripada Meyerhof dan daya dukung menggunakan formula Ultimit statis lebih besar 24.478% dari pada Briaud et al. Daya dukung

tiang pancang tunggal menggunakan metode statis dengan formula Meyerhof, Briaud et al dan Ultimit statis pada kedalaman 36 meter dinyatakan tidak aman. Daya dukung menggunakan metode dinamik dengan formula ENR pada P1 dan P2 dinyatakan tidak aman, daya dukung dengan formula Michigan pada P1 dinyatakan aman tetapi tidak aman pada P2, daya dukung dengan formula Janbu pada P1 dan P2 dinyatakan aman.

Dalam pelaksanaan pemancangan, disarankan untuk melakukan pengawasan terhadap tinggi jatuh *hammer* karena dapat mempengaruhi daya dukung. Sebagai perbandingan nilai daya dukung, evaluasi daya dukung dapat dilakukan menggunakan formula lain dan untuk hasil yang lebih akurat disarankan untuk melakukan pengujian dengan *Pile Dynamic Analyzer* (PDA test) dan analisa CAPWAP serta dengan melakukan *loading test*.

Daftar Notasi

f_b	: tahanan ujung satuan tiang (kN/m ²)
f_s	: tahanan gesek satuan tiang (kN/m ²)
r	: tegangan referensi = 100 kN/m ²
N_{60}	: <i>N-SPT</i> yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja.
N_{60}'	: <i>N-SPT</i> yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan <i>overburden</i> .
L	: kedalaman penetrasi tiang (m)
d	: diameter tiang (m)
r	: tegangan referensi = 100 kN/m ²
$P_o = \sum_{i=1}^n \sigma_{vi} z_i$: tekanan <i>overburden</i> rata-rata di sepanjang tiang
δ	: sudut gesek antara sisi tiang dan tanah
A_b	: luas tampang ujung bawah tiang
A_s	: luas selimut tiang
K_d	: koefisien tekanan tanah lateral pada sisi tiang
p_b	: tekanan <i>overburden</i> di ujung bawah tiang.
W_p	: berat dari tiang yang ditumbuk (ton)
E	: efisiensi dari mesin penumbuk
n	: koefisien restritusi yang tergantung dari jenis material penahan tumbukan (bantalan diatas kepala tiang pancang)
K_h	: energi palu (<i>hammer</i>) dari spesifikasi pabrik (lb-in) (bila tidak ada data pabrik $K_h = W_h h$, energi potensial palu <i>hammer</i>) (t.m)
C	: konstanta yang ditentukan sebesar 0.1 inchi (m)
e_h	: efisiensi alat
W_r	: berat pemukul (ton)
W_p	: berat tiang (ton)
E_h	: $W_r \cdot h$
A	: luas tiang (m ²)
E	: modulus elastisitas tiang (ton/m ²)
L	: panjang tiang (m)
ψ	: $\tan^{-1} B/S$ dalam satuan derajat
B	: diameter atau lebar dari tiang individu
S	: jarak antar pusat ke pusat tiang
n	: jumlah tiang pada satu arah (baris)
m	: jumlah tiang pada satu arah (kolom)
B_g	: lebar dasar grup tiang, untuk lebar terluar.
L_g	: panjang dasar grup tiang, untuk panjang terluar.
S_n	: spasi tiang pada arah untuk menentukan nilai B_g
S_m	: spasi tiang pada arah untuk menentukan nilai L_g
B	: diameter (atau lebar) dari tiang individual

Referensi

- [1] G. G. Meyerhof, "Bearing capacity and settlement of pile foundations," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, vol. 102, no. 3, pp. 197-228, 1976.
- [2] J. Briaud, A. Noubani, J. Kilgore, and L. Tucker, "Correlation between pressuremeter data and other parameters," *Civil Engineering Research Report, Texas A&M Univ., Tex*, 1985.
- [3] J. E. Bowles, *Foundation Analysis And Design*, 5 ed. Auckland: New York, 1997.
- [4] N. Janbu, "Une analyse energetique du battage des pieux a l'aide de parametres sans dimension," *Norwegian Geotech. Inst*, pp. 63-64, 1953.
- [5] H. Sardjono, "Pondasi Tiang Pancang," 2 ed. Surabaya: Sinar Jaya Wijaya, 1988.