

PENGAPLIKASIAN PERKULIAHAN TEKNIK PONDASI & MEKANIKA TANAH DALAM Mendukung KEHANDALAN INDUSTRI MIGAS

Budi Satiawan

Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27,
budi_sat_s2ts03@yahoo.com

.Abstrak

Lesunya industri migas saat ini karena didorong oleh jatuhnya harga minyak dunia membuat nilai keekonomian dari suatu proses pengembangan fasilitas migas belum sesuai dengan harapan. Penerapan efisiensi disemua lini dimulai dari segi operasi, perawatan, dan divisi Pengembangan Proyek menjadi hal yang sangat penting untuk berlangsungnya operasi migas. Setiap pengembangan fasilitas migas akan banyak melibatkan pekerjaan sipil mulai dari persiapan lahan, pembuatan akses jalan dan jembatan, berbagai macam pekerjaan geoteknik, perencanaan pondasi, desain struktur atas baik struktur beton bertulang dan struktur baja sehingga kesinergisan antara perkuliahan sipil dan aplikasinya pada permasalahan yang muncul sangat erat khususnya pengaplikasian perkuliahan Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Dalam tulisan ini akan dijabarkan sinergi dari perkuliahan sipil Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi yang ada dan aplikasinya pada proyek-proyek Industri Migas sehingga diharapkan dengan membaca tulisan ini, lulusan muda Teknik Sipil dan khususnya para Mahasiswa Teknik Sipil memiliki motivasi tambahan dalam mempelajari perkuliahan yang sedang dijalani ataupun mampu membayangkan bahwa semua yang dipelajarinya dibangku kuliah akan mendukung semua aktivitas pekerjaannya dalam kehidupan nyata seorang Insinyur Sipil dalam Industri Migas.

Kata kunci: Industri migas, efisiensi, Mekanika Tanah dan Pondasi, sinergi, motivasi

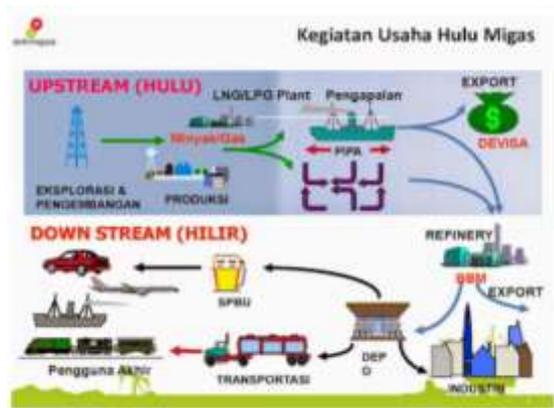
Abstract

The sluggishness of the oil and gas industry is currently driven by the fall of world oil prices to make the economic value of a process of developing oil and gas facilities is not in line with expectations. Implementation of efficiency in all lines starting from the aspect of operation, maintenance, and division of Project Development becomes very important for the ongoing operation of oil and gas. Every development of oil and gas facilities will involve many civil works ranging from land preparation, road access creation, various geotechnical work, foundation planning, top structural designs of reinforced concrete structures and steel structures so that the synergism between civil lectures and their applications on issues that are particularly close application of lecture of Soil Mechanics and Foundation Engineering. In this paper, will be described the synergies of the existing Soil Mechanics and Foundation Engineering lectures with their applications on Oil and Gas Industry projects so that it is hoped that by reading this paper, young graduates of Civil Engineering and especially Civil Engineering students have additional motivation in studying lectures that are being undertaken or able to imagine that everything he learned in college would support all of his work activities in real life of a Civil Engineer in the Oil and Gas Industry.

Keywords : Oil and gas industry, efficiency, Soil Mechanic and Foundation, synergy, motivation.

PENDAHULUAN

Kegiatan industri migas sebagai kegiatan pendukung ketahanan energi nasional merupakan suatu rangkaian aktifitas kompleks yang dimulai dari aktifitas kegiatan di hulu (*upstream*) hingga aktifitas kegiatan di hilir (*downstream*). Tahapan kegiatan di hulu dapat meliputi eksplorasi hingga produksi sedangkan di hilir meliputi kegiatan pengolahan hingga pemasaran.



Gambar 1. Alur Bisnis Kegiatan Hulu Migas

Kegiatan hulu migas meliputi dari tahap studi geologi, studi geofisika, survei seismik, dan pengeboran eksplorasi yang merupakan tahap awal dari seluruh kegiatan usaha hulu migas. Kegiatan ini bertujuan untuk mencari cadangan migas baru. Jika hasil eksplorasi menemukan cadangan migas yang cukup ekonomis untuk dikembangkan maka kegiatan ini akan berlanjut dengan aktivitas produksi.

Proses produksi adalah aktivitas mengangkat kandungan migas ke permukaan bumi. Produksi migas yang telah diangkat akan dialirkan ke proses pengolahan berikutnya melalui pipa salur.

Lesunya industri migas saat ini karena didorong oleh jatuhnya harga minyak dunia membuat nilai keekonomian dari suatu proses pengembangan fasilitas migas belum sesuai dengan harapan. Penerapan efisiensi disemua lini dimulai dari segi operasi, perawatan, dan divisi Pengembangan Proyek menjadi hal yang sangat penting untuk berlangsungnya operasi migas

Sangat banyak fasilitas infrastruktur di migas yang tidak terlepas dari keterlibatan keahlian teknik sipil. Artikel ini akan membahas mengenai keterlibatan keahlian teknik sipil, khususnya peng-aplikasian dari

perkuliahan Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi dalam ikut mendukung kehandalan dari infrastruktur migas.

Aplikasi Ilmu Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi sangat banyak digunakan dalam menyelesaikan permasalahan desain yang berhubungan dengan fasilitas berbagai macam tipe pondasi dalam industri ini. Sehingga diharapkan artikel ini dapat memberikan gambaran nyata antara keilmuan yang diperoleh dimasa perkuliahan dan kebutuhan kerja di lapangan migas sesungguhnya khususnya disektor hulu migas.

METODE

Semua data yang dikumpulkan penulis bersumber dari kajian pustaka literatur, berbagai materi training profesional yang diikuti serta pengalaman yang diperoleh saat mengerjakan berbagai proyek yang berhubungan dengan industri migas.

KEBUTUHAN FASILITAS PONDASI

Semua fasilitas dapat berupa peralatan maupun mesin yang dipasang pada fasilitas migas, tidak akan terlepas dari kebutuhan sistem pondasi. Sistem pondasi akan berfungsi sebagai perantara untuk meneruskan beban struktur yang ada diatas muka tanah dan gaya-gaya lain yang bekerja ke tanah pendukung bangunan tersebut.

Dalam pekerjaan perancangan saat Detail Engineering Design (DED) untuk *surface facilities* pada proyek migas akan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Beberapa disiplin ilmu yang terlibat diantaranya adalah divisi Teknik Kimia, Teknik Mesin, Tekni Fisika, Teknik Elektro dan Teknik Sipil. Tahapan pekerjaan akan dimulai dari tahap desain proses, desain perpipaan dan instrumentasi hingga desain fasilitas sipil. Dalam melakukan perencanaan fasilitas struktur dan pondasi data penting yang dibutuhkan oleh divisi sipil dan bersumber dari disiplin ilmu lain diantaranya adalah informasi *plot plan drawing*, *Piping Plan dwg* serta informasi mengenai *Loading Data*.

FASILITAS PIPE SUPPORT

Pipe support berfungsi untuk menahan dan mengkondisikan suatu sistem perpipaan sehingga aman sampai waktu yang telah ditentukan, bahkan diharapkan berfungsi

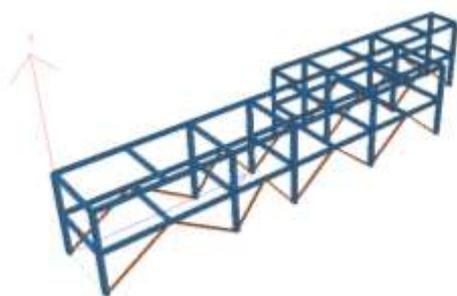
selama pabrik beroperasi. Fasilitas *pipe support* akan didukung oleh suatu sistem pondasi sehingga semua gaya yang bekerja pada struktur atas tersebut dapat disalurkan ke tanah pendukungnya.



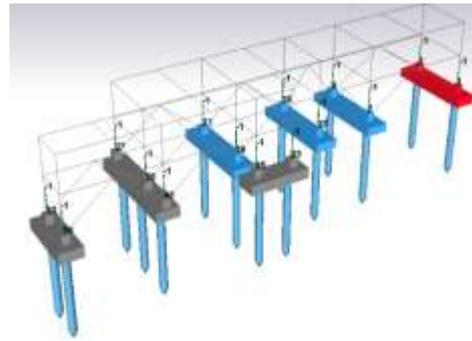
Gambar 2. Tipe Pipe Support

Dalam melakukan analisa pondasi ini melibatkan penentuan kapasitas ijin kuat dukung tanah dan berapa daya dukung maksimal yang akan terjadi baik akibat pembebanan tetap (kondisi pipe kosong dan operasi) serta pembebanan akibat beban sementara (beban gempa, angin serta saat hidrotest pipa).

Untuk penentuan daya dukung ijin tanah memberikan sumbangan yang sangat penting pada sistem perpipaan dikarenakan sistem perpipaan memiliki sensitifitas terhadap penurunan berlebih yang dapat terjadi sehingga besarnya penurunan akan dibatasi untuk mencegah terjadinya tegangan pada pipa melebihi batas yang tegangan ijin pada pipa dan untuk menyelesaikan penentuan besaran penurunan yang terjadi tidak akan terlepas dari perhitungan analisa penurunan pada tanah.



Gambar 3. Struktur Pipe Rack



Gambar 4. Struktur & Pondasi Pipe Rack

Untuk beban-besan besar dimana pondasi dangkal sudah tidak memungkinkan lagi digunakan maka desain pondasi akan menggunakan tipe pondasi dalam seperti tiang pancang. Analisa perhitungan kebutuhan jumlah titik tiang untuk pondasi dalam diperoleh berdasarkan kapasitas batas ijin daya dukung tiang aksial (tekan / Tarik) serta terhadap daya dukung pile terhadap gaya horizontal.

FASILITAS EQUIPMENT/PERALATAN

Setiap instalasi fasilitas equipment (peralatan) di dalam area fasilitas migas maka tidak akan pernah terlepas dari kebutuhan pondasi. Klasifikasi jenis tipe peralatan yang banyak ditemui dalam industri migas ini adalah sebagai berikut:

- Pondasi *Pressure Vessel* (bejana bertekanan)
- Pondasi Tangki
- Pondasi Mesin seperti pondasi untuk unit pompa atau unit *Compressor*.

Vessel memiliki arti tempat yang digunakan untuk menyimpan fluida, baik itu dalam kondisi yang bertekanan ataupun tidak bertekanan. *Pressure vessel* di artikan sebagai sebuah wadah dari metal (baja) yang biasanya berbentuk *cylindrical* atau *spherical*, yang dapat menahan beban tertentu (eugene f. Megyesy)

Pressure vessel dibagi dalam beberapa jenis pada dasarnya, namun bisa dibagi secara sederhana yaitu berdasarkan posisinya. Dua pembagian paling umum yaitu *pressure vessel* vertikal dan horizontal.

Gambar 5. Unit *Vertical Vessel*Gambar 6. Unit *Horizontal Vessel*

Untuk area pengolahan / proses akan disering dijumpai *flare stack* yaitu alat pembakar berbentuk vertikal yang berfungsi sebagai pembakar limbah gas yang tidak mungkin digunakan atau diangkut dan berfungsi sebagai pelindung / alat keamanan untuk melindungi pipa / bejana dari kelebihan tekanan.



Gambar 7. Flare Stack

Pompa adalah suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain, dari suatu tempat yang

rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari suatu tempat bertekanan rendah ketempat tekanan yang lebih tinggi, melalui media perpipaan (saluran) dengan cara menambah energi pada cairan yang di pindahkan dan berlangsung secara kontinyu.



Gambar 8. unit Pompa

Compressor adalah suatu alat yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dari fluida yang kompresibel (dapat dimampatkan) seperti udara dan gas. Kenaikan tekanan udara atau gas yang dihasilkan compressor disebabkan oleh adanya proses pamampatan yang dapat berlangsung secara berselang dan kontinyu. Unit Compressor ini secara umum digunakan untuk keperluan proses, transportasi dan distribusi udara/gas pada fasilitas produksi dan pengolahan migas.

Tipe pondasi pada pompa dan mesin termasuk kategori dapat didesain dengan metoda yang sama seperti pondasi umumnya dimana peninjauan keamanan terhadap gaya eksternal maupun internal menjadi penentu kebutuhan dimensi minimum pondasi. Respons dinamik menjadi faktor lain yang harus ditinjau dari sistem pondasi dinamik ini untuk mencegah respon berlebih dari pondasi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada unit mesin.



Gambar 9. Unit Compressor

Tangki merupakan salah satu fasilitas yang sangat sensitif pada penurunan berlebih. Pondasi tangki dapat menggunakan sistem tipe pondasi dangkal seperti tipe ring wall, timbunan batuan yang dipadatkan (*compacted gravel*) ataupun tipe *concrete slab* selama stabilitas keamanan terhadap gaya eksternal dan internal terpenuhi serta besarnya penurunan total tidak melebihi toleransi yang dapat berakibat gangguan pada unit tangki itu sendiri serta sistem perpipaan yang ada.



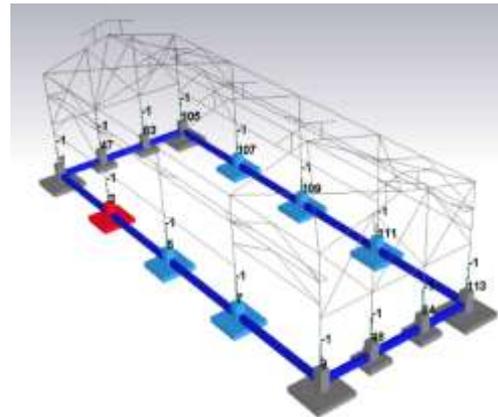
Gambar 10. Unit Tangki

FASILITAS BANGUNAN

Fasilitas ini juga sangat banyak ditemui area fasilitas migas. Lokasi penyimpanan, maintenance, rumah equipment maupun untuk fungsi penggunaan lainnya. Teknik mendesain pondasinya pun tidak banyak berbeda dengan fasilitas infrastruktur lainnya hanya memang biasanya akan ada beban tambahan berupa beban pipa atau instrumentasi yang diposisikan pada building serta fasilitas alat angkat (Overhead Crane) didalam struktur bangunan.



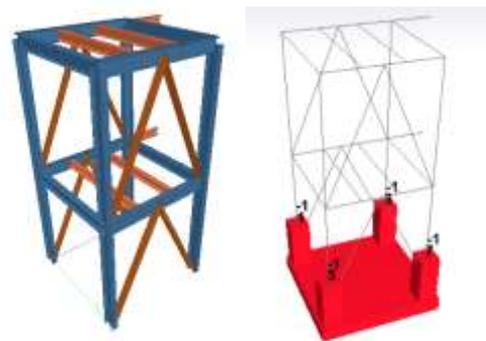
Gambar 11. Struktur Warehouse



Gambar 12. Struktur Warehouse dan Pondasi

FASILITAS OPERATING PLATFORM

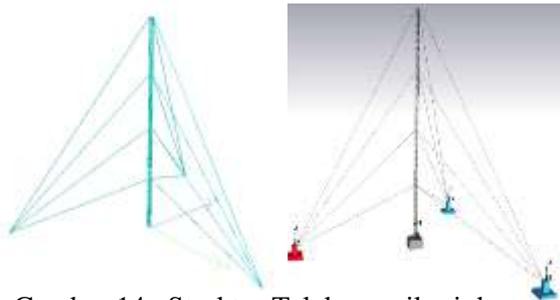
Fasilitas ini sangat banyak ditemui dalam area fasilitas migas. Lokasi penyimpanan, maintenance, rumah equipment maupun untuk fungsi penggunaan lainnya. Teknik mendesain pondasinya pun tidak banyak berbeda dengan fasilitas infrastruktur lainnya.



Gambar 13. Struktur dan Pondasi Service Platform

FASILITAS MENARA TELEKOMUNIKASI

Untuk menghubungkan komunikasi antara satu lokasi ke lokasi lainnya yang berada di *remote area* maka fasilitas menara telekomunikasi juga sangat dibutuhkan dalam industri migas ini. Berbagai tipe menara dapat ditemukan baik bentuk paling sederhana berupa monopole, tipe rangka ataupun yang menggunakan struktur guy wired.



Gambar 14. Struktur Telekomunikasi dan Pondasi

Stabilitas pondasi terhadap gaya eksternal (stabilitas terhadap bahaya guling, geser dan kuat dukung tanah) maupun stabilitas pondasi terhadap gaya internal dapat diperoleh dengan analisa pondasi dengan teori dasar yang telah kita peroleh.

FASILITAS JEMBATAN BAJA

Banyak jembatan-jembatan gelagar yang dibutuhkan dilokasi area sumur gas/minyak. Jembatan ini dapat digunakan sebagai akses penghubung jalan yang dibatasi oleh aliran air (sungai) ataupun berfungsi sebagai perlintasan pipa. Biasanya dalam desain dan perencanaan akan semaksimal mungkin menggunakan material yang tersedia di lokasi.



Gambar 15. Jembatan Gelagar Baja

PEKERJAAN PERSIAPAN LAHAN

Untuk pengembangan proyek diarea lokasi baru (*green field*) umumnya akan dimulai dari pekerjaan persiapan dan pematangan lahan. Jenis kegiatan dari perencanaan persiapan lahan ini meliputi pekerjaan galian tanah maupun pekerjaan penimbunan tanah.

Dalam mendesain pekerjaan timbunan tanah ini akan membutuhkan pertimbangan / masukan dari hasil pekerjaan penyelidikan tanah baik untuk area yang akan ditimbun ataupun material timbunan yang akan digunakan. Sedangkan untuk desain elevasi permukaan tanah sendiri diperoleh berdasarkan informasi data desain yang diperoleh dari

gambar *Plot Plan* untuk area lokasi proyek yang disiapkan oleh divisi *Piping*.

PENYELIDIKAN TANAH

Langkah awal yang dilakukan dari divisi sipil dalam project migas adalah dimulai dengan memahami kondisi tanah setempat, dimana ketebalan lapisan tanah lunak dan jenis tanah akan mempengaruhi tipe pondasi yang akan digunakan sehingga untuk mengetahui kondisi tanah setempat diperlukan adanya pekerjaan penyelidikan tanah.

Permintaan jenis penyelidikan yang diinginkan dari pihak perencana biasanya dituangkan dalam suatu dokumen yang dikenal sebagai *Soil Requisition*. Di dalamnya akan berisi beberapa informasi diantaranya seperti nama dan lokasi proyek, standard yang dijadikan acuan pekerjaan/pengujian, durasi pekerjaan yang diminta hingga lingkup pekerjaan yang diminta.

Umumnya lingkup pekerjaan adalah mobilisasi dan demobilisasi baik untuk orang dan peralatan survey, jenis dan jumlah pengujian lapangan yang dibutuhkan, pengujian laboratorium (jenis pengujian dan estimasi jumlahnya) hingga laporan serta cangkupan rekomendasi yang diinginkan dari hasil penyelidikan tanah.

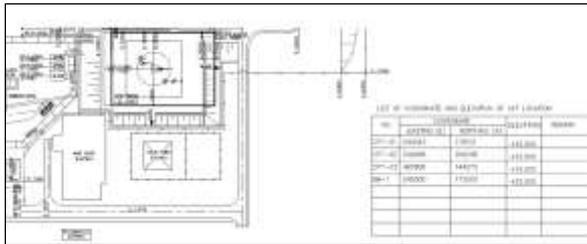
Beberapa input data yang diperlukan dalam mendesain dokumen *Soil Test Requisition* diantaranya adalah sebagai berikut:

- Gambar *Plot Plan (equipment layout)*
- Daftar *equipment*/peralatan yang ada
- Data beban *equipment* / peralatan
- Data *Pra-soil investigation* (jika ada)
- Konseptual pekerjaan sipil

Target yang ingin diperoleh dari pekerjaan penyelidikan tanah ini adalah mendapatkan gambaran kondisi lapisan tanah di lokasi proyek, memperoleh parameter tanah, menentukan daya dukung tanah dan kapasitas tiang (pancang/bor) serta masukan mengenai pekerjaan tanah nantinya.

Penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan diantaranya adalah :

- Pekerjaan boring
- Pengambilan sampel tanah
- N-SPT serta Sondir



Gambar 16. Contoh Lokasi Titik Penyelidikan Tanah

Contoh lampiran list item untuk jenis pengujian yang dilampirkan dalam Soil Requisition.

Tabel 1. Contoh Pekerjaan Uji Tanah

QUOTATION FORM FOR SOIL INVESTIGATION

NO.	WORK ITEM	UNIT	EST. QTY	UNIT PRICE	AMOUNT
1	PROBATION AND DEMONSTRATION		1		
2	FIELD EXPLORATION				
	1. Test Pit	per test	1		
	2. Test Pit	per test	1		
	3. Test Pit	per test	1		
	4. Test Pit	per test	1		
	5. Test Pit	per test	1		
3	LABORATORY TEST				
3.1	Natural Moisture Content (ASTM D2230/02D7M)	per test	1		
3.2	Atterberg Limits (ASTM D432, D424 and D427)	1 per test sample	1		
3.3	Shrinkage (ASTM D2230)	1 per test sample	1		
3.4	Specific Gravity (ASTM D854)	1 per test sample	1		
3.5	Classification of Soil (ASTM D2487 and D2488)	1 per test sample	1		
3.6	Wet Density (ASTM D1556)	per test	1		
3.7	Moisture Density (ASTM D1556)	per test	1		
3.8	Consolidation (ASTM D2486)	per test	1		
3.9	Unconfined Compression (ASTM D2487)	per test	1		
3.10	Triaxial Compression (ASTM D2488)	per test	1		
4	REPORTING				
	Total 1. Probation and Demonstration		1		
	Total 2. Field Exploration				
	Total 3. Laboratory Test				
	Total 4. Reporting				

NO.	WORK ITEM	UNIT	EST. QTY	UNIT PRICE	AMOUNT
3.11	Swelling Test (ASTM D2230)	per test	1		
3.12	Organic Content (ASTM D2230)	per test	1		
3.13	Organic Content (ASTM D2230)	per test	1		
3.14	Sulfur Content (ASTM D2230)	per test	1		
3.15	Chloride Content (ASTM D2230)	per test	1		
3.16	Remoldability of Fine Grained Soil (ASTM D2230)	per test	1		
3.17	Water Retention Test	per test	1		

Tabel 2. Klasifikasi masalah dan Kebutuhan Uji

Masalah	Informasi Dibutuhkan	Parameter Dibutuhkan	Uji Coba Dibutuhkan
Daya Dukung	Daya dukung jangka pendek	- Berat vol. tanah - Undrained shear strength	Uji laboratorium : - Density test - Unconfined Comp.test - Triaxial UU test
	Daya dukung jangka panjang	- Berat vol. tanah - Drained shear strength	Uji laboratorium: - Density test - Triaxial CU Comp.test w/pore pressure measurement - Triaxial CD Comp.test w/pore pressure measurement
	Daya dukung empiris	- Nilai N - Nilai konus (qc) Parameter Uji Lapangan	Uji Lapangan : - SPT, CPT Uji Lapangan : - Pressuremeter Test - dilatometer Test
Penurunan	Penurunan Seketika	Undrained Modulus (Eu)	Uji Lapangan : - Pressuremeter Test - dilatometer Test
			Uji Lapangan : - SPT - CPT
	Penurunan jangka panjang	- Tekanan prakonsolidasi, Pc - Indeks Compressi, Cc - Indeks Compressi ulang, Cr - Indeks Compressi secondary, Ca - Koefisien konsolidasi, CV - Koefisien konsolidasi, Ch	Uji Laboratorium: Oedometer Uji lapangan : Piezocone test
	- Tekanan Pra konsolidasi, Pc	Uji lapangan : - Pressuremeter Test - dilatometer Test	

BASIS DESAIN DAN PEMBEBANAN

Beban Vertikal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain pondasi *Equipment* atau fasilitas yang menopang sistem perpipaan selain dari berat sendiri struktur dan pondasi adalah sebagai berikut :

1. Berat kosong : berat *equipment*/pipa dalam kondisi kosong / erection
2. Berat Operasi: berat *equipment* dalam kondisi operasi yang mana didalamnya sudah mempertimbangkan berat tambahan yang muncul diantaranya akibat berat *platform, pipa, ladder, insulation, dsb*
3. Berat Test: Berat *equipment* saat kondisi *hydrottest, full water*.

Beban Horizontal yang dipertimbangkan dalam mendesain fasilitas pondasi adalah sebagai berikut :

1. Beban Angin, yang besarnya diperhitungkan sesuai dengan kecepatan angin yang telah ditetapkan sebagai desain basis.
2. Beban Gempa, yang besarnya sesuai dengan peraturan pembebanan akibat gempa dan lokasi setempat.

Beban kombinasi yang digunakan dalam mendesain pondasi ini adalah sebagai berikut:

1. Un-factored Load : Digunakan untuk mendesain stabilitas pondasi terhadap kuat dukung tanah maksimum, faktor keamanan geser dan faktor keamanan terhadap guling
2. Factored Load : Digunakan dalam mendesain penulangan pondasi.

TINJAUAN TERHADAP KUAT DUKUNG

Tinjauan kewanaman pondasi akibat gaya eksternal untuk stabilitas pondasi *Equipment* (OnSoil) adalah sebagai berikut :

1. Daya dukung maksimum < Daya dukung ijin tanah
 - Untuk nilai $e < 1/6 B$, maka perhitungan daya dukung ijin tanah:

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (1)$$

- Untuk nilai $e > 1/6 B$, maka perhitungan daya dukung ijin tanah:

$$\sigma_{maks} = \frac{2}{3} \frac{P}{By \left(\frac{Bx}{2} - ex \right)} \quad (2)$$

2. Stabilitas pondasi terhadap Geser (SF for Sliding)

$$SF \text{ geser} = (P * \text{koef.friksi}) / H > SF \text{ ijin}$$

3. Stabilitas pondasi terhadap Guling (SF for Moment overturning)

$$SF \text{ guling} = (P * B / 2) / M > SF \text{ ijin}$$

dimana:

σ = tegangan maksimal pada tanah

P = beban total terpusat

e = eksentrisitas beban terpusat terhadap pusat berat pondasi

B = lebar pondasi

H = gaya luar arah horizontal

Stabilitas pondasi untuk tipe pondasi dalam (tiang pancang) :

1. Reaksi maksimal pancang < Kapasitas ijin tiang

$$Reaksi \text{ pile} = \frac{P}{n} \pm \frac{M \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M \cdot y_i}{\sum y^2} \quad (3)$$

2. Reaksi horizontal tiang < Kapasitas horizontal tiang

$$Reaksi \text{ lateral pile} = \frac{H}{n} \quad (4)$$

Dengan:

P = resultan beban vertikal

M = beban moment terhadap titik O

x_i = jarak tiang ke i terhadap titik O searah sumbu x

y_i = jarak tiang ke i terhadap titik O searah sumbu y

$\sum x$ = jumlah kuadrat jarak x terhadap titik O

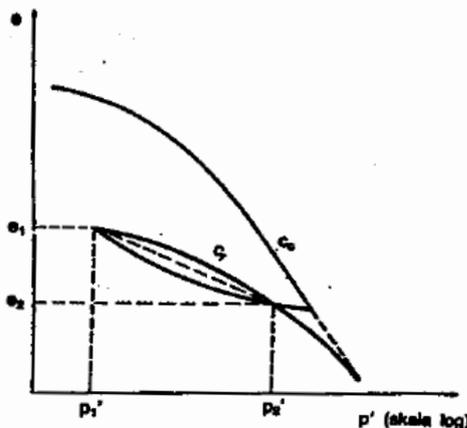
$\sum y$ = jumlah kuadrat jarak y terhadap titik O

TINJAUAN TERHADAP PENURUNAN

Problem mengenai penurunan menjadi satu kondisi serius yang banyak dihadapi dalam

suatu fasilitas industri migas. Hal ini mengingat penurunan tanah akan mengakibatkan turunnya pondasi serta sistem dari fasilitas yang ditopang di atasnya. Pada saat perencanaan, estimasi total penurunan sudah harus dipertimbangkan dalam desain agar selama waktu operasi tidak terjadi penurunan berlebih yang mengakibatkan dampak signifikan pada sistem produksi.

Formula yang dapat digunakan untuk menghitung penurunan jangka panjang dapat digunakan pendekatan dari Bowles berdasarkan hasil pengujian konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*) pada sampel uji dikedalaman tertentu (sampel tidak terganggu) di laboratorium menggunakan alat *oedometer konsolidometer*.



Gambar 17. Grafik hubungan e-log p'

- a. Penurunan untuk lempung *Normal Consolidated* dengan tegangan efektif sebesar p_1'

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (5)$$

- b. Penurunan untuk lempung *Over Consolidated* ($p_c' > p_o'$)

Bila $p_1' < p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (6)$$

Bila $p_1' > p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_c'}{p_o'} + C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_c'} \quad (7)$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad (8)$$

*pada kurva penambahan beban atau $p' > p_c'$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad (9)$$

*pada kurva pelepasan beban atau pada $p' < p_c'$

Dengan:

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

p_c' = tekanan prakonsolidasi

e_o = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban pondasi

p_o' = tekanan overburden efektif awal

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari pengalaman penulis selama melakukan pekerjaan detail engineering di industri migas maka peran serta teknik sipil sangat penting. Perkuliahan Teknik Sipil yang diperoleh saat dibangku kuliah khususnya mekanika tanah serta teknik pondasi sangat berperan dalam menyelesaikan berbagai masalah ataupun desain yang ada.

Hampir semua fasilitas fisik di industri migas tidak akan terlepas dari kebutuhan pondasi. Perhitungan kuat dukung tanah ataupun kuat dukung pondasi tiang hingga Analisa keamanan pondasi akibat beban eksternal serta gaya internal dapat diselesaikan dengan teori dasar yang dipelajari di perkuliahan.

Diharapkan dengan membaca paper ini maka para mahasiswa sipil ataupun lulusan muda teknik Sipil dapat termotivasi dalam memahami materi materi yang diberikan diperkuliahan serta tahu aplikasi dari materi yang diberikan dalam industri dunia kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonym. 2007. *Inhouse training : Pipe Support*. Materi tidak diterbitkan. Jakarta. PT. IKPT
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press

- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta. Beta Offset
- Hardiyatmo, HC. 2010. *Analisis dan Perancangan Pondasi bagian II*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press
- Pramono, AP. 2007. *Inhouse training : Soil Investigation*. Materi tidak diterbitkan. Jakarta. PT. IKPT
- Suryolelono, K.B HC. 1997. *Teknik Fondasi Bagian I*. Yogyakarta. Nafiri
- Suryolelono, K.B HC. 1994. *Teknik Fondasi Bagian II*. Yogyakarta. Nafiri
- El-Reedy, M.A. 2011. *Construction Management and Design of Industrial Concrete and Steel Structures*. Cairo,Egypt. CRC Press
- Satiawan, B. 2016. *Desain Operating Platform menggunakan STAADPro dan STAAD Foundation*. Materi tidak diterbitkan. Jakarta. ETOG