

**TINJAUAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA TANAH BERLAPIS  
BERDASARKAN HASIL UJI PENETRASI STANDAR (SPT)  
(Studi Kasus Lokasi Pembangunan Jembatan Lahar Naha)**

Roski R.I. Legrans  
Sesty Imbar

**ABSTRAK**

*Pengujian Penetrasi Standar (SPT) adalah salah satu metode penyelidikan tanah yang hasilnya dapat dipakai sebagai pendugaan dalam menentukan jenis pondasi pada pekerjaan teknik sipil. Pondasi tiang pancang adalah salah satu jenis konstruksi pondasi yang digunakan apabila lapisan tanah keras dan padat terletak jauh dari permukaan tanah sehingga fungsinya adalah mendukung dan menyalurkan beban bangunan melalui lapisan tanah lunak ke lapisan tanah keras dan padat di bawahnya. Kapasitas daya dukung tiang pancang dapat dihitung melalui rumus empiris dari hasil pengujian di laboratorium maupun dari hasil pengujian di lapangan. Nilai N dari hasil uji SPT dapat dipakai dalam perhitungan kapasitas tiang pancang. Pada lokasi pembangunan jembatan Lahar Naha dilakukan pengujian SPT pada 3 titik yang akan diletakkan pondasi jembatan. Nilai  $N_{rata-rata}$  terkoreksi dimasukkan dalam persamaan daya dukung tiang hasil uji SPT dan metode Meyerhof sebagai pembanding, untuk menghitung kapasitas tiang tunggal dari material baja dan beton. Dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan bahwa dengan panjang pipa yang sama dan ukuran penampang yang sama, tiang pipa dari material beton memberikan nilai daya dukung terbesar dibandingkan tiang pipa baja. Ini disebabkan karena ketebalan pipa beton yang lebih besar dari pipa baja sehingga memberikan nilai  $A_p$  yang besar yang berpengaruh pada nilai daya dukung  $Q_u$ . Hasil perhitungan daya dukung dengan menggunakan hasil uji SPT maupun metode Meyerhof menunjukkan bahwa semakin besar ukuran penampang maka semakin besar pula daya dukung tiang tunggal. Nilai  $N_{rata-rata}$  hanya berpengaruh pada daya dukung kulit tiang (skin resistance). Dengan ukuran penampang yang sama, semakin besar nilai  $N_{rata-rata}$  semakin besar pula daya dukung kulit pondasi tiang. Nilai N pada lapisan terakhir menentukan besarnya daya dukung ujung tiang. Semakin besar nilai N pada lapisan terakhir maka semakin besar pula daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ).*

**Kata kunci : tiang pancang, daya dukung, SPT**

## 1. PENDAHULUAN

Dalam merencanakan pondasi, permasalahan penting yang harus diperhatikan adalah besar daya dukung tanah yang mampu memikul beban kerja yang bekerja pada pondasi, dan penurunan (*settlement*) yang terjadi tidak melebihi nilai penurunan maksimum yang disyaratkan.

Perhitungan daya dukung ataupun penurunan memerlukan pengetahuan akan sifat-sifat tanah yang ada (*soil properties*) yang diperoleh melalui pengujian di laboratorium mekanika tanah. Pengujian di laboratorium ini akan memberikan nilai-nilai seperti sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) yang dipakai dalam perhitungan daya dukung. Selain pengujian di laboratorium, hasil pengujian di lapangan seperti Uji Penetrasi Standar (SPT) dan Uji Penetrasi Statis (CPT) dapat pula digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi meski hanya sebagai perkiraan awal (*preliminary value*) dan harus dibandingkan dengan hasil perhitungan empiris yang menggunakan hasil pengujian di laboratorium.

Pondasi tiang pancang sebagai salah satu jenis konstruksi pondasi tiang, dapat digunakan apabila lapisan tanah keras dan padat terletak jauh dari permukaan tanah sehingga fungsinya adalah mendukung dan menyalurkan beban bangunan melalui lapisan tanah lunak ke lapisan tanah keras dan padat di bawahnya. Kapasitas daya

dukung tiang pancang dapat dihitung melalui rumus empiris dari hasil pengujian di laboratorium maupun dari hasil pengujian di lapangan.

Tujuan penulisan ini adalah menentukan kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil Uji Penetrasi Standar (SPT), dengan batasan yakni daya dukung ditinjau terhadap pondasi tiang pancang tunggal dengan beban vertikal statis. Perhitungan daya dukung dilakukan terhadap variasi penampang tiang pancang tunggal dari material beton dan baja. Uji SPT ini dilakukan di lokasi pembangunan Jembatan Lahar Naha. Dari hasil penulisan akan diperoleh variasi penampang tiang pancang terhadap daya dukung tiang yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan ukuran penampang tiang pancang pada pekerjaan jembatan sesuai dengan beban kerja yang direncanakan.

## 2. UJI PENETRASI STANDAR (SPT)

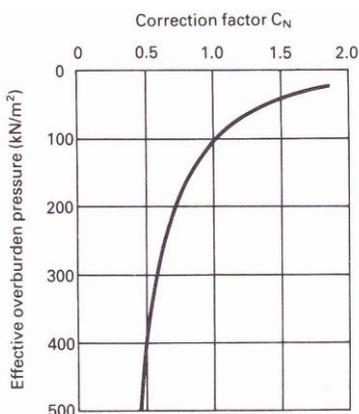
Uji Penetrasi Standar (SPT) adalah salah satu metode penyelidikan tanah yang merupakan suatu uji penetrasi dinamik, dipakai untuk menilai kerapatan relatif di lapangan pada suatu deposit pasir. Pelaksanaannya adalah dengan menggunakan suatu tabung pengambil contoh yang memiliki diameter luar sebesar 50 mm, diameter dalam 35 mm dan panjang 650 mm yang

disambung pada ujung batang bor. Tabung tersebut dipancangkan ke dalam lapisan pasir pada dasar lubang bor yang telah diberi sekat penahan, dengan bantuan sebuah martil seberat 63,5 kg yang dijatuhkan dengan bebas dari ketinggian 750 mm ke arah puncak batang bor. Banyaknya pukulan yang diperlukan untuk memancangkan tabung sedalam 300 mm dicatat sebagai tahanan penetrasi standar (N).

Terzaghi dan Peck mengemukakan bahwa dari nilai tahanan penetrasi standar (N) dapat ditentukan klasifikasi dari pasir (Tabel 1). Gibbs dan Holtz mengemukakan bahwa pasir dengan kerapatan relatif yang sama akan mempunyai nilai tahanan penetrasi standar yang berbeda pada kedalaman yang berbeda. Selanjutnya Gibbs dan Holtz mengusulkan nilai N hasil yang telah dikoreksi (N<sub>1</sub>) dihubungkan dengan nilai hasil pengukuran (N) oleh faktor koreksi (C<sub>N</sub>) melalui persamaan :

$$N_1 = C_N \cdot N$$

Hubungan antara C<sub>N</sub> dan tekanan efektif akibat tanah di atasnya ditentukan oleh Gbr. 1

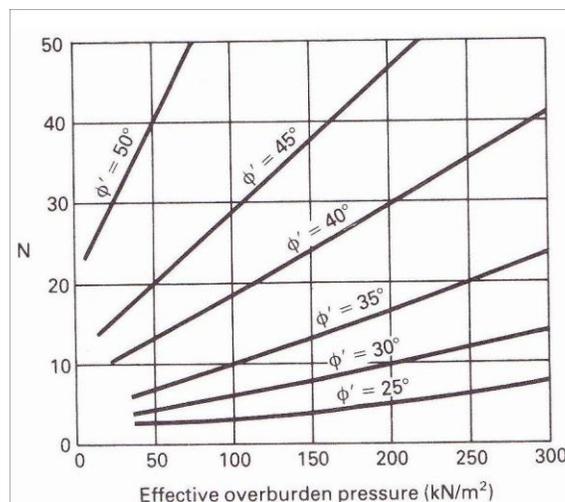


Gbr.1. Faktor Koreksi Terhadap Hasil Penetrasi Standar

Nilai N	Klasifikasi	Dr (%)	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>
0-4	Sangat Lepas	0-15	0-3
4-10	Lepas	15-35	3-8
10-30	Agak Padat	35-65	8-25
30-50	Rapat	65-85	25-42
>50	Sangat Rapat	85-100	42-58

Tabel 1. Kerapatan Relatif Pasir

Skempton menambahkan nilai (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> sebagai tahanan penetrasi standar yang telah dinormalisasikan terhadap suatu rasio energi batang sebesar 60 % dan suatu tekanan efektif akibat tanah di atasnya sebesar 100 kN/m<sup>2</sup>. Schmertmann mengemukakan suatu korelasi antara parameter kekuatan geser (φ'), tahanan penetrasi standar dan tekanan efektif akibat tanah di atasnya (Gbr. 2). Grafik di atas hanya merupakan perkiraan secara kasar dari nilai φ' dan tidak boleh dipakai pada kedalaman yang dangkal.



Gbr. 2. Korelasi Nilai φ', Tahanan Penetrasi Standar dan Tekanan Efektif Akibat Tanah di Atasnya

Uji Penetrasi Standar yang dilakukan pada tanah kohesif dengan diameter efektif 0,05 mm atau pasir berlanau yang sangat halus, perlu dilakukan koreksi terhadap jumlah pukulan untuk penetrasi 300 mm. Selain itu efek dari muka air tanah terhadap nilai N juga menjadi penting. Terzaghi dan Peck mengemukakan bahwa untuk tanah berpasir yang sangat halus, atau pasir kelanauan yang berada di bawah muka air tanah dengan nilai SPT N yang lebih besar dari 15 maka perlu dilakukan koreksi nilai SPT dengan persamaan :

$$N' = 15 + \frac{1}{2} \cdot (N - 15)$$

Meyerhof mengestimasi bahwa tahanan penetrasi dari uji statis dan uji dinamis maupun uji penetrasi standar menunjukkan perubahan yang sama sejalan dengan bertambahnya kedalaman. Untuk tanah pasir atau pasir kelanauan sampai dengan pasir lepas, korelasinya dinyatakan dengan persamaan :

$$q_c = 4 \cdot N$$

Dimana : q<sub>c</sub> = tahanan konus statis (ton/ft<sup>2</sup>) ; N = jumlah pukulan / ft penetrasi.

Apabila tanah berada di bawah muka air, maka nilai N harus dikoreksi terlebih dahulu.

Klasifikasi	Kerapatan Relatif (Dr)	N (SPT)	Tahanan Konus (q <sub>c</sub> )	Sudut Geser Dalam (φ)
Sangat Lepas	< 0,2	<4	<20	<30
Lepas	0,2-0,4	4-10	20-40	30-35
Agak Lepas	0,4-0,6	10-30	40-120	35-40
Padat	0,6-0,8	30-50	120-200	40-45
Sangat Padat	0,8-1,0	>50	>200	45

Tabel 2. Hubungan Antara Kerapatan Relatif, N, Tahanan Konus dan Sudut Geser Dalam Menurut Meyerhof

### 3. KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG TUNGGAL

Jika tiang dipancang sampai pada lapisan padat yang melalui lapisan lempung lunak, maka daya dukung tiang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan tahanan geser. Berdasarkan jenis beban yang bekerja, kapasitas tiang pancang tunggal dihitung dengan persamaan-persamaan :  
Beban sementara :

$$Q_{tiang} = \frac{A \cdot q_c}{2} + \frac{P \cdot L \cdot \bar{f}_s}{5}$$

Beban statis/tetap :

$$Q_{tiang} = \frac{A \cdot q_c}{3} + \frac{P \cdot L \cdot \bar{f}_s}{5}$$

Beban dinamis :

$$Q_{tiang} = \frac{A \cdot q_c}{5} + \frac{P \cdot L \cdot \bar{f}_s}{8}$$

Dimana :  $Q_{tiang}$  = daya dukung tiang (kg) ; A = luas penampang tiang pancang (cm<sup>2</sup>) ;  $q_c$  = nilai konus hasil sondir/CPT (kg/cm<sup>2</sup>) ; P = keliling tiang (cm) ; L = panjang tiang (cm) ;  $f_s$  = nilai tahanan geser (kg/cm<sup>2</sup>).

Daya dukung ultimit tiang pancang berdasarkan uji penetrasi standar terdiri atas dua komponen, yakni : tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan geser (*friction resistance*) :

$$Q_u = Q_p + Q_f$$

Menurut Meyerhof, untuk tanah pasir berlaku :

$$Q_p = 4 \cdot N \cdot A$$

$$Q_f = \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot \bar{N}$$

Sehingga :

$$Q_u = 4 \cdot N \cdot A + \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot \bar{N}$$

Dimana :  $\bar{N}$  = N rata-rata sepanjang tiang ; B = garis tengah tiang (ft) ; A = luas penampang tiang (ft<sup>2</sup>) ; D = kedalaman tiang (ft) ; N = nilai N pada kedalaman yang ditinjau.

Meyerhof memberikan korelasi antara  $q_c$  dan nilai N dengan persamaan :

$$q_c = 4 \cdot N$$

Beban ultimit dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = q_p \cdot A_p$$

Dimana untuk tanah kohesif :

$$q_p = \frac{2}{3} \cdot q_c$$

dan untuk tanah non kohesif :

$$q_p = \frac{3}{2} \cdot q_c$$

C.L. Crowter (1963) mengemukakan hubungan antara  $q_c$  dan N-SPT untuk tanah kohesif melalui persamaan :

$$q_c = 2 \cdot N$$

dan untuk tanah non kohesif melalui persamaan :

$$q_c = 4 \cdot N$$

Meyerhof (1956) mengestimasi daya dukung batas tiang pancang berdasarkan data uji penetrasi statis melalui persamaan umum :

$$Q_u = q_p \cdot A_p + f'_s \cdot A_s$$

Dimana :  $A_p$  = luas penampang ujung tiang (ft<sup>2</sup>) ;  $A_s$  = luas keliling tiang (ft<sup>2</sup>) ;  $f'_s$  = tahanan geser tiang (ton/ft<sup>2</sup>) ;  $q_p$  = tahanan ujung tiang (ton/ft<sup>2</sup>).

Kajian komparatif membuktikan bahwa  $q_p$  selalu berada antara  $2/3 \cdot q_c - 1,5 \cdot q_c$ . Karena itu memungkinkan untuk mengasumsikan  $q_p = q_c$ . Nilai tahanan geser  $f_s$  dan tahanan geser tiang pancang  $f'_s$  dapat dihubungkan sebagai :

$$f'_s = 2 \cdot f_s$$

Meyerhof mengemukakan rumus-rumus empiris pendekatan untuk menghitung tahanan geser tiang pancang pada tanah pasir (ton/ft<sup>2</sup>) dari hasil uji penetrasi statis (CPT) dan uji penetrasi standar (SPT), masing-masing :

$$f'_s = \frac{q_c}{200}$$

$$f'_s = \frac{N}{50}$$

dan

$$f_s = \frac{q_c}{400}$$

$$f_s = \frac{N}{50}$$

Sehingga daya dukung ultimit tiang pancang adalah :

$$Q_u = q_p \cdot A_p + 2 \cdot f_s \cdot A_s$$

atau

$$Q_u = \left[ q_c \cdot \left( A_p + \left( \frac{A_s}{200} \right) \right) \right]$$

dengan menggunakan faktor keamanan (FK) = 20 untuk menentukan daya dukung tiang pancang.

### 4. HASIL UJI PENETRASI STANDAR (SPT) DI LOKASI PEMBANGUNAN JEMBATAN LAHAR NAHA

Penyelidikan tanah dengan uji penetrasi standar (SPT) dilakukan di 3 titik dimana pada ke-3 titik tersebut akan dipancang pondasi tiang. Uji SPT dilakukan sampai kedalaman 9 m. Seluruh lapisan tanah berada di bawah muka air. Hasil uji SPT pada masing-masing titik ditampilkan sebagai berikut :

Titik 1 :

Kedalaman (m)	Deskripsi Lapisan	N
0.0	SAND PEBBLES : pasir,kerikil,kerakal, bongkah lepas (endapan pasir lahar 0 m – 10 m)	13
-2.0		17
-3.0		30
-0.5		41
-0.6		47
-0.8		56
-0.9		

Titik 2 :

Kedalaman (m)	Deskripsi Lapisan	N
0.0	SAND PEBBLES : pasir,kerikil,kerakal, bongkah lepas (endapan pasir lahar 0 m – 10 m)	50
-2.0		26
-3.0		40
-0.5		15
-0.6		34
-0.8		43
-0.9		

Titik 3 :

Kedalaman (m)	Deskripsi Lapisan	N
0.0	SAND PEBBLES : pasir,kerikil,kerakal, bongkah lepas (endapan pasir lahar 0 m – 10 m)	2
-2.0		3
-3.0		11
-0.5		11
-0.6		40
-0.8		50
-0.9		

## 5. APLIKASI

Pada bagian aplikasi akan dihitung daya dukung tiang pancang tunggal dengan menggunakan persamaan daya dukung berdasarkan data hasil uji penetrasi standar (SPT) yakni :

$$Q_u = 4 \cdot N \cdot A + \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot \bar{N}$$

dan persamaan beban ultimit tiang pancang menurut Meyerhof :

$$Q_u = \left[ q_c \cdot \left( A_p + \left( \frac{A_s}{200} \right) \right) \right]$$

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang dilakukan terhadap tiang pancang pipa beton dan tiang pancang pipa baja. Untuk menentukan nilai  $q_c$  dari hasil uji penetrasi standar (SPT), digunakan persamaan korelasi yang disarankan oleh Meyerhof :

$$q_c = 4 \cdot N$$

Untuk lapisan yang berada di bawah muka air tanah dengan nilai N lebih besar dari 15, maka nilai N harus dikoreksi dengan persamaan :

$$N' = 15 + \frac{1}{2} \cdot (N - 15)$$

Diameter Luar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )
219	3.17	21.5
	4.78	32.1
	5.56	37.3
	7.92	52.7
254	4.78	37.5
	5.56	43.6
	6.35	49.4
305	4.78	44.9
	5.56	52.3
	6.35	59.7
406	4.78	60.3
	5.56	70.1
	6.35	79.8
457	5.56	80
	6.35	90
	7.92	112
508	5.56	88
	6.35	100
	7.92	125
	12.70	238
610	6.35	121
	7.92	150
	9.53	179

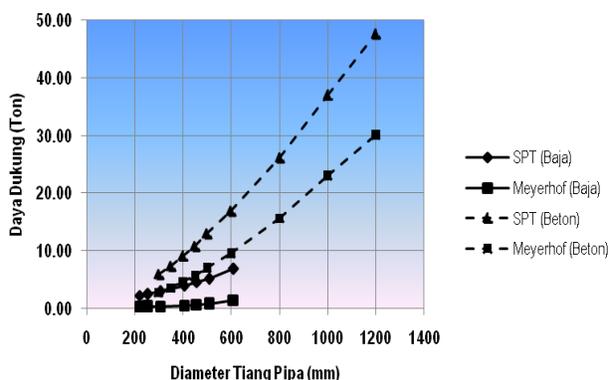
Tabel 3. Ukuran Penampang Tiang Pancang Pipa Baja (sumber : *Principles of Geotechnical Engineering*)

Diameter Luar (mm)	Tebal (mm)	Kelas	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Beban Ijin Maksimum (Ton)
300	60	A2	452	72.60
		A3		70.75
		B		67.50
		C		65.40
350	65	A1	582	93.10
		A3		89.50
		B		86.40
		C		85.00
400	75	A2	766	121.10
		A3		117.60
		B		114.60
		C		111.50
450	80	A1	930	149.50
		A2		145.80
		A3		143.80
		B		139.10
		C		134.90

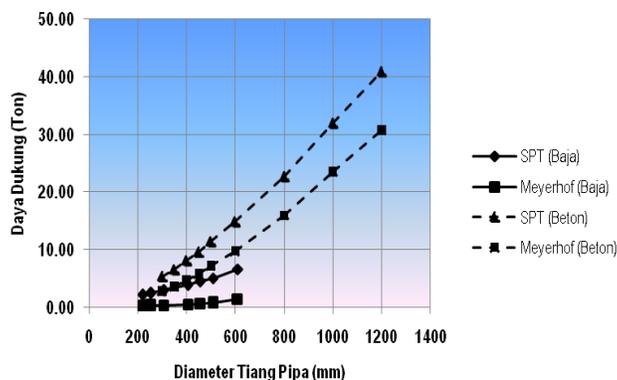
Diameter Luar (mm)	Tebal (mm)	Kelas	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Beban Ijin Maksimum (Ton)
500	90	A1	1159	185.30
		A2		181.70
		A3		178.20
		B		174.90
		C		169.00
600	100	A1	1571	252.70
		A2		249.00
		A3		243.20
		B		238.30
		C		229.50
800	120	A1	2564	415.00
		A2		406.20
		A3		398.20
		B		390.80
		C		367.60
1000	140	A1	3872	614.00
		A2		604.80
		A3		590.60
		B		575.00
		C		552.90
1200	150	A1	4948	802.40
		A2		794.00
		A3		778.10
		B		751.50
		C		721.10

Tabel 4. Ukuran Penampang Tiang Pancang Pipa Beton (sumber : PT. WIKA Beton)

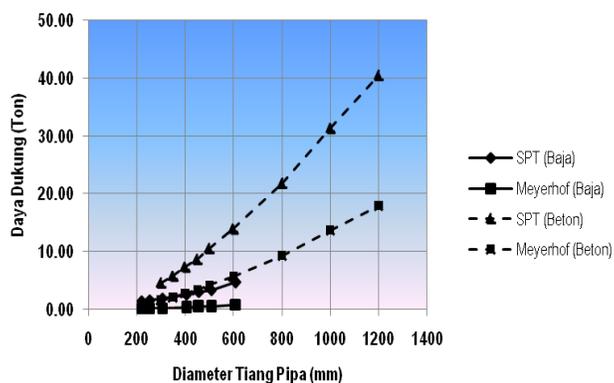
Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan hasil uji SPT dan metode Meyerhof terhadap tiang pancang pipa baja dan beton ditampilkan dalam grafik hubungan antara diameter tiang pipa baja dan beton dan daya dukung dengan menggunakan hasil uji SPT dan metode Meyerhof pada masing-masing titik.



Gbr 3. Grafik Hubungan Antara Diameter Tiang Pipa Baja dan Beton Dan Daya Dukung pada Titik 1



Gbr 4. Grafik Hubungan Antara Diameter Tiang Pipa Baja dan Beton Dan Daya Dukung pada Titik 2



Gbr 5. Grafik Hubungan Antara Diameter Tiang Pipa Baja dan Beton Dan Daya Dukung pada Titik 3

## 6. KESIMPULAN

Daya dukung tiang pancang tunggal yang diperoleh dari hasil uji SPT memberikan nilai terbesar dibandingkan nilai daya dukung dengan menggunakan metode Meyerhof. Pada dasarnya perhitungan kedua metode ini menggunakan suatu nilai  $N$  yang telah dikoreksi, tetapi untuk menghitung  $q_c$  menggunakan korelasi  $q_c = 4.N$  dikarenakan tidak dilakukannya uji CPT di lokasi yang memberikan nilai  $q_c$ . Luas penampang tiang sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung yang dihasilkan.

Dengan panjang tiang yang sama, ukuran penampang yang lebih besar memberikan nilai daya dukung yang besar. Ini dipengaruhi oleh ketebalan tiang, dimana pada tiang pipa beton yang relatif lebih tebal dari tiang pipa baja akan memberikan luas penampang ( $A_p$ ) yang lebih besar pula. Nilai  $N_{rata-rata}$  hanya berpengaruh pada daya dukung kulit tiang (*skin resistance*). Dengan ukuran penampang yang sama, semakin besar nilai  $N_{rata-rata}$  semakin besar pula daya dukung kulit pondasi tiang. Nilai  $N$  pada lapisan terakhir menentukan besarnya daya dukung ujung tiang. Semakin besar nilai  $N$  pada lapisan terakhir maka semakin besar pula daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ). Tiang pancang dari material baja dan beton dapat dipakai sebagai pondasi pada pekerjaan jembatan, akan tetapi

perlu dihitung terlebih dahulu besar beban yang akan dipikul oleh tiang pancang tunggal.

Pada pekerjaan jembatan ini, pemakaian tiang pancang pipa baja tidak disarankan. Hasil perhitungan daya dukung tiang pipa baja dengan menggunakan hasil uji SPT dan metode Meyerhof menunjukkan bahwa daya dukung pada tiang pipa baja dengan diameter terbesar kurang dari 10 ton. Bandingkan dengan tiang pipa beton, diameter tiang 600 mm sampai dengan 1200 mm dapat dipakai sebagai pondasi jembatan. Hasil uji SPT dapat menjadi acuan dalam menentukan ukuran penampang pondasi. Dari 3 (tiga) titik pemeriksaan, titik ke-3 memberikan nilai  $N_{rata-rata}$  terkecil yang juga memberikan hasil perhitungan daya dukung yang terkecil dari ke-3 titik lokasi pondasi. Dengan demikian disarankan untuk menggunakan ukuran penampang pondasi tiang yang mengacu pada hasil perhitungan daya dukung di titik 3.

Perhitungan daya dukung dari hasil uji SPT hanyalah bersifat sementara namun dapat dijadikan acuan penentuan ukuran penampang pondasi. Perlu dilakukan perhitungan daya dukung pembandingan yang menggunakan hasil pengujian laboratorium yang akan memberikan nilai-nilai kuat geser tanah seperti kohesi dan sudut geser dalam yang sangat berpengaruh dalam perhitungan kapasitas tiang.

## 7. REFERENSI

- Bowles, Joseph E., 1968. *Foundation Analysis And Design*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Das, Braja M., 1990. *Principles Of Foundation Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company, Boston.
- Craig, R.F., 1992. *Soil Mechanics*. Chapman and Hall, London.
- Poulos, H.G., Davis, E.H. 1980. *Pile Foundation, Analysis and Design*. John Wiley and Sons Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Prakash, S., Sharma, Hari D. 1990. *Pile Foundations In Engineering Practice*. John Wiley and Sons Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. 1967. *Soil Mechanics In Engineering Practice, 2nd Edition*. John Wiley and Sons Inc.