

ANALISA DAYA DUKUNG FONDASI *BORED PILE* DAN *SETTLEMENT* PADA JEMBATAN CIBEURANG RUAS JALAN CIPANAS – WARUNG BANTEN

Sugeng Catur Wibowo¹, Nila Prasetyo Artiwi² dan Bambang Hariyanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Banten Jaya, Jl. Raya Ciwaru II No.73 Kota Serang, Banten Jurusan Teknik Sipil

Email : wibowocatur3313@gmail.com

Email : prasetyonila2@gmail.com

Email : bambanghariyanto@unbaja.ac.id

ABSTRAK

Ruas Jalan Cipanas – Warung Banten merupakan akses menuju tempat wisata negeri di atas awan Banten yang kondisi jalan dan jembatannya mengalami kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung fondasi bored pile dan penurunannya, dan mengetahui dan membandingkan kapasitas daya dukung tiang dari data *Standart Penetration Test* (SPT) dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada jembatan Cibeurang. Manfaat dari Penelitian ini untuk menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan penggunaan jenis fondasi pada pembangunan jembatan Cibeurang. Pembangunan Jembatan Cibeurang menggunakan jenis fondasi *bored pile* berdiameter 80 cm. Metode analisis daya dukung fondasi menggunakan data N-SPT dan hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA test) dilapangan dengan metode konvensional yaitu Metode, sedangkan perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan Metode *Vesic*. Nilai pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada ABT 2 BP14 adalah sebesar 466 ton dan hasil perhitungan secara analitik (Metode *Reese & wright*) adalah 461,15 ton. Berdasarkan hasil perhitungan untuk kapasitas aksial murni *bored pile* adalah 10.451 kN sedangkan kapasitas lateral untuk defleksi 0,25 inch adalah 741,5 kN dan untuk defleksi 1 inch sebesar 1.612,1 kN. Perhitungan menggunakan Metode *Vesic* mendapatkan besar penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tiang *bored pile* tunggal adalah 1,1 cm, dan penurunan yang diijinkan sesuai perhitungan adalah 8 cm.

Kata Kunci: Jembatan, N-SPT, *Pile Driving Analyzer*, *Fondasi Bored Pile*,

PENDAHULUAN

Ruas Jalan Cipanas – Warung Banten merupakan akses yang digunakan untuk menuju tempat wisata negeri di atas awan yang saat ini tengah naik daun di wilayah Banten. Kondisi ruas jalan Cipanas-Warung Banten saat ini mengalami kerusakan di beberapa titik, akibat longsor, jalan yang berlubang atau rusak, jembatan yang mengalami kerusakan sedang hingga berat dan lain sebagainya. Konstruksi beton memiliki keunggulan antara lain mempunyai kuat tekan tinggi, tahan terhadap karat, mudah diangkat dan dibentuk, serta tahan terhadap kebakaran. Beton memiliki kelemahan berupa beban mati struktur yang sangat besar karena memiliki berat jenis yang cukup besar.

Struktur bangunan beton terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Salah satu konstruksi bangunan yang terbuat dari beton adalah jembatan yang merupakan suatu bangunan penghubung sungai/saluran air, lembah atau bangunan yang menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam merencanakan pembangunan jembatan, fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, Aspek teknis, dan aspek estetika merupakan hal-hal yang harus dipertimbangkan sebelumnya (*Bridge Management System*, 1992)

Fondasi sebagai struktur bawah suatu konstruksi merupakan pendukung konstruksi di atasnya (gedung, jembatan, jalan raya, tanggul, menara, terowongan, dinding penahan tanah, dan lain-lain) harus kuat dan kokoh karena berfungsi menyalurkan beban vertikal di atasnya (kolom) maupun beban horizontal ke tanah. Fondasi bangunan pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu fondasi dangkal (*Shallow Foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). (*Hardiyatmo*, 2010). *Bored Pile* merupakan salah satu

jenis fondasi dalam, fondasi tiang yang dalam perencanaannya harus memperhatikan faktor daya dukung tanah dan faktor aman untuk menghindari keruntuhan akibat penggeseran, dan perkiraan penurunan (*settlement*) yang akan terjadi. Banyak digunakan apabila lapisan tanah atas begitu lunak sehingga tidak dapat dipakai fondasi langsung ataupun fondasi plat (Wesley, 2017)

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan kapasitas dan daya dukung fondasi *bored pile* menggunakan data sekunder *Standard Penetration Test* (SPT) dengan hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang ada pada fondasi Jembatan Cibeurang. SPT merupakan pengujian tanah di lapangan untuk mengetahui kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, sehingga diketahui jenis tanah dan ketebalan tiap-tiap lapisan kedalaman tanah, sifat rekayasa geoteknik tanah bawah permukaan, terutama untuk tanah tanpa kohesi. Uji SPT dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran, baik untuk mengetahui sifat perlawanan dinamik tanah juga sekaligus melakukan pengambilan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) dengan teknik penumbukan. Pada uji SPT, percobaan dinamis dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter dalam 35 cm sedalam 15 cm, dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 75 cm. Kegunaan pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 30 cm dinyatakan sebagai nilai N. (Wesley, 2017). Uji PDA adalah suatu metode uji dinamik untuk mengukur kapasitas ultimate aksial tekan tiang, penurunan akhir, keutuhan tiang dan energi yang berasal dari tumbukan hammer yang dilakukan pada jenis fondasi dalam. Pengujian ini menggunakan sensor yang dipasang berlawanan untuk mendapatkan data. Dari data SPT dan PDA bisa dijadikan rekomendasi pemilihan jenis fondasi dalam pembangunan jembatan Cibeurang. Daya dukung ultimit tiang tunggal dihitung dengan menggunakan metode Reese & O' Neil (1989), rumus yang digunakan yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots(1)$$

Dimana Q_u = daya dukung Ultimit Tiang (ton)

Q_b = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

Daya dukung ultimit adalah beban maksimum persatuan luas yang masih dapat didukung oleh fondasi, dengan tidak terjadi kegagalan geser pada tanah yang mendukungnya. (Hardiyatmo, 2019)

$$\text{Daya dukung ujung tiang } Q_b = f_b \cdot A_b \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Dimana } f_b = 0.60 \sigma_r N_{60} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan f_b = Tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

σ_r = Tegangan referensi = 105.6 (kPa)

$$A_b = \text{Luas penampang tiang, } A_b = (\pi \cdot D^2) / 4 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(4)$$

D = Diameter tiang (m)

$$N_{60} = \frac{E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r}{0.60} \times NSPT \dots\dots\dots(5)$$

N_{60} = Nilai koreksi SPT terhadap cara pengujian; NSPT = Nilai hasil SPT lapangan

E_f = Efisiensi pemukul (*Hammer*); C_b = koreksi diameter lubang bor; C_s = koreksi tipe tabung sampler;

CR = koreksi panjang batang bor (Hardiyatmo, 2019)

Tabel 1. SPT hammer efficiencies Clayton (1990)

Country	Hammer Type	Hammer release mechanism	Hammer Efficiency
Argentina	Donut	Cathead	0.45
Brazil	Pin weight	Hand dropped	0,72
China	Automatic	Trip	0.60
	Donut	Hand dropped	0.55
	Donut	Cathead	0.50
Colombia	Donut	Cathead	0.5
	Donut	Tombi trigger	0.78-0.85
Japan	Donut	Cathead 2 turns+ Special release	0.65-0.67
UK	Automatic	Trip	0.73
	Safety	2 turns on cathead	0.55-0.60
USA	Donut	2 turns on cathead	0.45
Venezuela	Donut	Cathead	0.43

Sumber : L.D.Wesley, Mekanika Tanah, 2017

Daya dukung selimut tiang menggunakan Metode Beta(β metode) pada tanan non kohesi yaitu sebagai berikut : $Q_s = \Sigma fs$. As Untuk rumus fs adalah : $fs = \beta \sigma_v$ Untuk menghitung β Langsung menggunakan rumus Reese and O'Neill (1989). Untuk N_{60} 15 maka $\beta = 1.5 - 0,245\sqrt{z}$ Sedangkan untuk menghitung σ_v yaitu sebagai berikut : $\sigma_v = zy$ Dengan : fs = Gesekan selimut tiang (kN/m²) As = Luas permukaan keliling tiang $As = \pi D (m^2)$ σ_v = Tegangan Efektif tanah (kN/m²) Z = Kedalaman dari permukaan tanah ketitik tengah strata(m) γ = Berat isi tanah (kN/m³)

Menghitung besarnya penurunan tianggal tunggal dengan cara metode *vesic*, rumus yang digunakan yaitu (Joseph E. Bowles, 1997):

$$S = \frac{D}{100} + \frac{QL}{Ab.Ep} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

Q = Beban kerja tiang.

D = Diameter tiang.

L = Panjang tiang.

Ab = Luas ujung tiang bawah.

Ep = Modulus elastisitas material tiang.

A = 0,40 untuk distribusi gesekan sepanjang tiang

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode matematis, banyak menggunakan rumus dan perhitungan angka. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data *Standard Penetration Test (SPT)* . Cara perhitungan menggunakan metode *Reese & Wreight* serta *Vesic*. Dari hasil perhitungan akan diketahui nilai total *ultimate capacity, total allowable capacity and settlement*. Perhitungan kapasitas aksial dan lateral pada *bored pile* diameter 80 cm dengan menggunakan aplikasi LPile v2013 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Perletakan (landasan) pada jembatan Cibeurang menggunakan gelagar menumpu di atas perletakan Lead Rubber Bearing.

1. Kapasitas Daya Dukung Tiang Dari Data SPT

a. Metode *Reese* dan *Wreight*

Perhitungan kapasitas daya dukung Tiang *bored pile* dari data SPT menggunakan metode *Reese (1998)* dan *Skempton (1951)*, (Joseph E. Bowles, 1997), dan data diambil pada titik salah satu titik yang terdekat dari lokasi *Pile cape*, pada kedalaman 13 m .

Data *Bored Pile* terdiri atas :

Diameter tiang (d) = 80 cm

Keliling tiang (p) = $\pi.d = 2.512$ m

Luas Tiang *bored pile* (A_p)= $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 0,5024$ m²

Nilai $N_{spt} = 60$ (hasil penyelidikan tanah Dilapangan Pengujian SPT)

Jenis Tanah = non-kohesif

Tahanan ujung tiang $Q_b = q_b.A_p$

Dimana q_b adalah tahanan ujung tiang dan A_p luas penampang tiang bor.

Unit tahanan ujung, q_b untuk tanah lempung, menurut skempton (1951) :

$Q_b \leq 40$ tons/ft² (3800 kPa)

Sedangkan unit tahanan ujung, q_b untuk tanah pasir dengan persamaan :

$Q_b = 57,5 . N_{spt}$ (kPa), untuk rentang NSPT antara 0 – 75, dengan nilai $q_b = 57,5$

$Q_b = 4300$ kPa, untuk NSPT di atas 75,

Dalam perhitungan ini digunakan nilai NSPT lapangan sebesar 60, sehingga $Q_b = (57,5 \times 60) = 34,5$ ton/m² .Daya dukung ujung fondasi tiang *bored pile (end bearing)*, (*Reese & skempton 1951*)

untuk tanah non-kohesif, $Q_p = 7.N'.A_p = 69,280$ ton

Dimana, N' : Rata – rata NSPT, A_p : Luas tiang bor

Koefisien perlawanan ujung tiang yang di anjurkan 7.

Untuk tanah kohesif , $Q_p = 9 \times C_u \times A_p$

Dimana, C_u : *Undrained Shear Strength*

$$C_u = N_{spt} \times \frac{2}{3} \times 10 = 40,0 \text{ t/m}^2$$

Sehingga nilai Q_p adalah 1808,64 ton

Tahanan ujung tiang, q_b untuk tanah lempung (skempton 1951)

$$Q_b = N_c \cdot C_u$$

Daya dukung selimut tiang *bored pile (skin friction)*, Reese & Wright (1977).

Untuk tanah non-kohefif, $Q_s = 0,2 \times N_{spt} \times \text{Parimeter} \times L_i = 391,87 \text{ t/m}^2$.

Untuk tanah Kohefif, $Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot P \cdot L = 2112 \text{ ton/m}^2$; maka daya dukung ultimate tiang *bored pile* tunggal dengan menggunakan metode Reese & O'Neil (1989), yaitu : $Q_u = Q_p + Q_s = 461,15 \text{ ton}$.

Daya dukung Bored Pile berdasarkan hasil Pile Driving Analyzer (PDA) test

Hasil PDA test pada bored pile BP14 Abutment 2 di dapat untuk besarnya daya dukung tiang tunggal sebesar 466 ton. (Dokumen Proyek, 2021)

Menghitung Penurunan (*Settlement*)

Penurunan Pada Tiang Tunggal dengan Menggunakan Metode Vesic, dengan $Q = 240 \text{ Ton}$, $\alpha = 0,40$, $D = 0,8 \text{ m}$, $A_p = 0,5024 \text{ m}^2$, $P = \pi \cdot D = 2,512$, $L = 13 \text{ m}$, $E_p = 4700 \cdot \sqrt{29.1} = 25353,8754 \text{ Mpa}$ ($= 2535387,54 \text{ T/m}^2$), $S = \text{Penurunan total kepala tiang} = 0,011 \text{ m}$

Jadi, penurunan yang terjadi pada kedalaman tiang 13 meter dengan Metode Vesic adalah sebesar : 1,1 cm dan penurunan hasil PDA test pada *bored pile* Jembatan Cibeurang adalah sebesar : 1,28 mm.

Penurunan Yang Di Ijinkan

$S_{total} \leq S_{ijin}$; $S_{ijin} = 10\% \cdot D$, dengan nilai $D = \text{Diameter tiang}$ adalah 0,8 m, maka didapat $S_{ijin} = 10\% \cdot D = 8 \text{ cm}$. (SNI, 1725:2016. *Pembebanan untuk Jembatan*)

Menghitung Kapasitas Lateral Fondasi Bored Pile Diameter 80 cm

Analisis kapasitas lateral tiang dilakukan berdasarkan metode p-y, dimana tahanan tanah sebagai fungsi non-linier terhadap deflesi tiang. Analisis ini dilakukan dengan memodelkan tiang bor diameter 80 cm menggunakan bantuan program LPile v2013. Analisis kapasitas lateral ini dihitung pada saat beban lateral (kN) yang mengakibatkan defleski sebesar 0,25 inch (6mm), dan 1.00 inch (25mm). Kapasitas lateral tiang dihitung untuk kondisi *fixed-head* dan *free-head*. Kondisi pembebanan yang ditampilkan adalah kondisi statik.

Tabel 2. Kapasitas lateral tiang bor diameter 80 cm

Abutmen	Borehole	Diameter Bored Pile (m)	Leff	Kondisi Statis	Kondisi
				Kapasitas Lateral Def 0.25 inch	Fix Head Def 1 inch
Abutmen 1	BH-06	0.8	13	741.5	1612.1
Abutmen 2	BH-07	0.8	13	283.0	745.7

Sumber: Analisis, 2021

Menghitung Kapasitas Aksial Fondasi Bored Pile Diameter 80 cm

Penulangan bored pile di lakukan berdasarkan kombinasi pembebanan yang menyebabkan gaya aksial, momen dan geser terbesar dari analisis *pile group* geoteknik. (Badan Standar Nasional Indonesia (SNI), 1725:2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standar Nasional Indonesia, Jakarta). Dari hasil analisis diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada *bored pile* adalah : Aksial, $P_u \text{ maks} = 1869 \text{ KN}$; $P_u \text{ min} = 203 \text{ KN}$; Momen, $M_u = 1641,5 \text{ kN.m}$; Geser, $V_u = 1089,5 \text{ kN}$. *Bored pile* menggunakan tulangan utama dan sengkang spiral dengan parameter *bored pile* :

Tabel 3. Parameter Penulangan *Bored pile* diameter 80 cm

Item	Parameter	Keterangan
Diameter <i>bored Pile</i>	0 cm	-
Mutu Beton	K-350 ($f_c' = 29.1$ MPa)	-
Mutu Tulangan Baja Ulir	$y = 420$ MPa	-
Tul. Longitudinal	4 – D32 (3.91%)	Tulangan minimum 1% (SNI 2847:2013 Pasal 10.6.1.1)
Tul. sengkang	Ø13 – 75 mm	-
Selimut Beton	5 mm	SNI 2847:2019 Pasal 20.6.1.3

Sumber : Analisis, 2021

Dari hasil parameter diatas, *bored pile* selanjutnya di analisis untuk memperoleh kapasitas aksial ($\phi.N_n$), momen ($\phi.M_n$) dan geser ($\phi.V_n$). Kapasitas Aksial Momen : Kapasitas aksial dan momen dan momen *bored pile* di peroleh melalui analisis penampang tersebut di peroleh diagram interaksi *bored pile*. Kapasitas aksial dan momen murni dari diagram interaksi tersebut adalah : Aksial murni, $\phi.N_n = 10451$ Kn, Momen murni, $\phi.M_n = 1720$ kNm, Gaya yang terjadi masih berada di dalam diagram interaksi, sehingga tulangan utama rencana 24 – D32 dapat di gunakan.(Direktorat Jenderal Bina Marga. 2019).

Dari Analisis di atas, perbandingan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada Jembatan Cibeurang Banten menggunakan data N-SPT dan PDA dapat dilihat pada tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Daya Dukung Ultimit

Metode Analitik	Daya Dukung Ultimit		
	Panjang Tiang (m)	Hasil Analitik (Q_u) (ton)	Hasil PDA (ton)
<i>Metode Reese and O'Neil</i> (1989)	13	461,15	466

Sumber : Hasil Analisis 2021

Dalam analisis ini, daya dukung tanah dengan menggunakan *Pile Driving Analyzer (PDA)* lebih besar daripada nilai daya dukung tanah menggunakan hasil *Standar Penetration Test (SPT)* sehingga PDA test lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam merencanakan fondasi pada pembangunan jembatan Cibeurang –Banten.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan perhitungan pada penelitian mengenai Analisa Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Jembatan Cibeurang, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan data SPT didapat nilai daya dukung ultimit tiang *bored pile* dengan menggunakan Metode *Reese and O'Neil* dengan panjang tiang 13 m, Analitik (Q_u) sebesar 461,15 ton, sedangkan dengan PDA sebesar 466 ton. Terdapat selisih 4,85 Ton, cenderung lebih besar daya dukung ultimit menggunakan Metode *Pile driving Analyzer (PDA)*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan untuk kapasitas aksial murni *bored pile* diameter 80 cm adalah 10451 kN sedangkan untuk kapasitas lateral untuk defleksi 0,25 inch adalah 741.5 kN dan untuk defleksi 1 inch sebesar 1612.1 kN.

3. Dari hasil analisis perhitungan metode *Vesic* didapat besar penurunan yang terjadi pada tiang bored pile tunggal adalah 1.1 cm, dari penurunan yang diijinkan sesuai perhitungan adalah 8 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia (SNI), 1725:2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standar Nasional Indonesia, Jakarta.
- Bridge Management System, 1992 Vol 1 dan 2, *Panduan Perencanaan Teknik Jembatan*.
- Dokumen Proyek, 2021. *Rehabilitasi Jalan dan Jembatan Ruas Jalan Cipanas – Warung Banten*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2019. *Panduan Teknik Pengawasan Pelaksanaan Jembatan*, Jakarta.
- Joseph E. Bowles, 1997. *Analisis dan Desain Fondasi Edisi Keempat Jilid 1*.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2019. *Mekanika tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Edisi ke-enam
- Hardiyatmo, Hary Christady .2010. *Pengertian Fondasi Bored Pile*. Diakses tanggal 15 Juni 202.
- Wesley, L.D.2017. *Mekanika tanah*. Penerbit Andi Yogyakarta.