

Uji Beban Lateral Pada Tiang Spunpile

Pada Pembangunan PLTU II Tanjung Gundul

Ahmad Sadri ¹⁾, Abubakar Alwi ²⁾, Eka Priadi ²⁾

Abstrak

Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Dalam skripsi ini akan dibahas tentang analisa daya dukung tiang *spunpile* dengan metode *lateral loading test*. Daya dukung yang akan dipelajari adalah daya dukung lateral pondasi tiang pancang *spunpile* untuk kondisi tiang tunggal. Dalam penelitian ini akan ditentukan defleksi lateral pondasi tiang pancang *spunpile* dengan analisis perhitungan menggunakan metode *broms*. Kemudian mengetahui defleksi lateral pondasi tiang pancang *spunpile* dari hasil analisis daya dukung tiang uji pembebanan statik (*loading test*). Dari hasil analisis kemudian membandingkan daya dukung yang didapat terhadap hasil analisis daya dukung tiang uji pembebanan statik (*loading test*). Lokasi tempat pengujian dalam hal ini akan dilaksanakan di PLTU II Tanjung Gundul Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat, lokasi yang akan dilakukan pengujian yaitu *Boiler*, *Turbin*, dan *Chimney*.

Penelitian ini juga dapat digolongkan sebagai penelitian studi literatur karena dalam pembahasannya digunakan literatur-literatur yang berisikan teori-teori yang mendukung penelitian dan bahasan tentang analisa daya dukung tiang *spunpile* dengan metode *Broms* dan metode *lateral loading test* yang digunakan pada proyek PLTU II Tanjung Gundul Kalimantan Barat.

Pengujian ini dilakukan pada tiga lokasi di proyek pembangunan PLTU 2 x 27,5 MW yaitu *Boiler*, *Turbine*, dan *Chimney*. Berdasarkan hasil analisis metode *broms* didapat defleksi ijin (y_0) pada lokasi *Boiler* sebesar 0,034 m, dan lokasi *Turbine* sebesar 0,034 m, nilai defleksi ijin ini didapat ketika pembebanan 200 %, sedangkan untuk lokasi *Chimney* sudah mengalami keruntuhan sebesar 0,027 m pada pembebanan 75% jadi pada lokasi *Chimney* dianggap tidak baik. Sedangkan menurut hasil analisis lapangan *loading test* setelah pembebanan 200% didapat y_0 pada lokasi *Boiler* sebesar 0,014 m, lokasi *Turbine* sebesar 0,019 m, Perbandingan nilai defleksi ijin menggunakan metode *Broms* dengan *loading test* terhadap defleksi dari *static loading test* menghasilkan perkiraan nilai defleksi lateral yang lebih kecil dari kenyataan yang dapat dipikul oleh tiang. Untuk besar perpindahan tiang terjadi pada setiap lokasi berdasarkan hasil analisis metode *broms* dan *loading test*, secara keseluruhan perpindahan yang didapat masih dalam toleransi yang wajar terkecuali untuk lokasi *Chimney* yang mengalami keruntuhan karna faktor sifat fisik tanah yang kurang mendukung.

Kata kunci: daya dukung lateral, *spunpile*, Metode *Broms*, *Lateral Loading Test*

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

1. PENDAHULUAN

Indonesia, khususnya Kalimantan Barat merupakan daerah yang sedang berkembang di bidang ekonomi yang ditandainya dengan pembangunan. Bangunan-bangunan sipil seperti rumah, hotel, pabrik, gedung perkantoran dan lainnya harus mempunyai konstruksi yang kuat agar dapat memberikan keamanan dan nyaman bagi penggunaannya. Bagian paling bawah dari suatu konstruksi dinamakan pondasi, fungsi pondasi ini adalah meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi.

Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan, pergeseran, serta terangkat keatas yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi tadi. Struktur bawah sebagai pondasi juga secara umum dapat dibagi dalam dua jenis yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan pondasi ini tergantung kepada jenis struktur atas, apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat, dan juga jenis tanahnya.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang analisis daya dukung lateral

tiang spunpile. Daya dukung pembebanan statik yang akan didiskusikan adalah daya dukung lateral aksial pondasi tiang pancang untuk kondisi tiang tunggal. Tiang pancang tersebut digunakan sebagai pondasi pada proyek pembangunan PLTU 2 x 27,5 MW yang berlokasi di Tanjung Gundul, Kalimantan Barat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pondasi Tiang

Pondasi adalah suatu konstruksi bagian dasar bangunan yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah di bawahnya. Secara umum, pondasi tiang adalah elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Pondasi tiang memperoleh daya dukungnya dari gesekan antara selimut tiang dengan tanah dan dari tahanan ujungnya. Berdasarkan metode instalasinya, pondasi tiang dapat diklasifikasi menjadi:

1. Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan pondasi tiang yang dibuat terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu dimana dapat dicapai daya dukung yang lebih baik. Besar kapasitas tahanan ujung dan tahanan selimut akan bergantung dari:

- a. Kondisi pelapisan tanah dasar pendukung tempat pondasi bertumpu beserta parameter tiap lapisan tanahnya masing-masing.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

- b. Bentuk geometri pondasi: bentuk, dimensi, dan elevasi
 - c. Beban Pondasi
2. Tiang Bor

Tiang bor biasanya digunakan sebagai pondasi yang memikul beban struktur yang berat seperti bangunan yang sangat tinggi dan jembatan dengan pertimbangan pelaksanaan: seperti rendah getaran, kebisingan dan fleksibilitas ukuran yang cocok dengan kondisi pembebanan dan kondisi lapisan tanah. Sebuah tiang bor dikonstruksikan dengan cara membuat sebuah lubang bor dengan diameter tertentu hingga kedalaman yang diinginkan.

2.2 Klasifikasi Tiang Berdasarkan Pergerakan Pada Tanah (*Displacement*)

Di dalam rekayasa pondasi juga dipelajari mengenai beberapa klasifikasi pondasi tiang. Berikut klasifikasi tiang berdasarkan pergerakan pada tanah:

1. Tiang perpindahan besar (*Large displacement piles*)
2. Tiang perpindahan kecil (*Small displacement piles*)
3. Tiang tanpa perpindahan (*Non displacement piles*)

2.3 Pemancangan Tiang

Pada pemancangan tiang hal-hal yang sangat penting untuk diketahui adalah sebagai berikut:

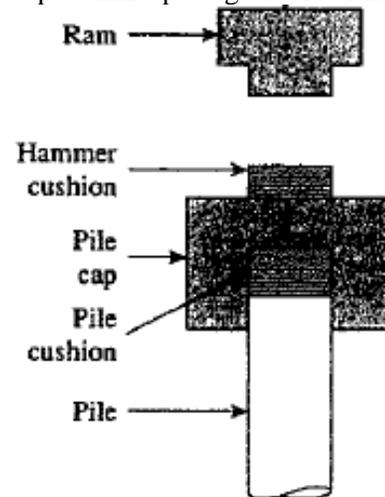
1. Jenis alat pemancangan yang dilakukan

Jenis *hammer* sangat menentukan energi yang akan diterima oleh tiang dan juga

tanah pada saat pemancangan. Jenis *hammer* yang biasa digunakan diantaranya:

- a. *Drop Hammer*
 - b. *Diesel Hammer*
 - c. *Vibratory Hammer*
2. Properti *hammer*, *hammer cushion*, *helmet* dan *pile cushion*

Dalam proses pemancangan, *hammer cap* dipasang pada kepala tiang. *Pile cushion* digunakan diantara tiang dan *cap*. *Pile cushion* ini mempunyai kegunaan untuk mereduksi beban tumbukan dan menyebarkannya. Sedangkan *hammer cushion* diletakkan di *pile cap*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Properti *hammer*, *hammer cushion*, *helmet* dan *pile cushion*

Sumber: Braja M. Das (2007)

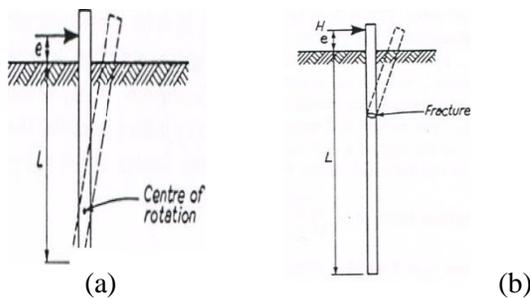
2.4 Rekaman Pemancangan

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

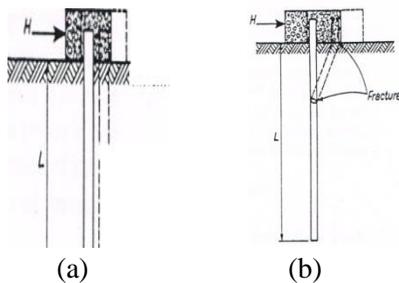
2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Rekaman pemancangan (*driving record*) sering digunakan sebagai bagian dari pengendalian mutu (*quality control*).

2.5 Daya Dukung Lateral Pondasi Tiang



Gambar 2.2. Tiang ujung bebas pada tanah granuler tiang pendek, (a) tiang pendek, (b) tiang panjang (Broms, 1964a).



Gambar 2.3. Tiang ujung jepit dalam tanah kohesif tiang panjang (a) tiang pendek (b) tiang panjang (Broms, 1964a)

Pondasi tiang sering harus dirancang dengan memperhitungkan beban – beban horizontal atau vertikal, seperti : beban

angin, tekanan tanah lateral, beban gelombang air, benturan kapal dan lain - lain. Perancangan pondasi tiang yang menahan gaya lateral, harus memperhatikan dua kriteria, yaitu :

- a. Faktor aman terhadap keruntuhan ultimit harus memenuhi.
- b. Defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja harus masih dalam batas – batas toleransi.

2.5.1 Menghitung perlawanan utama untuk beban latera

Dalam kasus tanah liat terlalu keras dan kaku, modulus tanah umumnya diasumsikan konstan dengan kedalaman. Untuk kasus ini.

Kekakuan Faktor (dalam satuan panjang)

$$\text{di mana } R = \sqrt[4]{\frac{EI}{KB}}$$

Modulus reaksi subgrade ditentukan dari

$$k^1 = \frac{\text{Berlaku di piring (dalam } \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ atau } \frac{\text{ton}}{\text{ft}^2})}{\text{Perpindahan Horizontal (dalam m atau ft)}}$$

uji beban plat yang berbentuk bujur sangkar dengan lebar 1 ft.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Untuk sebagian besar lempung normal-kuat dan untuk tanah granular modulus tanah diasumsikan meningkat secara linear dengan kedalaman, faktor kekakuan untuk modulus tanah yang tidak konstan (T) ini dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor kekakuan } T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}} \quad (\text{dalam satuan})$$

2.6 Metode Broms

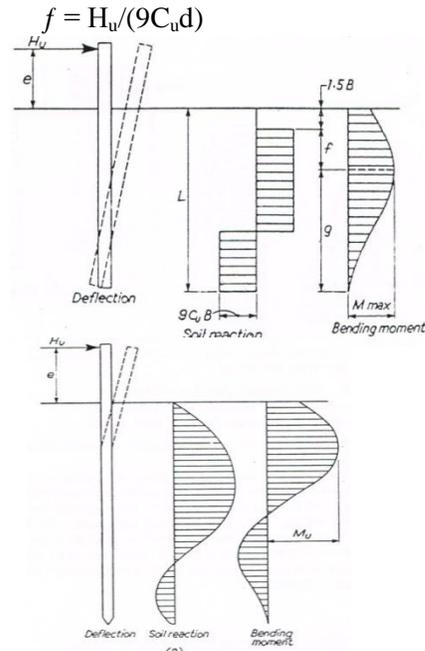
Metode Broms (1964a) dapat digunakan untuk menghitung defleksi lateral tiang yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif (lempung jenuh, $\phi = 0$) atau granuler (pasir, $c = 0$).

a. Tiang Dalam Tanah Kohesif

Tahanan tanah ultimit tiang yang terletak pada tanah kohesif atau lempung ($\phi=0$) bertambah dengan kedalamannya, yaitu dari $2 C_u$ dipermukaan tanah sampai $8 - 12 C_u$ pada kedalaman kira - kira 3 kali diameter tiang.

a.1. Tiang ujung bebas

Mekanisme keruntuhan tiang ujung bebas untuk tiang panjang (tiang tidak kaku) dan tiang pendek (tiang kaku). Untuk tiang panjang, tahanan tiang terhadap gaya lateral akan ditentukan oleh momen maksimum yang dapat ditahan tiangnya sendiri (M_y), untuk tiang pendek, tahanan tiang terhadap gaya lateral lebih ditentukan oleh tahanan tanah disekitar tiang. Dalam **gambar 2.4.** f mendefinisikan letak momen maksimum, dimana pada titik ini gaya lintang pada tiang sama dengan nol.



Gambar 2.4. Mekanisme keruntuhan tiang pendek dan tiang panjang pada tiang ujung bebas dalam tanah kohesif (Broms 1946).

Dengan mengambil momen terhadap titik di mana momen pada tiang mencapai maksimum, dapat diperoleh.

$$\begin{aligned} M_{\text{mak}} &= H_u (e + 3d/2 + f) - \frac{1}{2} f (9C_u d f) \\ &= H_u (e + 3d/2 + f) - \frac{1}{2} f H_u \\ &= H_u (e + 3d/2 + \frac{1}{2} f) \end{aligned}$$

Momen maksimum dapat pula dinyatakan oleh persamaan :

b. Tiang dalam tanah granuler

Untuk tiang dalam tanah granuler ($c = 0$), Broms (1964) menganggap sebagai berikut

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

1. Tekanan tanah aktif yang bekerja dibelakang tiang, diabaikan.
2. Distribusi tekanan tanah pasif disepanjang tiang bagian depan sama dengan 3 kali tekanan tanah pasif Rankine.
3. Bentuk penampang tiang tidak berpengaruh terhadap tekanan tanah ultimit atau tahanan lateral ultimit.
4. Tahanan tanah lateral sepenuhnya termobilisasi pada gerakan tiang yang diperhitungkan.

Tahanan tanah ultimit (P_u) sama dengan 3 kali tekanan pasif Rankine adalah di dasarkan pada bukti empiris yang diperoleh dari hasil pengamatan dan hitungan beban ultimit. Dengan anggapan tersebut distribusi tekanan tanah dapat dinyatakan oleh persamaan ;

$$P_u = 3 P_o \cdot K_p$$

Di mana :

P_o = tekanan pverburden efektif

$$K_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi') = \text{tg}^2(45^\circ + \phi'/2)$$

ϕ' = sudut gesek dalam efektif

b.1. Tiang ujung bebas

Dalam kasus tiang pendek tiang dianggap berotasi di dekat ujung bawah tiang. Tekanan yang terjadi ditempat dianggap dapat digantikan oleh gaya terpusat yang bekerja pada ujung bawah tiang. Dengan mengambil momen terhadap ujung bawah.

$$H_u = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \gamma d L^3 K_p}{e + L}$$

2.6.1 Defleksi Tiang Vertikal Dengan Metode Broms

Untuk tiang dalam tanah granuler (pasir, kerikil), defleksi tiang akibat beban lateral, dikaitkan dengan besaran tak berdimensi. Untuk tiang ujung bebas dan ujung jepit di anggap sebagai tiang panjang (tidak kaku), bila $\alpha L > 4$.

Defleksi lateral tiang ujung bebas (Poulos dan Davis, 1980)

$$Y_o = \frac{2,4H}{(n_h)^{3/5} (E_p I_p)^{2/5}} + \frac{1,6H}{(n_h)^{2/5} (E_p I_p)^{3/5}}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang penulis lakukan ini menggunakan penelitian deskriptif yaitu metode penelitian yang berusaha menggambarkan dan menginterpretasi objek sesuai dengan apa adanya. Penelitian ini juga sering disebut noneksperimen, karena pada penelitian ini penelitian tidak melakukan kontrol dan manipulasi variabel penelitian dimana data-data yang digunakan diperoleh langsung di lapangan maupun dari hasil penelitian di laboratorium.

4. PENGUJIAN LAPANGAN

4.1 Uji Beban Lateral

Uji beban lateral (horizontal) biasanya digunakan untuk mengetahui kelakuan defleksi tiang pada waktu beban telah bekerja. Beban lateral yang diijinkan dapat

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

ditentukan dari nilai beban pada defleksi tiang tertentu (misalnya 0,025 inchi) yang dibagi dengan faktor aman (McNulty, 1956).

4.2 Gambaran Umum Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan dilaksanakan untuk menguji objek yang akan diteliti, dalam tugas akhir ini dilakukan pengujian pembebanan statis (*static loading test*) pada pondasi tiang pancang berdasarkan ASTM D3966-90, yaitu *Cyclic Loading* (Pembebanan Siklik). Pengujian dilakukan sebanyak 4 siklus pembebanan dimana beban puncak terjadi pada siklus ke-4 sebesar 200% dari beban rencana.

4.3 Peralatan Pengujian

Peralatan yang diperlukan pada uji pembebanan ini adalah sebagai berikut:

1. Hydraulic Jack,

Untuk yang lateral diletakkan tepat disamping permukaan tiang uji sedangkan untuk



Gambar 4.1. Hydraulic jack

- ##### 2. Pressure Gauge,
- Untuk mengukur besarnya beban yang diberikan pada tiang uji.



Gambar 4.2. Pressure gauge

- ##### 3. Dial Gauge
- Terdiri dari 4 (empat) unit dengan ketelitian pembacaan paling sedikit sampai dengan 0.01 mm, untuk mengukur besarnya pergerakan yang terjadi.



Gambar 4.3. Dial gauge

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Tabel 4.2. Cara pembebanan

Jadwal Pembebanan Siklik Pembebanan Standar			
Persentase Beban Desain	Durasi Beban, menit	Persentase Beban Desain	Durasi Beban, menit
0	...	75	10
25	10	0	10
50	10		
25	10	50	10
0	10	100	10
50	10	150	10
75	10	175	20
100	15	200	30
50	10	200	30
0	10	100	10
50	10	50	10
100	10	0	...
125	15		
150	20		

5. ANALISIS DAN PERHITUNGAN

5.1 Umum

Dalam bab analisis dan perhitungan ini data yang akan digunakan untuk keperluan analisis adalah data bor log lapisan tanah, data *properties* tiang, data *hammer*, dan data hasil pengujian pembebanan statis (*loading test*) Materi khusus yang akan dibahas dalam bab ini meliputi :

1. Menganalisis daya dukung lateral tiang pancang tunggal menggunakan *metode Broms*.
2. Membandingkan hasil analisis daya dukung yang didapat terhadap hasil analisis daya dukung tiang uji pembebanan statik (*loading test*).
3. Data untuk setiap lokasi yang ditinjau berdasarkan pada data-data

perlapisan tanah dan parameter-parameternya.

5.2 Menghitung Defleksi Daya Dukung Lateral Metode Broms

Metode Broms (1964a) dapat digunakan untuk menghitung defleksi lateral tiang yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif (lempung jenuh, $\phi = 0$) atau granuler (pasir, $c = 0$).

Untuk tiang dalam tanah granuler untuk tiang ujung bebas dan ujung jepit di anggap sebagai tiang panjang (tidak kaku), bila $\alpha L > 4$.

Defleksi lateral tiang ujung bebas (Poulos dan Davis, 1980)

$$Y_o = \frac{2,4H}{(n_h)^{3/5}(E_p I_p)^{2/5}} + \frac{1,6He}{(n_h)^{2/5}(E_p I_p)^{3/5}}$$

5.3 Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang

Setelah didapat hasil analisis daya dukung lateral tiang pancang tunggal dengan menggunakan *metode broms*, selanjutnya akan dibandingkan daya dukung lateral yang didapat terhadap hasil analisis daya dukung tiang uji pembebanan static (*loading test*).

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Tabel 5.9. Perbandingan Perpindahan Tiang

Lokasi	Metode	
	Broms	Loading Test
	Defleksi (m)	
Boiler	0,034	0,014
Turbine	0,034	0,019
Chimney	0,016	0,027

6 KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis perbandingan daya dukung lateral didapat nilai H_u dan y_o (defleksi) lateral tiang pada tiga lokasi proyek PLTU 2 x 27,5 MW Kalimantan Barat, yaitu pada lokasi *Boiler*, *Turbine*, dan *Chimney* maka penulis menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Broms tersebut didapatkan hasil analisis defleksi lateral tiang dari metode Broms tersebut didapat hasil yang mendekati kondisi di lapangan (berdasarkan hasil *loading test*).
2. Dari hasil analisis didapat nilai daya dukung tiang lateral (H_u) dan perbandingan hasil defleksi ijin (y_o) untuk setiap lokasi sebagai berikut:

No	Lokasi	Diameter Tiang (mm)	y_o (m)		Nilai (H_u) kN
			Metode Broms	Loading Test	
1	Boiler	ø 400	0,03	0,014	28,26
2	Turbine	ø 400	0,03	0,019	27,43
3	Chimney	ø 300	0,01	0,027	9,02

3. Perbandingan nilai defleksi ijin menggunakan metode *broms* terhadap hasil daya dukung dari *static loading test* menghasilkan perkiraan nilai defleksi lateral yang lebih besar dari kenyataan yang dapat dipikul oleh tiang. Hal ini dipengaruhi dari parameter data *properties* tanah yang digunakan.
4. Berdasarkan hasil perbandingan defleksi ijin (y_o) diatas dapat disimpulkan bahwa tiang untuk lokasi *Boiler*, dan *Turbine* memiliki kinerja yang baik dalam memikul beban rencana. Sedangkan untuk lokasi *chimney*, tiang memiliki kinerja yang kurang baik dalam memikul beban rencana.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

5. Untuk besar perpindahan tiang pada setiap lokasi ditampilkan dalam tabel perbandingan penurunan tiang berikut ini:

Lokasi	Metode	
	Broms	Loading Test
	Defleksi (m)	
Boiler	0,034	0,014
Turbine	0,034	0,019
Chimney	0,016	0,027

6. Berdasarkan hasil perbandingan tabel tersebut, Secara keseluruhan, besar perpindahan yang didapat dari metode Broms dan loading test masih dalam toleransi yang wajar terkecuali untuk lokasi chimney yang mengalami keruntuhan sebelum mencapai beban rencana maka dianggap tidak baik untuk dilakukan pembangunan konstruksi dilokasi tersebut.

Daftar Pustaka

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Piles Under Static Lateral Compressive Load*. (Standard Method of Testing) D 3966 – 90.

Aziz, Aswandi A. dan Ishan, Miki. 2009. *Perencanaan Pondasi Tiang*.

Pontianak: Fakultas Teknik Untan.

Bowles, Joseph E. 1992. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Hary Cristandy Hardiyatmo. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi Jilid 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Prees

Hary Cristandy Hardiyatmo. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi Jilid 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Prees

Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

N.N. SOM. S.C.DAS. 2006. *Theory and Practice of Foundation design*. Prantice Hall of India Private Limited. New Delhi.

Prakash, S., and Sharma, H.D. 1990. *Pile Foundation in Engineering Practice*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Tomlinson, M.J. 1994. *Pile Design and Construction Practice*. London, UK: E & FN Spon.

UU RI No.7 Tahun 2004 dan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.