

ANALISA PERPINDAHAN VERTIKAL PONDASI *TOWER* BTS DI DAERAH LERENG

Arief Kusbiantoro

Program Studi D3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pandanaran
Jl. Banjarsari Barat No. 1 Semarang
Email: ariefkusb@gmail.com

Widayat Amariansah

Program Studi D3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pandanaran
Jl. Banjarsari Barat No. 1 Semarang

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan zaman dan semakin kompleksnya kebutuhan masyarakat, kebutuhan akan prasarana telekomunikasi pun semakin meningkat, terutama di daerah-daerah yang memiliki potensi perkembangan ekonomi dan pusat-pusat pemerintahan. Adanya peningkatan kebutuhan telekomunikasi membuat perusahaan telekomunikasi meningkatkan pembangunan *Base Transceiver Station* (BTS) sebagai stasiun pemancar sinyal.

Upaya peningkatan pembangunan BTS sebagai salah satu upaya peningkatan fasilitas telekomunikasi, ternyata mempunyai kendala terutama jika pembangunan BTS tersebut berada di daerah lereng dengan kondisi tanah dengan kapasitas dukung yang rendah serta letak tanah keras yang dalam. Penelitian meninjau struktur fondasi *Base Transceiver Station* (BTS) XL yang berlokasi di beberapa lokasi di Jawa Tengah. Penelitian dititikberatkan pada analisis penurunan tanah dasar dengan menggunakan metode elemen hingga.

Parameter yg diambil pada penelitian ini dibatasi pada 2 jenis tanah (lanau dan lempung), ketinggian lereng dan jarak pondasi dari lereng. Tinggi lereng dan jarak pondasi mempengaruhi besar perpindahan vertikal. Semakin tinggi lereng dan semakin dekat jarak pondasi dengan lereng akan memperbesar penurunan vertikal pondasi. Untuk jarak pondasi dan ketinggian lereng yang sama, perpindahan vertikal pada tanah lempung lebih besar dari yang terjadi pada tanah lanau.

Kata kunci : pondasi *tower*, tinggi lereng, perpindahan vertikal

ABSTRACT

Growth of telecommunication industry can not be avoid due to demand of people for telecommunication needed. Provider telecommunication expand coverage and quality by build facility of telecommunication, especially in area which economic grow rapidly. Additional new Base Transceiver Station and add new equipment in existing BTS is choice to expand coverage and quality.

Additional BTS sometimes meet problem about location of BTS, especially if location BTS is on slope or in soil with low bearing capacity. This research which located on some city in Central Java, focus on analyze of vertical displacement at foundation tower using finite element method.

Variable is used in this research are type of soil (clay and silt), height of slope, and distance foundation from slope. The higher slope and close distance foundation from slope, the displacement bigger. For same distance foundation from slope, vertical displacement in clay more than in silt.

Keywords : tower foundation, height slope, vertical displacement.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan semakin kompleksnya kebutuhan masyarakat, kebutuhan akan prasarana telekomunikasi pun semakin meningkat, terutama di daerah-daerah yang memiliki potensi perkembangan ekonomi dan pusat-pusat pemerintahan. Di daerah tersebut peran telekomunikasi menjadi sangat penting, terutama telekomunikasi yang bersifat *mobile* mengingat kemudahan yang dapat dibawa kemana-mana sehingga dapat berkomunikasi setiap waktu. Dukungan sarana telekomunikasi akan sangat membantu proses pertumbuhan masyarakat menjadi lebih maju secara sosial dan kultural, selain itu, tersedianya fasilitas telekomunikasi secara tidak langsung akan meningkatkan tingkat perekonomian penduduk.

Adanya peningkatan kebutuhan telekomunikasi membuat perusahaan telekomunikasi meningkatkan pembangunan *Base Transceiver Station* (BTS) sebagai stasiun *tranceiver* gelombang dan sinyal. Upaya peningkatan pembangunan BTS sebagai salah satu upaya peningkatan fasilitas telekomunikasi, ternyata mempunyai kendala terutama jika pembangunan BTS tersebut berada di dekat lereng. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan pada pondasi rakit, sehingga akan berpengaruh terhadap kestabilan konstruksi.

Kestabilan konstruksi merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan pondasi BTS yang berada di dekat lereng. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan meninjau struktur pondasi *Base Transceiver Station* (BTS) XL yang berlokasi di beberapa tempat di Jawa Tengah. Penelitian dititikberatkan pada analisis penurunan tanah dasar dan stabilitas lereng dengan menggunakan metode elemen hingga.

LANDASAN TEORI

Masalah umum yang sering dijumpai pada tanah lereng adalah kecilnya kestabilan tanah dan rendahnya daya dukung tanah dasarnya. Dalam analisa stabilitas tanah, prinsip mekanika tanah sangat diperlukan, salah satunya adalah tegangan efektif yang didefinisikan sebagai :

$$\sigma' = \sigma - u.$$

σ' = Tegangan efektif, σ = tegangan total, u = tegangan air pori.

Beban total yang bekerja pada tanah adalah seluruh beban yang bekerja pada tanah termasuk berat sendiri tanah. Tegangan total merupakan fungsi kedalaman (z) dan berat jenis tanah (γ), nilainya akan bertambah sebanding dengan kedalaman (Atkinson, 1991).

$$\sigma_A = \gamma_{sat} Z_w + \gamma_d (Z - Z_w)$$

$$\sigma_{A'} = \sigma_A - u$$

$$\sigma_{A'} = \{ \gamma_{sat} Z_w + \gamma_d (Z - Z_w) \} - (\gamma_d Z_w)$$

Tegangan efektif merupakan gaya per satuan luas yang diterima oleh butiran tanah. Perubahan volume dan kekuatan tanah tergantung pada tegangan efektif di dalam massa tanah. Semakin tinggi tegangan efektif suatu tanah maka tanah tersebut semakin padat.

Kuat Geser Tanah

Dalam analisis stabilitas perlu diketahui nilai kuat material lereng yang merupakan besaran perlawanan internal suatu tanah terhadap keruntuhan pada bidang geser dalam tanah (Craig, 1991).

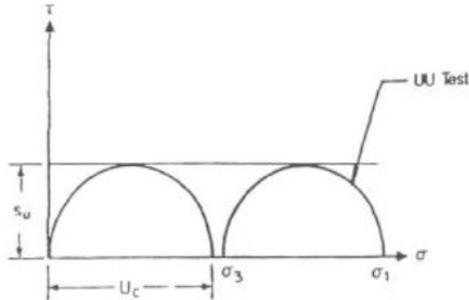
$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi$$

Dengan τ_f = kekuatan geser tanah, σ_f = tegangan normal, c = kohesi dan ϕ = sudut geser. Secara umum ada dua tipe kuat geser tanah yang digunakan dalam analisa lereng, yaitu kuat geser *drained* dan kuat geser *undrained*.

Kuat Geser Undrained

Analisis dengan menggunakan kuat geser *undrained* sering juga disebut dengan *short time analysis* (*end of construction condition*). Kondisi ini dianalisis dengan menggunakan total stress, dimana kekuatan tanah dapat ditentukan dengan uji triaxial UU (*unconsolidated undrained*). Kondisi *undrained* terjadi bila kecepatan penambahan beban luar melebihi kecepatan tegangan air pori untuk terdisipasi (Handiyatmo, 2013). Pada tanah lempung proses terdisipasinya air pori relatif lambat dibandingkan dengan tanah pasir yang memiliki permiabilitas tinggi. Kondisi *undrained* harus diperhatikan bila pekerjaan berada pada tanah lempung, sedangkan pada tanah pasir kondisi ini terjadi pada pembebanan dinamik. Jika perilaku suatu tanah lempung dianalisis dalam kondisi air tak teralirkan (*undrained*) yang diperoleh adalah parameter total dimana tidak diperlukan evaluasi tekana air pori. Dalam kondisi ini diasumsikan besar sudut geser dalam $\phi = 0$ dan

cu sama dengan nilai keruntuhan kohesi Mohr-Coulumb. Lingkaran Mohr saat runtuh menggambarkan tegangan total, hal ini dapat dilihat pada gambar 1. Untuk asumsi ini kuat geser tidak dipengaruhi oleh *confining pressure* selama kadar air tidak berubah.



Gambar 1. *Strength envelope* $\phi = 0$ untuk tanah lempung dalam keadaan *undrained*

Kuat Geser *Drained*

Analisis dengan kuat geser *drained* disebut juga dengan *long term analysis*. Analisis dengan mode tegangan efektif dapat ditentukan nilai parameter melalui tes *Consolidated Drained* atau tes *Direct Shear*, bisa juga dengan menggunakan tes *CU (Consolidated Undrained)* dengan memperhitungkan tegangan air pori (Lambe dan Whitman, 1979). Parameter kekuatan tanah yang diperoleh yaitu c' dan ϕ' . Dengan menggunakan prinsip tegangan efektif, kuat geser maksimum suatu elemen tanah bukan merupakan fungsi dari tegangan normal total yang bekerja pada bidang tersebut merupakan perbedaan atau selisih antara tegangan normal dan tegangan air pori atau tegangan efektif tanah.

Jenis Tanah

Menurut Bowles (1997), tanah merupakan campuran dari berbagai macam diameter butiran yaitu batu pecah (*boulders*) : 250-300 mm, kerakal (*cobbles/pebbles*) : 150-250 mm, kerikil (*gravel*) : 5-150 mm, pasir (*sand*) : 0,074-5 mm, lanau (*silt*) : 0,002-0,074 mm, lempung (*clay*) : 0,001-0,002 mm dan koloid : < 0,001 mm.

Menurut Hardiyatmo (2003), lempung merupakan pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm yang disebut mineral lempung. Lebih lanjut Das (1991) menyatakan bahwa lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari

partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskop biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral-mineral halus lainnya. Untuk nilai kisaran parameter lanau dan lempung dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Nilai parameter lanau dan lempung(Bowles, 1997)

Parameter	Lanau	Lempung
Ukuran (mm)	0.006-0.05	0.002-0.001
Sudut geser (°)	20-35	3-20
Es (Mpa)	2-20	25-100
Poisson ratio	0.3-0.35	0.2-0.3

METODE PENELITIAN

Obyek penelitian adalah beberapa BTS milik Excelcomindo yang tersebar di beberapa daerah di Jawa Tengah dan data tanah yang digunakan sebagai pedoman analisis adalah data yang diperoleh dari hasil uji lapangan dan uji laboratorium yang dilakukan oleh laboratorium yang ditunjuk oleh Excelcomindo. Satu set perangkat keras berupa komputer dan perangkat lunak pogram *Plaxis* Versi 8.4. Dalam penggunaan *Plaxis* ada beberapa hal yang mendasari dalam pembuatan permodelan.

Analisis Tak Terdrainase Dengan Parameter Efektif

Dalam *Plaxis*, perilaku tak terdrainasedapat dlakukan dalam suatu analisis tegangan efektif dengan menggunakan parameter efektif dari model (Brinkgreve, 2002). Hal ini dapat dicapai dengan mengatur jenis perilaku material dari lapisan tanah menjadi tak terdrainase. Adanya tekanan air pori dalam massa tanah, umumnya disebabkan oleh air.

Analisis Tak Terdrainase Dengan Parameter Total

Analisis dengan menggunakan pilihan tak terdrainase pada *Plaxis* dapat menggunakan pilihan tanpa pori dan secara langsung memasukkan parameter-parameter ealstisitas tak terdrainase E sama dengan E_u dan v sama dengan v_u serta parameter kuat geser tak terdrainase c sama dengan c_u dan ϕ sama dengan ϕ_u .

Model Mohr Coulumb

Model Mohr Coulumb adalah model elastis plastis yang terdiri dari parameter yaitu E dan ν untuk memodelkan elastis tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah (Karl, 1993). Model ini merupakan pendekatan ordo pertama dari perilaku tanah dan batuan karena menggambarkan kondisi elastis dan plastis tanah.

Water Condition

Water Condition digunakan untuk memodelkan kondisi *initial pore pressure*. Pemodelan dapat dilakukan dengan dua pilihan, *phreatic line* dan *ground water flow*. *Phreatic line* digunakan untuk memodelkan kondisi hidrostatis, sedangkan *ground water flow* digunakan untuk memodelkan aliran air.

Pengumpulan data dengan memakai data sekunder, dimana data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung oleh pihak lain. Data sekunder dalam penelitian ini berupa pengumpulan data hasil pelaksanaan sondir dan soil tes pada proyek-proyek yang sudah terlaksana.

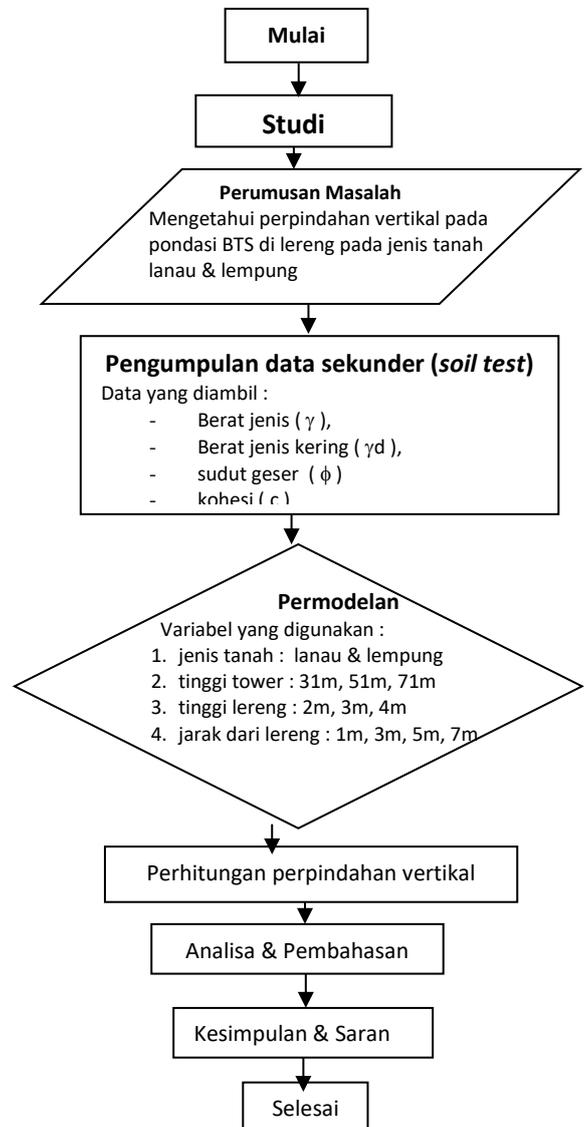
Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut ini:

1. Tahap pertama
 - a. Pengambilan data hasil uji lapangan dan laboratorium yang dilakukan oleh laboratorium yang ditunjuk oleh Excelcomindo. Hasil rangkuman data penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.
 - b. Pada penelitian ini tanah timbunan dan tanah dasar menggunakan model material tipe Mohr-Coulomb, kondisi *drained*, parameter yang dibutuhkan adalah berat volume basah (γ_{wet}), berat volume kering (γ_{dry}), modulus elastisitas (E), kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ), *Poisson's ratio* (ν), sudut dilatansi. Semua parameter diperoleh dari data hasil uji di lapangan dan di laboratorium, kecuali nilai modulus elastisitas.

2. Tahap kedua

Tahap ini merupakan lanjutan dari tahap pertama untuk mengetahui nilai perpindahan vertikal pada tanah dasar dan angka keamanan lereng.

Pondasi dimodelkan sebagai *cluster* yang mempunyai sifat-sifat seperti beton, parameter yang dibutuhkan adalah volume basah (γ_{wet}), berat volume kering (γ_{dry}), modulus elastisitas (E), kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ), *Poisson's ratio* (ν), kemudian dicoba menggunakan variasi beban yang dimodelkan dengan beban merata. Sedangkan pada penelitian ini tanah tanah dasar menggunakan model material tipe Mohr-Coulomb, parameter yang dibutuhkan adalah berat volume basah (γ_{wet}), berat volume kering (γ_{dry}), modulus elastisitas (E), kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ), *Poisson's ratio* (μ). Semua parameter diperoleh dari data hasil uji di lapangan dan di laboratorium, kecuali nilai modulus elastisitas.



Gambar 2. Diagram Alur

Tabel 2. Hasil Penyelidikan Tanah

No	Site	γ kg/m ³	γ_d kg/m ³	C kg/m ²	ϕ
					°
1	Plupuh	1519	1081	1140	21
2	Ngawen	1680	1424	500	37
3	Dawe	1672	1103	2540	10
4	Sumbersari	1638	1472	3210	17
5	Kepuh	1373	931	1000	18
6	Kaligangsa	1781	1356	4760	15
7	Bodeh	1760	1358	2390	21
8	Ps Batang	1590	1014	5010	6
9	Purwomartani	1659	1542	8100	28
10	Ngestiharjo	1611	1110	1950	7
11	Kulur Temon	1334	950	1690	18
12	Patalan Bantul	1232	918	800	17
13	Selopamioro	1226	1055	1500	20
14	Bangunjiwo	1328	998	1600	15
15	Tepus	1670	1198	1980	3
16	Widorokandang	1686	1326	1200	12
17	Adimulyo	1618	1029	1040	3
18	Mangunharjo	1780	1340	1400	26
19	Ayah Logending	1637	1089	2300	13
20	Batur	1640	1050	1100	12
21	Ngrombo Baki	1450	890	5200	11
22	Jaten	1830	1440	1600	16
23	Tingkir	1460	760	1200	18
24	Bulu Sukoharjo	1750	1360	4400	15
25	Wahyuharjo	1605	1100	4340	9
26	Buluspesantren	1580	960	4200	17
27	Tegalsari Weru	1589	1300	1800	6
28	Doplang	1490	1020	2480	15
29	Karangturi	1267	986	800	20
30	Tmn Pekalongan	1820	1550	1000	7

Analisa metode elemen hingga dengan menggunakan Plaxis terdiri dari tiga tahap, yaitu memasukkan data , perhitungan , dan hasil perhitungan.

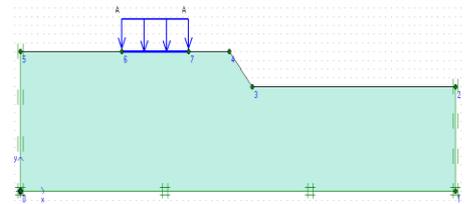
a. Data masukan Plaxis.

Dalam plaxis input ada beberapa tahap yaitu :

- Membuat model.

Dalam tahap ini dibuat model sedemikian rupa sehingga mendekati atau mewakili kondisi lapangan yang

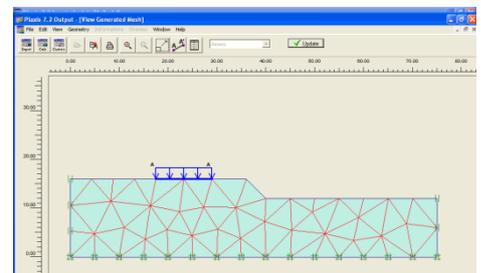
sesungguhnya seperti pada gambar 3. Diawali dengan menggambar kontur geometri yang dilanjutkan dengan penambahan lapisan-lapisan tanah dasar pondasi, kemudian menggambar obyek struktur, jenis pembebanan dan kondisi batas. Pada simulasi ini dibuat model pondasi plat di lereng setinggi 3 m kemiringan 45° dengan jarak pondasi dari lereng bervariasi 1 m sampai dengan 5 m.



Gambar 3. Permodelan

- Penentuan material

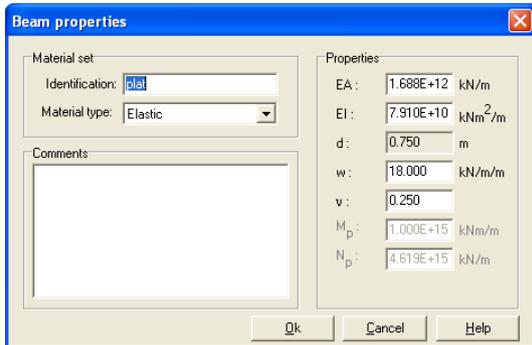
Setelah model geometri selesai dilanjutkan dengan menentukan material dengan parameternya seperti pada gambar 5 dan gambar 6. Jenis tanah yang diambil ada 2 yaitu: lanau dan lempung. Parameter tanah dan parameter beton yang dijadikan sebagai data masukan seperti dalam Tabel 3 berikut.



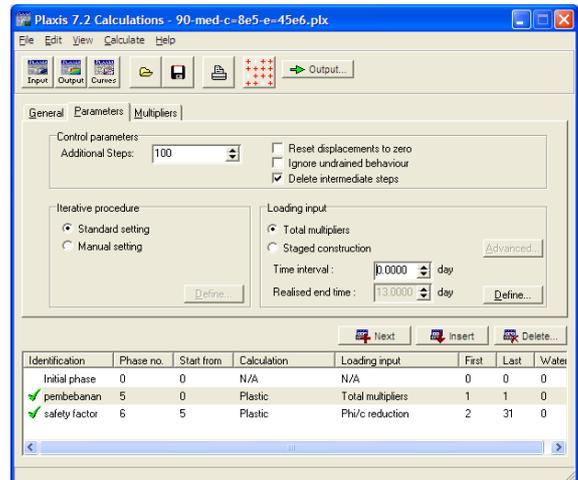
Gambar 4. Meshine model

Tabel 3. Data Material

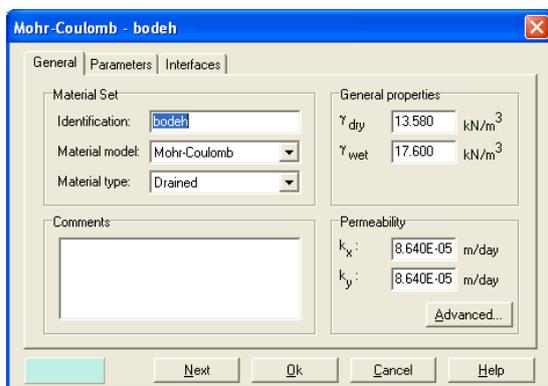
Material	Data masukan	Keterangan
Beton	EA	Elastisitas x Luas
	EI	Elastisitas x Inersia
	W	Berat volume x tebal
	μ	Poisson ratio
Tanah	γ_d	Berat volume kering
	γ_w	Berat volume
	E	Modulus elastisitas
	μ	Poisson ratio
	C	Kohesi
	ϕ	Sudut geser



Gambar 5. Data material beton



Gambar 7. Tahap perhitungan *Plaxis*



Gambar 6. Data tanah

- Mesh Generation

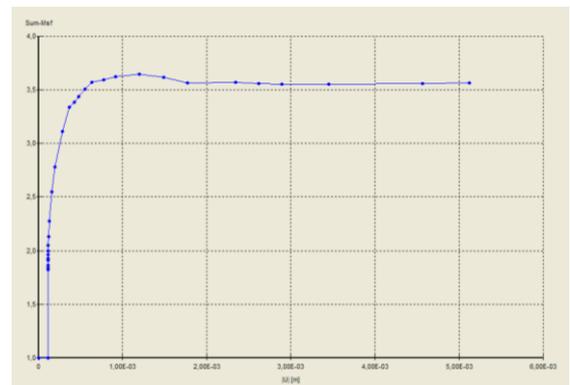
Pada tahap ini, lapisan tanah secara otomatis akan dibagi menjadi elemen-elemen segitiga yang tidak beraturan oleh *Plaxis* seperti pada gambar 4.

- Perhitungan *Plaxis*

Dalam tahapan ini diambil 2 kondisi saja, yaitu saat kondisi awal dan setelah pembebanan. Pada Gambar 6 ditunjukkan jendela perhitungan plastis beserta parameter tiap tahapan yang ada.

- Hasil Perhitungan *Plaxis*

Hasil perhitungan dalam analisa metode elemen hingga oleh *plaxis* adalah angka keamanan (pada gambar 7 dan perpindahan pada tiap-tiap titik pada jaring elemen hingga ke arah horisontal, arah vertikal dan total.

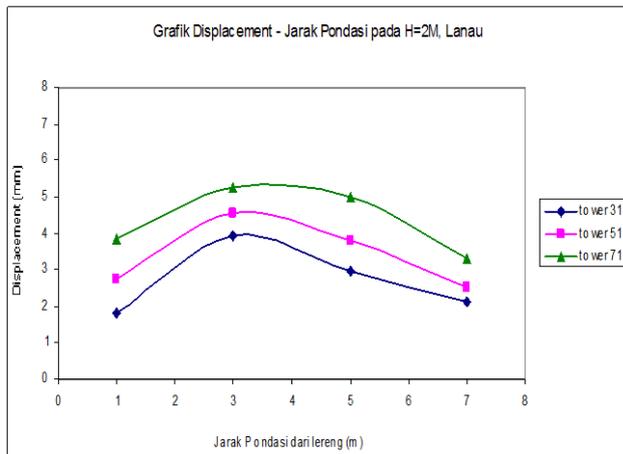


Gambar 8. Hasil Angka keamanan

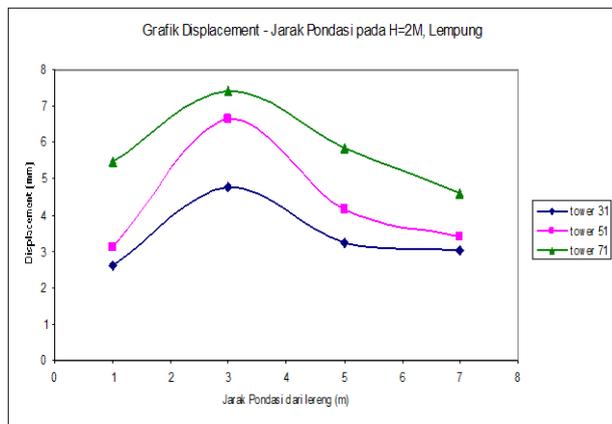
PEMBAHASAN

Pada tipe tanah lanau dengan tinggi lereng 2 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada *tower* 71 m, diikuti oleh *tower* 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 9.

Pada tipe tanah lempung dengan tinggi lereng 2 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada *tower* 71 m, diikuti oleh *tower* 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 9. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 2 m, Lanau



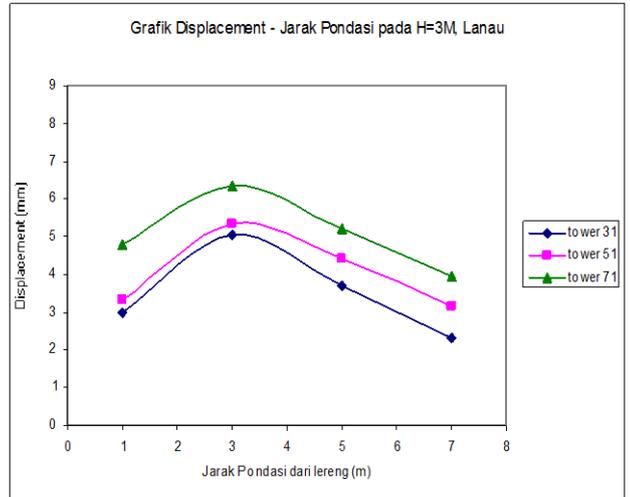
Gambar 10. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 2 m, Lempung

Pada tipe tanah lanau dengan tinggi lereng 3 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada tower 71 m, diikuti oleh tower 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 11.

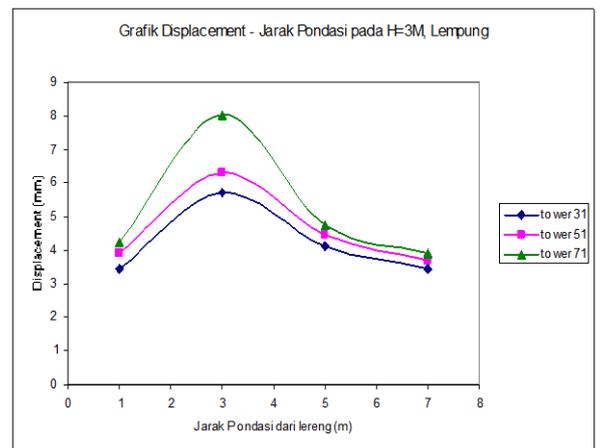
Pada tipe tanah lempung dengan tinggi lereng 3 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada tower 71 m, diikuti oleh tower 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 12.

Pada tipe tanah lanau dengan tinggi lereng 4 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada tower 71 m, diikuti oleh tower 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng

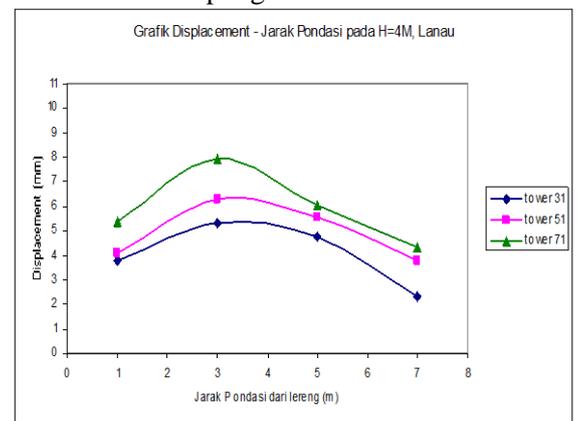
kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 13.



Gambar 11. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 3 m, Lanau

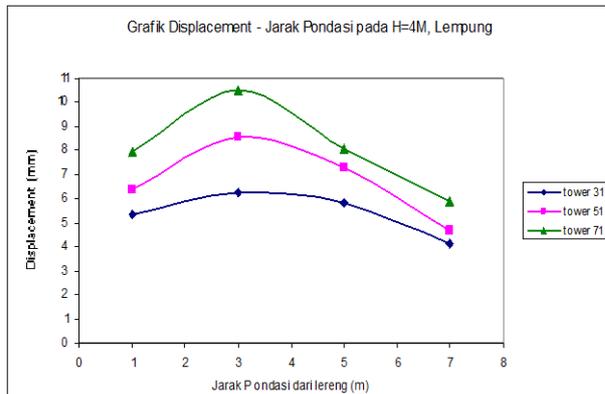


Gambar 12. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 3 m, Lempung



Gambar 13. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 4 m, Lanau

Pada tipe tanah lempung dengan tinggi lereng 4 meter terlihat bahwa perpindahan vertikal terbesar ada pada tower 71 m, diikuti oleh tower 51 m dan 31 m. Perpindahan vertikal terbesar berada di jarak pondasi 3 m dari lereng kemudian berkurang sampai jarak 7 m dari lereng seperti terlihat pada gambar 14.



Gambar 14. Perpindahan vertikal – Jarak, H = 4 m, Lempung

Gambar 9 dan 10 menunjukkan gambar perpindahan vertikal terhadap jarak pondasi untuk beda tinggi lereng 2 m. Kedua grafik mempunyai pola yang sama, perpindahan vertikal akan mengalami kenaikan untuk kemudian akan berkurang lagi dengan bertambahnya jarak pondasi dari lereng. Dalam kondisi yang sama, tanah lempung mempunyai nilai perpindahan yang lebih besar dibanding tanah lanau.

SIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat dilihat bahwa tinggi lereng dan jarak pondasi mempengaruhi besar perpindahan vertikal. Semakin tinggi lereng dan semakin dekat jarak pondasi dengan lereng akan memperbesar penurunan vertikal pondasi. Gambar 9 sampai dengan 14 mempunyai pola yang sama bahwa perpindahan vertikal pada jarak 1m lebih kecil dibanding pada jarak 3 m karena pada jarak 1m masih kuat dipengaruhi oleh perpindahan arah horisontal. yang makin lama semakin berkurang dengan bertambahnya jarak pondasi dari lereng.

Bila dilihat perbandingan antara gambar 11 dan 12, serta perbandingan antara 13 dan 14, mempunyai pola yang sama. Perpindahan vertikal akan bertambah seiring dengan

bertambahnya tinggi lereng. Perpindahan vertikal akan bertambah sampai jarak 3 m untuk kemudian akan terus berkurang seiring dengan bertambahnya jarak pondasi dari lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- Brinkgreve, R.B., 2002, *Manual Plaxis*, A. A Balkema Publisher, Delft, Netherlands.
- Bowles, J.E., 1997, *Analisis dan Desain Pondasi*, Erlangga Jakarta.
- Das, B.M., 1991, *Principles of foundation Engineering*, edisi 2, PWS-Kent, USA.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B., 1993, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta.
- Handiyatmo, C.H., 2003, *Mekanika Tanah*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Atkinson, J.H., 1991, *Foundations and Slope*, Mc Graw Hill, New York
- Lambe, T. W. and Whitman, R.V., 1979, *Soil Mechanics*, John Willey & Sons, Inc., New York
- Craig, R.F., 1991, *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.