

Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Metode Statis Metode Dinamis Dan Kekuatan Bahan Berdasarkan Data NSPT (Studi Kasus Pembangunan Hotel Ayola Surabaya)

Mila Kusuma Wardani¹ dan Ainur Riza²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, ITATS, Surabaya

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, ITATS, Surabaya

E-mail: mila.geo.itats@gmail.com, riza.afifudin@gmail.com

ABSTRAK: Setiap proyek konstruksi yang terpenting adalah faktor keamanan, dimana terjamin mutu strukturnya dan perencanaan pondasi. Pondasi yang digunakan untuk pembangunan Hotel Ayola Surabaya 10 lantai adalah pondasi dalam yaitu tiang pancang berdiameter 40 cm dengan kedalaman 20 m berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT). Dari data SPT menunjukkan bahwa jenis tanah dominan adalah lempung dan sedikit variasi pasir. Perencanaan pondasi perlu dilakukan analisis daya dukung baik metode statis dan dinamis, selain itu diperlukan analisa kekuatan bahan pada tiang. Metode statis membandingkan antara metode Meyerhof dan Luciano Decourt, sedangkan metode dinamis menggunakan metode Hiley dan metode Modified ENR. Beban rencana diambil dari nilai beban maksimum hasil program bantu SAP sebesar 92 ton. Perhitungan daya dukung statis dipilih Metode Luciano Decourt dengan kapasitas daya dukung sebesar 134,71 ton, daya dukung metode dinamis dipilih metode ENR sebesar 97,068 ton. Dari analisis kekuatan bahan diperoleh kekuatan sebesar 103,62 ton yang dibandingkan terhadap daya dukung statis, dimana dari hasil tersebut mencapai kekuatan 77% daya dukung statis. Dari hasil perhitungan dan analisis diperoleh bahwa metode dinamis \leq metode statis \geq beban rencana. Sehingga pada perencanaan pondasi tersebut perlu penambahan mutu tiang pancang, agar tiang pancang dapat bekerja secara maksimal.

KEYWORDS: *Standard Penetration Test, Metode Meyerhof, Metode Luciano Decourt, Metode Hiley, Metode Modified ENR*

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan bisnis di dunia perhotelan di kota Surabaya semakin pesat, ditandai dengan banyaknya pembangunan hotel yang menawarkan berbagai macam fasilitas yang berbeda. Pembangunan hotel Ayolah Surabaya diharapkan dapat memenuhi kebutuhan perhotelan serta memperlancar pertumbuhan ekonomi di Surabaya. Proyek Hotel Ayola terletak di Jalan Nginden No.82 Surabaya, terdiri dari 8 lantai dan 2 lantai basement.

Pondasi yang digunakan dalam pembangunan Hotel Ayolah adalah pondasi tiang pancang, karena besarnya beban bangunan atas yang direncanakan dan digunakan meneruskan beban yang ditransfer pada pondasi ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam. Sehingga pondasi bangunan dapat memberikan dukungan yang cukup untuk menahan beban. Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang diameter 40 cm sedalam 20 m.

Setiap proyek konstruksi yang terpenting adalah faktor keamanan, dimana pembangunan gedung hotel diharapkan terjamin mutu strukturnya dengan perencanaan yang matang termasuk perencanaan tipe pondasi dan pelaksanaannya. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang terjadi.

Daya dukung pondasi dapat dihitung dengan menggunakan metode statis dan pelaksanaan pemancangan menggunakan metode dinamis. Perlunya digunakan perhitungan dengan metode statis dan dinamis, karena hasil perhitungan daya dukung dari metode statis dijadikan acuan untuk pekerjaan pemancangan dengan alat yang memenuhi daya dukung dari metode statis untuk hasil daya dukung tanah yang lebih meyakinkan.

Ariyanto dan Untung (2013) melakukan studi daya dukung tiang pancang tunggal dengan beberapa metode

analisa statis dan dinamis. Dari analisis disimpulkan bahwa rumus dinamis dari hasil perhitungan kapasitas tiang, metode Hiley merupakan rumus yang cukup akurat. Secara keseluruhan dari perbandingan semua metoda daya dukung statis dan dinamis berbeda, tetapi masih dalam toleransi yang wajar jika statis \leq dinamis. Dari hasil analisa daya dukung metode statis dipilih metode Luciano decourt dengan nilai SF rencana sebesar 3.

Sehingga pada artikel ini penulis melakukan analisis dengan perhitungan perbandingan daya dukung tiang dengan metode statis dan dinamis untuk mengetahui daya dukung tiang yang aman. Selain daya dukung terhadap tanah diperhitungkan maka diperlukan tinjauan terhadap kekuatan bahan yang digunakan.

2. Metodologi

Metodologi yang dilakukan untuk analisis daya dukung tiang pancang adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan studi pustaka yang sesuai dengan bahasan terutama mengenai perbandingan daya dukung metode statis dan metode dinamis. Metode perhitungan daya dukung dengan mempertimbangkan kekuatan bahan masih belum banyak dibahas pada referensi jurnal terakhir.
2. Pengumpulan data sekunder, Data yang dibutuhkan pada analisis daya dukung tiang pancang meliputi Data Tanah (NSPT), data spesifikasi tiang pancang, data pelaksanaan pemancangan dengan hydraulic Hammer, data pembebanan dengan denah setiap kolom.
3. Perhitungan daya dukung metode statis,
 - A. Perhitungan daya dukung statis Metode Meyerhoff (1956),
Pada tanah lempung,
$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (1)$$

Di mana,

$$Cu = \frac{NSPT \times 2 \times 10}{3} \quad (2)$$

$$Qs = \frac{\alpha \times Cu \times p \times Li}{SF} \quad (3)$$

Pada tanah pasir,
 $Qp = 4 \times N \times Ap \quad (4)$

$$Qs = \frac{\pi \times b \times D}{50} \times Ns \quad (5)$$

Dengan :

- N = Harga SPT didasar pondasi.
- Ap = Luas tiang pancang.
- D = Kedalaman pondasi.
- Cu = Nilai Kohesi (kN/m²).
- Ns = Harga N rata-rata disepanjang tiang yang terbernam (D).

B. Perhitungan Daya Dukung Statis Metode Luciano decourt,

$$Qp = (Ap \times Np \times K) + (As \times (\frac{Ns}{3} + 1)) \quad (6)$$

Dimana :

- Q = Daya dukung ultimate tiang (ton).
- Ap = Luas penampang ujung tiang (m²).
- Np = Rata-rata dari harga SPT mulai 4B diatas tiang hingga 4B dibawah dasar tiang. B adalah diameter pondasi.
- K = Koefisien karakteristik tanah.
 Lempung = 12 t/m².
 Lempung berlanau = 20 t/m².
 Pasir berlanau = 25 t/m².
 Pasir = 40 t/m².
- As = Luas selimut tiang (m²).
- Ns = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam (D), dengan batasan 3 ≤ N ≤ 50.

4. Perhitungan daya dukung metode dinamis,

A. Perhitungan daya dukung dinamis metode Hiley,

$$Qu = \frac{eh \cdot Wr \cdot H}{s + k} \times \frac{Wr + (n^2 \cdot Wp)}{Wr + Wp} \times \frac{1}{Sf} \quad (7)$$

Dimana :

- Wr = Berat hammer (ton).
- H = Tinggi jatuh hammer (cm).
- Wp = Berat tiang pancang (ton).
- s = Final set atau penetrasi tiang pancang tiap pukulan (cm).
- k = Rebound (cm).
- SF = Safety factor.
- eh = Efisiensi hammer.
- n = Koefisien restitusi.

B. Perhitungan daya dukung dinamis metode ENR (Modified Engineering News record)

$$Qu = \frac{eh \times Wr \times H}{s + C} \times \frac{Wr + (n^2 \cdot Wp)}{Wr + Wp} \times \frac{1}{Sf} \quad (8)$$

Dimana :

- eh = Efisiensi hammer.
- H = Tinggi jatuh hammer (cm).
- Wr = Berat hammer (ton).
- n = Koefisien restitusi.
- Wp = Berat tiang pancang (ton).
- s = Penetrasi tiang pancang tiap pukulan (cm).

c = Temporary elastic compression single action hammer c = 25,4 mm

5. Perhitungan kontrol kekuatan bahan

$$P = 0,33 \times fc' \times A \quad (9)$$

Dimana :

- P = kontrol kekuatan bahan (ton)
- fc' = kekuatan bahan beton (kg/cm²)
- A = Luas Penampang (cm²).

3. Data tanah (NSPT)

Pengambilan data penyelidikan tanah menggunakan Standart Penetration Test sedalam 40 m. Hasil penyelidikan lapangan berupa data NSPT yang diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Data Penyelidikan Tanah

kedalaman (m)	NSPT	Kondisi Fisik
0	0	
2	2	Lempung mantap, coklat
4	2	
6	0	Lempung lunak, abu-abu
8	0	
10	10	Lempung berlanau, coklat
12	15	
14	21	Pasir halus, coklat
16	21	Lempung kaku, coklat
18	19	Lanau berpasir, coklat
20	48	Pasir halus, coklat
22	36	
24	27	
26	16	Lempung berlanau, coklat
28	19	
30	34	Lanau, abu-abu
32	66	Pasir halus, abu-abu
34	24	
36	22	Lempung berlanau, abu-abu
38	28	
40	33	

Sumber: Data Sekunder Proyek Hotel Ayola Surabaya(2016).

Dari hasil penyelidikan tanah yang dilakukan, jenis tanah di lokasi dominan adalah tanah lempung. Semakin dalam lapisan tanah maka konsistensi tanahnya semakin keras dan terdapat tanah pasir pada kedalaman 14, 20 sampai 22, dan 32 m.

4. Perhitungan Daya Dukung Metode Statis

Daya dukung statis dilakukan berdasarkan jenis tanah dan sesuai dengan data tanah yang diperoleh. Perhitungan daya dukung metode statis dengan Meyerhoff dan Luciano decourt langsung digambarkan pada sebuah Grafik hubungan antara kedalaman dengan Qallow (Gambar 1).

Dari Gambar 1, kemudian dianalisa Qallow pada setiap metode daya dukung statis pada kedalaman 20 m. Dari hasil perbandingan 2 metode, metode Luciano Decourt memiliki daya dukung lebih besar dibandingkan dengan metode Meyerhof (Tabel 2). Pada tanah pasir metode Meyerhof memiliki nilai lebih kecil dari pada metode Luciano Decourt. Contoh nilai daya dukung pada kedalaman (-15m) Qallow Meyerhof sebesar 5,44 ton dan Qallow Luciano Decourt sebesar 72,83 ton. Hal ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh (Mardianto, 2009) bahwa metode Meyerhof hanya cocok untuk tanah pasir dan tidak disarankan pada tanah lempung. Hal ini bersesuaian dengan data tanah asli di Lokasi, dimana tanah dominan adalah tanah lempung. Pada tanah lempung nilai daya dukung pada Meyerhof dan Luciano Decourt mengalami kenaikan stabil tetapi Luciano Decourt memiliki nilai lebih besar daripada Meyerhof. Contoh nilai daya dukung pada kedalaman (-20m) Qallow Meyerhof sebesar 11,83 ton dan Qallow Luciano Decourt sebesar 134,71 ton.

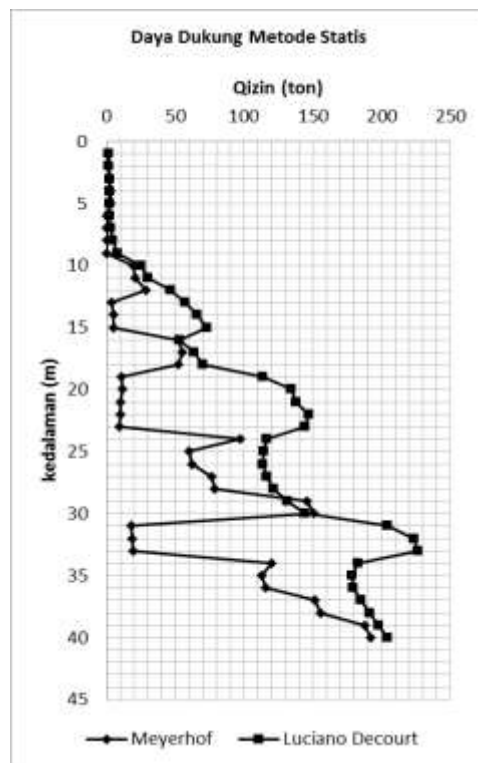
Tabel 2. Perbandingan daya dukung metode statis dengan kedalaman (Metode Meyerhoff dan Metode Luciano Decourt)

depth (m)	NSPT	Meyerhoff				Luciano Decourt			
		Qp (ton)	Qs (ton)	Quit (ton)	Qallow (ton)	QP (ton)	QS (ton)	Quit (ton)	Qallow (ton)
1	2	1.51	1.67	3.18	1.06	3.01	1.26	4.27	1.42
2	2	1.51	3.35	4.86	1.62	3.01	2.51	5.53	1.84
3	2	1.51	5.02	6.53	2.18	2.76	3.77	6.53	2.18
4	2	1.51	6.70	8.21	2.74	2.26	5.02	7.28	2.43
5	2	1.51	8.37	9.88	3.29	1.40	6.28	7.68	2.56
6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	7.54	8.07	2.69
7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	8.79	9.33	3.11
8	0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.01	10.05	13.06	4.35
9	0	0.00	0.00	0.00	0.00	12.56	11.30	23.86	7.95
10	10	7.54	50.24	57.78	19.26	21.89	54.43	76.32	25.44
11	10	7.54	55.26	62.80	20.93	30.50	59.87	90.37	30.12
12	15	11.30	75.36	86.66	28.89	37.32	102.99	140.31	46.77
13	15	7.54	4.08	11.62	3.87	88.28	84.36	172.64	57.55
14	21	10.55	4.99	15.54	5.18	97.61	100.81	198.42	66.14
15	21	10.55	5.78	16.33	5.44	103.35	115.13	218.48	72.83
16	21	15.83	140.67	156.50	52.17	31.01	128.23	159.24	53.08
17	21	15.83	149.46	165.29	55.10	51.32	140.57	191.88	63.96
18	19	14.32	143.18	157.50	52.50	59.57	150.72	210.29	70.10
19	48	24.12	9.59	33.71	11.24	157.18	183.75	340.93	113.64
20	48	24.12	11.37	35.49	11.83	189.48	214.66	404.14	134.71
21	36	18.09	12.53	30.62	10.21	179.43	235.19	414.61	138.20
22	36	18.09	13.65	31.73	10.58	186.61	255.06	441.67	147.22
23	27	13.56	14.36	27.93	9.31	164.36	268.25	432.60	144.20
24	27	20.35	271.30	291.64	97.21	68.18	281.34	349.53	116.51
25	16	12.06	167.47	179.52	59.84	55.98	287.18	343.16	114.39
26	16	12.06	174.17	186.22	62.07	48.80	293.26	342.07	114.02
27	19	14.32	214.78	229.09	76.36	47.73	301.44	349.17	116.39
28	19	14.32	222.73	237.05	79.02	54.19	309.73	363.91	121.30
29	34	25.62	412.81	438.43	146.14	68.54	327.21	395.75	131.92
30	34	25.62	427.04	452.66	150.89	89.00	344.50	433.50	144.50
31	66	33.16	20.49	53.65	17.88	232.54	380.51	613.05	204.35
32	66	33.16	22.54	55.70	18.57	254.79	415.90	670.69	223.56
33	66	33.16	24.56	57.72	19.24	228.23	450.75	678.98	226.33
34	24	18.09	341.63	359.72	119.91	88.64	461.20	549.84	183.28
35	22	16.58	322.37	338.95	112.98	65.67	470.60	536.27	178.76
36	22	16.58	331.58	348.16	116.05	58.85	480.07	538.92	179.64
37	28	21.10	433.74	454.84	151.61	62.44	492.94	555.38	185.13
38	28	21.10	445.46	466.56	155.52	68.18	505.81	573.99	191.33
39	33	24.87	538.82	563.69	187.90	73.27	521.41	594.67	198.22
40	33	24.87	552.64	577.51	192.50	76.62	536.97	613.59	204.53

Sumber : Hasil Olahan Data (2016), Nilai SF = 3.

Metode Luciano Decourt (1982) dapat digunakan untuk perencanaan pada metode statis karena memiliki

hasil daya dukung yang stabil. Pondasi direncanakan pada kedalaman 20 m karena nilai daya dukung pada kedalaman 20 sampai 22 m cukup stabil yaitu 134,71 ton, 138,20 ton, dan 147,22 ton. Jika pada kedalaman 20 m daya dukung tiang dapat menahan beban, maka semakin dalam lapisan tanah juga semakin kuat menahan beban. Selain itu dengan pemilihan pemancangan dengan kedalaman 20 m, proses pelaksanaan pemancangan tidak perlu melakukan penyambungan tiang



Gambar 1. Grafik Hubungan Daya Dukung Metode Statis Dengan Kedalaman.

5. Perhitungan Daya Dukung Metode Dinamis

Perhitungan daya dukung metode dinamis berdasarkan data kalendering yang dilakukan selama proses pemancangan.

Daya dukung tiang pancang terhadap beban vertikal yang dinamis sangat dipengaruhi oleh *elastic rebound* dan *final set*, dimana hasil dari keduanya tergantung dari berat hammer dan ketinggian hammer saat dijatuhkan.

Data pemancangan yang diperoleh seperti pada Tabel 3, kemudian dihitung berdasarkan setiap metode perhitungan dan kemudian dihitung setiap titik yang membandingkan antara Metode Hiley dengan Metode ENR (Tabel 4). Data pelaksanaan pemancangan yang diperoleh di lapangan hanya berjumlah 8 titik, hal ini dikarenakan data asli lapangan cukup sulit diperoleh. Sama seperti perbandingan metode statis, maka pada perbandingan metode dinamis dibuat Gambar grafik perbandingan dua metode dinamis yang digunakan (Gambar 3)..

Dari Gambar 3 Metode Modified ENR memiliki hasil yang stabil dibandingkan dengan Metode Hiley, karena ada faktor yang membedakan antara kedua metode tersebut. Metode Hiley dipengaruhi nilai "k" pada data kalendering lapangan dan metode ENR dipengaruhi nilai "C" tipe hammer memakai *single action* atau *double action*. Semakin besar nilai s (final set) dan k (rebound)

pada metode Hiley maka nilai daya dukungnya semakin kecil. Jadi metode dinamis yang di pakai adalah metode ENR dengan nilai daya dukung yang terkecil sebesar 97,068 ton.

Tabel 3. Data Pencatatan Pemancangan di Lapangan.

No	Panjang Tiang Tertanam (m)	Berat Tiang Pancang (ton/m)	s (cm)	rebound (k)	Efisiensi Hammer (eh)	Berat RAM (ton)	Tinggi Jatuh Hammer (cm)
1	20	2.512	1.1	1.4	0.85	10	150
2	20	2.512	1.1	1.4	0.85	10	150
3	20	2.512	1	0.9	0.85	10	150
4	20	2.512	1	1.3	0.85	10	150
5	20	2.512	1	1.3	0.85	10	150
6	20	2.512	1.1	1.2	0.85	10	150
7	20	2.512	1	1.2	0.85	10	150
8	20	2.512	1	1	0.85	10	150

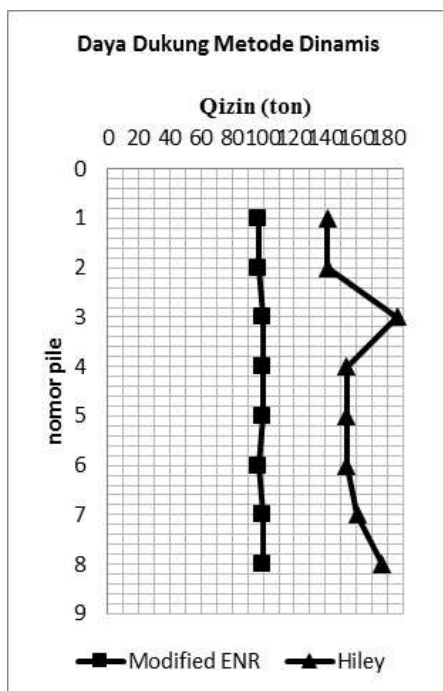
Sumber : Data Proyek Hotel Ayola, Surabaya (2016)

Tabel 4. Perhitungan Daya Dukung Metode Dinamis

No	Panjang Tiang Tertanam (m)	Berat Tiang Pancang (ton/m)	Koefisien Restitusi (n)	Daya Dukung Metode Hiley	Daya Dukung Metode ENR
1	20	2.512	0.4	141.330	97.068
2	20	2.512	0.4	141.330	97.068
3	20	2.512	0.4	185.961	99.810
4	20	2.512	0.4	153.620	99.810
5	20	2.512	0.4	153.620	99.810
6	20	2.512	0.4	153.620	97.068
7	20	2.512	0.4	160.603	99.810
8	20	2.512	0.4	176.663	99.810

NB : SF = 3

Sumber : Hasil Olahan Data (2016)



Gambar 3. Grafik perbandingan Daya Dukung Metode Dinamis.

6. Perhitungan kontrol Kekuatan Bahan

Kontrol kekuatan bahan digunakan untuk mengetahui bahan mengalami keretakan atau aman sesuai rencana.

Dengan : B = 40 cm.

L = 20 m.

Fc' = 25 Mpa = 250 kg/cm².

Kontrol kekuatan bahan tiang pancang

$$P = (\text{Tegangan ijin beton}) \times (\text{Luas})$$

$$P = (0,33 \times f_c') \times (1/4 \pi D^2)$$

$$= (0,33 \times 250) \times (1/4 \pi 40^2)$$

$$= 103620 \text{ kg} = 103,62 \text{ ton.}$$

Jadi kontrol kekuatan bahan tiang pancang terhadap kekuatan tanah adalah 103,62ton < 134,71 ton. Dari perbandingan dengan metode statis, kekuatan bahan mencukupi 77% dari daya dukung Statis. Pada pelaksanaan ternyata terdapat tiang miring, berarti dari kondisi ini dapat disimpulkan perlu menambah kekuatan bahan dari tiang pancang.

7. Kesimpulan

1. Pada Tabel 2 Daya Dukung Statis Metode Meyerhof menghasilkan nilai daya dukung yang sangat kecil pada tanah pasir, sebaliknya dengan metode Luciano Decourt menghasilkan nilai daya dukung yang besar pada tanah pasir dibandingkan pada tanah lempung.
2. Pondasi direncanakan sedalam 20 m, Daya Dukung Statis yang dihitung dengan metode Luciano Decourt memiliki nilai kenaikan daya dukung yang mampu menahan beban. Dimana Nilai daya dukung statis yang diperoleh pada kedalaman 20 m sebesar 134,71 ton > 92 ton beban rencana.
3. Metode dinamis yang dipakai adalah metode Modified ENR karena memiliki nilai daya dukung yang terkecil. Perbandingan daya dukung dari beban pembebanan SAP Pultimate ≤ Qallow dari daya dukung dinamis, yaitu 92 ton ≤ 97,068 ton.
4. Dari perhitungan kekuatan kontrol bahan yang digunakan diperoleh kekuatan bahan satu tiang sebesar 103,62 ton < 134,71 ton.
5. Dari hasil analisis keseluruhan perhitungan maka dapat disimpulkan. Perbandingan daya dukung dari beban pembebanan SAP Pultimate ≤ Qallow dari daya dukung statis ≤ Qallow dari daya dukung dinamis, yaitu 92 ton ≤ 134,71 ton ≥ 97,068 ton. Dari kekuatan bahan, tiang pancang dapat menerima 77% kekuatan statis, yaitu sebesar 103,62 ton.
6. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai daya dukung metode dinamis tidak aman terhadap perencanaan statis tetapi nilai daya dukung metode dinamis aman terhadap beban kombinasi pada SAP 2000 sebesar 92 ton. Pada kontrol kekuatan bahan tiang pancang perlu diawasi lebih intensif supaya tiang dapat tertanam dan tidak miring sesuai dengan batas izinya.

8. Daftar Pustaka

Bowles, J. E. (1991). Analisa dan Desain Pondasi. Erlangga, Jakarta.

Dwi Dedy Ariyanto, DR.Ir. Djoko Untung. (2013). Studi Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Beberapa Metode Analisa. Jurnal Teknik POMITS, Vol 1 (1): 1-5.

Fakhrudi, Muftain. (2013). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Data SPT pada Proyek Pembangunan Hotel Ataria Paramount Malang. Surabaya: Skripsi Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Harianto, Feri. (2001). Rekayasa Pondasi II. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

- Mardianto, Ciput. (2009). Program Bantu Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Perumusan Statis dan Dinamis Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Meyerhoff G.G. (1956). Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soil. *ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Divisions*, 82 (1), 1 – 19.
- Wesley, L. D., (1977), "Mekanika Tanah", Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wahjudi, Herman. (1999). Daya Dukung Pondasi Dalam. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November.

