



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

PERENCANAAN ULANG PONDASI DINAMIS CNG (COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET PADA PLTMG (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS) PULAU BAWEAN

NI PUTU TEJA DEWANTI
NRP 3111 100 133

Dosen Pembimbing
Prof. Tavio ST., MT., PhD
Ir. Ananta Sigit Sidharta, MSc., PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**REDESIGN OF DYNAMIC FOUNDATION CNG
(COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET OF PLTMG (GAS
ENGINE POWER PLANT) BAWEAN ISLAND**

NI PUTU TEJA DEWANTI
3111 100 133

Supervisors :
Prof. Tavio ST., MT., PhD
Ir. Ananta Sigit Sidharta, MSc., PhD

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PERENCANAAN ULANG PONDASI DINAMIS CNG
(COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET PADA PLTMG
(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS) PULAU
BAWEAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NI PUTU TEJA DEWANTI
NRP. 3111100 133

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Tavio ST., MT., PhD(Pembimbing 1)

2. Ir. Ananta Sigit Sidharta MSc., PhD(Pembimbing 2)

Surabaya,

JUNI, 2015

**PERENCANAAN ULANG PONDASI DINAMIS CNG
(COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET PADA PLTMG
(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS) PULAU
BAWEAN**

Nama : Ni Putu Teja Dewanti
NRP : 3111100133
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Konsultasi : Prof. Tavio ST., MT., PhD
Ir. Ananta Sigit Sidharta MSc., PhD

ABSTRAK

Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan paling bawah yang berfungsi menyalurkan dan meneruskan beban ke tanah. Pondasi mesin harus didesain agar dapat memikul semua beban di atasnya baik itu beban statis dari berat mesin itu sendiri maupun beban dinamis yang dihasilkan pada saat mesin itu dioperasikan. Hal ini dipandang sangat penting walaupun kemajuan di bidang teknologi khususnya di bidang manufaktur telah menyediakan mesin-mesin dengan mutu tinggi dan didukung dengan kualitas yang baik, karena beban dinamis yang dihasilkan saat mesin dioperasikan dan terjadi secara berulang-ulang harus diperhitungkan dengan baik dan cermat agar pondasi dapat meredam getaran yang ditimbulkan oleh mesin tersebut dan dapat menghilangkan efek resonansi yang dapat timbul pada struktur bangunan tersebut.

Dalam tugas akhir ini dibahas mengenai perencanaan pondasi dinamis CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset pada PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) yang berada di pulau Bawean, Gresik, Jawa Timur berdasarkan beban statis dan beban

dinamis yang dimiliki oleh mesin tersebut. Untuk analisa beban dinamis menentukan besarnya amplitudo yang terjadi dan mengetahui apa yang terjadi apabila terdapat kerusakan atau kematian salah satu maupun lebih dari satu mesin yang ada di atas pondasi yang telah direncanakan tersebut, serta merencanakan penulangan pile cap dari pondasi mesin yang akan direncanakan.

Dengan pertimbangan dari keadaan lingkungan dan data tanah dimana lokasi mesin berada, disimpulkan bahwa pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang.

Kata kunci : *pondasi mesin, beban dinamis, lumped parameter system, tiang pancang, pile cap*

**REDESIGN OF DYNAMIC FOUNDATION CNG
(COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET OF PLTMG
(GAS ENGINE POWER PLANT) BAWEAN ISLAND**

Name	:	Ni Putu Teja Dewanti
Student Number	:	3111100133
Major	:	Teknik Sipil FTSP-ITS
Supervisor	:	Prof. Tavio ST., MT., PhD Ir. Ananta Sigit Sidharta MSc., PhD

ABSTRACT

Foundations generally applicable as a component of the supporting structure of the building which serves to channel and forward load to the ground. Machine foundation must be designed to carry all the weight on it either static load from the weight of the machine itself and the dynamic loads generated when the machine was operated. It is considered very important in spite of advances in technology especially in manufacturing has been providing machines with high quality and supported with good quality, because of the dynamic loads generated when the engine is operated and occur repeatedly to be taken into account properly and carefully in order foundation can dampen the vibration caused by the engine and can eliminate resonance effects that can occur in the structure of the building.

In this thesis discussed the dynamic foundation design CNG (Compressed Natural Gas) Genset on PLTMG (Gas Engine Power Plant) located on the Bawean island, Gresik, East Java based on static load and dynamic load which is owned by the machine. For dynamic load analysis determining the amplitude and know what happens when there is damage or when one or more than one

machines turned off existing on a foundation that has been planned, as well as the reinforcement of a pile cap of machine foundation to be planned.

In consideration of the state of the environment and soil data location where the machine is located, it was concluded that the foundation used is a pile foundation.

Key words : machine foundations, dynamic load, lumped parameter system, pile, pile cap

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Perencanaan Ulang Pondasi Dinamis CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset Pada PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) Pulau Bawean tepat pada waktunya seperti yang diharapkan. Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk lebih menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Selama proses penulisan Tugas Akhir ini, penulis mendapat banyak masukan, bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Puji syukur kehadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Papa, Mama dan Kiki yang selalu memberi dukungan dan doa. Terima kasih atas segala pengorbanan dan kasih sayang yang telah diberikan,
3. Bapak Prof. Tavio ST., MT., PhD dan Bapak Ir. Ananta Sigit Sidharta MSc., PhD selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan waktunya dalam menyelesaikan Tugas Akhir,
4. Ibu Endah Wahyuni ST., MSc., PhD selaku dosen wali, atas segala arahan dan bimbingannya,

5. Yudha, Natalia, Ade, Bimo, Alfin, Satya, Emiliani, Fadliandro dan Indra yang selalu membantu, memberikan semangat dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
6. Teman-teman Teknik Sipil ITS 2011 yang telah menjadi teman seperjuangan dalam meraih gelar sarjana S1
7. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 26 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pondasi Mesin.....	7
2.1.1 Pondasi Dangkal (<i>Shallow Foundation</i>)	7
2.1.2 Pondasi Dalam (<i>Deep Foundation</i>)	9
2.2 Kategori Mesin	10
2.3 Syarat Pondasi Mesin	11
2.4 Metode Analisa Pondasi Mesin	11
2.4.1 Metode Analisa Akibat Beban Dinamis	13
2.5 Derajat Kebebasan Pondasi Mesin	15
2.6 Analisa Tiang Pancang Akibat Beban Dinamis	17
2.6.1 Analisa tiang Pancang Akibat Beban Dinamis	17
2.7 Cek Desain Perencanaan	18
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Pengumpulan Data	23

3.2 Studi Literatur	23
3.3 Analisa Pembebaran	24
3.4 Analisa Beban Statis Pada Pondasi	25
3.4.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal	25
3.4.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok.....	28
3.4.3 Menghitung Nilai Modulus Geser	30
3.5 Analisa Beban Dinamis pada Pondasi	32
3.5.1 Metode Lumped Parameter System	32
3.5.2 Menghitung Nilai Kekakuan dan Redaman Pondasi	35
3.5.2.1 Vertikal	36
3.5.2.2 Horizontal	40
3.5.2.3 Rocking	45
3.5.3 Menghitung Besarnya Amplitudo	48
3.6 Perhitungan Kopel Lateral dan Rocking	50
3.7 Penulangan	51
3.7.1 Penulangan <i>Pile Cap</i>	51
3.7.2 Penulangan Tiang Pondasi	53
BAB IV PERENCANAAN PONDASI	59
4.1 Data-data Perencanaan	59
4.2 Pembebaran	60
4.2.1 Beban Statis	61
4.2.2 Beban Dinamis	62
4.3 Analisa Beban Statis Pada Pondasi	62
4.3.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal	63
4.3.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok	66
4.4 Perhitungan Modulus Geser Tanah	67
4.5 Kombinasi Pembebaran	68
4.5.1 Kombinasi Pembebaran Akibat Beban Statis	69
4.5.2 Kombinasi Pembebaran Akibat Beban Dinamis	70
4.6 Analisa Beban Dinamis Tanpa Tiang	77
4.6.1 Akibat Beban Dinamis Vertikal	77

4.6.2	Akibat Beban Dinamis Horizontal	81
4.6.3	Akibat Beban Dinamis Rocking	84
4.7	Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang	90
4.7.1	Vertikal	90
4.7.2	Horizontal	97
4.7.3	Rocking	103
4.8	Perhitungan Kopel Lateral dan Rocking	107
BAB V	PENULANGAN	113
4.1	Penulangan <i>Pile Cap</i>	113
5.1.1	Data Perencanaan	113
5.1.2	Pembebatan	114
5.1.3	Perhitungan Kebutuhan Tulangan.....	114
5.1.4	Penulangan Akibat Tegangan Tanah	119
5.1.5	Kontrol Geser Pons <i>Pile Cap</i>	120
5.2	Penulangan Tiang Pancang	123
5.2.1	Efisiensi Tiang Pancang Akibat Gaya Lateral	123
5.2.2	Momen Akibat Gaya Lateral	124
5.2.3	Momen Akibat Pengangkutan Tiang Pancang	125
5.2.4	Momen Akibat Pengangkatan Tiang Pancang	126
5.2.5	Perhitungan Penulangan Tiang	126
5.2.6	Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal	127
BAB VI	KESIMPULAN	129
DAFTAR	PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Design Eccentricities for Centrifugal Machine</i>	16
Tabel 2.2 <i>General Machinery-Vibration Severity Data</i>	19
Tabel 3.1 Koefisien α_p	25
Tabel 3.2 Koefisien α_s	26
Tabel 3.3 Koefisien α_f	27
Tabel 3.4 Harga K_o	32
Tabel 3.5 Konstanta Pegas	32
Tabel 3.6 Nilai η_z , η_x , dan η_ψ	33
Tabel 3.7 Koefisien Redaman	34
Tabel 3.8 Korelasi B_ψ dan n_ψ	35
Tabel 3.9 Faktor α_z , α_x dan α_ψ	35
Tabel 3.10 Hubungan antara Poison Ratio dengan \bar{S}_1 , \bar{S}_2	39
Tabel 3.11 Parameter Kekakuan dan Redaman	43
Tabel 3.12 Koefisien A untuk Tiang Panjang	55
Tabel 3.13 Koefisien B untuk Tiang Panjang	56
Tabel 4.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal	65
Tabel 4.2 Jenis-jenis Beban yang Ada Pada Pondasi	69
Tabel 4.3 Kombinasi Pembelahan Akibat Beban Statis	70
Tabel 4.4 Momen yang Terjadi Akibat Beban Dinamis.....	79
Tabel 4.5 Momen yang Terjadi Akibat Beban Dinamis	79
Tabel 4.6 Analisa Dinamis Tanpa Tiang	89
Tabel 4.7 Penentuan Harga α_A	92
Tabel 4.8 Harga α_L Perencanaan	98
Tabel 4.9 Analisa Dinamis dengan Kombinasi Pembelahan .	111
Tabel 5.1 Beban Mati Pelat	114
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Aksial dan Momen	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pondasi Mesin Tipe Blok	8
Gambar 2.2 Pondasi Slab	8
Gambar 2.3 Pondasi Tipe Portal	9
Gambar 2.4 Ragam Getaran Pondasi Mesin	16
Gambar 2.5 Getaran Pondasi Mesin	19
Gambar 3.1 Diagram Alir	57
Gambar 4.1 Potongan Memanjang Pondasi	60
Gambar 4.2 Letak Gaya	61
Gambar 4.3 Denah Tiang Pancang	66
Gambar 4.4 Asumsi 1	71
Gambar 4.5 Asumsi 2	71
Gambar 4.6 Asumsi 3	72
Gambar 4.7 Asumsi 4	72
Gambar 4.8 Asumsi 5	72
Gambar 4.9 Asumsi 6	73
Gambar 4.10 Asumsi 7	73
Gambar 4.11 Asumsi 8	73
Gambar 4.12 Asumsi 9	74
Gambar 4.13 Asumsi 10	74
Gambar 4.14 Asumsi Arah Gaya yang Menentukan	74
Gambar 5.1 Tulangan Pelat	116
Gambar 5.2 Geser Pons	120
Gambar 5.3 Denah Tiang Pancang	123
Gambar 5.4 Letak Perl letakan Pengangkutan Tiang	125
Gambar 5.5 Momen Pengangkutan Tiang	125
Gambar 5.6 Letak Perl letakan Pengangkatan Tiang	126
Gambar 5.7 Momen Akibat Pengangkatan	126
Gambar 5.8 Interaksi Beban Aksial dan Momen Tiang	127

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Tanah

Lampiran 2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Akibat
Beban Statis

Lampiran 3 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok Akibat
Beban Statis

Lampiran 4 Gambar Denah, Potongan dan Spesifikasi Mesin

Lampiran 5 Permodelan SAP2000

Lampiran 6 Hasil Akhir Permodelan Excel SAP2000

Lampiran 7 Hasil Akhir Kombinasi Pembebanan

Lampiran 8 Gambar dan Detail Penulangan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah bangunan tidak dapat begitu saja didirikan langsung di atas permukaan tanah, untuk itu diperlukan adanya struktur bangunan bawah yang disebut pondasi. Struktur bangunan bawah atau pondasi merupakan bagian yang penting untuk mendukung keamanan dan kestabilan bangunan. Pondasi bertugas menyalurkan seluruh beban bangunan yang berada di atasnya menuju ke tanah. Apabila kondisi tanah diketahui mempunyai daya dukung yang sangat rendah, tipe dan dimensi pondasi harus direncanakan secara khusus untuk menjaga kestabilan pondasi tersebut. Terdapat beberapa perbedaan antara merencanakan pondasi suatu bangunan dengan merencanakan pondasi mesin, khususnya untuk mesin yang mempunyai beban dinamis. Perencanaan pondasi mesin secara konvensional yang berdasarkan dari prosedur pendekatan dianggap sudah tidak efisien lagi dan juga tidak ekonomis (Muliana & Pradoto, 2005).

Pondasi mesin dinamis memperhitungkan beban-beban yang ada dan mempertimbangkan sejauh mana pengaruh gempa bumi dapat membuatnya semakin kompleks. Gempa merupakan beban yang sangat penting karena dengan gempa pondasi dapat turun, miring, kehilangan daya dukung, liquefaction, dan dapat menyebabkan bangunan terapung (Sidartha, 2013). Pada prinsipnya, desain dari pondasi mesin harus mampu menyalurkan beban dinamis ke tanah dan se bisa mungkin menghilangkan pengaruh buruk yang dapat terjadi akibat dari beban dinamis yang dihasilkan oleh mesin tersebut (Barkan, 1962). Beban dinamis yang dihasilkan saat mesin bekerja relatif lebih kecil bila

dibandingkan dengan berat mesin dan pondasi itu sendiri. Akan tetapi beban dinamis yang dihasilkan saat mesin beroperasi dalam jangka waktu yang lama secara berulang-ulang dan ditambah lagi dengan adanya gaya gempa yang dapat terjadi sewaktu-waktu dan bersamaan dengan waktu dimana mesin tersebut beroperasi maka faktor-faktor tersebut tidak dapat diabaikan dan perlu mendapat perhatian khusus agar tidak menimbulkan kerugian.

Kinerja, faktor keamanan dan kestabilan dari mesin bergantung pada desain, fabrikasi dan interaksi lingkungan sekitarnya. Namun, bila diperhatikan lebih lanjut penggunaan mesin menimbulkan getaran-getaran yang seringkali tidak dapat ditahan oleh pondasi dan bahkan desain pondasi yang tidak tepat dapat memperbesar getaran tersebut sehingga kinerja mesin menjadi sangat rendah (Muliana & Pradoto, 2005). Pada saat mesin beroperasi, mesin akan menimbulkan respon vibrasi berupa frekuensi resonansi dan amplitudo getaran dimana pada jangka waktu yang lama dan secara berulang-ulang akan mengganggu struktur yang menopang mesin itu sendiri, ditambah lagi apabila ada gaya gempa yang terjadi secara bersamaan dengan beroperasinya mesin tersebut, misalnya retak pada lantai yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi para operator mesin yang berada di sekeliling mesin tersebut dan dapat berdampak menurunnya kinerja mesin (Irsyam, 2004).

PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) ini berlokasi di Pulau Bawean daerah Dayabata Sawamulya, Sangkapura, Gresik, Jawa Timur. PLTMG dengan daya 3×1 MW ini dibangun oleh PT. PJB (Pembangkitan Jawa Bali) pada tahun 2013 tepatnya di bulan Juni. Mesin yang digunakan adalah CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset sebanyak 3 buah dengan dimensi 6000x1600x2500 mm.

Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai perencanaan pondasi mesin untuk PLTMG Bawean dan akan direncanakan tipe

pondasi dalam yaitu menggunakan pondasi tiang pancang untuk memikul beban 3 buah mesin CNG (*Compressed Natural Gas*) sekaligus. Maka dipergunakanlah pondasi tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan lekatan antara tiang dengan tanah. Selain itu pondasi tiang berfungsi untuk menambah kekakuan sehingga memperkecil frekuensi natural dan memperkecil amplitudo. Dalam analisa pondasi dinamis digunakan metode *Lumped Parameter System* yang di kembangkan oleh Novak (1977) karena dalam metode ini menggunakan massa, pegas dan peredam seperti pada teori getaran dan redaman tidak diabaikan. Selain itu metode ini lebih banyak menggunakan cara analitis dan beberapa cara grafis sehingga hasilnya bisa lebih akurat. Kemudian akan ditinjau lebih mendalam apabila terjadi kerusakan atau kematian pada salah satu maupun lebih dari satu mesin yang ada di atas pondasi tersebut, dimana akan mempengaruhi eksentrisitas dan momen yang ada.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana merencanakan pondasi mesin akibat adanya beban statis dan dinamis yang ada di atasnya?
2. Bagaimana menentukan besarnya amplitudo total yang terjadi akibat beban dinamis dari mesin yang beroperasi?
3. Apa yang dapat disimpulkan apabila terdapat kerusakan atau salah satu maupun lebih dari satu CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset yang ada di atas pondasi yang telah direncanakan tersebut mati?
4. Bagaimana menghitung tulangan dan mengkontrol desain tulangan pile cap dan tiang pancang tersebut?

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Merencanakan pondasi mesin akibat adanya beban statis dan dinamis yang ada di atasnya,
2. Mengetahui besarnya amplitudo total yang terjadi akibat beban dinamis dari mesin yang beroperasi,
3. Menyimpulkan apa yang terjadi apabila terdapat kerusakan atau salah satu maupun lebih dari satu CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset yang ada di atas pondasi yang telah direncanakan tersebut mati, dan
4. Mampu menghitung tulangan dan mengkontrol desain tulangan *pile cap* dan tiang pancang tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Menggunakan acuan *Foundations for Dynamic Equipment* ACI-351-3R-04 dan SNI 2846:2013,
2. Menggunakan metode *Lumped Parameter System* dalam perencanaan,
3. Menggunakan data tanah di daerah Gresik yang didapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya.
4. Gambar struktur menggunakan *software AutoCAD* 2014,
5. Permodelan struktur menggunakan program SAP2000
6. Tidak memperhitungkan Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan
7. Tidak meninjau aspek pelaksanaan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir perencanaan ulang pondasi dinamis CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset pada PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) Bawean ini adalah untuk merencanakan pondasi mesin akibat adanya beban statis dan

dinamis yang ada di atasnya, mengetahui besarnya amplitudo total yang terjadi akibat beban dinamis dari mesin yang beroperasi, dan mengetahui apa yang terjadi apabila terdapat kerusakan atau kematian salah satu maupun lebih dari satu CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset yang ada di atas pondasi yang telah direncanakan tersebut, mampu menghitung tulangan dan mengkontrol desain tulangan pile cap dan tiang pancang tersebut, serta menjadi salah satu variasi tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pondasi Mesin

Di dalam dunia teknik sipil, istilah pondasi didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi bangunan yang berfungsi menopang serta menyalurkan beban bangunan di atasnya langsung ke lapisan tanah yang berada di bawahnya. Pondasi mesin merupakan pondasi yang digunakan untuk menopang beban dinamis berupa getaran yang dihasilkan oleh mesin yang berada di atas pondasi tersebut (Mandagi, 2013). Untuk pondasi mesin yang menahan beban dinamis ini cara mendesainnya jelas berbeda dengan pondasi yang hanya menahan beban statis, dimana perencana harus memperhatikan betul adanya beban dinamis akibat kerja mesin selain beban statis yang ada. Secara garis besar sistem struktur pondasi mesin dibagi menjadi dua kategori umum yaitu pondasi dangkal (*Shallow Foundations*) dan pondasi dalam (*Deep Foundations*).

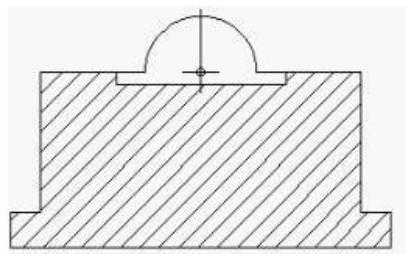
2.1.1 Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Pondasi dangkal biasanya dibuat dekat dengan permukaan tanah, umumnya kedalaman pondasi didirikan kurang 1/3 dari lebar pondasi sampai dengan kedalaman kurang dari 3 m. Pada dasarnya, permukaan pembebanan atau kondisi permukaan lainnya akan mempengaruhi kapasitas daya dukung pondasi dangkal. Pondasi dangkal biasanya digunakan ketika tanah permukaan yang cukup kuat dan kaku untuk mendukung beban yang dikenakan, dimana jenis struktur yang didukungnya tidak terlalu berat dan juga tidak terlalu tinggi. Pondasi dangkal umumnya tidak cocok dalam tanah kompresif yang lemah atau sangat buruk, seperti tanah urug dengan kepadatan yang buruk, pondasi dangkal juga tidak cocok untuk jenis tanah gambut, lapisan tanah muda, dan jenis tanah aluvial, dan lain sebagainya. Yang termasuk dalam pondasi dangkal ialah pondasi memanjang, pondasi tapak, pondasi raft, dan

pondasi rollag bata. Untuk pondasi dangkal dapat diklasifikasikan lebih lanjut yang menyangkut tentang konfigurasi dari strukturnya dalam tiga bentuk pondasi antara lain :

1. Pondasi Tipe Blok

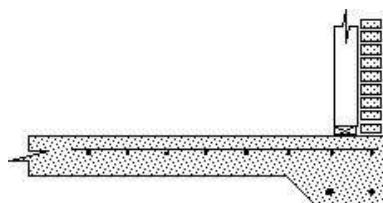
Pondasi tipe blok adalah struktur pondasi beton yang berupa suatu luasan tertentu dengan ketebalan yang relatif besar, sehingga deformasi struktur akibat beban yang bekerja di atasnya dapat diabaikan.



Gambar 2.1. Pondasi Mesin Tipe Blok

2. Pondasi Slab

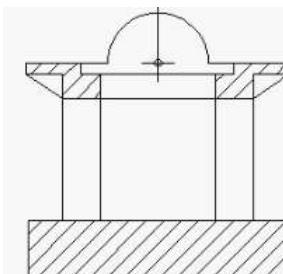
Pondasi slab adalah sebuah slab beton fleksibel yang terletak di atas tanah dan mendukung langsung mesin yang bekerja di atasnya.



Gambar 2.2. Pondasi Slab

3. Pondasi Tipe Portal

Pondasi tipe portal adalah sebuah struktur beton bertulang tiga dimensi yang terdiri dari balok-balok yang membentuk portal dengan kolom-kolom di bawahnya dan didukung oleh pondasi slab yang berat. Ujung-ujung atas kolom yang berhubungan dengan balok-balok itu dibentuk sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah struktur meja yang kaku dimana mesin-mesin bekerja langsung di atasnya.



Gambar 2.3. Pondasi Tipe Portal

2.1.2 Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan di permukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah, pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 m di bawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang, dinding pancang, dan caissons atau pondasi kompensasi. Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban ke lapisan yang lebih dalam untuk mencapai kedalaman yang tertentu sampai didapat jenis tanah yang mendukung daya beban struktur bangunan sehingga jenis tanah yang tidak cocok di dekat permukaan tanah dapat dihindari. Yang termasuk dalam pondasi dalam ialah pondasi tiang

pancang (*pile*), pondasi dinding diafragma, pondasi trucuk, dan pondasi caissons.

2.2 Kategori Mesin

Pondasi mesin lebih berat daripada mesin yang dipikulnya dan beban dinamis yang ditimbulkan mesin relatif lebih kecil dibanding beban statisnya. Berdasarkan kriteria desain pondasinya, mesin dikategorikan sebagai berikut :

a) *Reciprocating machines*

Mesin yang menimbulkan beban bolak-balik akibat mekanisme engkol. Bentuk dasar dari mesin reciprocating terdiri dari piston yang berputar pada silinder, tali penghubung, tali piston dan crank. Crank berputar dengan kecepatan sudut tetap dan mengubah gerak translasi menjadi rotasi dan sebaliknya. Umumnya untuk tipe mesin ini dipakai pondasi blok.

b) *Impact machines*

Mesin ini menghasilkan beban pukulan (*impact*). Mesin ini beroperasi pada kecepatan antara 60 sampai 150 pukulan per menit. Umumnya untuk tipe mesin ini dipakai pondasi tipe blok. Contohnya : *forging hammer*.

c) *High speed rotary machines*

Mesin ini termasuk mesin kecepatan tinggi. Kecepatan operasi mesin ini lebih dari 3000 rpm dan mencapai 10000 rpm. Contohnya : turbo generator, turbin, rotary compressor. Berdasarkan frekuensi operasi, mesin dibagi 3 kategori :

- a) Frekuensi rendah sampai sedang : 0-500 rpm
- b) Frekuensi sedang sampai tinggi : 300-1000 rpm
- c) Frekuensi sangat tinggi : > 1000 rpm

2.3 Syarat Pondasi Mesin

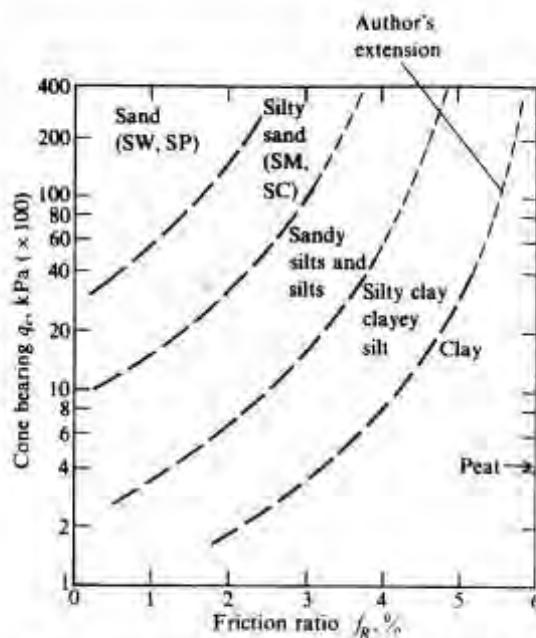
Berikut adalah persyaratan umum pondasi mesin yang harus dipenuhi sebelum mendisain pondasi mesin lebih rinci :

1. Untuk beban statis, pondasi mesin harus mampu memikul beban luar yang dilimpahkan tanpa menyebabkan keruntuhan geser maupun keruntuhan total,
2. Untuk beban statis, penurunan pondasi akibat beban harus berada dalam batas-batas yang diizinkan,
3. Untuk beban dinamis, tidak diperbolehkan terjadinya resonansi yaitu frekuensi natural tidak boleh sama dengan frekuensi operasi mesin dan amplitudo dari frekuensi operasi tidak boleh melibati amplitudo pembatas yang diizinkan yang pada umumnya ditentukan oleh pembuat mesin tersebut,
4. Getaran yang terjadi tidak boleh mengganggu kinerja mesin-mesin yang lainnya,
5. Jarak permukiman dengan lokasi dimana mesin beroperasi harus dalam jarak yang diizinkan,
6. Titik pusat mesin dengan pondasi mesin harus berada sejauh mungkin,
7. Rotasi dari mesin harus seimbang untuk meminimalkan ketidakseimbangan gaya atau momen, dan
8. Bila mungkin, pondasi harus didesain sedemikian rupa untuk menghadapi perubahan frekuensi karena perubahan basis dasar yang dapat terjadi sewaktu-waktu.

2.4 Metode Analisa Pondasi Mesin

Pada pondasi mesin perhitungan yang dilakukan dibagi menjadi dua macam, yaitu perhitungan analisis statis yang hanya memperhitungkan beban statis berupa berat sendiri dan perhitungan analisis dinamis yang memperhitungkan beban dinamis berupa getaran yang dihasilkan oleh mesin saat mesin yang bersangkutan bekerja.

Pada perhitungan analisis statis, pondasi mesin diidealisasikan sebagai pondasi dangkal. Jenis tanah dapat diketahui dari data pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) atau tes Sondir. Dengan menggunakan data hasil tes sondir di lapangan, jenis tanah dapat diklasifikasikan dengan membandingkan nilai conus dalam kPa dan persentase fR sesuai dengan grafik berikut.



(a) Using a standard electric or mechanical cone. [After Robertson and Campanella (1983).]

Grafik 2.1 Parameter Tanah (*Sumber : After Robertson and Campanella, 1983*)

2.4.1 Metode Analisa Akibat Beban Dinamis

Dalam mendesain pondasi untuk menahan beban dinamis saat ini, total beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang adalah sama dengan perhitungan dasar geser dalam analisa dinamis super strukturnya, yang dianggap tetap pada permukaan pondasi. Terdapat 3 metode yang dapat digunakan (Novak, 1977):

1. Metode berdasarkan pegas linear elastis tanpa beban (*Linear Weightless Spring Method*)

Pada metode ini tanah dianggap pegas. Redaman dapat dimasukkan sebagai nilai yang belum dicari, walaupun redaman tidak terasa mempengaruhi frekuensi resonansi dari sistem. Redaman memberi pengaruh perhitungan pada resonansi amplitudo. Selama zona resonansi dapat dihindarkan dalam perencanaan pondasi, pengaruh redaman pada amplitudo dihitung pada frekuensi resonansi juga kecil, bila dibandingkan dengan amplitudo yang ada pada resonansi.

2. Metode berdasarkan teori linear elastisitas (*Elastic Half Space*)

Teori ini menggunakan pendekatan teori elastisitas, terlihat lebih rasional tetapi lebih rumit. Dalam pemakaian untuk efek penanaman, kerusakan tanah yang terjadi akibat penggalian dan penimbunan, beberapa banyak massa ketidaklinearan dari tanah akan membuat perhitungan makin rumit. Pada teori ini pondasi dianggap homogen isotropik. Teori ini digunakan untuk amplitudo kecil

3. Metode berdasarkan pendekatan massa yang tergumpal (*Lumped Parameter System*)

Teori ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan dari metode EHS, dimana untuk mendapatkan harga suatu parameter dengan menggunakan cara atau rumus dari teori EHS. Teori *Lumped Parameter System* adalah sistem yang digunakan untuk memperkaku blok pondasi dengan

menggunakan massa, pegas dan dashpot. Sistem ini menerapkan semua komponen massa, pegas dan redaman. Teori ini dikembangkan oleh Lysmer dan Richart (1966) yang bersumber dari "Dynamic Boussinesq Problems". Metode ini dikembangkan untuk pondasi lingkaran weightless dengan radius r_0 dimana pondasi berada di atas tanah (tidak tertanam). Dalam teori *lumped parameter system* respon dinamis tanah terhadap pondasi dan beban dinamis dapat dimodelkan sebagai:

- Pegas (spring) dengan harga kekakuan "k"
- Dashpot/damping/redaman dengan koefisien damping "c"

Model pegas dan damping tersebut bisa untuk memodelkan baik respon vertikal, horizontal, torsi maupun rocking.

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah beban dinamis masih dikembangkan. Terdapat beberapa permodelan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah beban dinamis, salah satunya dengan mengumpamakan beban dinamis yang bekerja diterima oleh sebuah balok kaku tetapi dalam perhitungan sering kali diabaikan. Solusi dari permasalahan tersebut adalah menentukan reaksi dari gaya dinamis yang berupa getaran pada suatu pondasi. Pada metode ini yang diperhitungkan adalah akumulasi masa mengumpamakan bahwa pusat masa bekerja pada daerah antara lain :

1. Titik/daerah yang merupakan letak dari getaran mesin,
2. Titik/ daerah yang merupakan letak dari beban dinamis,
3. Titik/daerah yang terdapat lendutan terbesar misalnya pada ujung kantilever atau pada tengah bentang, dan
4. Pusat gravitasi dari seluruh pusat masa yang mengalami satu derajat kebebasan.

Metode ini juga membahas mengenai konstanta pegas yang dipengaruhi oleh kekakuan masa. Cara mendapatkan konstanta pegas dilakukan dengan beberapa pendekatan, antara lain:

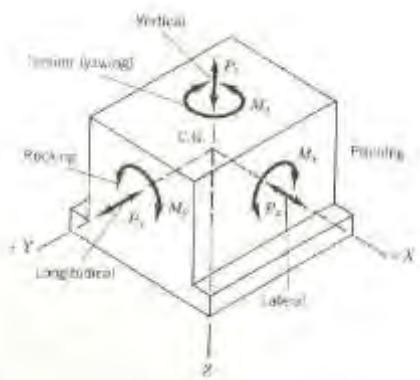
1. Bentuk prisma, dengan bentuk ini akan didapat tiga konstanta pegas dan tiga rotasi,
2. Konstanta pegas juga dapat digambarkan berdasarkan ketebalan pelat, dengan ketebalan ini akan didapat dua konstanta pegas dan dua rotasi yang dianggap sama dengan bentuk regangan dan tekanan, dan
3. Reaksi antara tanah terhadap beban yang bekerja yang dapat menimbulkan gaya tarik dan tekan.

2.5 Derajat Kebebasan Pondasi Mesin

Akibat gaya-gaya yang bekerja secara dinamis, maka pondasi mesin bergetar dalam enam ragam getaran yaitu :

1. Translasi (Perpindahan), yang terdiri dari:
 - a. Perpindahan dalam arah sumbu X
 - b. Perpindahan dalam arah sumbu Y
 - c. Perpindahan dalam arah sumbu Z
2. Rotasi (perputaran), yang terdiri dari :
 - a. Perputaran terhadap sumbu X
 - b. Perputaran terhadap sumbu Y
 - c. Perputaran terhadap sumbu Z

Keenam ragam tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.4. Ragam Getaran Pondasi Mesin
(Sumber : Shamsher Prakash, 1981)

Gaya luar di dapat dari bentuk gerakan dinamis yang dihasilkan mesin. Untuk tipe *rotating machine* yang menghasilkan gerakan rotasi maka gaya luar dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$Q_o = m e \omega^2$$

Keterangan :

- | | |
|-------|-----------------------------------------|
| Q_o | = gaya luar (ton) |
| m | = massa mesin (ton dtk ² /m) |
| e | = eksentrisitas (m) |

Tabel 2.1 *Design Eccentricities for Centrifugal Machine*

Operating Speed	Eccentricity (in), double amplitude
750	0,014-0,032
1500	0,008
3000	0,002

(Sumber : *Vibrations Analysis and Design of Foundation for Machines and Turbines, Akademi Kiado, Budapest, Collet's Holding Limited, London, 1962*)

$$\omega = 2\pi \times f_{mesin}$$

ω = resonansi untuk *rotating machine* (rad/dtk²)

2.6 Analisa Tiang Pancang Akibat Beban Dinamis

Perhitungan yang dipakai untuk analisa tiang pancang akibat beban dinamis vertikal, lateral dan rocking adalah dengan menggunakan teori Novak.

2.6.1 Analisa Tiang Pancang Akibat Beban Dinamis

Asumsi dasar dari Novak (1947, 1977)

1. Tiang dianggap vertikal, elastik dan bulat
2. Tiang diasumsikan melayang
3. Tiang berhubungan dengan tanah sempurna

Persamaan koefisien harga kekakuan dan damping untuk tiang pancang tunggal adalah :

$$k_2^1 = \frac{Ep \cdot A_p}{r_o} \times fz_1$$

$$c_2^1 = \frac{Ep \cdot A_p}{v_s} \times fz_2$$

Dimana :

Ep = modulus young tiang pancang (t/m²)

A_p = Luas penampang pondasi tiang pancang (m²)

r_o = jari-jari pondasi tiang pancang (m)

v_s = kecepatan gelombang geser tanah (m/dt)

fz_1, fz_2 = konstanta faktor kekakuan dan *dumping*

Perumusan selanjutnya dapat dilihat pada bab selanjutnya.

2.7 Cek Desain Perencanaan

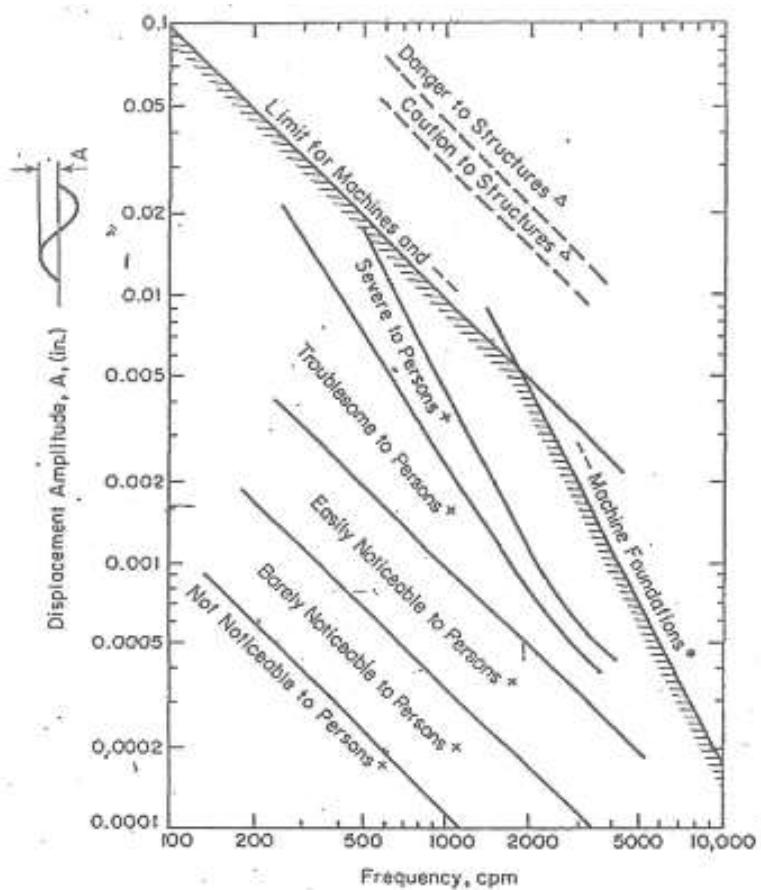
Pondasi mesin yang telah direncanakan harus sesuai dengan kriteria-kriteria atau batasan-batasan sehingga pondasi tersebut dianggap layak dan efisien, yaitu sebagai berikut:

1. Amplitudo yang terjadi sekurang-kurangnya harus masuk dalam “Easily Noticeable To Person” pada gambar grafik 2.2
2. Amplitudo pada saat mesin berjalan harus masuk dalam zona A (*no faults*) atau zona B (*minor faults*), pada grafik 2.3
3. Kecepatan (*velocity*) = $2\pi \times f \times A$ sekurang-kurangnya harus masuk dalam kategori keadaan mesin “*good*” berdasarkan tabel 2.2
4. Kecepatan $4\pi \times f \times A$ harus masuk dalam kategori zone B (*minor faults*) grafik 2.3. Cek percepatan tidak perlu dilakukan apabila vibrasi dan kecepatan memenuhi syarat.
5. Amplitudo yang terjadi untuk vertikal harus lebih kecil dari $30\mu m$ dan harus lebih kecil dari $50\mu m$ untuk arah horizontal
6. *Magnification factor (M)<1,5*
7. Cek kopel :

$$\frac{\sqrt{fn_x^2 + fn_\psi^2}}{fn_x \times fn_\psi} \leq \frac{2}{3.f_{mesin}} \quad (\text{rumus 2.1})$$

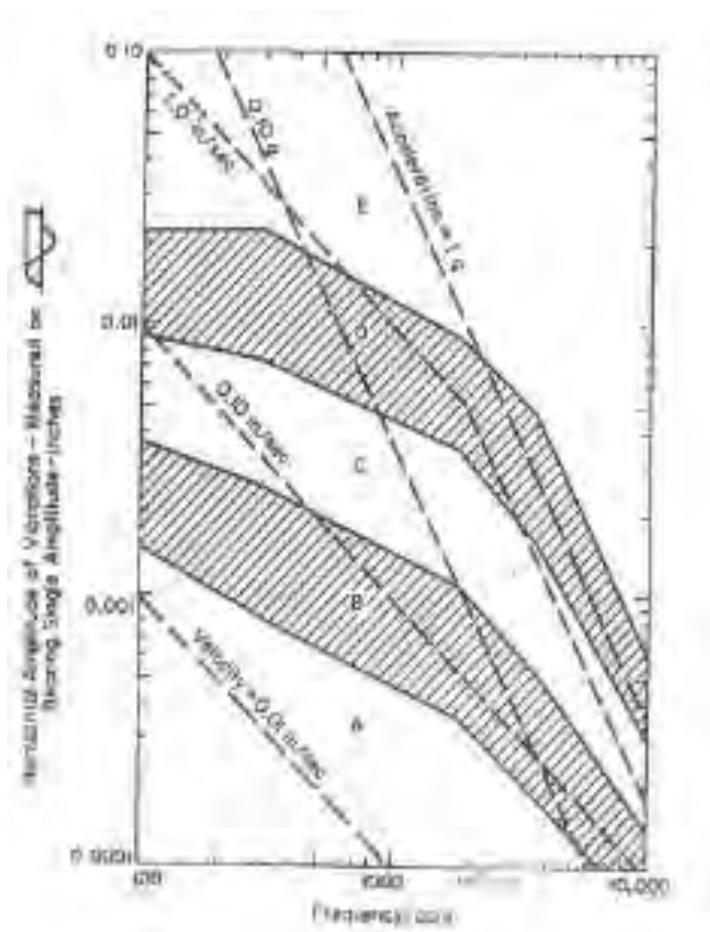
Tabel 2.2 *General Machinery-Vibration Severity Data*
(After Baxter and Benhard, 1967)

Kecepatan Horizontal (in/sec)	Keadaan Mesin
<0,005	Extremely Smooth
0,005-0,010	Very smooth
0,010-0,020	Smooth
0,020-0,040	Very good
0,040-0,080	Good
0,080-0,160	Fair
0,160-0,315	Slightly rough
0,315-0,630	Rough
>0,630	Very rough



Grafik 2.2 Hubungan antara Frekuensi Mesin dan Getaran yang Dirasakan Manusia

(Sumber : *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*, Suresh C.Arya, 1979)



Grafik 2.3 Hubungan antara Frekuensi dan Getaran yang
Dihasilkan Saat Mesin Beroperasi
(Sumber : *Design of Structures and Foundations for Vibrating
Machines*, Suresh C.Arya, 1979)

BAB III

METODOLOGI

3.1 Pengumpulan Data

Di dalam perencanaan pondasi mesin diperlukan langkah-langkah yang jelas dan berurutan. Pengumpulan data dan mempelajari data yang berkaitan dengan perencanaan, berupa:

1. Data Mesin

Nama mesin	: CNG (<i>Compressed Natural Gas</i>) Genset
Frekuensi	: 1500 rpm
Kategori mesin	: Rotary machine
Berat mesin	: 9065 kg
Dimensi	: 6000x1600x2500 mm
Gambar	: Gambar mesin dapat dilihat pada lampiran 4 (Sumber : PT. Pembangkitan Jawa Bali Services Sidoarjo)

2. Data Tanah

Data tanah untuk perencanaan pondasi mesin CNG (*Compressed Natural Gas*) Genset ini berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Data tanah berupa data hasil sondir dapat dilihat pada lampiran 1. (Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya).

3.2 Studi Literatur

Mempelajari literatur atau pustaka yang berkaitan dengan perencanaan struktur pondasi dinamis, diantaranya :

- 1) Pondasi Beban Dinamis, edisi ke-tujuh, Ananta Sigit Sidharta (2013),
- 2) Soil Dynamics, Prakash, Shamser, (1981),
- 3) Foundation for Machines : Analysis and Design, Prakash S. (1987),
- 4) Design of Structure Analysis Foundation for Vibrating Machines, Suresh, C. Arya, Michael, W. O'Neill George Pincus (1979),
- 5) Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2874:2013,
- 6) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan non Gedung SNI 03-1726-2012,
- 7) Daya Dukung Pondasi Dalam,. Wahyudi, Herman ,
- 8) *Foundations for Dynamic Equipment ACI-351-3R-04*, dan
- 9) Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Nawy, Erdward G. 1998.

3.3 Analisa Pembebanan

Analisa pembebanan dilakukan untuk mengetahui beban-beban yang bekerja, yang kemudian akan digunakan dalam perencanaan pondasi mesin, beban-beban tersebut meliputi :

1) Beban Statis

Beban statis dibagi menjadi dua yaitu beban mati dan beban hidup

- **Beban Mati**

Beban mati yang dimaksud adalah berat mesin, aksesoris dan kelengkapannya serta berat pondasi.

- **Beban Hidup**

Beban hidup yang dimaksud di sini adalah beban yang bekerja pada saat instalasi dan perawatan, yaitu berat peralatan dan orang yang bekerja.

2) Beban Dinamis

Beban dinamis merupakan beban yang ada pada saat mesin bekerja.

3.4 Analisa Beban Statis Pada Pondasi

3.4.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Menggunakan Metode *Philipponat*:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (\text{rumus 3.1})$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimate pada pondasi

Q_p = Daya dukung dari unsur ujung tiang (*point*)

$$= A_p \times q_p \quad (\text{rumus 3.2})$$

$$q_p = \alpha_p + R_p \quad (\text{rumus 3.3})$$

A_p = Luas penampang dasar tiang.

Q_s = Daya dukung akibat lekatan (*frictions*) sepanjang mantel tiang

Tabel 3.1 Koefisien α_p

Jenis Tanah	α_p
Lempung dan Kapur	0,5
Lanau	0,45
Pasir	0,4
Kerikil	0,35

(Sumber : “Daya Dukung Pondasi Dalam” oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi, 1999)

Daya dukung akibat lekatan (friction) sepanjang mantel tiang (Q_s):

$$Q_s = O \times \sum f u_i \times h_i \quad (\text{rumus 3.4})$$

$$f u_i = \alpha_f \times \frac{R_p}{\alpha_s} \quad (\text{rumus 3.5})$$

Dimana :

O = keliling tiang untuk ruas kedalaman h_i

$f u_i$ = lekatan lateral batas dari lapisan i setebal h_i

h_i = kedalaman tiang yang ditinjau

$\alpha_s; \alpha_f$ = koefisien, fungsi dari tanah dan tipe tiang

Tabel 3.2. Koefisien α_s

Jenis Tanah	α_s
Lempung dan Kapur	50
Lanau, lempung berpasir	60
Pasir berlempung	
Pasir lepas	100
Pasir sedang	150
Pasir padat	
Kerikil	200

(Sumber : “Daya Dukung Pondasi Dalam” oleh Dr. Ir. Wahjudi, 1999)

Tabel 3.3 Koefisien α_f

Bahan Tiang	Tipe tiang	α_f
Beton	Tiang dipancang	1,25
	Tiang dibor dan divibrasi	1,00
	Tiang diinjeksi, Tiang dibor untuk $\phi \leq 1,50$ m	0,85
	Tiang dibor untuk $\phi > 1,50$ m	0,75
Baja	Tiang profil H	1,10
	Tiang baja dipancang	0,60
	Tiang baja terbuka dipasang dengan cara Benoto	0,30

(Sumber : “Daya Dukung Pondasi Dalam” oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi, 1999)

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (\text{rumus 3.6})$$

Dimana :

Q_{ijin} = daya dukung ijin pada pondasi

Q_u = daya dukung ultimate pada pondasi

SF = faktor keamanan

Perhitungan Beban Maksimum yang Diterima Oleh Tiap Tiang Pancang

$$P_{max} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\Sigma Y^2} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{\Sigma X^2} \quad (\text{rumus 3.7})$$

Dimana :

P_{max} = beban maksimum yang diterima satu tiang pancang

ΣP = total beban aksial yang bekerja pada tiang

M_x	= momen terhadap sumbu X
M_y	= momen terhadap sumbu Y
X_{max}	= absis tiang pancang terjauh garis berat keliling tiang
Y_{max}	= ordinat tiang pancang terjauh garis berat keliling tiang
ΣX^2	= jumlah kuadrat absis tiang pancang terhadap garis berat kelompok tiang
ΣY^2	= jumlah kuadrat ordinat tiang pancang terhadap garis berat kelompok tiang
n	= jumlah tiang pancang

3.4.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Dalam menentukan daya dukung kelompok tiang tidak hanya meninjau daya dukung satu tiang yang berdiri sendiri (*single pile*) dikalikan dengan banyaknya tiang dalam kelompok tiang tersebut, sebab daya dukung kelompok tiang (*pile group*) belum tentu sama dengan daya dukung satu tiang (*single pile*) dikalikan dengan jumlah tiang.

Kita tidak perlu memperhitungkan pengaruh dari sebuah group tiang pondasi untuk perhitungan daya dukung batas, bila jarak antara tiang (S) adalah $\geq 3D$, sebaliknya jarak minimum antar tiang dalam group adalah 2 s/d 1,5D (“Daya Dukung Pondasi Dalam” oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi).

1) Menghitung daya dukung tiang kelompok

$$Qu_{group} = Qp + Qs \quad (\text{rumus 3.8})$$

Dimana :

Qu_{group}	= daya dukung ultimate tiang kelompok
Qp	= daya dukung akibat unsur ujung tiang kelompok

Q_s = daya dukung akibat lekatan (*friction*) pada permukaan luar keliling tiang kelompok

Daya dukung akibat dari unsur ujung tiang kelompok (Q_p).

$$Q_p = A_p + q_p = (B_g \times L_g) \times q_p$$

$$q_p = \alpha_p + R_p$$

Dimana :

A_p = luas tiang kelompok ($B_g \times L_g$)

q_p = tegangan di ujung tiang

R_p = data conus diambil rata-rata sepanjang 3B di atas hingga 3B di bawah ujung tiang pondasi.

Daya dukung akibat lekatan (*friction*) pada permukaan luar keliling tiang kelompok (Q_s) :

$$Q_s = O_g \times \sum (f_{ui} \times h_i) = 2(B_g + L_g) \times \sum (f_{ui} \times h_i)$$

(rumus 3.9)

$$f_{ui} = \alpha f \cdot \frac{R_p}{\alpha_s} \quad (\text{rumus 3.10})$$

Dimana :

O_g = keliling tiang kelompok = $2(B_g + L_g)$

f_{ui} = lekatan lateral bats dari lapisan i setebal h_i

$\sum h_i$ = kedalaman tiang kelompok yang ditinjau

$$Q_{ijin(g)} = \frac{Qu_{(group)}}{SF} \quad (\text{rumus 3.11})$$

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \times A_p}{SF} + \frac{JHP \times \text{keliling tiang}}{SF} \quad (\text{rumus 3.12})$$

Dimana :

- | | |
|----------------|--------------------------------------------|
| $Q_{ijin(g)}$ | = daya dukung ijin pada tiang kelompok |
| $Qu_{(group)}$ | = daya dukung ultimate pada tiang kelompok |
| SF | = faktor keamanan |

2) Menghitung efisiensi dari tiang kelompok

$$\eta = \sqrt{\frac{Qu_{(g)}^2}{Qu_{(g)}^2 \times (n \cdot Qu_{(t)})^2}} \quad (\text{rumus 3.13})$$

Dimana :

- | | |
|------------|--------------------------------------|
| η | = efisiensi tiang kelompok |
| $Qu_{(t)}$ | = daya dukung tiang pancang tunggal |
| $Qu_{(g)}$ | = daya dukung tiang pancang kelompok |
| n | = jumlah tiang |

3) Rumus daya dukung ijin tiang kelompok

$$Qu_{(g)} = \eta \times n \times Qu_{(1 \text{ tiang})} \quad (\text{rumus 3.14})$$

Dimana :

$Qu_{(1 \text{ tiang})}$ = daya dukung ijin tiang tunggal

3.4.3 Menghitung Nilai Modulus Geser (G_{\max})

$$G_{\max} = 1230 \times \frac{(2,972-e)^2}{1+e} \times (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o}) \quad (\text{rumus 3.15})$$

Dimana :

G_{max} = modulus geser tanah (kN/m)

e = angka pori

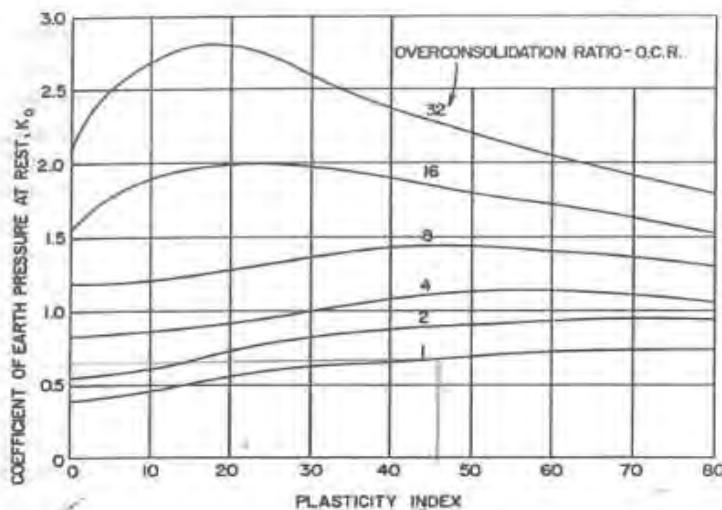
OCR = Over Consolidated Ratio

$$\sigma_o = 0,333(\sigma_v + 2\sigma_h) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{rumus 3.16})$$

$$\sigma_v = q_o + \gamma_d \times H \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{rumus 3.17})$$

H = tinggi pondasi tertanam (m)

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma_v \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{rumus 3.18})$$



Grafik 3.1 Penentuan harga K_o berdasarkan nilai OCR dan IP (*Plasticity Index*)

(Sumber : *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*, Suresh C. Arya, 1979)

Tabel 3.4 Harga K_o

Plasticity Index (PI)	K_o
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥ 100	0,50

(Sumber : *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*, Suresh C. Arya, 1979)

3.5 Analisa Beban Dinamis pada Pondasi

3.5.1 Metode *Lumped Parameter System*

Selain komponen pegas terdapat pula koefisien redaman. Rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Konstanta Pegas

Model Getaran	Pondasi Lingkaran	Pondasi Bujur Sangkar
Vertikal	$k_z = \frac{4Gr_o}{1-v} \eta_z$	$k_z = \frac{G}{1-v} \beta_z \sqrt{BL} \eta_z$
Horizontal	$k_x = \frac{32(1-v)Gr_o}{7-8v} \eta_x$	$k_x = 2(1+v)G\beta_z \sqrt{BL} \eta_z$
Rocking	$k_\psi = \frac{8Gr_o^3}{3(1-v)} \eta_\psi$	$k_\psi = \frac{G}{1-v} \beta_\psi BL^2 \eta_\psi$

Torsional	$k_\theta = \frac{16Gr_o^3}{3}$	Tidak ada penyelesaian
-----------	---------------------------------	------------------------

Keterangan :

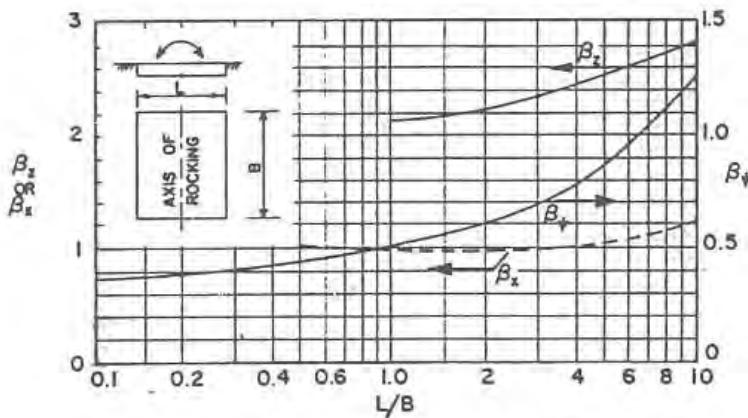
- k_z = koefisien pegas akibat gaya vertikal (kN/m)
- k_x = koefisien pegas akibat gaya horizontal (kN/m)
- k_ψ = koefisien pegas akibat gaya rocking (kN/m)
- k_θ = koefisien pegas akibat torsi (kN/m)
- G = didapatkan sesuai rumus 3.15

Tabel 3.6 Nilai η_z , η_x , dan η_ψ

Model Getaran	r_o untuk Pondasi Bujur Sangkar	Koefisien
Vertikal	$\sqrt{\frac{B.L}{\pi}}$	$\eta_z = 1 + 0,6(1 - \nu) \left(\frac{h}{r_o}\right)$
Horizontal	$\sqrt{\frac{B.L}{\pi}}$	$\eta_x = 1 + 0,55(2 - \nu) \left(\frac{h}{r_o}\right)$
Rocking	$\sqrt[4]{\frac{BL^3}{3\pi}}$	$\eta_\psi = 1 + 1,2(1 - \nu) \left(\frac{h}{r_o}\right) + 0,2(2 - \nu) \left(\frac{h}{r_o}\right)^3$
Torsional	$\sqrt[4]{\frac{BL(B^2+L^2)}{6\pi}}$	Tidak ada penyelesaian

Keterangan :

- B = lebar pondasi (m)
- L = panjang pondasi (m)
- h = tebal penanaman pondasi (m)
- ν = poisson ratio (0,4)

Grafik 3.2 Koefisien β_z , β_x dan β_y

Untuk menghitung koefisien redaman adalah sebagai berikut :

Tabel 3.7 Koefisien Redaman

Bentuk Getaran	Rasio Massa	Ratio Redaman
Vertikal	$B_z = \frac{(1-\nu)}{4} \frac{W}{\gamma \times r_o^3}$	$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z$
Horizontal	$B_x = \frac{7-8\nu}{32(1-\nu)} \frac{W}{\gamma \times r_o^3}$	$D_x = \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x$
Rocking	$B_\psi = \frac{3(1-\nu)}{8} \frac{Mm_0\psi}{\rho r_o^5}$	$D_\psi = \frac{0,15\alpha_\psi}{(1+n_\psi B_\psi)\sqrt{n_\psi B_\psi}}$
Torsional	$B_\theta = \frac{I_\theta}{\rho r_o^3}$	$D_\theta = \frac{0,5}{1+2B_\theta}$

Keterangan :

B_z = rasio masa akibat gaya vertikal

B_x	= rasio masa akibat gaya horizontal
B_ψ	= rasio masa akibat gaya rocking
B_θ	= rasio masa akibat torsi
W	= berat alat dan pondasi (kg, ton)
Mm_o	= momen pada titik 0 (ton m dtk ²)
ρ	= kepadatan tanah (kN dt ² /m ⁴) = h/r _o
n_ψ	= nilai yang didapatkan berdasarkan B_ψ

Tabel 3.8 Korelasi B_ψ dan n_ψ

B_ψ	5	3	2	1	0,8	0,5	0,2
n_ψ	1,079	1,110	1,143	1,219	1,251	1,378	1,600

Tabel 3.9 Faktor α_z , α_x dan α_ψ

Model Getaran	Faktor Rasio Damping Tertanam
Vertikal	$\alpha_z = \frac{1+1,9(1-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)}{\sqrt{\eta_z}}$
Horizontal	$\alpha_x = \frac{1+1,9(2-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)}{\sqrt{\eta_x}}$
Rocking	$\alpha_\psi = \frac{1+0,7(1-\nu)\left(h/r_o\right)+0,6(2-\nu)\left(h/r_o\right)^3}{\sqrt{\eta_\psi}}$

3.5.2 Menghitung Nilai Kekakuan dan Redaman Pondasi

Pada tugas akhir ini pondasi mesin direncanakan dengan tiang pancang, pada perencanaan pondasi mesin dengan tiang pancang mempunyai pengaruh nilai kekakuan dan redaman berbeda dengan pondasi tipe blok biasa.

3.5.2.1 Vertikal

a) Kekuatan dan Damping Pada Tiang Pancang :

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang tunggal akibat beban dinamis vertikal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$k_z^1 = \left(\frac{E_p \times A}{r_o} \right) \times f_{18,1} \quad (\text{rumus 3.19})$$

$$c_z^1 = \left(\frac{E_p \times A}{v_s} \right) \times f_{18,2} \quad (\text{rumus 3.20})$$

Dimana :

E_p = modulus young tiang pancang (t/m^2)

A_p = luas penampang pondasi tiang pancang (m^2)

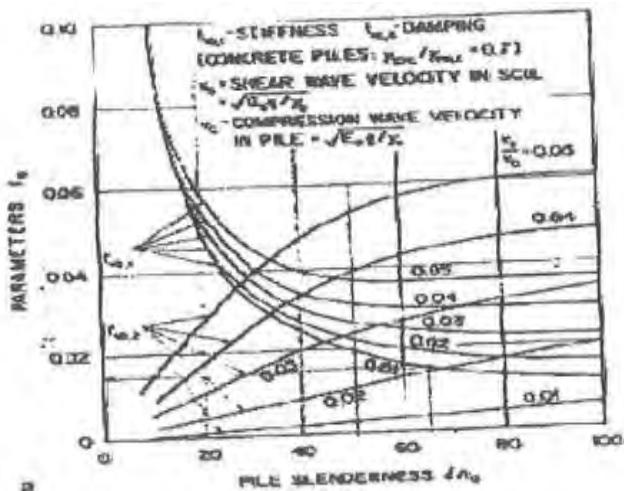
r_o = jari-jari pondasi tiang pancang (m)

v_s = kecepatan gelombang geser tanah (m/dt)

$f_{18,1}, f_{18,2}$ = konstanta faktor kekakuan dan dumping

$f_{18,1}$ dan $f_{18,2}$ ini didapat dari gambar 3.2 dengan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Jenis pondasi tiang (Concrete Piles/Timber Piles)
2. l/r_o (l = kedalaman pondasi tiang)
3. v_s/v_c (v_c = kecepatan geser pondasi tiang pancang)



Grafik 3.3 Faktor Kekakuan dan Damping

(Sumber : Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya, 1979)

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang kelompok dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_z^g = \frac{\sum_1^n k_z^1}{\sum_1^n \alpha_A} \quad (\text{rumus 3.21})$$

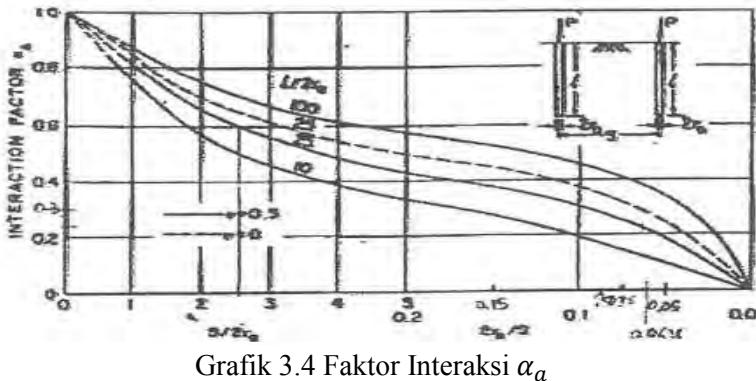
$$c_z^g = \frac{\sum_1^n c_z^1}{(\sum_1^n \alpha_A)^{0,5}} + c_z^f \quad (\text{rumus 3.22})$$

Dimana :

n = jumlah tiang pancang

α_A = jumlah interaksi akibat gaya vertikal untuk sebuah tiang pancang refrensi terhadap tiang itu sendiri dan tiang

terhadap tiang-tiang lain yang ada disekitarnya. Faktor α_a ini dapat dilihat pada grafik berikut.



Grafik 3.4 Faktor Interaksi α_a

(Sumber : Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya, 1979)

b) Kekuatan dan Damping Pada Pile Cap

Nilai kekakuan dan damping untuk pile cap yang tertanam akibat beban dinamis vertikal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$k_z^f = G_s \times h \times \bar{S}_1 \quad (\text{rumus 3.23})$$

$$c_z^f = h \times r_o \times \left(\frac{G_s \times \gamma_s}{g} \right)^{0.5} \times \bar{S}_2 \quad (\text{rumus 3.24})$$

Dimana :

G_s = modulus geser tanah (t/m^2)

h = kedalaman pile cap (m)

r_o = radius equivalent pile cap (m)

$$r_o = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

Dimana :

B = lebar pile cap (m)

L = panjang pile cap (m)

$$\rho_s = \frac{\gamma_s}{g}$$

Dimana :

γ_s = gamma tanah

g = percepatan gravitasi

\bar{S}_1, \bar{S}_2 = konstanta, didapat dari tabel 3.6

Tabel 3.10 Hubungan antara poison ratio dengan \bar{S}_1, \bar{S}_2

Sumber : Frequency Independent Constant for Embed Pile Cap With Side Resistance (Novak M, 1972)

v	\bar{S}_1	\bar{S}_1	\bar{S}_{u1}	\bar{S}_{u2}	$\bar{S}_{\psi 1}$	$\bar{S}_{\psi 2}$
0,0	2,7	6,7	3,6	8,2	2,5	1,8
0,25	2,7	6,7	4,0	9,1	2,5	1,8
0,4	2,7	6,7	4,1	10,6	2,5	1,8

c) Nilai Kekakuan dan Damping Total

Pada suatu sistem pondasi dinamis yang menerima beban vertikal dinamis nilai kekakuan dan damping yang digunakan sebagai kekakuan dan damping sistem adalah nilai kekakuan total,

yaitu nilai kekakuan dan damping group tiang ditambah dengan nilai kekakuan dan damping yang ada pada pile cap.

$$k_z^t = k_z^g + k_z^f \quad (\text{rumus 3.25})$$

$$c_z^t = c_z^g + c_z^f \quad (\text{rumus 3.26})$$

Dimana :

k_z^g = nilai kekakuan tiang group

k_z^f = nilai kekakuan pile cap

c_z^g = nilai redaman/ damping tiang group

c_z^f = nilai redaman/damping pile cap

3.5.2.2 Horizontal

a) Kekakuan dan Damping Pada Tiang Pancang

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang tunggal akibat beban dinamis horizontal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_x^1 = \left(\frac{E_p \times I_y}{r_o^3} \right) \times f_{11,1} \quad (\text{rumus 3.27})$$

$$c_x^1 = \left(\frac{E_p \times I_y}{r_o^2 \times v_s} \right) \times f_{11,2} \quad (\text{rumus 3.28})$$

Dimana:

E_p = modulus young tiang pancang

I_y = inersia pondasi tiang pancang

r_o = jari-jari pondasi tiang pancang

$f_{11,1}, f_{11,2}$ = konstanta faktor kekakuan dan damping

$f_{11,1}, f_{11,2}$ ini didapat dari tabel 3.7 dengan faktor-faktor

- 1) Jenis pondasi tiang (concrete piles/timber piles)
- 2) ν = Poisson Ratio
- 3) ν dimana ν_s adalah kecepatan geser tanah dan ν_c kecepatan geser pondasi tiang pancang

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang kelompok dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$k_x^g = \frac{\sum_1^N k_x^1}{\sum_1^N \alpha_L} \quad (\text{rumus 3.29})$$

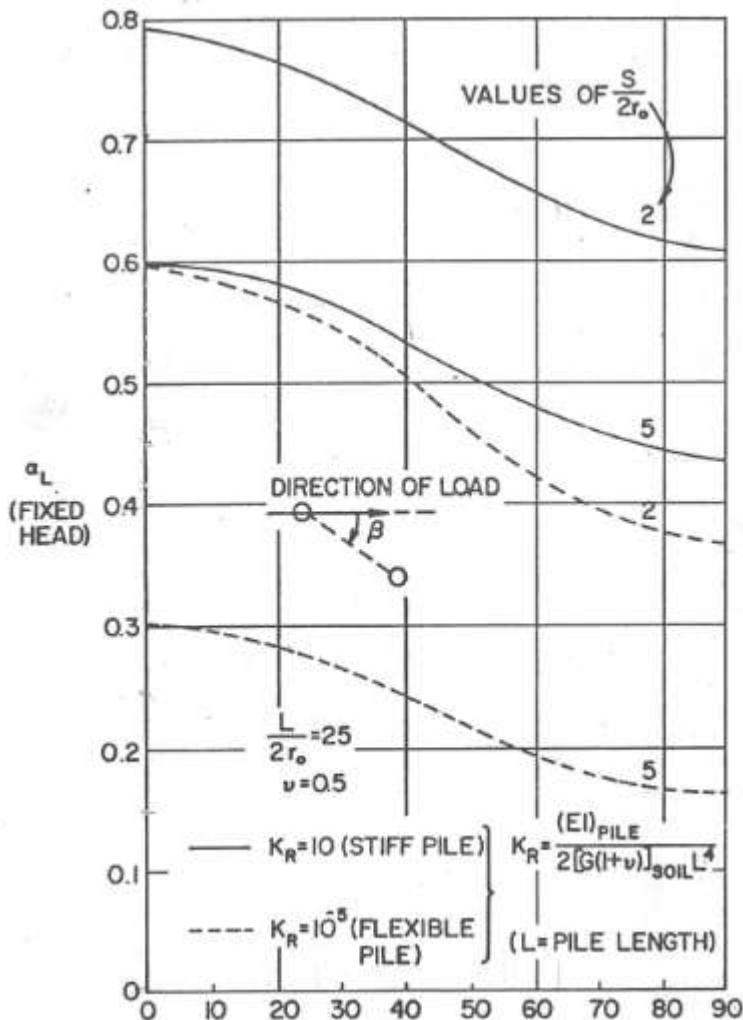
Dimana :

n = jumlah tiang pancang

α_L = faktor interaksi akibat gaya horizontal untuk sebuah tiang pancang refrensi terhadap tiang-tiang lain yang ada di sekitarnya dengan memperhatikan faktor KR dan sudut terhadap tiang refrensi (β)

$$K_R = \frac{(EI)_{pile}}{2[G(1+\nu)_{soil}L^4]} \quad (\text{rumus 3.30})$$

Faktor α_L ini dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

Grafik 3.5 Penentuan Harga α_L

Tabel 3.11 Parameter Kekakuan dan Redaman Akibat Gaya Horizontal dan Rocking Pada Tiang dengan $\frac{l}{r_o} > 25$

Concrete Piles ($\frac{\gamma_s}{\gamma_p} = 0,7$)							
v	v_s/v_c	$f_{11,1}$	$f_{11,2}$	$f_{7,1}$	$f_{7,2}$	$f_{9,1}$	$f_{9,2}$
	0,01	0,0036	0,0084	0,202	0,139	-0,0194	-0,0280
	0,03	0,0185	0,0438	0,349	0,243	-0,0582	-0,0848
0,4	0,05	0,0397	0,0942	0,450	0,314	-0,0970	-0,1410
0,25	0,01	0,0032	0,0076	0,195	0,135	-0,0181	-0,0262
	0,03	0,0166	0,0395	0,337	0,235	-0,0543	-0,0793
	0,05	0,0358	0,0850	0,435	0,304	-0,0905	-0,1321
Timber Piles ($\frac{\gamma_s}{\gamma_p} = 2$)							
v	v_s/v_c	$f_{11,1}$	$f_{11,2}$	$f_{7,1}$	$f_{7,2}$	$f_{9,1}$	$f_{9,2}$
	0,01	0,0082	0,0183	0,265	0,176	-0,0336	-0,0466
	0,03	0,0425	0,0949	0,459	0,305	-0,1010	-0,1400
0,4	0,05	0,0914	0,2040	0,592	0,394	-0,1680	-0,2330
0,25	0,01	0,0074	0,0165	0,256	0,169	-0,0315	-0,0434
	0,03	0,0385	0,0854	0,444	0,293	-0,0945	-0,1310
	0,95	0,0828	0,1838	0,573	0,378	-0,1575	-0,2168

(Sumber : After Novak.M., "Dynamic Stiffness and Damping of Piles, *Canadian Geotechnical journal, Vol.11 no.4 November 1974)

b) Kekakuan dan Damping Pada Pile Cap

Nilai kekakuan dan damping untuk pile cap yang tertanam akibat beban dinamis horizontal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_x^f = G_s h \bar{S}_{u1}$$

$$c_x^f = hr_o \sqrt{\frac{G_s \gamma_s}{g}} \times \bar{S}_{u2} \quad (\text{rumus 3.31})$$

Dimana :

G_s = modulus geser tanah (t/m^2)

h = kedalaman pile cap (m)

r_o = radius equivalent pile cap (m)

$$r_o = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

Dimana :

B = lebr pile cap (m)

L = panjang pile cap (m)

$$\rho_s = \frac{\gamma_s}{g}$$

Dimana :

γ_s = berat jenis tanah

g = percepatan gravitasi

$\bar{S}_{u1}, \bar{S}_{u2}$ = konstanta, didapat dari tabel 3.6

c) Nilai Kekakuan dan Damping Total

Pada suatu sistem pondasi dinamis yang menerima beban horizontal dinamis nilai kekakuan dan damping yang digunakan sebagai kekakuan dan damping sistem adalah nilai kekakuan

total, yaitu nilai kekakuan dan damping group tiang ditambah dengan nilai kekakuan dan damping yang pada pile cap.

$$k_x^t = k_x^g + k_x^f \quad (\text{rumus 3.32})$$

$$c_x^t = c_x^g + c_x^f \quad (\text{rumus 3.33})$$

Dimana :

k_x^g = nilai kekakuan tiang group

k_x^f = nilai kekakuan pile cap

c_x^g = nilai redaman/damping tiang group

c_x^f = nilai redaman/damping pile cap

3.5.2.3 Rocking

a) Kekakuan dan damping pada tiang pancang akibat rocking

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang tunggal akibat beban dinamis rocking dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$k_\psi^1 = \left(\frac{E_p I}{r_o} \right) f_{7,1} \quad (\text{rumus 3.34})$$

$$c_\psi^1 = \left(\frac{E_p I}{v_s} \right) f_{7,2} \quad (\text{rumus 3.35})$$

Dimana:

E_p = modulus young tiang pancang (t/m^2)

I_p = inersia pondasi tiang pancang

r_o = jari-jari pondasi tiang pancang (m)

V_s = kecepatan geser tanah

$f_{7,1}, f_{7,2}$ = konstanta faktor kekakuan dan dumping

b) Kekakuan dan damping pada tiang pancang akibat kombinasi horizontal dan rocking

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang tunggal akibat kombinasi beban dinamis horizontak dan rocking dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_{x\psi}^1 = \left(\frac{E_p I_p}{r_o^2} \right) f_{9,1} \quad (\text{rumus 3.36})$$

$$c_{x\psi}^1 = \left(\frac{E_p I_p}{r_o v_s} \right) f_{9,2} \quad (\text{rumus 3.37})$$

Dimana :

E_p = modulus young tiang pancang (t/m^2)

I_p = inersia pondasi tiang pancang

r_o = jari-jari pondasi tiang pancang (m)

v_s = kecepatan geser tanah

Nilai kekakuan dan damping untuk tiang pancang kelompok dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_{\psi}^g = \sum_1^N [k_{\psi}^1 + k_x^1 x_r^2 + k_x^1 z_c^2 - 2z_c k_{x\psi}^1] + k_{\psi}^f \quad (\text{rumus 3.38})$$

$$c_{\psi}^g = \sum_1^N [c_{\psi}^1 + c_z^1 x_r^2 + c_x^1 z_c^2 - 2z_c c_{x\psi}^1] + c_{\psi}^f \quad (\text{rumus 3.39})$$

Dimana :

k_z^1, c_z^1 = kekakuan, damping tiang pancang tunggal akibat beban vertikal

k_x^1, c_x^1 = kekakuan, damping tiang pancang tunggal akibat beban horizontal

k_{ψ}^1, c_{ψ}^1 = kekakuan, damping tiang pancang tunggal akibat beban rocking

- $k_{x\psi}^1, c_{x\psi}^1$ = kekakuan, damping tiang pancang tunggal akibat kombinasi beban horizontal dan rocking
 x_r = jarak horizontal tiang pancang dengan titik berat sistem
 z_c = jarak vertikal dari titik berat sistem ke dasar pile cap

c) Kekakuan dan damping pada pile cap

Nilai kekakuan dan damping untuk pile cap yang tertanam akibat beban dinamis rocking dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$k_\psi^f = G_s r_o h^2 \bar{S}_{\psi 1} + G_s r_o^2 h \left[\left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o} \right) \right] \bar{S}_{u1}$$

(rumus 3.40)

$$c_\psi^f = \delta \cdot r_o^4 \cdot \sqrt{G_s \gamma_s / g} \left\{ \bar{S}_{\psi 2} + \left[\frac{\delta^2}{3} + \left(\frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o} \right) \right] \bar{S}_{u2} \right\}$$

(rumus 3.41)

Dimana :

G_s = modulus geser tanah

h = kedalaman pile cap

$$\delta = \frac{h}{r_o}$$

r_o = radius equivalent pile cap

$$r_o = \sqrt[4]{\frac{L \cdot B^3}{3\pi}}$$

Dimana :

B = lebar pile cap tegak lurus sumbu rocking (m)

L = panjang pile cap (m)

$$\rho_s = \frac{\gamma_s}{g}$$

Dimana :

γ_s = berat jenis tanah

g = percepatan gravitasi

$\bar{S}_{u1}, \bar{S}_{u2}, \bar{S}_{\psi 1}, \bar{S}_{\psi 2}$ = konstanta, didapat dari tabel 3.6

d) Nilai Kekakuan dan Damping Total

Pada suatu sistem pondasi dinamis yang menerima beban dinamis rocking nilai kekakuan dan damping yang digunakan sebagai kekakuan dan damping sistem adalah nilai kekakuan total, yaitu nilai kekakuan dan damping group tiang ditambah dengan nilai kekakuan dan damping yang ada pada pile cap

$$k_{\psi \text{ total}} = k_{\psi}^g + k_{\psi}^f \quad (\text{rumus 3.42})$$

$$c_{\psi \text{ total}} = c_{\psi}^g + c_{\psi}^f \quad (\text{rumus 3.43})$$

Dimana :

k_{ψ}^g = nilai kekakuan tiang group

k_{ψ}^f = nilai kekakuan pile cap

c_{ψ}^g = nilai redaman/damping tiang group

c_{ψ}^f = nilai redaman/damping pile cap

3.5.3 Menghitung Besarnya Amplitudo

a) Menghitung besarnya natural frekuensi (fn)

$$f_n = \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{rumus 3.44})$$

b) Menghitung Damping Ratio

$$D = \frac{c}{2\sqrt{k.m}} \quad (\text{rumus 3.45})$$

c) Menghitung Frekuensi Resonansi (fm_r)

$$fm_r = \frac{f_n}{\sqrt{(1-2D^2)}} \quad (\text{rumus 3.46})$$

d) Menghitung Pembesaran Momen (M)

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2 \times D \times r)^2}} \quad (\text{rumus 3.47})$$

Keterangan :

M = Magnification Factor

D = Rasio Redaman

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{nz}} \quad (\text{rumus 3.48})$$

e) Menghitung Ampiltudo

$$A = M \times \frac{F_o}{k} \quad (\text{rumus 3.49})$$

Keterangan :

A = Amplitudo (inchi)

M = Magnification Factor

F_o = gaya luar yang berasal dari mesin (ton, kN)

k = konstanta pegas sesuai arah gaya (ton/m)

f) Menghitung Penyaluran Gaya Ke Tanah Melalui Pondasi Atau Transmisibility Factor (Tr)

Beban dinamis yang disalurkan ke tanah akan mengalami pengurangan akibat adanya pondasi. Untuk menghitung beban yang disalurkan ke tanah tersebut menggunakan rumus :

$$T_r = \frac{\sqrt{(1+(2\times D\times r)^2)}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\times D\times r)^2}} \quad (\text{rumus 3.50})$$

Keterangan :

T_r = Transmisibility Factor

D = Rasio Redaman

r = ekivaleb bentuk pondasi

g) Menghitung *Transmitted Force*

$$F_T = T_r \times F_o \quad (\text{rumus 3.51})$$

Keterangan :

F_T = Gaya yang diterima tanah sesuai arah gaya (kN, ton)

F_o = Gaya luar yang dihasilkan oleh mesin (kN, ton)

3.6 Perhitungan Kopel Lateral dan Rocking

$$Mm = Mm_o - m_{total} \times L^2 \quad (\text{rumus 3.52})$$

L = jarak inti mesin ke dasar pondasi

Cek terjadinya resonansi, didapat ω_{n1} dan ω_{n2} melalui rumus berikut :

$$\omega_n^4 - \omega_n^2 \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\varphi}^2}{\gamma} + \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\varphi}^2}{\gamma} = 0 \quad (\text{rumus 3.53})$$

Dimana :

$$\gamma = \frac{Mm}{Mm_o} \quad (\text{rumus 3.54})$$

$$\Delta(\omega^2) = \left[\left(\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{\omega_{n\psi}^2 + \omega_{nx}^2}{\gamma} - \frac{4\xi_x \xi_\psi \omega_{nx}^2 \omega_{n\psi}^2}{\gamma} \right\} + \frac{\omega_{nx}^2 \omega_{n\psi}^2}{\gamma} \right)^2 + 4 \left\{ \xi_x \frac{\omega_{nx}\omega}{\gamma} (\omega_{n\psi}^2 - \omega^2) + \frac{\xi_\psi \omega_{n\psi}\omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) \right\}^2 \right]^{1/2}$$

(rumus 3.86)

$$Ax_2 = \frac{My}{Mm} L \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2.Dx.\omega_{nx}.\omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \quad (\text{rumus 3.55})$$

$$A\varphi_2 = \frac{My}{Mm} \frac{[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2.Dx.\omega_{nx}.\omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \quad (\text{rumus 3.56})$$

$$Ax_1 = \frac{Px}{m.Mm} \times \frac{[(-Mm.\omega^2 + k\varphi + L^2.kx)^2 + 4\omega^2(D\varphi.\sqrt{k\varphi.Mmo} + L^2.Dx.\sqrt{kx.m})^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

(rumus 3.89)

$$A\varphi_1 = \frac{Px.L}{Mm} \cdot \frac{\omega_{nx}(\omega_{nx}^2 + 4.Dx.\omega^2)^{1/2}}{\Delta(\omega^2)} \quad (\text{rumus 3.57})$$

$$A_x = A_{x1} + A_{x2} \quad (\text{rumus 3.58})$$

$$A_\psi = A_{\psi 1} + A_{\psi 2} \quad (\text{rumus 3.59})$$

$$A_{vertikal} = A_z + (A_\psi \times 0,5B) \quad (\text{rumus 3.60})$$

3.7 Penulangan

3.7.1 Penulangan *Pile Cap*

Dalam kelompok tiang pancang (pile group) ujung atas tiang-tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lain dengan *pile cap* yang kaku sehingga merupakan suatu kesatuan yang kokoh. Dengan *pile cap* ini diharapkan bila kelompok tiang pancang

tersebut dibebani secara merata akan terjadi *settlement* (penurunan) yang merata pula. Dalam perhitungan *pile cap* :

1. Bila beban-beban yang bekerja dalam kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang *pile cap* tetap akan merupakan bidang datar
2. Gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut

Adapun langkah-langkah perhitungan penulangan *pile cap* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tebal tapak pondasi
2. Menghitung tinggi efektif dengan rumus:

$$d = h - p - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \quad (\text{rumus 3.61})$$

Dimana :

h = tebal pile cap

p = selimut beton

\emptyset = diameter tulangan

3. Pembebanan yang terjadi
4. Menghitung besarnya momen yang bekerja
5. Perhitungan luas tulangan

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (\text{rumus 3.62})$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \quad (\text{rumus 3.63})$$

Menghitung ρ_{perlu} , ρ_{min} , ρ_{max} dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (\text{rumus 3.64})$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \quad (\text{rumus 3.65})$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{400} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{rumus 3.66})$$

Dimana :

$$\beta = 0,85 \quad \text{untuk } 0 \leq f_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - [0,008 \times (f_c' - 30)] \quad \text{untuk } 30 \leq f_c \leq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,65 \quad \text{untuk } f_c > 55 \text{ MPa}$$

Bila nilai $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$, maka digunakan ρ_{perlu}

Bila nilai $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka digunakan ρ_{min} atau $\rho_{perlu} > \rho_{max}$ maka digunakan ρ_{max}

Luas tulangan perencanaan per meter lebar :

Luas tulangan bawah : $As = \rho bd$

6. Menentukan diameter dan jumlah tulangan
7. Menggambar hasil perencanaan pondasi dengan program bantu autocad

3.7.2 Penulangan Tiang Pondasi

Perhitungan penulangan tiang pondasi mengikuti ketentuan-ketentuan dari SNI 2847-2013.

1. Melakukan kombinasi pembebanan aksial
2. Cek perbandingan b dan h harus lebih besar dari 0,4
3. Menghitung efisiensi tiang

4. Menghitung n_h dan T untuk menghitung Momen akibat gaya lateral, dimana :

$$n_h = 2 \times \frac{0,65}{d} \times \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot d^4}{E_p \cdot I_p}} \times \frac{E_s}{1-\nu} \text{ dan } n_h \text{ dinamis} = \frac{n_h \times \eta}{SF}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_s \times I_p}{n_h}}$$

5. Cek syarat untuk kekakuan tiang $L > 5T$. Apabila nilai $5T > L$ maka tiang tergolong dalam kategori tiang panjang atau tiang *flexible*.
6. Menentukan nilai koefisien A_m dan B_m untuk tiang panjang sebelum menghitung momen akibat beban lateral sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 3.12 Koefisien A untuk Tiang Panjang

Z	A_y	A_s	A_M	A_V	A_p
0.0	2.435	- 1.623	0.000	1.000	0.000
0.1	2.273	- 1.618	0.100	0.989	- 0.227
0.2	2.112	- 1.603	0.198	0.956	- 0.422
0.3	1.952	- 1.578	0.291	0.906	- 0.586
0.4	1.796	- 1.545	0.379	0.840	- 0.718
0.5	1.644	- 1.503	0.459	0.764	- 0.822
0.6	1.496	- 1.454	0.532	0.677	- 0.897
0.7	1.353	- 1.397	0.595	0.585	- 0.947
0.8	1.216	- 1.335	0.649	0.489	- 0.973
0.9	1.086	- 1.268	0.693	0.392	- 0.977
1.0	0.962	- 1.197	0.727	0.295	- 0.962
1.2	0.738	- 1.047	0.767	0.109	- 0.885
1.4	0.544	- 0.893	0.772	- 0.056	- 0.761
1.6	0.381	- 0.741	0.746	- 0.193	- 0.609
1.8	0.247	- 0.596	0.696	- 0.298	- 0.445
2.0	0.142	- 0.464	0.628	- 0.371	- 0.283
3.0	- 0.075	- 0.040	0.225	- 0.349	0.226
4.0	- 0.050	0.052	0.000	- 0.106	0.201
5.0	- 0.009	0.025	- 0.033	0.013	0.046

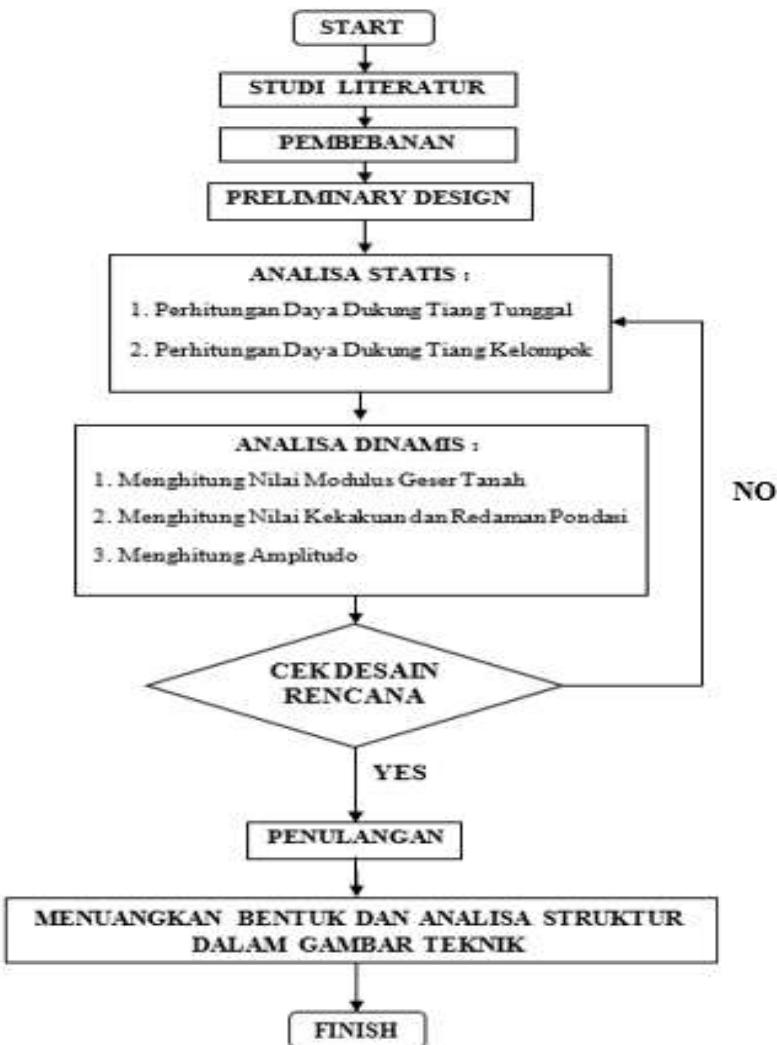
*After Matlock and Reese (1961 and 1962).

Tabel 3.13 Koefisien B untuk Tiang Panjang

<i>Z</i>	<i>B_P</i>	<i>B_S</i>	<i>B_M</i>	<i>B_V</i>	<i>B_P</i>
0.0	1.623	- 1.750	1.000	0.000	- 0.000
0.1	1.453	- 1.650	1.000	- 0.007	- 0.145
0.2	1.293	- 1.550	0.999	- 0.028	- 0.259
0.3	1.143	- 1.450	0.994	- 0.058	- 0.343
0.4	1.003	- 1.351	0.987	- 0.095	- 0.401
0.5	0.873	- 1.253	0.976	- 0.137	- 0.436
0.6	0.752	- 1.156	0.960	- 0.181	- 0.451
0.7	0.642	- 1.061	0.939	- 0.226	- 0.449
0.8	0.540	- 0.968	0.914	- 0.270	- 0.432
0.9	0.448	- 0.878	0.885	- 0.312	- 0.403
1.0	0.364	- 0.792	0.852	- 0.350	- 0.364
1.2	0.223	- 0.629	0.775	- 0.414	- 0.268
1.4	0.112	- 0.482	0.688	- 0.456	- 0.157
1.6	0.029	- 0.354	0.594	- 0.477	- 0.047
1.8	- 0.030	- 0.245	0.498	- 0.476	0.054
2.0	- 0.070	- 0.155	0.404	- 0.456	0.140
3.0	- 0.089	0.057	0.059	- 0.213	0.268
4.0	- 0.028	0.049	- 0.042	0.017	0.112
5.0	0.000	0.011	- 0.026	0.029	- 0.002

*After Matlock and Reese (1961 and 1962).

7. Melakukan perhitungan tulangan



Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV

PERENCANAAN PONDASI

4.1 Data-data Perencanaan

– Data-data Mesin

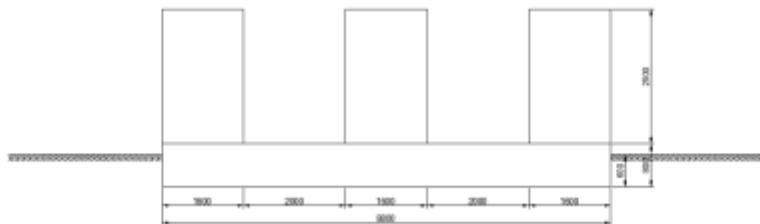
Nama mesin	: CNG (<i>Compressed Natural Gas</i>) Genset PLTMG Bawean
Frekuensi	: 3 x 1500 rpm
Kategori mesin	: Rotating Machinery
Berat mesin	: 3 x 9065 kg
Dimensi mesin	: 3 x 6000x1600x2500 mm Gambar mesin dapat dilihat pada lampiran (Sumber : PT. PJB Indonesia)

– Data-data Material

Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh (f_y)	: 400 MPa
Berat volume beton (γ)	: 2400 kg/cm ³
Dimensi <i>Pile Cap</i>	: 8800 x 6000 x 800 mm

– Data-data Tanah

Data tanah pada perencanaan pondasi mesin ini berada di daerah Gresik, Jawa Timur dan didapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.



Gambar 4.1 Potongan Memanjang Pondasi

4.2 Pembebanan

Pembebanan untuk pondasi mesin ini berdasarkan pada keadaan saat mesin beroperasi secara normal. Terdapat dua pembagian beban secara garis besar yaitu beban statis dan beban dinamis akibat mesin bekerja.

Beban pada saat mesin beroperasi normal terdiri dari :

1. Beban Statis :

- Beban mati

Beban mati ini terdiri dari :

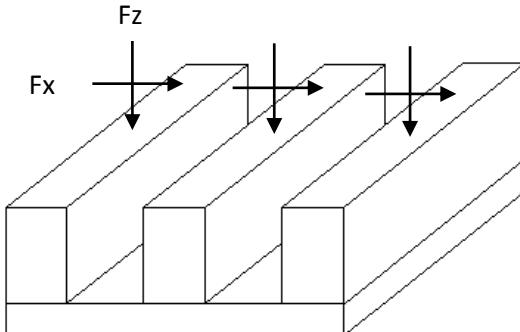
- Berat *pile cap*
- Berat mesin

- Beban hidup

Beban hidup terjadi saat instalasi dan perawatan, yaitu berat peralatan dan berat orang yang bekerja.

- Beban dinamis

Beban yang bekerja disaat mesin sedang beroperasi.



Gambar 4.2 Letak Gaya Pada Mesin

4.2.1 Beban Statis

1. Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pile cap} &= \gamma \times A \times t \\
 &= 2400 \text{ kg/m}^2 \times 6\text{m} \times 8,8\text{m} \times 0,8\text{m} \\
 &= 101376 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat mesin

$$\begin{aligned}
 \text{Step Up Transformer} &= 3865 \text{ kg} \\
 \text{Module Gas Genset} &= 5200 \text{ kg} \\
 \text{Total berat mesin} &= 9065 \text{ kg} \\
 \text{Total beban mati} &= \text{berat pile cap} + 3 \times \text{berat mesin} \\
 &= 101376 \text{ kg} + 3 \times 9065 \text{ kg} \\
 &= 128571 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup

Besarnya beban hidup berkisar antara 500-3000 kg/m², sesuai dengan ukuran mesin dan desain perencanaan. Beban hidup yang digunakan pada tugas akhir ini sebesar 500 kg/m², mengingat ukuran mesin yang tidak terlalu besar.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup} &= 500 \text{ kg/m}^2 \times 6\text{m} \times 8,8\text{m} \\
 &= 26400 \text{ kg} \\
 \text{Total beban statis} &= \text{beban mati} + \text{beban hidup} \\
 &= 128571 \text{ kg} + 26400 \text{ kg} \\
 &= 154971 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat rotor per mesin} &= 30\% \times \text{berat mesin} \\
 &= 30\% \times 9065\text{kg} \\
 &= 2719,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Beban Dinamis

Beban dinamis yang terjadi pada perencanaan pondasi mesin dinamis ini dihitung dalam perhitungan pada sub bab berikutnya, karena tidak adanya data beban dinamis dalam data spesifikasi mesin.

4.3 Analisa Beban Statis Pada Pondasi

Perhitungan awal kebutuhan tiang pancang dilakukan untuk menganalisa beban statis yang ada, yaitu beban mesin dan beban *pile cap*. Pada perhitungan tiang pancang ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain:

1. Agar penurunan merata maka titik berat tiang pancang dibuat berimpit dengan titik berat sistem.
2. Beban statis yang terjadi harus kurang dari 50% daya dukung ijin pondasi.

Dengan melihat daya dukung tanah yang telah diperhitungkan sebelumnya (lampiran 2), pondasi tiang pancang direncanakan sebagai berikut :

Ukuran tiang = 20x20 cm

Daya dukung ijin 1 tiang = 20923,428 kg

Kedalaman rencana = 4 m

Jumlah tiang = 54 buah

Untuk memenuhi 2 syarat tersebut perlu dilakukan :

1. Penempatan tiang pancang harus disesuaikan sehingga titik berat tiang pancang untuk sumbu x dan y dapat diasumsikan berimpit dengan sumbu x, y titik berat sistem, dan

2. Melakukan cek daya dukung tiang pancang kelompok dan menghitung efisiensi daya dukung tiang pancang kelompok.

4.3.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung pondasi ini menggunakan hasil pengujian sondir di lapangan dan diambil data dari titik BH-1 (*Bore Hole-1*).

- Kolom 1

Kedalaman tes sondir dalam satuan centimeter.

- Kolom 2

Harga *conus* yang didapatkan dari grafik sondir yang sesuai dengan hasil pengujian di lapangan dalam satuan kg/cm².

- Kolom 3

Harga JHP (Jumlah Hambatan Perekat) yang didapatkan dari grafik sondir yang sesuai dengan hasil pengujian di lapangan dalam satuan kg/cm.

- Kolom 4

Harga *Local Friction* yang didapatkan dari grafik sondir yang sesuai dengan hasil pengujian di lapangan dalam satuan kg/cm².

- Kolom 5

Harga *conus* dalam MPa.

- Kolom 6

Rp; data *conus* diambil rata-rata sepanjang 3D di bawah dan 3D di atas dasar tiang pondasi.

- Kolom 7

Ap; Luas penampang tiang dimana digunakan ukuran tiang 20 x 20 cm

- Kolom 8

fR (*Friction Ratio*); harga fR (*Friction Ratio*) didapatkan dari grafik sondir yang sesuai dengan hasil pengujian di lapangan dalam persen (%).

- Kolom 9

Penentuan jenis tanah didapatkan dari nilai conus (qc) dibandingkan dengan nilai fR sesuai dengan grafik 2.1.

- Kolom 10
 α_p ; koefisien jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 3.1.
- Kolom 11
 Q_p ; daya dukung pada ujung segmen yang ditinjau dengan cara A_p (Kolom 7) x R_p (Kolom 6) x α_p (Kolom 10) dikalikan 0,5
- Kolom 12
 P ; keliling penampang tiang dalam satuan cm
- Kolom 13
 α_f ; koefisien jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 3.3.
- Kolom 14
 α_s ; koefisien jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 3.2.
- Kolom 15
 f_u_i ; unsur lekatan (Frottement) dimana $f_u = \alpha_f \times \frac{R_p}{\alpha_s}$ dalam satuan kg/cm².
- Kolom 16
 $f_u_i \times h_i$; unsur lekatan dikalikan dengan kedalaman tanah yang ditinjau, dalam pembahasan ini kedalaman tanah yang dipakai adalah 20cm.
- Kolom 17
 $\sum f_u_i \times h_i$; nilai kumulatif unsur lekatan tiap kedalaman tanah yang ditinjau.
- Kolom 18
 Q_s ; daya dukung akibat *friction* (gesekan) sedalam tiang tertanam.
- Kolom 19
 Q_u ; daya dukung tanah maksimum yang terdapat pada pondasi dimana $Q_u = Q_p + Q_s$
- Kolom 20
 Q_{ijin} ; daya dukung terkoreksi *safety factor* (SF) seperti pada rumus 3.12.

Tabel 4.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
h (cm)	CONUS (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	LOCAL FRICTION (kg/cm ²)	qc (Mpa)	Rp	Ap (cm ²)	FR	Jenis Tanah	a _p	Qp	P (cm)	a _f	a _s	f _{u_i}	f _{u_i} x h _i	$\Sigma f_{u_i} x h_i$	Qs	Qu	Q _{jijin} (kg)
0	0	0	0	0	145	400	0	-		0	80	1,25		#DIV/0!		0	0	0	0
20	22	1	0,5	2,2	1,44	400	2,7	clay	0,5	144	80	1,25	50	0,036	0,72	0,72	28,8	172,8	19216
40	18	1	0,5	1,8	1,5	400	4,6	clay	0,5	150	80	1,25	50	0,0375	0,75	1,47	58,8	208,8	20016
60	18	4	0,5	1,8	1,571428571	400	3,2	clay	0,5	157,1428571	80	1,25	50	0,039285714	0,785714286	2,255714286	90,22857143	247,3714286	21016,38095
80	14	6	0,7	1,4	1,771428571	400	5,2	clay	0,5	177,1428571	80	1,25	50	0,044285714	0,885714286	3,141428571	125,6571429	302,8	23715,04762
100	18	8	0,8	1,8	1,657142857	400	4,5	clay	0,5	165,7142857	80	1,25	50	0,041428571	0,828571429	3,97	158,8	324,5142857	22223,2381
120	20	10	1	2	1,571428571	400	5,8	clay	0,5	157,1428571	80	1,25	50	0,039285714	0,785714286	4,755714286	190,2285714	347,3714286	21112,38095
140	14	10	0,6	1,4	1,485714286	400	4,6	clay	0,5	148,5714286	80	1,25	50	0,037142857	0,742857143	5,498571429	219,9428571	368,5142857	1969,52381
160	14	12	0,5	1,4	1,457142857	400	6	clay	0,5	145,7142857	80	1,25	50	0,036428571	0,728571429	6,227142857	249,0857143	394,8	19620,57143
180	12	12	0,5	1,2	1,371428571	400	4	clay	0,5	137,1428571	80	1,25	50	0,034285714	0,685714286	6,912857143	276,5142857	413,6571429	18477,71429
200	12	14	0,5	1,2	1,285714286	400	5	clay	0,5	128,5714286	80	1,25	50	0,032142857	0,642857143	7,555714286	302,2285714	430,8	17366,85714
220	12	16	0,3	1,2	1,342857143	400	3	clay	0,5	134,2857143	80	1,25	50	0,033571429	0,671428571	8,227142857	329,0857143	463,3714286	18160,7619
240	12	16	0,3	1,2	1,314285714	400	2,2	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	8,884285714	355,3714286	486,8	17779,80952
260	14	18	0,6	1,4	1,314285714	400	4,5	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	9,541428571	381,6571429	513,0857143	17811,80952
280	18	18	0,2	1,8	1,314285714	400	12	silty clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,19857143	407,9428571	539,3714286	17811,80952
300	12	20	0,4	1,2	1,314285714	400	3	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,85571429	434,2285714	565,6571429	17843,80952
320	12	20	0,2	1,2	1,4	400	3,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	11,55571429	462,2285714	602,2285714	18986,66667
340	12	20	0,2	1,2	1,4	400	2,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	12,25571429	490,2285714	630,2285714	18986,66667
360	12	20	0,2	1,2	1,4	400	2,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	12,95571429	518,2285714	658,2285714	18986,66667
380	18	22	0,8	1,8	1,457142857	400	4,6	clay	0,5	145,7142857	80	1,25	50	0,036428571	0,728571429	13,68428571	547,3714286	693,0857143	19780,57143
400	14	22	0,4	1,4	1,542857143	400	2,8	clay	0,5	154,2857143	80	1,25	50	0,038571429	0,771428571	14,45571429	578,2285714	732,5142857	20923,42857
420	18	22	0,4	1,8	1,685714286	400	2,2	clay	0,5	168,5714286	80	1,25	50	0,042142857	0,842857143	15,29857143	61,9428571	780,5142857	22828,19048
440	16	24	0,4	1,6	1,8	400	3,2	clay	0,5	180	80	1,25	50	0,045	0,9	16,19857143	647,9428571	827,9428571	24384
460	18	24	0,4	1,8	1,8	400	2	clay	0,5	180	80	1,25	50	0,045	0,9	17,09857143	683,9428571	863,9428571	24384
480	22	26	0,3	2,2	1,914285714	400	12	silty clay	0,5	191,4285714	80	1,25	50	0,047857143	0,957142857	18,0571429	722,2285714	913,6571429	25939,80952
500	20	28	0,8	2	1,914285714	400	5	clay	0,5	191,4285714	80	1,25	50	0,047857143	0,957142857	19,01285714	760,5142857	951,9428571	25971,80952

4.3.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Pondasi tiang pancang diasumsikan sebagai satu kesatuan tiang pancang dengan :



Gambar 4.3 Denah Tiang Pancang

Untuk mengetahui daya dukung tiang pancang kelompok digunakan cara yang sama dengan cara mencari daya dukung tiang pancang tunggal. Pada kedalaman 4m diketahui bahwa Q_{ijin} tiang kelompok = $2,33 \times 10^{10}$ kg sedangkan efisiensi tiang kelompok dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta = \sqrt{\frac{Q_{ijin(g)}^2}{Q_{ijin(g)}^2 + (n \times Q_{ijin(1)})^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2,33 \times 10^{10})^2}{(2,33 \times 10^{10})^2 + (54 \times 20923,428)^2}}$$

$$= 0,999$$

Sehingga daya dukung ijin tiang kelompok sesuai rumus 3.14

$$\begin{aligned}Q_{ijin} &= \eta \times n \times Q_{ijin} (1) \\&= 0,999 \times 54 \times 20923,428 \\&= 1128735,25 \text{ kg}\end{aligned}$$

Cek daya dukung pondasi terhadap beban statis :

Syarat : $W_{total} < 50\%$ daya dukung ijin tiang kelompok

$$\sum \text{beban statis} = 154971 \text{ kg}$$

$$50\% Q_{ijin} = 50\% \times 1128735,25 \text{ kg} = 564367,5 \text{ kg}$$

Maka :

$$\sum \text{beban statis} = 136841 \text{ kg} < 50\% Q_{ijin} = 564367,5 \text{ kg} \dots \text{OK!}$$

4.4 Perhitungan Modulus Geser Tanah

Tanah yang digunakan dalam perhitungan ini adalah tanah BH-1, tanah tersebut merupakan tanah dengan jenis lempung. Perhitungan modulus geser tanah yang digunakan sesuai rumus 3.15, yaitu :

$$G_{max} = 1230 \times \frac{(2,972 - e)^2}{1 + e} \times (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o})$$

Tegangan minimum yang terdapat tepat di bawah pondasi yaitu pada kedalaman 0,6m dengan perhitungan sebagai berikut :

$$q_o = 5252,812 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_v = q_o + \gamma_d \times H$$

$$= 1 \times 1610 + 1610 + 5252,812$$

$$= 8472,812 \frac{kg}{m^2}$$

$$= 0,847 \frac{kg}{cm^2}$$

Setelah melakukan analisa data tanah pada sub bab terdahulu, diketahui bahwa data tanah cukup baik dan pada kedalaman 0,6m terjadi normal konsolidasi, sehingga dipakai nilai pendekatan $OCR = 1$. Sesuai data tanah pada Lampiran 1, diketahui bahwa pada kedalaman 0,6m nilai e sebesar 1,675 dan *Plasticity Index* (IP) adalah sebesar 46,31%. Dengan menggunakan grafik 3.1 dan Tabel 3.4 didapat nilai $K_o = 0,41$ dan nilai $K = 0,53$

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma_v$$

$$= 0,41 \times 0,847$$

$$= 0,347 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_o = 0,333(\sigma_v + 2\sigma_h)$$

$$= 0,333(0,847 + 2 \times 0,347)$$

$$= 0,513 \frac{kg}{cm^2}$$

$$= 7,335 \text{ psi}$$

$$G_{max} = 1230 \times \frac{(2,972 - e)^2}{1 + e} \times (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o})$$

$$= 1230 \times \frac{(2,972 - 1,675)^2}{1 + 1,675} \times (1)^{0,53} (\sqrt{7,335})$$

$$= 2098,231 \text{ psi}$$

$$= 1468762 \frac{kg}{m^2}$$

4.5 Kombinasi Pembebaan

Pondasi mesin ini direncanakan untuk menopang tiga buah mesin sekaligus sehingga perhitungan kombinasi pembebaan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban maksimum

yang dapat dipikul tiap tiang apabila tidak semua mesin bekerja dan pada saat mesin bekerja terdapat kemungkinan bahwa rotor mesin bekerja tidak pada arah yang sama. Setelah mengetahui besarnya beban maksimum yang dipikul tiap tiang (P_{max}) kemudian dibandingkan dengan Q_{ijin} tiang pancang dengan ukuran yang telah direncanakan dan dicek apakah mempengaruhi besarnya amplitudo yang terjadi.

4.5.1 Kombinasi Pembebanan Akibat Beban Statis

Terdapat 5 jenis beban statis yang bekerja di atas pondasi, antara lain :

Tabel 4.2 Jenis-jenis Beban yang Terdapat Pada Pondasi

NO.	JENIS BEBAN	BEBAN STATIS (kg)
1	Pile Cap (DL)	101376
2	Hidup (LL)	26400
3	Mesin 1	9065
4	Mesin 2	9065
5	Mesin 3	9065

Untuk kombinasi pembebanan akibat beban statis semua mesin dianggap dalam keadaan mati dan semua jenis beban yang ada dikalikan faktor pembebanan. Faktor pembebanan dianggap 1 agar dapat diketahui beban asli yang diterima tiap tiang pancang. Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah : DL + LL + Mesin.

Tabel 4.3 Kombinasi Pembebatan Akibat Beban Statis

JENIS BEBAN	FAKTOR	BEBAN STATIS	JARAK		MOMEN
		(kg)	X	Y	
Pile Cap (DL)	1	101376			
Hidup (LL)	1	26400			
Mesin 1	1	9065			
Mesin 2	1	9065			
Mesin 3	1	9065			
Total		154971			

Beban maksimum yang diterima tiap tiang pancang dapat diperhitungkan menggunakan rumus 3.7

$$n = 54 \text{ buah}$$

$$\Sigma X^2 = (18 \times 0,5^2) + (18 \times 1,5^2) + (18 \times 2,5^2) = 157,5 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = (12 \times 0^2) + (12 \times 1^2) + (12 \times 2^2) + (12 \times 3^2) + (12 \times 4^2) = 360 \text{ m}^2$$

$$X_{max} = 4 \text{ m}$$

$$Y_{max} = 2,5 \text{ m}$$

$$\frac{\Sigma P}{n} = \frac{154971}{54} = 2869,833 \text{ kg}$$

$$P_{max} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_x \times Y_{max}}{\Sigma Y^2} + \frac{M_y \times X_{max}}{\Sigma X^2}$$

Beban statis tidak menyebabkan momen, maka M_x dan M_y = 0

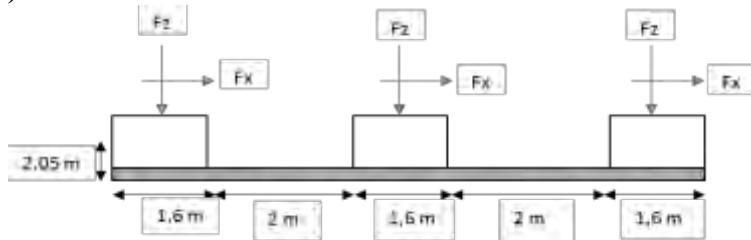
$$P_{max} = 2869,833 \text{ kg} < Q_{ijin} \times 0,6 = 12554,057 \text{ kg} \dots\dots \text{OK!}$$

4.5.2 Kombinasi Pembebatan Akibat Beban Dinamis

Perhitungan kombinasi pembebatan akibat beban dinamis ini dilakukan dengan mengasumsikan 10 kemungkinan yang dapat

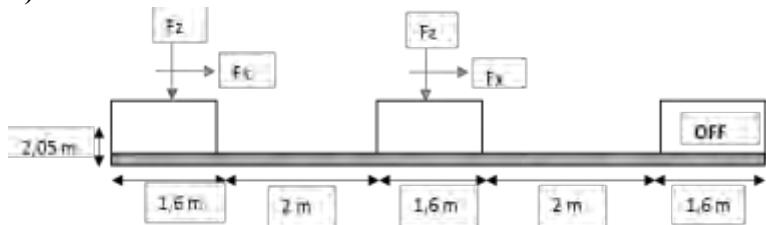
terjadi ketika mesin sedang dioperasikan dimana hal tersebut akan sangat berpengaruh pada daya dukung tiang pancang dan amplitudo yang akan terjadi. Berikut merupakan beberapa asumsi kombinasi pembebanan, perhitungan kombinasi pembebanan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

a) Asumsi 1



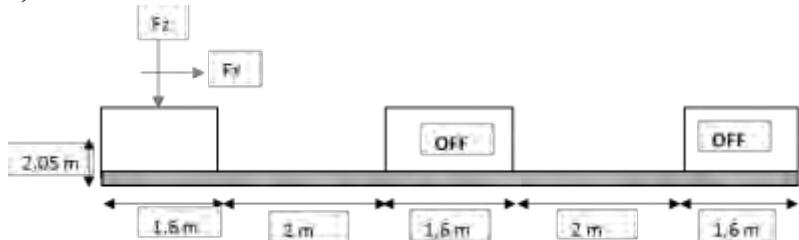
Gambar 4.4 Asumsi 1 Dimana 3 Mesin Bekerja

b) Asumsi 2



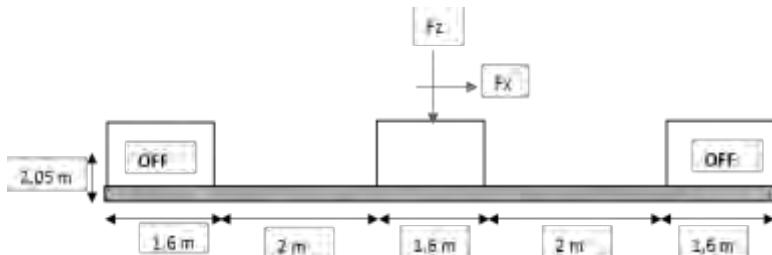
Gambar 4.5 Asumsi 2 Dimana 2 Mesin bekerja

c) Asumsi 3



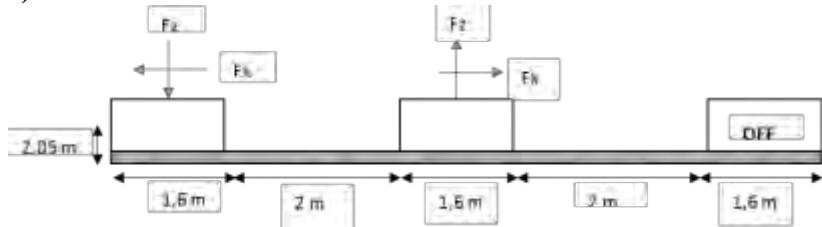
Gambar 4.6 Asumsi 3 Dimana 1 Mesin Bekerja

d) Asumsi 4



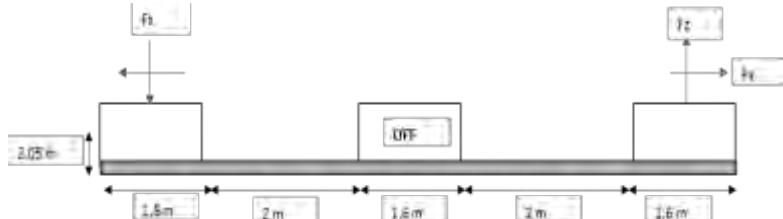
Gambar 4.7 Asumsi 4 Dimana Mesin Tengah Bekerja

e) Asumsi 5



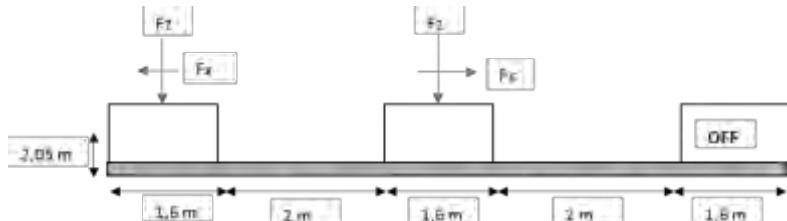
Gambar 4.8 Asumsi 5 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Vertikal Berlawanan

f) Asumsi 6



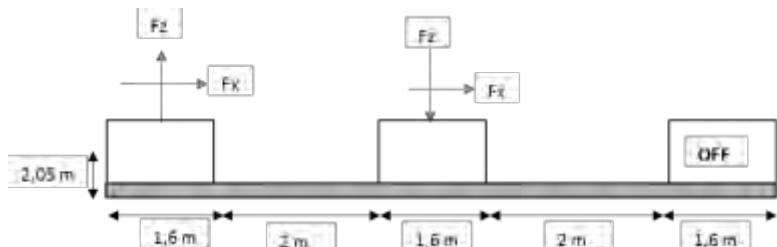
Gambar 4.9 Asumsi 6 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Vertikal dan Horizontal Berlawanan serta Mesin Tengah Mati

g) Asumsi 7



Gambar 4.10 Asumsi 7 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Horizontal Berlawanan

h) Asumsi 8



Gambar 4.11 Asumsi 8 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Vertikal dan Horizontal Berlawanan

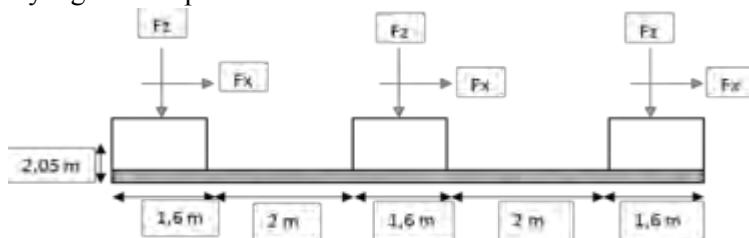
i) Asumsi 9

Gambar 4.12 Asumsi 9 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Horizontal Berlawanan dan Mesin Tengah Mati

j) Asumsi 10

Gambar 4.13 Asumsi 10 Dimana 2 Mesin Bekerja Arah Vertikal Berlawanan dan Mesin Tengah Mati

Setelah melakukan beberapa asumsi pembebanan seperti yang tertera di atas, maka diketahui bahwa kombinasi pembebanan yang paling menentukan adalah Asumsi 1 yaitu kombinasi pembebanan yang terjadi ketika 3 mesin bekerja dan rotor mesin berkerja pada arah yang sama seperti berikut :



Gambar 4.14 Asumsi Arah Gaya yang Menentukan

Tabel 4.4 Momen yang Terjadi Akibat Beban Dinamis

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BEBAN	FAKTOR	BEBAN STATIS	BEBAN DINAMIS (kg)		JARAK (m)			MOMENT	
		(kg)	Fz	Fx	Z	X	Y	Mx	My
DL	1	101376							
LL	1	26400							
Mesin 1	1	9065	-1392,44115	1392,441152	2,05	3,6			-2158,28
Mesin 2	1	9065	1392,441152	1392,441152	2,05	0			2854,504
Mesin 3	1	9065	1392,441152	1392,441152	2,05	3,6			7867,293
TOTAL		154971	1392,441152	4177,323457	6,15	7,2	0	0	8563,513

Tabel 4.5 Momen yang Terjadi Akibat Beban Dinamis

1	2	3	4	5	6	7	8	9
KOMBINASI	BEBAN	MOMENT		$\Sigma P/n$	$(Mx \times Y_{max}) / \Sigma Y_2$	$(My \times X_{max}) / \Sigma X_2$	Pmax (kg)	Qijin @ square pile 20x20
		(kg)	Mx	My				
D+L+F	154971	0	8563,513086	2869,833333	0	217,4860466	3087,31938	12554,05713

Keterangan Tabel 4.8 :

- Kolom 1
Jenis-jenis beban yang ada
- Kolom 2
Faktor pengali beban
- Kolom 3
Beban statis yang terjadi
- Kolom 4
Beban dinamis arah z yang ditimbulkan saat mesin beroperasi berdasarkan perhitungan F_{oz} pada sub bab 4.7.1 Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang Akibat Beban Dinamis Vertikal
- Kolom 5
Beban dinamis arah x yang ditimbulkan saat mesin beroperasi berdasarkan perhitungan F_{ox} pada sub bab 4.7.2 Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang Akibat Beban Dinamis Horizontal
- Kolom 6,7, dan 8
Jarak arah x, y dan z menuju titik berat pondasi
- Kolom 9 dan 10
Momen yang terjadi dan dianggap sebagai rocking. Dimana kolom 5 x kolom 6 + kolom 4 x kolom 7

Keterangan Tabel 4.9 :

- Kolom 1
Kombinasi beban dimana seluruh jenis beban yang ada ditambahkan
- Kolom 2
Total beban statis dari kolom 3 Tabel 4.4
- Kolom 3 dan 4
Momen yang terjadi berdasarkan kolom 9 dan 10 Tabel 4.4
- Kolom 5
Perhitungan daya dukung satu tiang dimana kolom 2 dibagi dengan jumlah tiang

- Kolom 6, 7 dan 8

Perhitungan sesuai dengan sub bab 4.4.1

- Kolom 9

Didapatkan dari Q_{ijin} satu tiang pada kedalaman 4m sesuai rumus 3.6

$$P_{max} = 3087,319 \text{ kg} < Q_{ijin} \times 0,6 = 12554,057 \text{ kg} \dots\dots (\text{OK!})$$

4.6 Analisa Beban Dinamis Tanpa Tiang

4.6.1 Akibat Beban Dinamis Vertikal

Koefisien penanaman sesuai Tabel 3.6 :

$$m = \frac{W}{g} = \frac{154971}{9,81} = 15813,367 \text{ kg} \frac{s^2}{m}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}} = \sqrt{\frac{6 \times 8,8}{3,14}} = 4,098 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \eta_z &= 1 + 0,6 \times (1 - \nu) \times \left(\frac{h}{r_o}\right) \\ &= 1 + 0,6 \times (1 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,098}\right) \\ &= 1,052 \end{aligned}$$

Koefisien untuk *pile cap* bujur sangkar dengan $L/B = 8,8/6 = 1,467$ digunakan grafik 3.2 dan didapatkan $\beta_z = 2,2$.

Konstanta pegas sesuai tabel 3.5 :

$$k_z = \frac{G}{1 - \nu} \times \beta_z \times \sqrt{BL} \times \eta_z$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1468762}{1 - 0,4} \times 2,2 \times \sqrt{6 \times 8,8} \times 1,052 \\
 &= 41194930,77 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung Rasio Damping

Faktor penanaman sesuai tabel 3.9 :

$$\begin{aligned}
 \alpha_z &= \frac{1 + 1,9(1 - \nu) \left(\frac{h}{r_o} \right)}{\sqrt{\eta_z}} \\
 &= \frac{1 + 1,9 \times (1 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,098} \right)}{\sqrt{1,052}} \\
 &= 1,137
 \end{aligned}$$

Rasio massa untuk getaran sesuai tabel 3.8 :

$$\begin{aligned}
 B_z &= \frac{(1 - \nu)}{4} \times \frac{W}{\gamma \times r_o^3} \\
 &= \frac{(1 - 0,4)}{4} \times \frac{154971}{1672 \times 4,098^3} \\
 &= 0,202
 \end{aligned}$$

Damping ratio :

$$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{B_z}} \times \alpha_z = \frac{0,425}{\sqrt{0,202}} \times 1,137 = 1,075$$

Menghitung Amplitudo :

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$\begin{aligned}
 f_{nz} &= \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_z}{m}} \\
 &= \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{41194930,77}{15813,367}} \\
 &= 4812,332 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 3.46 :

$$\begin{aligned}
 f_{mr} &= f_{nz} \times \sqrt{1 - 2 \times D_z^2} \\
 &= 4812,332 \times \sqrt{1 - 2 \times 1,075^2} \\
 &= \text{akar negatif, tidak menimbulkan resonansi} \\
 r &= \frac{f_{mesin}}{f_{nz}} = \frac{1500}{4812,332} = 0,311
 \end{aligned}$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$\begin{aligned}
 M_z &= \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_z \times r)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,311^2)^2 + (2 \times 1,075 \times 0,311)^2}} \\
 &= 0,889
 \end{aligned}$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_z}{m}} = \sqrt{\frac{41194930,77}{15813,367}} = 51,04$$

$$\omega_{mesin} = 2 \times \pi \times \frac{f_{mesin}}{60} = 2 \times 3,14 \times \frac{1500}{60} = 157,143 \text{ rad/s}$$

Gaya luar :

$$\begin{aligned} F_{oz} &= \frac{w_{rotor}}{g} \times e \times \omega_{mesin}^2 \\ &= \frac{2719,5}{9,8} \times 0,000203 \times 157,143^2 \\ &= 1392,441 \text{ kg} \end{aligned}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$\begin{aligned} A_z &= M_z \times \frac{F_{oz}}{k_z} \\ &= 0,889 \times \frac{1392,441}{41194930,77} \\ &= 3,005 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0,00118 \text{ inch} \end{aligned}$$

Transmisibility Factor :

$$T_{rz} = \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_z \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_z \times r)^2}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 1,075 \times 0,311)^2}}{\sqrt{(1 - 0,311^2)^2 + (2 \times 1,075 \times 0,311)^2}} \\
 &= 1,070
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{Tz} = T_{rz} \times F_{oz} = 1,070 \times 1392,441 = 1490,735 \text{ kg}$$

4.6.2 Akibat Beban Dinamis Horizontal

Koefisien penanaman sesuai Tabel 3.6 :

$$\begin{aligned}
 \eta_x &= 1 + 0,55 \times (2 - v) \times \left(\frac{h}{r_o} \right) \\
 &= 1 + 0,55 \times (2 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,098} \right) \\
 &= 1,128
 \end{aligned}$$

Koefisien untuk *pile cap* bujur sangkar dengan L/B = 8,8/6 = 1,467 digunakan grafik 3.2 dan didapatkan $\beta_z = 1$.

Konstanta pegas sesuai tabel 3.5 :

$$\begin{aligned}
 k_x &= 2 \times (1 + v) \times G \times \beta_z \times \sqrt{BL} \times \eta_z \\
 &= 2 \times (1 + 0,4) \times 1468762 \times 1 \times \sqrt{6 \times 8,8} \times 1,128 \\
 &= 33732658,43 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Menghitung Damping Rasio

Faktor penanaman sesuai tabel 3.9 :

$$\begin{aligned}
 \alpha_x &= \frac{1 + 1,9(2 - \nu) \left(\frac{h}{r_o}\right)}{\sqrt{\eta_x}} \\
 &= \frac{1 + 1,9 \times (2 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,098}\right)}{\sqrt{1,128}} \\
 &= 1,408
 \end{aligned}$$

Rasio massa untuk getaran sesuai tabel 3.8 :

$$\begin{aligned}
 B_x &= \frac{7 - 8\nu}{32(1 - \nu)} \times \frac{W}{\gamma \times r_o^3} \\
 &= \frac{7 - 8(0,4)}{32(1 - 0,4)} \times \frac{154971}{1672 \times 4,098^3} \\
 &= 0,266
 \end{aligned}$$

Damping ratio :

$$D_x = \frac{0,288}{\sqrt{B_x}} \times \alpha_x = \frac{0,288}{\sqrt{0,266}} \times 1,408 = 0,785$$

Menghitung amplitudo :

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$f_{nx} = \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_x}{m}}$$

$$= \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{33732658,43}{15813,367}} \\ = 4354,707 \text{ rpm}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 3.46 :

$$f_{mr} = f_{nx} \times \sqrt{1 - 2 \times D_x^2} \\ = 4354,707 \times \sqrt{1 - 2 \times 0,785^2} \\ = \text{akar negatif, tidak menimbulkan resonansi} \\ r = \frac{f_{mesin}}{f_{nx}} = \frac{1500}{4354,707} = 0,344$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_x \times r)^2}} \\ = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,344^2)^2 + (2 \times 0,785 \times 0,344)^2}} \\ = 0,966$$

$$\omega_{nx} = \sqrt{\frac{k_x}{m}} = \sqrt{\frac{33732658,43}{15813,367}} = 46,186$$

$$\omega_{mesin} = 2 \times \pi \times \frac{f_{mesin}}{60} = 2 \times 3,14 \times \frac{1500}{60} = 157,143 \text{ rad/s}$$

Gaya luar :

$$\begin{aligned}
 F_{ox} &= \frac{W_{rotor}}{g} \times e \times \omega_{mesin}^2 \\
 &= \frac{2719,5}{9,8} \times 0,000203 \times 157,143^2 \\
 &= 1392,441 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$\begin{aligned}
 A_x &= M_x \times \frac{F_{ox}}{k_x} \\
 &= 0,966 \times \frac{1392,441}{33732658,43} \\
 &= 3,990 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 0,00157 \text{ inchi}
 \end{aligned}$$

Transmisibility Factor :

$$\begin{aligned}
 T_{rx} &= \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_x \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_x \times r)^2}} \\
 &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 0,785 \times 0,344)^2}}{\sqrt{(1 - 0,344^2)^2 + (2 \times 0,785 \times 0,344)^2}} \\
 &= 1,099
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{Tx} = T_{rx} \times F_{ox} = 1,099 \times 1392,441 = 1530,825 \text{ kg}$$

4.6.3 Akibat Beban Dinamis Rocking

$k_{rocking}$ = jarak titik tengah pile cap ke dasar pile cap = 0,4 m
 Koefisien penanaman sesuai Tabel 3.6 :

$$\begin{aligned}
 Mm_{o\psi} &= \frac{1}{12} \times 101376 \times (0,8^2 + 8,8^2) + 101376 \times 0,4^2 + \\
 &\quad \frac{9065}{9,8} \times 2,05^2 + \frac{9065}{9,8} \times 2 \times 4,142^2 \\
 &= 711466,2159 \text{ kg s}^2\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_o &= \sqrt[4]{BL^3/3\pi} = \sqrt[4]{6 \times 8,8^3 / 3 \times 3,14} = 4,563 \text{ m} \\
 \eta_\psi &= 1 + 1,2(1 - v) \times \left(\frac{h}{r_o}\right) + 0,2(2 - v) \times \left(\frac{h}{r_o}\right)^3 \\
 &\quad + 0,2(2 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,563}\right)^3 \\
 &= 1 + 1,2(1 - 0,4) \times \left(\frac{0,6}{4,563}\right) \\
 &= 1,095
 \end{aligned}$$

Koefisien untuk *pile cap* bujur sangkar dengan L/B = 8,8/6 = 1,467 digunakan grafik 3.2 dan didapatkan $\beta_z = 1,1$.

Konstanta pegas sesuai tabel 3.5 :

$$\begin{aligned}
 k_\psi &= \frac{G}{1-v} \times \beta_\psi \times BL^2 \times \eta_\psi \\
 &= \frac{1468762}{1-0,4} \times 1,1 \times 6 \times 8,8^2 \times 1,095 \\
 &= 1370501717 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{rad}}
 \end{aligned}$$

Menghitung rasio damping :

Faktor penanaman sesuai tabel 3.9 :

$$\alpha_\psi = \frac{1 + 0,7(1 - v)\left(\frac{h}{r_o}\right) + 0,6(2 - v)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_\psi}}$$

$$= \frac{1 + 0,7(1 - 0,4) \left(0,6 / 4,563\right) + 0,6(2 - 0,4) \left(0,6 / 4,563\right)^3}{\sqrt{1,095}} \\ = 1,01$$

Rasio massa untuk getaran sesuai tabel 3.8 :

$$B_\psi = \frac{3(1 - v)}{8} \times \frac{Mm_{o\psi}}{\rho r_o^5} \\ = \frac{3(1 - 0,4)}{8} \times \frac{711466,2159}{1672 / 9,8 \times 4,563^5} \\ = 0,474$$

Untuk rocking dipakai tabel 3.8 dan didapatkan $n_\psi = 1,378$, sehingga *Damping ratio* :

$$D_\psi = \frac{0,15\alpha_\psi}{(1 + n_\psi B_\psi)\sqrt{n_\psi B_\psi}} \\ = \frac{0,15 \times 1,01}{(1 + 1,378 \times 0,474)\sqrt{1,378 \times 0,474}} \\ = 0,113$$

Menghitung amplitudo :

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$f_{n\psi} = \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_\psi}{Mm_o}} \\ = \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{1370501717}{711466,216}} \\ = 4138,172 \text{ rpm}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 3.46 :

$$f_{mr} = f_{n\psi} \times \sqrt{1 - 2 \times D_\psi^2}$$

$$= 4138,172 \times \sqrt{1 - 2 \times 0,113^2}$$

$$= 4084,608 \text{ rpm}$$

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{n\psi}} = \frac{1500}{4138,172} = 0,362$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$M_\psi = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_\psi \times r)^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,362^2)^2 + (2 \times 0,113 \times 0,362)^2}}$$

$$= 1,146$$

$$\omega_{n\psi} = \sqrt{\frac{k_\psi}{m}} = \sqrt{\frac{1370501717}{711466,216}} = 43,889$$

Gaya luar :

$F_{o\psi} = F_{ox} \times \text{jarak inti mesin ke pile cap}$

$$= 1392,441 \times 2,05$$

$$= 2854,504 \text{ kgm}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$A_\psi = M_\psi \times \frac{F_{o\psi}}{k_\psi}$$

$$= 1,146 \times \frac{2854,504}{1370501717}$$

$$= 2,387 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

Transmisibility Factor :

$$\begin{aligned}
 T_{r\psi} &= \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_\psi \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_\psi \times r)^2}} \\
 &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 0,113 \times 0,362)^2}}{\sqrt{(1 - 0,362^2)^2 + (2 \times 0,113 \times 0,362)^2}} \\
 &= 1,15
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{T\psi} = T_{r\psi} \times F_{o\psi} = 1,0006 \times 2854,504 = 2856,343 \text{ kg}$$

Tabel 4.6 Analisa Dinamis Tanpa Tiang

STEP	PARAMETER	VERTICAL (Z-DIRECTION)		HORIZONTAL (X-DIRECTION)	ROCKING (φ-DIRECTION)
		mz =	15813,3673 (kg s ² /m)	mx = 15813,3673 (kg s ² /m)	Mmo total = 711466,2159 (kg s ² m)
1.	m, Mmo				
2.	Spring Constant				
a)	ro		4,09878031 (m)	4,09878031 (m)	4,563397949 (m)
b)	η		1,0526986	1,12881881	1,095393642
c)	β		2,2	1	1,1
d)	k (rectangular)		41194930,8 (kg/m)	33732658,4 (kg/m)	1370501717 (kg m/rad)
3.	Damping Ratio				
a)	α		1,13729667	1,40837711	1,0103128
b)	B		0,20190241	0,26639901	0,474116303
c)	n				1,378
d)	D		1,07570193	0,78585993	0,113401793
4.					
a)	fn (rpm)		4812,33225	4354,70761	4138,172081
b)	fmr (rpm)		#NUM!	#NUM!	4084,608671
	r		0,31169918	0,34445481	0,362478885
c)	M		0,88917219	0,9667913	1,146143716
d)	ωn		51,0398875	46,1862928	43,88970389
e)	Fo		1392,44115 (kg)	1392,44115 (kg)	2854,504362 (kg m)
			3,0055E-05	3,9908E-05	2,38721E-06
f)	A		m	m	rad
			0,00118327	0,00157117	2,38721E-06
			inch	inch	rad
g)	Tr		1,07059139	1,09938213	1,150010432
h)	FT		1490,73551 (kg)	1530,82492 (kg)	3282,709796 (kg m)

Berdasarkan ketentuan mengenai kopel (rumus 2.1) maka :

$$\frac{\sqrt{f n_x^2 + f n_\psi^2}}{f n_x \times f n_\psi} \leq \frac{2}{3 \cdot f_{mesin}}$$

$$\frac{\sqrt{4354,707^2 + 4138,172^2}}{4354,707 \times 4138,172} \leq \frac{2}{3 \times 1500}$$

$$3,333 \times 10^{-4} \leq 4,444 \times 10^{-4}$$
 (tidak terjadi kopel)

Berdasarkan grafik 2.2 amplitudo yang terjadi pada perencanaan pondasi tanpa tiang tergolong dalam kategori "**troublesome to persons**". Maka, diperlukan perencanaan pondasi dengan tiang pancang.

4.7 Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang

4.7.1 Vertikal

Dikarenakan menggunakan tiang pancang maka nilai konstanta pegas dan redaman berubah dengan analisa seperti di bawah ini. Kecepatan gelombang geser pada tanah dengan menggunakan rumus :

$$v_s = \left(\frac{G_s \times g}{\gamma_s} \right)^{0,5} = \left(\frac{1468762 \times 9,8}{1672} \right)^{0,5} = 92,783 \text{ m/s}$$

$$E_p = 200000 \text{ MPa}$$

Kecepatan gelombang tekanan pada pile dengan menggunakan rumus :

$$v_c = \left(\frac{E_p \times g}{\gamma_p} \right)^{0,5} = \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 9,8}{2400} \right)^{0,5} = 9036,961 \text{ m/s}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,2 \times 0,2}{\pi}} = 0,112$$

Panjang tiang pancang 4 m, maka :

$$l/r_o = 4/0,112 = 35,456$$

$$\gamma_s/\gamma_p = 1672/2400 = 0,696$$

Dengan menggunakan grafik didapatkan $f_{18,1} = 0,042$ dan $f_{18,2} = 0,042$

$$A_{tiang} = p \times l = 0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ m}^2$$

Sehingga didapatkan nilai *spring constant* untuk arah vertikal untuk 1 tiang sesuai rumus 3.19 :

$$\begin{aligned} k_z^1 &= \left(\frac{E_p \times A}{r_o} \right) \times f_{18,1} \\ &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,04}{0,112} \right) \times 0,042 \\ &= 297832167,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Faktor damping untuk arah vertikal sesuai rumus 3.20 :

$$\begin{aligned} c_z^1 &= \left(\frac{E_p \times A}{v_s} \right) \times f_{18,2} \\ &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,04}{92,783} \right) \times 0,042 \\ &= 362133,504 \text{ kg} \frac{s}{m} \end{aligned}$$

$$m_c = \frac{\text{Total berat mati}}{g} = \frac{128571}{9,8} = 13119,489 \text{ kg} \frac{s^2}{m}$$

Damping ratio sesuai rumus 3.45 :

$$D_z^1 = \frac{c_z^1}{2\sqrt{k_z^1 \times m_c}} = \frac{362133,504}{2\sqrt{297832167,5 \times 13119,489}} = 0,0915$$

Dengan menggunakan tabel 3.10 dengan harga $\nu = 0,4$ maka didapatkan harga $\bar{S}_1 = 2,7$ dan $\bar{S}_2 = 6,7$, maka *spring constant* pada saat tiang berdiri bebas untuk kelompok tiang sesuai rumus 3.23 :

$$k_z^f = G_s \times h \times \bar{S}_1$$

$$= 1468762 \times 0,6 \times 2,7$$

$$= 2379393,951 \text{ kg/m}$$

$$r_{o \text{ pile cap}} = \sqrt{BL^2/\pi} = \sqrt{6 \times 8,8^2/3,14} = 4,098 \text{ m}$$

$$c_z^f = h \times r_o \times (G_s \times \gamma_s/g)^{0,5} \times \bar{S}_2$$

$$= 0,6 \times 4,098 \times (1468762 \times 1672/9,8)^{0,5}$$

$$= 260832,354 \text{ kg} \frac{s}{m}$$

Mencari harga α_A dengan menggunakan grafik 3.4 dengan menggunakan nilai pendekatan $\nu = 0,5$ dan $l/2r_o = 4/(2 \times 0,112) = 17,728$ digunakan nilai pendekatan 25, dimana S merupakan jarak tiang pancang acuan untuk gaya vertikal ke setiap tiang pancang yg ditinjau. Skema jarak tersebut dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.7 Penentuan Harga α_A

PILE	S (m)	S/2ro	2ro/S	αA
A	4,472	19,82002162	0,050454032	0,16
B	4,123	18,27324444	0,054724819	0,16

C	4	17,72810521	0,056407607	0,16
D	4,123	18,27324444	0,054724819	0,16
E	4,472	19,82002162	0,050454032	0,16
F	5	22,16013151	0,045126086	0,14
G	5,656	25,06754076	0,039892226	0,1
H	6,403	28,37826441	0,035238237	0,1
I	7,211	31,95934166	0,031289756	0,1
J	3,605	15,97745482	0,062588191	0,21
K	3,162	14,01406717	0,071356872	0,24
L	3	13,29607891	0,075210143	0,24
M	3,162	14,01406717	0,071356872	0,24
N	3,605	15,97745482	0,062588191	0,21
O	4,242	18,80065557	0,053189635	0,16
P	5	22,16013151	0,045126086	0,14
Q	5,83	25,83871334	0,038701617	0,1
R	6,708	29,73003243	0,033636021	0,1
S	2,828	12,53377038	0,079784452	0,28
T	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
U	2	8,864052604	0,112815215	0,3
V	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
W	2,828	12,53377038	0,079784452	0,28
X	3,605	15,97745482	0,062588191	0,21
Y	4,472	19,82002162	0,050454032	0,16
Z	5,385	23,86646164	0,041899801	0,14
AA	6,324	28,02813433	0,035678436	0,1
AB	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
AC	1,414	6,266885191	0,159568904	0,3
AD	1	4,432026302	0,22563043	0,48
AE	1,414	6,266885191	0,159568904	0,3

AF	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
AG	3,162	14,01406717	0,071356872	0,24
AH	4,123	18,27324444	0,054724819	0,16
AI	5,099	22,59890211	0,044249937	0,14
AJ	6,082	26,95558397	0,037098065	0,1
AK	2	8,864052604	0,112815215	0,3
AL	1	4,432026302	0,22563043	0,48
AM	0	0	0	1
AN	1	4,432026302	0,22563043	0,48
AO	2	8,864052604	0,112815215	0,3
AP	3	13,29607891	0,075210143	0,24
AQ	4	17,72810521	0,056407607	0,16
AR	5	22,16013151	0,045126086	0,14
AS	6	26,59215781	0,037605072	0,1
AT	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
AU	1,414	6,266885191	0,159568904	0,3
AV	1	4,432026302	0,22563043	0,48
AW	1,414	6,266885191	0,159568904	0,3
AX	2,236	9,910010812	0,100908063	0,3
AY	3,162	14,01406717	0,071356872	0,24
AZ	4,123	18,27324444	0,054724819	0,16
BA	5,099	22,59890211	0,044249937	0,14
BB	6,082	26,95558397	0,037098065	0,1

Dipakai $n = 54$ buah tiang pancang

$$\Sigma \alpha_A = 12,79$$

$$k_z^g = \frac{\sum_1^N k_z^1}{\sum_1^N \alpha_A} + k_z^f$$

$$= \frac{54 \times 297832167,5}{12,79} + 2379393,951 \\ = 1259841243 \text{ kg/m}$$

$$c_z^g = \frac{\sum_1^N c_z^1}{(\sum_1^N \alpha_A)^{0,5}} + c_z^f \\ = \frac{54 \times 362133,504}{(12,79)^{0,5}} + 260832,354 \\ = 5728815,842 \text{ kg} \frac{s}{m}$$

$$D_z^g = \frac{c_z^g}{\left[2(k_z^g m_c)^{0,5} \right]} \\ = \frac{5728815,842}{[2(1259841243 \times 13119,489)^{0,5}]} \\ = 0,704$$

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$f_{nz} = \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_z^g}{m}} \\ = \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{1259841243}{15813,367}} \\ = 2694,277 \text{ rpm}$$

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{nz}} = \frac{1500}{2694,277} = 0,556$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$\begin{aligned}
 M_z &= \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_z \times r)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,556^2)^2 + (2 \times 0,704 \times 0,556)^2}} \\
 &= 0,957
 \end{aligned}$$

$$\omega_{mesin} = 2 \times \pi \times \frac{f_{mesin}}{60} = 2 \times 3,14 \times \frac{1500}{60} = 157,143 \text{ rad/s}$$

Gaya luar :

$$\begin{aligned}
 F_{oz} &= \frac{w_{rotor}}{g} \times e \times \omega_{mesin}^2 \\
 &= \frac{2719,5}{9,8} \times 0,000203 \times 157,143^2 \\
 &= 1392,441 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$\begin{aligned}
 A_z &= M_z \times \frac{F_{oz}}{k_z^g} \\
 &= 0,957 \times \frac{1392,441}{1259841243} \\
 &= 1,057 \times 10^{-6} \text{ m} \\
 &= 4,164 \times 10^{-5} \text{ inchi}
 \end{aligned}$$

Transmisibility Factor :

$$\begin{aligned}
 T_{rz} &= \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_z^g \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_z^g \times r)^2}} \\
 &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 0,704 \times 0,556)^2}}{\sqrt{(1 - 0,556^2)^2 + (2 \times 0,704 \times 0,556)^2}} \\
 &= 1,216
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{Tz} = T_{rz} \times F_{oz} = 1,216 \times 1392,441 = 1693,905 \text{ kg}$$

4.7.2 Horizontal

Dengan menggunakan tabel 3.10 didapatkan nilai $\bar{S}_{u1} = 4,1$ dan $\bar{S}_{u2} = 10,6$ dan dengan menggunakan tabel 3.11 didapatkan nilai $f_{11,1} = 0,0397$ dan $f_{11,2} = 0,0942$

$$\begin{aligned}
 I_y &= \frac{1}{12} \times 0,2 \times 0,2^3 = 0,000133 \text{ m}^4 \\
 l &= 4m
 \end{aligned}$$

Harga *spring constant* untuk arah horizontal sesuai rumus 3.27 :

$$\begin{aligned}
 k_x^1 &= \left(\frac{E_p \times I_y}{r_o^3} \right) \times f_{11,1} \\
 &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{0,112} \right) \times 0,0397 \\
 &= 73732033,76 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Faktor damping dengan menggunakan rumus 3.28 :

$$\begin{aligned}
 c_x^1 &= \left(\frac{E_p \times I_y}{r_o^2 \times v_s} \right) \times f_{11,2} \\
 &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{0,112^2 \times 92,783 \text{ m/s}} \right) \times 0,0942 \\
 &= 212722,639 \text{ kg} \frac{s}{m}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai kekakuan tiang kelompok, dipakai $n = 54$ buah tiang pancang. Digunakan nilai pendekatan $v = 0,5$ dan kekakuan relatif sesuai rumus 3.30 untuk menentukan harga α_L sesuai grafik 3.5.

$$\begin{aligned}
 KR &= \frac{(EI)_{pile}}{2[G(1 + v)]_{soil} \times L^4} \\
 &= \frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{2 \times [1468762(1 + 0,5)] \times 4^4} \\
 &= 0,00236 \text{ (flexible pile)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Harga α_L Perencanaan

PILE	S	S/2ro	β	αL
A	2	8,864053	90	0,16
B	2,236	9,910011	63,435	0,18
C	2,828	12,53377	45	0,23
D	3,605	15,97745	33,7	0,26
E	4,472	19,82002	26,565	0,27
F	5,385	23,86646	21,8	0,28
G	6,324	28,02813	18,435	0,285
H	7,28	32,26515	15,945	0,29

I	8,246	36,54649	14,036	0,295
J	1	4,432026	90	0,37
K	1,414	6,266885	45	0,23
L	2,236	9,910011	26,565	0,27
M	3,162	14,01407	18,435	0,285
N	4,123	18,27324	14,036	0,295
O	5,099	22,5989	11,309	0,295
P	6,082	26,95558	9,462	0,3
Q	7,071	31,33886	8,13	0,3
R	8,062	35,731	7,125	0,3
S	0	0	0	0,6
T	1	4,432026	0	0,6
U	2	8,864053	0	0,3
V	3	13,29608	0	0,3
W	4	17,72811	0	0,3
X	5	22,16013	0	0,3
Y	6	26,59216	0	0,3
Z	7	31,02418	0	0,3
AA	8	35,45621	0	0,3
AB	1	4,432026	90	0,37
AC	1,414	6,266885	45	0,23
AD	2,236	9,910011	26,565	0,27
AE	3,162	14,01407	18,435	0,285
AF	4,123	18,27324	14,036	0,295
AG	5,099	22,5989	11,309	0,295
AH	6,082	26,95558	9,462	0,3
AI	7,071	31,33886	8,13	0,3
AJ	8,062	35,731	7,125	0,3
AK	2	8,864053	90	0,16

AL	2,236	9,910011	63,435	0,18
AM	2,828	12,53377	45	0,23
AN	3,605	15,97745	33,7	0,26
AO	4,472	19,82002	26,565	0,27
AP	5,385	23,86646	21,8	0,28
AQ	6,324	28,02813	18,435	0,285
AR	7,28	32,26515	15,945	0,29
AS	8,246	36,54649	14,036	0,295
AT	3	13,29608	90	0,16
AU	3,162	14,01407	71,565	0,17
AV	3,605	15,97745	56,309	0,2
AW	4,242	18,80066	45	0,23
AX	5	22,16013	36,869	0,26
AY	5,83	25,83871	30,963	0,265
AZ	6,708	29,73003	26,565	0,27
BA	7,615	33,74988	23,198	0,27
BB	8,544	37,86723	20,55	0,27

$$\sum \alpha_L = 15,185$$

$$k_x^g = \frac{\sum_1^N k_x^1}{\sum_1^N \alpha_L} = \frac{54 \times 73732033,76}{15,185} = 262201503 \text{ m}/\text{dtk}$$

$$m_c = 13119,489 \text{ kg} \frac{s^2}{m}$$

$$k_x^f = G_s h \bar{S}_{u1} = 1468762 \times 0,6 \times 4,1 = 3613153,778 \text{ kg/m}$$

$$c_x^f = hr_o \sqrt{\frac{G_s \gamma_s}{g}} \times \bar{S}_{u2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \times 0,112 \sqrt{\frac{1468762 \times 1672}{9,8}} \times 10,6 \\
 &= 11358,096 \text{ kg} \frac{s}{m} \\
 k_x \text{ total} &= k_x^g + k_x^f \\
 &= 262201503 + 3613153,778 \\
 &= 265814656,8 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Damping ratio :

$$\begin{aligned}
 D_x^g &= \frac{\sum_1^N c_x^1 + c_x^f}{2 \times \sqrt{\sum_1^N k_x^1 \times m_c} \times \sqrt{\sum_1^N \alpha_L}} \\
 &= \frac{54 \times (212722,639 + 11358,096)}{2 \times \sqrt{54 \times 73732033,76 \times 13119,489} \times \sqrt{15,185}} \\
 &= 0,214
 \end{aligned}$$

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$\begin{aligned}
 f_{nx} &= \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_x}{m}} \\
 &= \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{265814656,8}{15813,367}} \\
 &= 1237,581 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{nx}} = \frac{1500}{1237,581} = 1,212$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_x \times r)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1 - 1,212^2)^2 + (2 \times 0,214 \times 1,212)^2}} \\ &= 1,426 \end{aligned}$$

Gaya luar :

$$\begin{aligned} F_{ox} &= \frac{w_{rotor}}{g} \times e \times \omega_{mesin}^2 \\ &= \frac{2719,5}{9,8} \times 0,000203 \times 157,143^2 \\ &= 1392,441 \text{ kg} \end{aligned}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$\begin{aligned} A_x &= M_x \times \frac{F_{ox}}{k_x} \\ &= 1,426 \times \frac{1392,441}{265814656,8} \\ &= 7,474 \times 10^{-6} \text{ m} \\ &= 0,000294 \text{ inchi} \end{aligned}$$

Transmisibility Factor :

$$\begin{aligned}
 T_{rx} &= \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_x \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_x \times r)^2}} \\
 &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 0,214 \times 1,212)^2}}{\sqrt{(1 - 1,212^2)^2 + (2 \times 0,214 \times 1,212)^2}} \\
 &= 1,608
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{Tx} = T_{rx} \times F_{ox} = 1,608 \times 1392,441 = 2240,064 \text{ kg}$$

4.7.3 Rocking

Dengan menggunakan tabel 3.11 dimana nilai $l/r_o > 25$ dan nilai $\gamma_s/\gamma_p = 0,7$ maka didapatkan nilai $f_{7,1} = 0,45$, $f_{7,2} = 0,314$, $f_{9,1} = -0,097$ dan $f_{9,2} = -0,141$. Digunakan tabel 3.10 sehingga didapatkan harga $\bar{S}_{\psi 1} = 2,5$ dan $\bar{S}_{\psi 2} = 1,8$.

$$\begin{aligned}
 k_{\psi}^1 &= \left(\frac{E_p I}{r_o} \right) f_{7,1} \\
 &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{0,112} \right) \times 0,45 \\
 &= 10636863,13 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\psi}^1 &= \left(\frac{E_p I}{v_s} \right) f_{7,2} \\
 &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{92,783} \right) \times 0,314
 \end{aligned}$$

$$= 9024,596 \text{ kg} \frac{s}{m}$$

$$x_{r\ total} = 12 \times 4 + 12 \times 3 + 12 \times 2 + 12 \times 1$$

$$= 120 \text{ m}$$

$$z_c = 0,4 \text{ m}$$

n = 54 buah tiang pancang

$$k_\psi^f = G_s r_o h^2 \bar{S}_{\psi 1} + G_s r_o^2 h \left[\left(\delta^2 / 3 \right) + \left(z_c / r_o \right)^2 - \delta \left(z_c / r_o \right) \right] \bar{S}_{u1}$$

$$= 1468762 \times 0,112 \times 0,6^2 \times 2,5 + 1468762 \times 0,112^2$$

$$\begin{aligned} & \times 0,6 \left[\left(\left(0,6 / 0,112 \right)^2 / 3 \right) + \left(0,4 / 0,112 \right)^2 \right. \\ & \quad \left. - \left(0,6 / 0,112 \right) \left(0,4 / 0,112 \right) \right] 4,1 \end{aligned}$$

$$= 212578,305 \text{ kg/m}$$

$$k_{x\psi}^1 = \left(\frac{E_p I}{r_o^2} \right) f_{9,1}$$

$$= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{0,112^2} \right) \times (-0,097)$$

$$= -20323809,52 \text{ kg/m}$$

$$k_\psi^g = \sum_1^N \left[k_\psi^1 + k_x^1 x_r^2 + k_x^1 z_c^2 - 2 z_c k_{x\psi}^1 \right] + k_\psi^f$$

$$\begin{aligned}
&= [54 \times 10636863,13 + \{73732033,76 \times [(12 \times 4^2) + \\
&(12 \times 3^2) + (12 \times 2^2) + (12 \times 1^2)]\} + 54 \times \\
&73732033,76 \times 0,4^2 - 54 \times 2 \times 0,4 \times (-20323809,52)] + \\
&212578,305
\end{aligned}$$

$$= 28287574081 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
c_{\psi}^f &= \delta \cdot r_o^4 \cdot \sqrt{\bar{G}_s \gamma_s / g} \left\{ \bar{S}_{\psi 2} + \left[\frac{\delta^2}{3} + \left(\frac{z_c}{r_o} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_o} \right) \right] \bar{S}_{u2} \right\} \\
&= 0,6 / 0,112 \times 0,112^4 \\
&\quad \times \sqrt{1468762 \times 1672 / 9,8} \times \\
&\quad \left\{ 1,8 + \left[\frac{(0,6 / 0,112)^2}{3} + \left(\frac{0,4}{0,112} \right)^2 - (0,6 / 0,112) \left(\frac{0,4}{0,112} \right) \right] 10,6 \right\} \\
&= 478,871 \text{ kg} \frac{s}{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_{x\psi}^1 &= \left(\frac{E_p I_p}{r_o v_s} \right) f_{9,2} \\
&= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,000133}{0,112 \times 92,783} \right) \times (-0,141) \\
&= -35921,097 \text{ kg} \frac{s}{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_{\psi}^g &= \sum_{1}^N [c_{\psi}^1 + c_z^1 x_r^2 + c_x^1 z_c^2 - 2 z_c c_{x\psi}^1] + c_{\psi}^f \\
&= [54 \times 9024,596 \\
&\quad + \{362133,503 \\
&\quad \times [(12 \times 4^2) + (12 \times 3) + (12 \times 2^2) \\
&\quad + (12 \times 1^2)]\} + 54 \times 212722,639 \times 0,4^2 \\
&\quad - 54 \times -2 \times 0,4 \times (-35921,097)] + 478,871 \\
&= 137002468,9 \text{ kg} \frac{s}{m}
\end{aligned}$$

Damping ratio :

$$\begin{aligned}
 D_\psi &= \frac{c_\psi^g}{2\sqrt{k_\psi^g \times Mm_o}} \\
 &= \frac{137002468,9}{2\sqrt{28287574081 \times 711466,216}} \\
 &= 0,482
 \end{aligned}$$

Frekuensi natural sesuai rumus 3.44 :

$$\begin{aligned}
 f_{n\psi} &= \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k_\psi}{Mm_o}} \\
 &= \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{28287574081}{711466,216}} \\
 &= 1903,344 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{n\psi}} = \frac{1500}{1903,344} = 0,788$$

Magnification Factor atau pembesaran momen sesuai rumus 3.47:

$$\begin{aligned}
 M_\psi &= \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_\psi \times r)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,788^2)^2 + (2 \times 0,482 \times 0,788)^2}} \\
 &= 1,176
 \end{aligned}$$

Gaya luar :

$$F_{o\psi} = F_{ox} \times \text{jarak inti mesin ke pile cap}$$

$$= 1392,441 \times 2,05$$

$$= 2854,504 \text{ kgm}$$

Amplitudo sesuai rumus 3.49 :

$$A_\psi = M_\psi \times \frac{F_{o\psi}}{k_\psi}$$

$$= 1,176 \times \frac{2854,504}{28287574081}$$

$$= 1,186 \times 10^{-7} \text{ rad}$$

Transmisibility Factor :

$$\begin{aligned} T_{r\psi} &= \frac{\sqrt{(1 + (2 \times D_\psi \times r)^2)}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \times D_\psi \times r)^2}} \\ &= 2 \times \frac{\sqrt{1 + (2 \times 0,482 \times 0,448)^2}}{\sqrt{(1 - 0,788^2)^2 + (2 \times 0,482 \times 0,788)^2}} \\ &= 1,478 \end{aligned}$$

Beban yang diterima tanah dasar sesuai rumus 3.51 :

$$F_{T\psi} = T_{r\psi} \times F_{o\psi} = 1,478 \times 2854,504 = 4219,301 \text{ kg}$$

4.8 Perhitungan Kopel Lateral dan Rocking

Berdasarkan ketentuan mengenai kopel (rumus 2.1) maka :

$$\frac{\sqrt{f n_x^2 + f n_\psi^2}}{f n_x \times f n_\psi} \leq \frac{2}{3 \cdot f_{mesin}}$$

$$\frac{\sqrt{1237,581^2 + 1903,344^2}}{1237,581 \times 1903,344} \leq \frac{2}{3 \times 1500}$$

$$9,638 \times 10^{-4} > 4,444 \times 10^{-4} \text{ (terjadi kopel)}$$

Maka perhitungan kopel lateral dan rocking adalah sebagai berikut:

$$L = 1,65 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Mm &= Mm_o - W \times L^2 \\ &= 711466,216 - 110441 \times 1,65^2 \\ &= 410790,593 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{Mm}{Mm_o} = \frac{410790,593}{711466,216} = 0,577$$

Dengan menggunakan persamaan pada rumus 3.53 maka akan didapatkan nilai ω_n baru untuk gaya kopel.

$$\omega_n^4 - \omega_n^2 \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\varphi}^2}{\gamma} + \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{n\varphi}^2}{\gamma} = 0$$

$$\omega_n^4 - \omega_n^2 \frac{129,651^2 + 199,397^2}{0,577} + \frac{129,651^2 + 199,397^2}{0,577} = 0$$

$$\omega_n^4 - 97974,393 \omega_n^2 + 97974,393 = 0$$

Maka didapatkan harga $\omega_{n1} = 312,004$ rad/s dan $\omega_{n2} = 1$ rad/s.
Dengan menggunakan persamaan 3.86 :

$$\Delta(\omega^2) = \left[\left(\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{\omega_{n\psi}^2 + \omega_{nx}^2}{\gamma} - \frac{4\xi_x \xi_\psi \omega_{nx}^2 \omega_{n\psi}^2}{\gamma} \right\} + \frac{\omega_{nx}^2 \omega_{n\psi}^2}{\gamma} \right)^2 + 4 \left\{ \xi_x \frac{\omega_{nx}\omega}{\gamma} (\omega_{n\psi}^2 - \omega^2) + \frac{\xi_\psi \omega_{n\psi}\omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) \right\}^2 \right]^{1/2}$$

$$= 267429688,7$$

$$Ax_2 = \frac{My}{Mm} L \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2.Dx.\omega_{nx}.\omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

$$= \frac{2854,504}{410790,593} \times 1,65 \times$$

$$\frac{[(129,651^2)^2 + (2 \times 0,214 \times 129,651 \times 157,143)^2]^{1/2}}{267429688,7}$$

$$= 2,437 \times 10^{-6} m$$

$$A\psi_2 = \frac{My}{Mm} \frac{[(\omega_{nx}^2 - \omega^2)^2 + (2.Dx.\omega_{nx}.\omega)^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

$$= \frac{2854,504}{410790,593} \times$$

$$\frac{[(129,651^2 - 157,143^2)^2 + (2 \times 0,214 \times 129,651 \times 157,143)^2]^{1/2}}{267429688,7}$$

$$= 9,183 \times 10^{-7} rad$$

$$Ax_1 = \frac{Px}{m.Mm} \times$$

$$\frac{[(-Mm.\omega^2 + k\varphi + L^2.kx)^2 + 4\omega^2(D\varphi.\sqrt{k\varphi.Mmo} + L^2.Dx.\sqrt{kx.m})^2]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

$$= 1,011 \times 10^{-5} m$$

$$A\psi_1 = \frac{Px.L}{Mm} \cdot \frac{\omega_{nx}(\omega_{nx}^2 + 4.Dx.\omega^2)^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4177,323 \times 1,65}{410790,593} \\
 &\times \frac{129,651(129,651^2 + 4 \times 0,214 \times 157,143^2)^{1/2}}{267429688,7} \\
 &= 1,586 \times 10^{-6} \text{ rad}
 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan persamaan 3.58 dan 3.59 maka nilai amplitudo menjadi :

$$\begin{aligned}
 A_x &= A_{x1} + A_{x2} \\
 &= 1,011 \times 10^{-5} + 2,437 \times 10^{-6} \\
 &= 1,255 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 A_\psi &= A_{\psi 1} + A_{\psi 2} \\
 &= 1,586 \times 10^{-6} + 9,183 \times 10^{-7} \\
 &= 2,504 \times 10^{-6} \text{ rad}
 \end{aligned}$$

Amplitudo yang terjadi untuk arah vertikal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{vertikal} &= A_z + (A_\psi \times 0,5B) \\
 &= 1,057 \times 10^{-6} + (2,504 \times 10^{-6} \times 0,5 \times 8,8) \\
 &= 1,207 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 0,000476 \text{ inchi}
 \end{aligned}$$

Setelah menemukan besarnya P_{max} , maka dengan menggunakan cara yang sama untuk mencari amplitudo dan amplitudo kopel

seperti pada sub bab sebelumnya maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut. Tabel Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.9 Analisa Dinamis dengan Kombinasi Pembebanan

ASUMSI	STEP	PARAMETER	VERTICAL (Z-DIRECTION)	HORIZONTAL (X-DIRECTION)	ROCKING (φ-DIRECTION)
1	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	1392,441152	4177,323457	8563,513086
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	1693,905178	6720,193294	12657,9038
	7.	A	1,05785E-06	2,24233E-05	3,56076E-07
			m	m	rad
			4,16478E-05	0,000882807	3,56076E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		4,76E-04	"easily noticeable to person"

Jadi, amplitudo yang terjadi dengan kombinasi pembebanan seperti di atas tergolong kategori "**easily noticeable to person**" berdasarkan grafik 2.2.

BAB V

PENULANGAN

Pondasi blok tidak memiliki kebutuhan struktur yang sama seperti balok dan kolom pada struktur umumnya. Sehingga disediakan tulangan minimum untuk menjaga terhadap temperatur dan faktor susut. Tulangan yang dipakai berdasarkan momen maksimum yang ada berdasarkan 2 (dua) kondisi, yaitu:

1. Momen Akibat Beban Mati dan Beban Hidup

Kondisi ini terjadi karena posisi mesin yang berada tepat di atas tiang pancang, sehingga beratnya ditopang oleh pondasi tersebut. Sehingga momen yang terjadi adalah momen lentur akibat berat dari pile cap, mesin dan beban hidup yang ada.

2. Momen Akibat Tegangan Tanah

Kondisi ini terjadi karena tanah memberikan reaksi akibat beban statis yang diterimanya. Tegangan tanah diasumsikan sebagai beban terpusat yang terletak pada tiang pancang. Sedangkan posisi mesin diasumsikan sebagai perletakan.

5.1 Penulangan *Pile Cap*

5.1.1 Data Perencanaan

Mutu beton	= 30 Mpa
Mutu baja tulangan	= 400 MPa
Tebal pile cap	= 800 mm
Tebal decking	= 200 mm
Diameter tulangan	= 16 mm

5.1.2 Pembebaan

Beban pada pelat lantai terdiri dari beban mati dan beban hidup, yang ditentukan berdasarkan PPIUG 1983 tabel 3.1.

Beban Mati (q_D) :

Tabel 5.1 Beban Mati Pelat

Jenis Beban	Tebal	Berat	Berat
	(m)	(kg/m ³)	(kg/m ²)
Berat sendiri	0,8	2400	1920
Berat mesin 1			944,27
Berat mesin 2			944,27
Berat mesin 3			944,27
Total			4752,812

Beban Mati (q_L) :

Beban hidup pada pelat digunakan beban hidup sebesar 500 kg/m² mengingat beban mesin yang tidak terlalu besar.

Kombinasi pembebaan yang digunakan :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_D + 1,6q_L \\
 &= 1,2 \times 4752,812 + 1,6 \times 500 \\
 &= 6503,375 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

5.1.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Kebutuhan tulangan pelat ditentukan oleh besar momen yang terjadi pada pelat, yaitu pada daerah lapangan dan tumpuan. Nilai momen dihitung berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.2 dimana nilai

momen yang terjadi bergantung dari mutu bahan dan panjang L_x serta L_y pelat yang direncanakan.

$$L_x = 600 \text{ cm}$$

$$L_y = 880 \text{ cm}$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{8,8}{6} = 1,467 \text{ (pelat dua arah } 1 \leq \frac{l_y}{l_x} \leq 2)$$

$$\rho_{min} = 0,0018$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{400} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$

Namun dalam Tugas Akhir ini Momen didapatkan dengan menggunakan program SAP2000 yang dapat dilihat pada lampiran 5, 6 dan 7. Didapatkan hasil sebagai berikut :

$$M_{11} = -7082,52 \text{ Nm dan } 2619,66 \text{ Nm}$$

$$M_{22} = -8536,72 \text{ Nm dan } 2524,88 \text{ Nm}$$

Dimana :

$$M_{11} = \text{Momen yang berputar terhadap sumbu x}$$

$$M_{22} = \text{Momen yang berputar terhadap sumbu y}$$

Maka, didapatkan

$$M_{lx} = 2619,66 \text{ Nm}$$

$$M_{ly} = 2524,88 \text{ Nm}$$

$$M_{tx} = -7082,52 \text{ Nm}$$

$$M_{ty} = -8536,72 \text{ Nm}$$

Dimana :

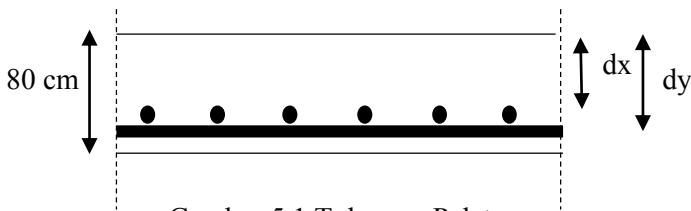
M_{lx} = momen lapangan arah x

M_{ly} = momen lapangan arah y

M_{tx} = momen tumpuan arah x

M_{ty} = momen tumpuan arah y

1) Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat



Gambar 5.1 Tulangan Pelat

$$dy = hf - d' - (0,5 \cdot \varnothing) = 800 - 200 - (0,5 \times 16) = 592 \text{ mm}$$

$$dx = hf - d' - \varnothing - (0,5 \cdot \varnothing) = 800 - 200 - 16 - (0,5 \times 16) = 576 \text{ mm}$$

2) Perhitungan Tulangan Pelat Tumpuan dan Lapangan Arah X, $M_u = 7082,52 \text{ Nm}$

$$X, M_u = 7082,52 \text{ Nm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$b = 1 \text{ m}$$

Faktor reduksi lentur $\phi = 0,8$ (SNI 03-2847 11.3.2.1)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times dx^2} \\ &= \frac{7082,52 \times 10^3}{0,8 \times 1000 \times 576^2} \\ &= 0,0267 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 0,0267}{400}} \right) \\ &= 6,678 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &< \rho_{min} < \rho_{max} \\ 6,678 \times 10^{-5} &< 0,0018 < 0,0243\end{aligned}$$

Jadi, dipakai $\rho_{min} = 0,0018$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 576$$

$$= 1036,8 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan tiap meter} &= \frac{As_{perlu}}{As_{(8mm)}} \\ &= \frac{1036,8}{201,062} \\ &= 5,156 \approx 6 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm} \text{ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5)}$$

$$\text{Jarak tulangan} = b / (\text{jumlah tulangan}-1) = 1000/(6-1) = 200 \text{ mm}$$

A_s pasang = jumlah tulangan tiap meter x luas penampang tulangan

$$= 6 \times 201,062 = 1206,372 \text{ mm}^2$$

A_s pasang > A_s perlu

Maka, digunakan tulangan lentur **D16-200 (As = 1206,372 mm²)**

**3) Perhitungan Tulangan Pelat Tumpuan dan Lapangan Arah
 $Y, M_u = 8536,72 \text{ Nm}$**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$b = 1\text{m}$$

Faktor reduksi lentur $\phi = 0.8$ (SNI 03-2847 11.3.2.1)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times dx^2} \\ &= \frac{8536,72 \times 10^3}{0,8 \times 1000 \times 592^2} \\ &= 0,0304 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 0,0304}{400}} \right) \\ &= 7,616 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} < \rho_{max}$$

$$7,616 \times 10^{-5} < 0,0018 < 0,0243$$

Jadi, dipakai $\rho_{min} = 0,0035$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 592$$

$$= 1065,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan tiap meter} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s(8mm)}} \\
 &= \frac{1065,6}{201,062} \\
 &= 5,3 \approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$S_{max} = 450 \text{ mm}$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5)

Jarak tulangan = b / (jumlah tulangan-1) = 1000/(6-1) = 200 mm

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times \text{luas penampang tulangan} \\
 &= 6 \times 201,062 = 1206,371 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

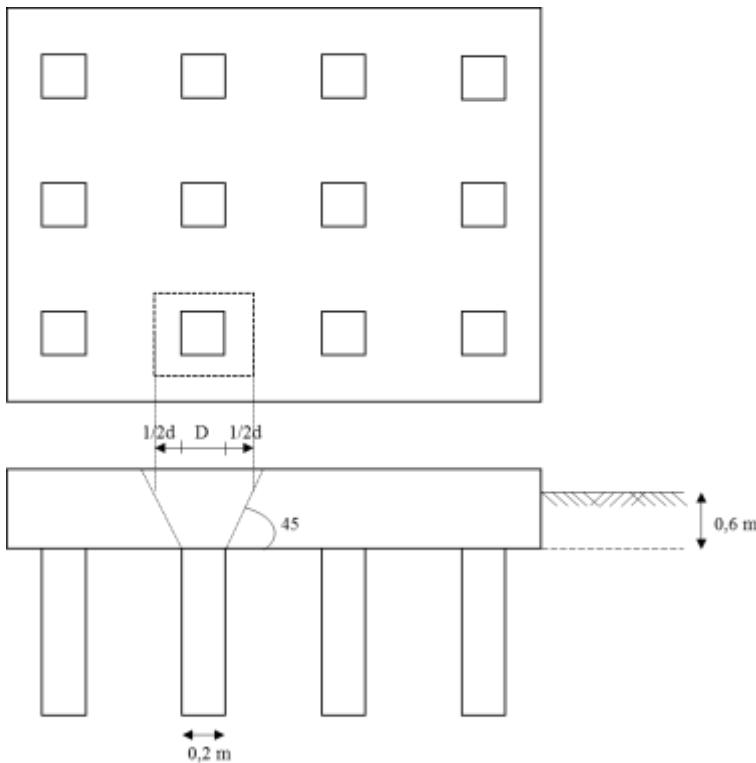
$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

Maka, digunakan tulangan lentur **D16 - 200 (As = 1206,371 mm²)**

5.1.4 Penulangan Akibat Tegangan Tanah

Perletakan ada di tiap ujung tiang dan gaya tegangan tanah berada di tiap tiang pancang. Apabila gaya tegangan tanah berada tepat di atas perletakan, maka rasanya tidak perlu diperhitungkan. Sedangkan ujung pile cap dihitung dengan menggunakan kantilever.

5.1.5 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap



Gambar 5.2 Geser Pons

Dalam merencanakan tebal pile cap harus dipenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini ditegaskan pada SNI 2847:2013 Pasal 11-31. Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi

$$= \frac{8800}{6000} = 1,467$$

b_o = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 4 \times (D + d)$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

d = tebal efektif

$$= h - d - \frac{1}{2}\phi = 800 - 200 - (0,5 \times 16) = 592 \text{ mm}$$

$$b_o = 4 \times (200 + 592) = 3168 \text{ mm}$$

Batas geser pons

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1,467}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 3168 \times 592 \\ &= 4127054,046 \text{ N} = 4127,054 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ (1 tiang)} = 20,923 \text{ ton} \times 1,5 = 31,385 \text{ ton}$$

$$P_u \text{ (1 tiang)} = 31,385 \text{ ton} < V_c = 4127,054 \text{ ton}$$

Jadi, ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser pons.

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$\alpha_s = 40$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 800}{3168} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 3168 \times 592 \\ &= 10317327,65 N \\ &= 10317,327 ton \end{aligned}$$

$$P_u \text{ (1 tiang)} = 31,385 \text{ ton} < V_c = 10317,327 \text{ ton}$$

Jadi, ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser pelat dua arah.

SNI 2847:2013 Pasal 11-33

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 3168 \times 592 \\ &= 3389857,537 N \\ &= 3389,857 ton \end{aligned}$$

$$P_u \text{ (1 tiang)} = 31,385 \text{ ton} < V_c = 3389,857 \text{ ton}$$

Jadi, ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser pelat 2 arah.

Bila ketiga kontrol geser pelat dibandingkan, maka kontrol geser pelat yang paling menentukan adalah kontrol geser pelat yang menghasilkan $V_c = 3389,857$ ton.

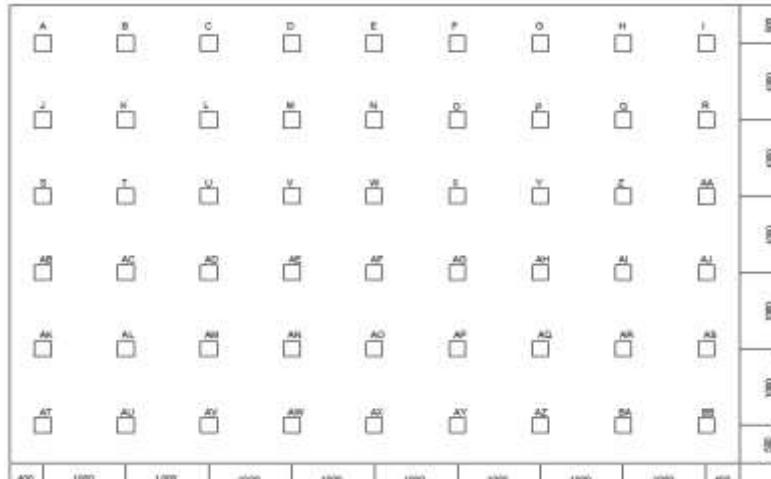
5.2 Penulangan Tiang Pancang

Tiang pancang direncanakan menerima beban pile cap dan tiga buah mesin kemudian meneruskannya ke tanah. Data umum perencanaan tiang pancang adalah sebagai berikut :

Dimensi tiang	= 20 x 20 cm
Tinggi tiang	= 500 cm
Tinggi bersih	= 400 cm
Mutu tulangan	= 400 MPa
Mutu beton	= 30 MPa
Total beban mati (D)	= 128571 kg
Beban hidup (L)	= 26400 kg

Karena tidak memperhitungkan besarnya gaya gempa, maka diasumsikan gaya gempa sebesar 10% dari total beban mati yang ada. Maka, gaya gempa (E) = 12857,1 kg. Tiang dianggap sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial.

5.2.1 Efisiensi Tiang Pancang Akibat Gaya Lateral



Gambar 5.3 Denah Tiang Pancang

Kemampuan tiang untuk menerima beban lateral adalah sebesar 77,5% pada bagian terluar dan untuk bagian dalam adalah sebesar 55%. Maka untuk tiang terluar = $0,775 \times 12 = 9,3$ dan untuk tiang-tiang yang terletak di bagian dalam = $0,55 \times 42 = 23,1$. Sementara jumlah tiang yang ada adalah sebanyak 54 buah tiang dan SF=3 maka efisiensi tiang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{(9,3+23,1)}{54} = 0,6$$

5.2.2 Momen Akibat Gaya Lateral

Nilai *conus* (q_c) pada kedalaman 4 m adalah sebesar 14 kg/cm^2 . Nilai modulus elastisitas tanah (E_s) = $8q_c = 8 \times 14 = 112 \text{ kg/cm}^2$. Nilai E tiang = 200000 MPa dan I tiang = 13333,333 cm^4 . *Poisisson ratio* (v) = 0,4 dan diameter tiang = 20 cm. Maka :

$$\begin{aligned} n_h &= 2 \times \frac{0,65}{d} \times \sqrt[12]{\frac{E_s d^4}{E_p I_p}} \times \frac{E_s}{1-v} \\ &= 2 \times \frac{0,65}{20} \times \sqrt[12]{\frac{112 \times 20^4}{2 \times 10^6 \times 13333,333}} \times \frac{112}{1-0,4} \\ &= 6,6 \end{aligned}$$

Nilai n_h untuk beban dinamis

$$n_h = \frac{n_h \times \eta}{SF} = \frac{6,6 \times 0,6}{3} = 1,32$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_s \times I_p}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{112 \times 13333,333}{1,32}} = 16,244 \text{ cm}$$

Syarat untuk tiang kaku adalah $L > 5T$, akan tetapi nilai T yang didapatkan jauh lebih besar. Maka, tiang tergolong kategori tiang panjang atau tiang *flexible*.

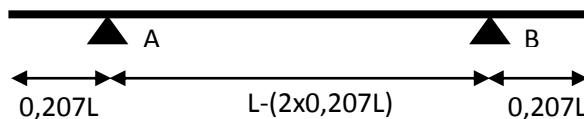
Nilai A_m dan B_m didapatkan pada tabel 3.12 dan 3.13, dimana nilai $z = \frac{x}{T} = \frac{400}{16,244} = 24,624$ sehingga didapatkan nilai pada $A_m = -0,033$ dan $B_m = -0,042$. Ujung atas jepit 50% maka $\lambda = 0,465$, selanjutnya momen yang terjadi akibat beban lateral dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M &= (A_m - 0,93B_m) \times Q_g \times T \\ &= (-0,033 - 0,465 \times (-0,026)) \times 12857,1 \times 16,244 \\ &= -4367,068 \text{ kg cm} = -43,67068 \text{ kg m} = -436,7068 \text{ Nm} \end{aligned}$$

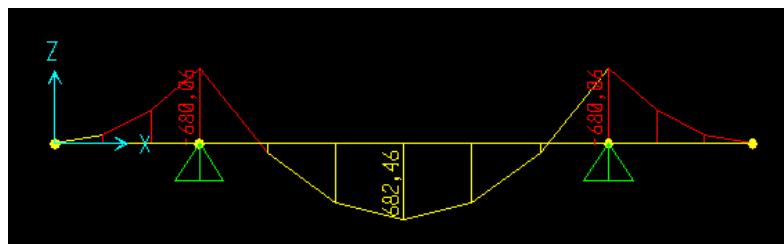
5.2.3 Momen Akibat Pengangkutan Tiang Pancang

Berat sendiri tiang = $2400 \times 0,2 \times 0,2 = 96 \text{ kg/m}$

Panjang tiang = 5 m



Gambar 5.4 Letak Perletakan Pada Saat Pengangkutan

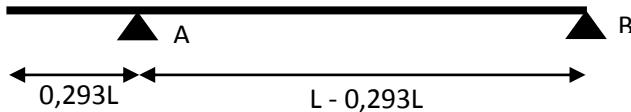


Gambar 5.5 Momen Akibat Pengangkutan

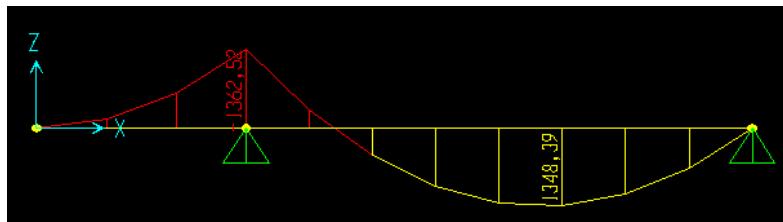
Dengan menggunakan SAP2000 didapatkan :

Momen Tumpuan = -680,86 Nm = -68,086 kgm, dan
 Momen Lapangan = 682,46 Nm = 68,246 kgm

5.2.4 Momen Akibat Pengangkatan Tiang Pancang



Gambar 5.6 Letak Perletakan Pada Saat Pengangkatan



Gambar 5.7 Momen Akibat Pengangkatan

Dengan menggunakan SAP200 didapatkan besarnya :
 Momen Tumpuan = -1362,52 Nm
 Momen Lapangan = 1348,39 Nm

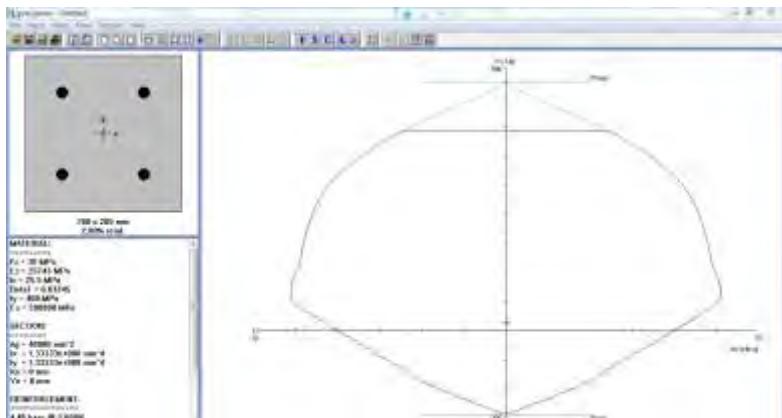
5.2.5 Perhitungan Penulangan Tiang

Beban aksial dan momen yang terjadi tiap pile :

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Beban Aksial dan Momen

Ukuran	Aksial (-)	Momen (+)	Momen (-)	M pakai
20/20	30273,128		436,706	436,706
		682,46	680,86	
		1348,39	1362,52	

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang tiang menggunakan program bantu PCA COL, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom dimana dipakai tebal selimut beton 40cm, yaitu sebagai berikut :



Gambar 5.8 Interaksi Beban Aksial dan Momen Pada Tiang

5.2.6 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, Ast, tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCACOL diperoleh Tulangan longitudinal : 4D16, dengan rasio tulungan = 2,00 % (**OK!**)

BAB VI

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perencanaan pondasi yang telah dilakukan pada BAB IV dan BAB V maka diketahui beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa dinamis tanpa tiang (pondasi dangkal) yang dilakukan, diketahui bahwa amplitudo yang terjadi adalah sebesar 0,00118 inchi untuk arah vertikal dan sebesar 0,00157 inchi untuk arah horizontal. Berdasarkan grafik 2.2 amplitudo yang terjadi tergolong dalam kategori "***troublesome to person***" dimana tidak memenuhi kriteria perencanaan pondasi, maka perencanaan disarankan menggunakan tiang pancang.
2. Dikarenakan menggunakan tiang pancang maka nilai amplitudo yang terjadi menjadi berbeda, kemudian setelah melakukan 10 kemungkinan pembebanan yang terjadi akibat beban statis dan dinamis yang ada di atasnya, diketahui bahwa beban yang dipikul oleh 1 tiang yang paling besar terjadi pada asumsi kedelapan dimana 2 buah mesin bekerja pada arah vertikal yang sama dan pada arah horizontal saling berlawanan, akan tetapi hal tersebut tidak terlalu mempengaruhi besarnya amplitudo yang terjadi apabila dibandingkan dengan asumsi pertama dimana semua mesin bekerja pada arah vertikal dan horizontal yang sama. Besarnya amplitudo yang terjadi pada asumsi pertama yaitu sebesar 0,000476 inchi ($< 30\mu\text{m}$) untuk arah vertikal, maka amplitudo yang didapatkan tergolong dalam kategori "***easily noticeable to person***" berdasarkan grafik 2.2.
3. Sesuai batasan-batasan perencanaan pondasi yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7, maka dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa :

- Amplitudo terbesar yang terjadi tergolong dalam kategori “*easily noticeable to person*”,
 - Dalam perencanaan pondasi ini dapat dipastikan bahwa seluruh amplitudo vertikal $< 30\mu\text{m}$ dan amplitudo horizontal $< 50\mu\text{m}$,
 - Dari hasil analisa, amplitudo horizontal yang terjadi berdasarkan grafik 2.3 tergolong dalam *kategori A “no faults, typical new equipment”*,
 - Besarnya kecepatan (*velocity*) horizontal $= 2\pi \times 25 \times 0,000476 = 0,0747$ dan tergolong dalam kategori “*good machinery operation*” berdasarkan tabel 2.2,
 - Untuk besarnya *Magnification Factor* (M) dalam perencanaan pondasi ini $< 1,5$,
4. Ukuran pile cap yang digunakan yaitu 8800 x 6000 x 800 mm dan dipakai tulangan D16-200 untuk arah X dan arah Y untuk penulangan *pile cap*, dan
5. Ukuran tiang pancang (*pile*) adalah 20x20 cm dan dipakai tulangan 4D16.

Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa pondasi yang direncanakan ini mampu menerima beban statis dan dinamis yang ada serta tidak mengganggu mesin dan manusia yang berada di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

Arya, S, O'Neill, M, dan Pincus, G. 1979. **Design of Structure Analysis Foundation for Vibrating Machines**, Texas, Gulf Publishing Company.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 03-2847-2013 **Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.

ACI Committee 351. 2011. **ACI 351.3R-04 Foundations for Dynamic Equipment**. Amerika : American Concrete Institute.

Prakash, Shamser dan Puri, Vijay K. 1987. **Foundation for Machines : Analysis and Design**, John Wiley and Sons, New York, 1988.

Sigit Sidharta, Ananta. 2013. **Buku Ajar Pondasi Dinamis Edisi VII**, Surabaya, ITS.

Prakash, Shamser. 1981. **Soil Dynamics**, Mc Graw-Hill.

Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Nawy, Erdward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** Diterjemahkan : Bambang Suryoatmono. Bandung : PT Rafika Aditama.

Lampiran 1 Data Tanah



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH DAN BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP-ITS
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.: 031-5928601, 5994251 Pes. 1140, Fax. 031-5928601
e-mail: itslabsoil@telkom.net

GRAFIK SONDIR

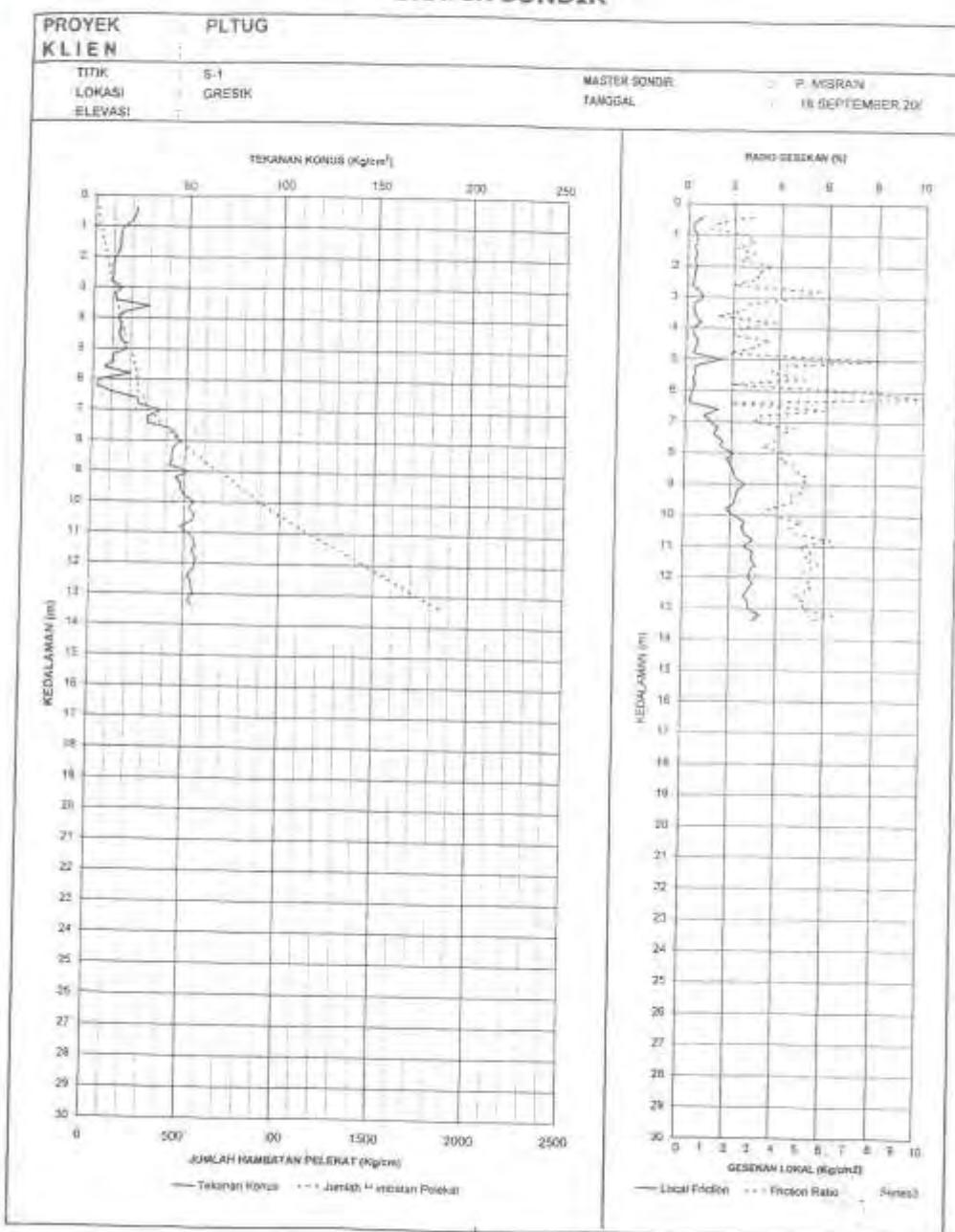


Table I. SUMMARY OF LABORATORY SOIL TEST

Project Pembangunan PLTGU Gresik

Project Standard ASTM

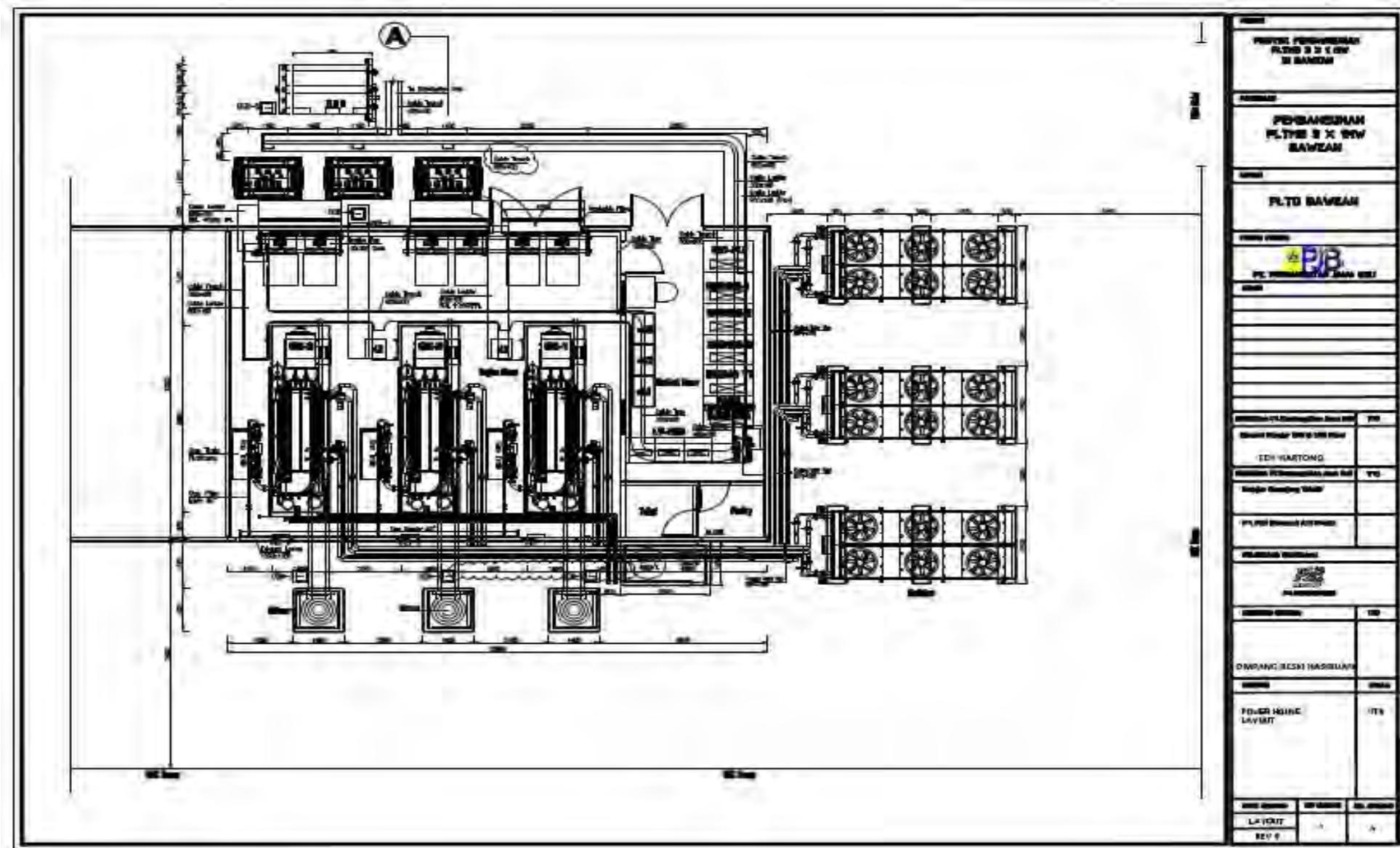
Lampiran 2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Akibat Beban Statis

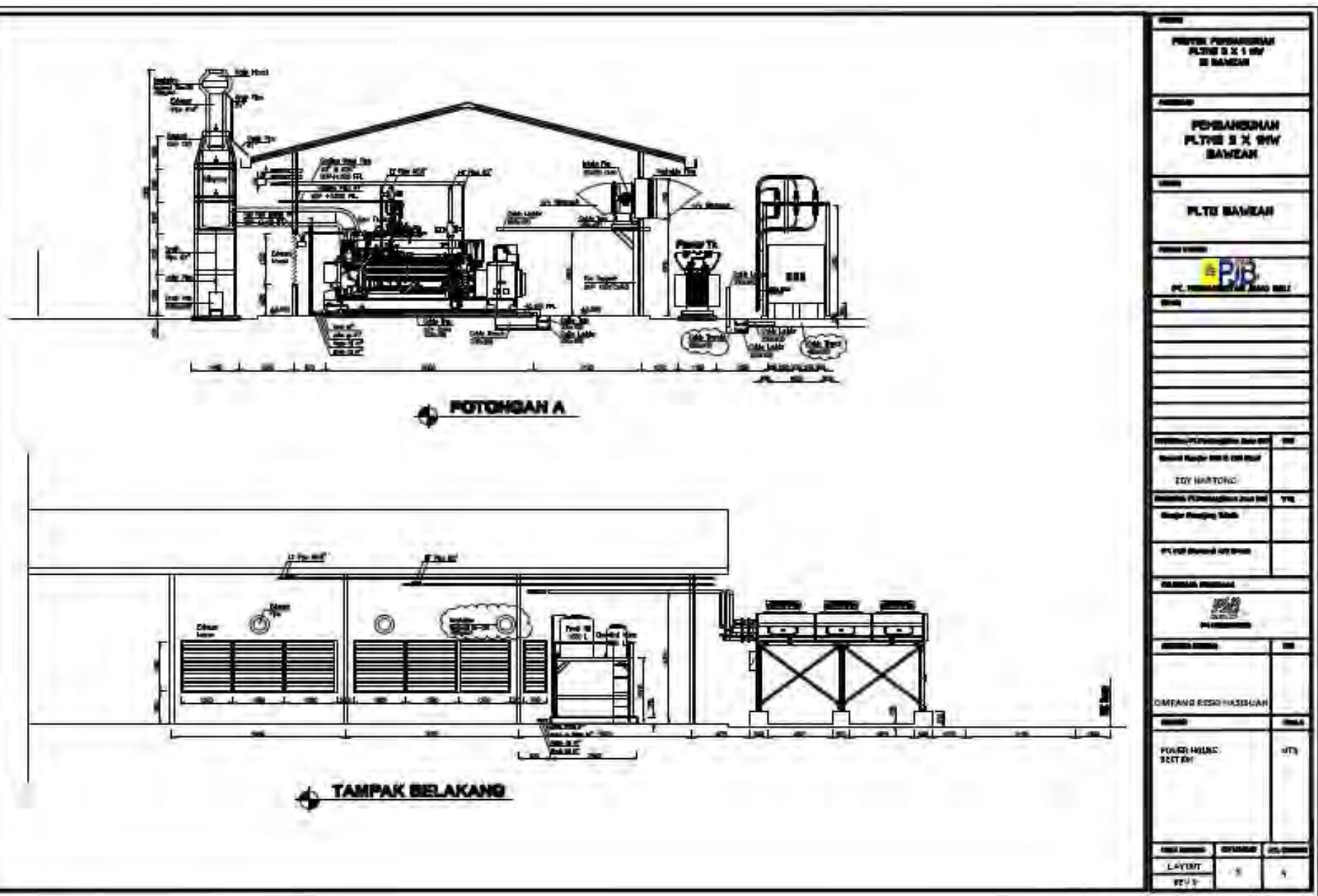
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
h (cm)	CONUS (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	LOCAL FRICTION (kg/cm ²)	qc (Mpa)	R _p	A _p (cm ²)	F _R	Jenis Tanah	a _p	Q _p	P (cm)	a _f	a _s	f _{u_i}	f _{u_i} x h _i	$\Sigma f_{u_i} x h_i$	Q _s	Q _u	Q _{jin} (kg)
0	0	0	0	0	1,45	400	0	-		0	80	1,25		#DIV/0!		0	0	0	0
20	22	1	0,5	2,2	1,44	400	2,7	clay	0,5	144	80	1,25	50	0,036	0,72	0,72	28,8	172,8	19216
40	18	1	0,5	1,8	1,5	400	4,6	clay	0,5	150	80	1,25	50	0,0375	0,75	1,47	58,8	208,8	20016
60	18	4	0,5	1,8	1,571428571	400	3,2	clay	0,5	157,1428571	80	1,25	50	0,039285714	0,785714286	2,255714286	90,22857143	247,3714286	21016,38095
80	14	6	0,7	1,4	1,771428571	400	5,2	clay	0,5	177,1428571	80	1,25	50	0,044285714	0,885714286	3,141428571	125,6571429	302,8	23715,04762
100	18	8	0,8	1,8	1,657142857	400	4,5	clay	0,5	165,7142857	80	1,25	50	0,041428571	0,828571429	3,97	158,8	324,5142857	22223,2381
120	20	10	1	2	1,571428571	400	5,8	clay	0,5	157,1428571	80	1,25	50	0,039285714	0,785714286	4,755714286	190,2285714	347,3714286	21112,38095
140	14	10	0,6	1,4	1,485714286	400	4,6	clay	0,5	148,5714286	80	1,25	50	0,037142857	0,742857143	5,498571429	219,9428571	368,5142857	19969,52381
160	14	12	0,5	1,4	1,457142857	400	6	clay	0,5	145,7142857	80	1,25	50	0,036428571	0,728571429	6,227142857	249,0857143	394,8	19620,57143
180	12	12	0,5	1,2	1,371428571	400	4	clay	0,5	137,1428571	80	1,25	50	0,034285714	0,685714286	6,912857143	276,5142857	413,6571429	18477,71429
200	12	14	0,5	1,2	1,285714286	400	5	clay	0,5	128,5714286	80	1,25	50	0,032142857	0,642857143	7,555714286	302,2285714	430,8	17366,85714
220	12	16	0,3	1,2	1,342857143	400	3	clay	0,5	134,2857143	80	1,25	50	0,033571429	0,671428571	8,227142857	329,0857143	463,3714286	18160,7619
240	12	16	0,3	1,2	1,314285714	400	2,2	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	8,884285714	355,3714286	486,8	17779,80952
260	14	18	0,6	1,4	1,314285714	400	4,5	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	9,541428571	381,6571429	513,0857143	17811,80952
280	18	18	0,2	1,8	1,314285714	400	1,2	silty clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,19857143	407,9428571	539,3714286	17811,80952
300	12	20	0,4	1,2	1,314285714	400	3	clay	0,5	131,4285714	80	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,85571429	434,2285714	565,6571429	17843,80952
320	12	20	0,2	1,2	1,4	400	3,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	11,55571429	462,2285714	602,2285714	18986,66667
340	12	20	0,2	1,2	1,4	400	2,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	12,25571429	490,2285714	630,2285714	18986,66667
360	12	20	0,2	1,2	1,4	400	2,2	clay	0,5	140	80	1,25	50	0,035	0,7	12,95571429	518,2285714	658,2285714	18986,66667
380	18	22	0,8	1,8	1,457142857	400	4,6	clay	0,5	145,7142857	80	1,25	50	0,036428571	0,728571429	13,68428571	547,3714286	693,0857143	19780,57143
400	14	22	0,4	1,4	1,542857143	400	2,8	clay	0,5	154,2857143	80	1,25	50	0,038571429	0,771428571	14,45571429	578,2285714	732,5142857	20923,42857
420	18	22	0,4	1,8	1,685714286	400	2,2	clay	0,5	168,5714286	80	1,25	50	0,042142857	0,842857143	15,29857143	611,9428571	780,5142857	22828,19048
440	16	24	0,4	1,6	1,8	400	3,2	clay	0,5	180	80	1,25	50	0,045	0,9	16,19857143	647,9428571	827,9428571	24384
460	18	24	0,4	1,8	1,8	400	2	clay	0,5	180	80	1,25	50	0,045	0,9	17,09857143	683,9428571	863,9428571	24384
480	22	26	0,3	2,2	1,914285714	400	1,2	silty clay	0,5	191,4285714	80	1,25	50	0,047857143	0,957142857	18,05571429	722,2285714	913,6571429	25939,80952
500	20	28	0,8	2	1,914285714	400	5	clay	0,5	191,4285714	80	1,25	50	0,047857143	0,957142857	19,01285714	760,5142857	951,9428571	25971,80952

Lampiran 3 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok Akibat Beban Statis

h (cm)	CONUS (kg/cm²)	JHP (kg/cm)	LOCAL FRICTION	qc (Mpa)	R_p	A_p (cm²)	FR	Jenis Tanah	α_p	Q_p	P (cm)	α_f	α_s	f_{ui}	f_{ui} x h_i	Σf_{ui} x h_i	Q_s	Q_u	Q_{jin} (kg)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	1,45	426400	0-		0	0	2680	1,25	0	#DIV/0!		0	0	0	0
20	22	1	0,5	2,2	1,44	426400	2,7	clay	0,5	153504	2680	1,25	50	0,036	0,72	0,72	748,8	154252,8	21818035616
40	18	1	0,5	1,8	1,5	426400	4,6	clay	0,5	159900	2680	1,25	50	0,0375	0,75	1,47	1528,8	161428,8	22727120416
60	18	4	0,5	1,8	1,571428571	426400	3,2	clay	0,5	167514,2857	2680	1,25	50	0,039285714	0,785714286	2,255714286	2345,943	169860,2	23809365474
80	14	6	0,7	1,4	1,771428571	426400	5,2	clay	0,5	188834,2857	2680	1,25	50	0,044285714	0,885714286	3,141428571	3267,086	192101,4	26839648972
100	18	8	0,8	1,8	1,657142857	426400	4,5	clay	0,5	176651,4286	2680	1,25	50	0,041428571	0,828571429	3,97	4128,8	180780,2	25108059709
120	20	10	1	2	1,571428571	426400	5,8	clay	0,5	167514,2857	2680	1,25	50	0,039285714	0,785714286	4,755714286	4945,943	172460,2	23809367970
140	14	10	0,6	1,4	1,485714286	426400	4,6	clay	0,5	158377,1429	2680	1,25	50	0,037142857	0,742857143	5,498571429	5718,514	164095,7	22510675398
160	14	12	0,5	1,4	1,457142857	426400	6	clay	0,5	155331,4286	2680	1,25	50	0,036428571	0,728571429	6,227142857	6476,229	161807,7	22077778706
180	12	12	0,5	1,2	1,371428571	426400	4	clay	0,5	146194,2857	2680	1,25	50	0,034285714	0,685714286	6,912857143	7189,371	153383,7	20779086135
200	12	14	0,5	1,2	1,285714286	426400	5	clay	0,5	137057,1429	2680	1,25	50	0,032142857	0,642857143	7,555714286	7857,943	144915,1	19480394395
220	12	16	0,3	1,2	1,342857143	426400	3	clay	0,5	143148,5714	2680	1,25	50	0,033571429	0,671428571	8,227142857	8556,229	151704,8	20346190275
240	12	16	0,3	1,2	1,314285714	426400	2,2	clay	0,5	140102,8571	2680	1,25	50	0,032857143	0,657142857	8,884285714	9239,657	149342,5	19913292751
260	14	18	0,6	1,4	1,314285714	426400	4,5	clay	0,5	140102,8571	2680	1,25	50	0,032857143	0,657142857	9,541428571	9923,086	150025,9	19913293583
280	18	18	0,2	1,8	1,314285714	426400	1,2	silty clay	0,5	140102,8571	2680	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,19857143	10606,51	150709,4	19913293583
300	12	20	0,4	1,2	1,314285714	426400	3	clay	0,5	140102,8571	2680	1,25	50	0,032857143	0,657142857	10,85571429	11289,94	151392,8	19913294415
320	12	20	0,2	1,2	1,4	426400	3,2	clay	0,5	149240	2680	1,25	50	0,035	0,7	11,55571429	12017,94	161257,9	21211986987
340	12	20	0,2	1,2	1,4	426400	2,2	clay	0,5	149240	2680	1,25	50	0,035	0,7	12,25571429	12745,94	161985,9	21211986987
360	12	20	0,2	1,2	1,4	426400	2,2	clay	0,5	149240	2680	1,25	50	0,035	0,7	12,95571429	13473,94	162713,9	21211986987
380	18	22	0,8	1,8	1,457142857	426400	4,6	clay	0,5	155331,4286	2680	1,25	50	0,036428571	0,728571429	13,68428571	14231,66	169563,1	22077782866
400	14	22	0,4	1,4	1,542857143	426400	2,8	clay	0,5	164468,5714	2680	1,25	50	0,038571429	0,771428571	14,45571429	15033,94	179502,5	23376475438
420	18	22	0,4	1,8	1,685714286	426400	2,2	clay	0,5	179697,1429	2680	1,25	50	0,042142857	0,842857143	15,29857143	15910,51	195607,7	25540963057
440	16	24	0,4	1,6	1,8	426400	3,2	clay	0,5	191880	2680	1,25	50	0,045	0,9	16,19857143	16846,51	208726,5	27272553984
460	18	24	0,4	1,8	1,8	426400	2	clay	0,5	191880	2680	1,25	50	0,045	0,9	17,09857143	17782,51	209662,5	27272553984
480	22	26	0,3	2,2	1,914285714	426400	1,2	silty clay	0,5	204062,8571	2680	1,25	50	0,047857143	0,957142857	18,05571429	18777,94	222840,8	29004144911
500	20	28	0,8	2	1,914285714	426400	5	clay	0,5	204062,8571	2680	1,25	50	0,047857143	0,957142857	19,01285714	19773,37	223836,2	29004145743

Lampiran 4 Denah, Potongan dan Spesifikasi Mesin







NAVIGAT Energy
Jakarta - Indonesia

DATASHEET
STEP UP TRANSFORMER

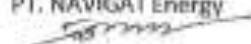
Project	Bawean 3 x JGS 320 GS.NL
Customer	PJB Service
Site	Bawean Island - Indonesia

1. TRANSFORMER UNIT #1

- Manufacturer/Brand	: TRAFINDO	- Standard	: IEC 60076
- Phase	: 3	- Cooling	: ONAN
- Frequency	: 50 Hz	- Vector Group	: Ynyn-0
- kVA	: 1600 kVA	- Temp. Rise Oil/Winding	: 60/65 °C
- Volt. HV	: 20.000 Volt	- Transformer Oil	: 1030 liter
- LV	: 400 Volt	- Transformer Weight	: 3865 kg
- Amp. HV	: 46.9 A	HV Tap Volt	: Switch Position
- LV	: 2309.40 A	21000	: 1
- Impedance	: 6 %	20500	: 2
- Insulation Class	: A	20000	: 3
- BIL (kV) HV	: L1 125 AC 50/L1-AC3	19500	: 4
- Serial	: 133 305 498	19000	: 5
- Year	: 2013		

Prepared by:

PT. NAVIGAT Energy


TEGUH HERNOWO

Project Engineer

Notes:



NAVIGAT Energy
Jakarta - Indonesia

DATASHEET
STEP UP TRANSFORMER

Project	Bawean 3 x JES 320 GS.NI
Customer	PIB Service
Site	Bawean Island - Indonesia

2. TRANSFORMER UNIT #2

- Manufacturer/Brand	: TRAFINDO	- Standard	: IEC 60076
- Phase	: 3	- Cooling	: ONAN
- Frequency	: 50 Hz	- Vector Group	: Ynyn-0
- kVA	: 1600 kVA	- Temp. Rise Oil/Winding	: 60/65 °C
- Volt HV	: 20.000 Volt	- Transformer Oil	: 1030 liter
- LV	: 400 Volt	- Transformer Weight	: 3865 kg
- Amp. HV	: 46.19 A	HV Tap Volt	: Switch Position
- LV	: 2309.40 A	21000	: 1
- Impedance	: 6 %	20500	: 2
- Insulation Class	: A	20000	: 3
- BIL (kV) HV	: L1 125 AC 50/L1-AC3	19500	: 4
- Serial	: 133 305 500	19000	: 5
- Year	: 2013		

Prepared by:
PT. NAVIGAT Energy

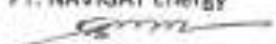
TEGUH HERNOWO
Project Engineer

Notes:

 NAVIGAT Energy Jakarta - Indonesia	DATASHEET STEP UP TRANSFORMER	Project	Bawean 3 x JGS 320 GS.NL
		Customer	PJB Service
		Site	Bawean Island - Indonesia

3. TRANSFORMER UNIT #3

- Manufacturer/Brand	: TRAFINDO	- Standard	: IEC 60076
- Phase	: 3	- Cooling	: ONAN
- Frequency	: 50 Hz	- Vector Group	: Ynyn-D
- kVA	: 1600 kVA	- Temp. Rise Oil/Winding	: 60/65 °C
- Volt HV	: 20.000 Volt	- Transformer Oil	: 1030 liter
- LV	: 400 Volt	- Transformer Weight	: 3865 kg
- Amp. HV	: 46,19 A	HV Tap Volt	: Switch Position
- LV	: 2309,40 A	21000	: 1
- Impedance	: 6 %	20500	: 2
- Insulation Class	: A	20000	: 3
- BIL (kV) HV	: L1 125 AC 50/L1-AC3	19500	: 4
- Serial	: 133 305 497	19000	: 5
- Year	: 2013		

Prepared by:
PT. NAVIGAT Energy

TEGUH HERNOWO
 Project Engineer

Notes:



NAVIGAT Energy
Jakarta - Indonesia

**DATASHEET
MODULE GAS GENSET**

Project	Bawean 3 x JGS 320 GS.NL
Customer	PJS Service
Site	Bawean Island - Indonesia

III. MODULE # 03

3.1. Generating Set:

- Type	JGS 320 GS-N.L	- Rate Frequency	50 Hz
- Serial No.	107 6381	- Rate Voltage	400 Volt
- Year	2013	- Rate Current	1540 Ampere
- Rate Power (COP)	1067 kW	- Mass	11000 kg
- Power Factor	1	- Performance	G2
- Max. Altitude of Installation	500 meter	- SO Number	13180 J P659
- Max. Ambient Temp. (Intake Air)	40 °C		

3.2. Engine:

- Type	J 320 GB - C105	- Speed	1500 rpm
- Engine No.	107 6382	- Weight	5200 kg
- ISO Standard Power	1085 kW		

3.3. Generator:

- Manufacturing	STAMFORT	- Serial No.	A13A 022 700
- Order No.	330 7041	- Exct. Volt	63 Volt
- Frame/Core	PE734E2	- Exct. Ampere	3,30 Ampere
- Base Rate kVA	1710,0 kVA	- Ambient Temp.	40 °C
- Base Rate kW	1368 kW	- Temp. Raise	105 °C
- AMPS Base Rate (BR)	2468,2 A	- Thermal Class	180 °C
- Frequency	50 Hz	- Enclosure	IP 23
- Speed	1500 rpm	- Insulation Class	H
- Voltage	400 Volt	- Stator Winding	312
- Number of Phase	3 Phase	- Stator Connection	STAR
- Power Factor	0,8	- AVR	DM-110

3.4. Power Panel (+L):

- Project	J P659	- Year	2013
- Wiring	J P659 +L1	- Standard	IEC 60439-1
- Serial/Part No.	GE PC-125 8536 - 001 / 107 6381		

3.5. Module Control Panel (+A):

- Project	000-13180-15	- Project	000-131-80-15
- Job	587 082	- Job	599 184
- Wiring Diagram	J P871 +A1	- Wiring Diagram	J P871 +M1
- Serial No.	107 6401	- Serial No.	107 6389
- Year	2013	- Year	2013
- Standard	IEC 60439-1	- Standard	IEC 60439-1

Prepared by:

PT. NAVIGAT Energy

TEGUH HERNOWO

Project Engineer

Notes:

hardcopy & softcopy ready for certification

function of engine & generator (minim 60%)

 NAVIGAT Energy Jakarta - Indonesia	DATASHEET MODULE GAS GENSET	Project	Bawean 3 x JGS 320 GS.NI
		Customer	PJB Service
		Site	Bawean Island - Indonesia

II. MODULE # 02

2.1. Generating Set:

- Type	JGS 320 GS-N L	- Rate Frequency	50 Hz
- Serial No.	107 6463	- Rate Voltage	400 Volt
- Year	2013	- Rate Current	1540 Ampere
- Rate Power (COP)	1067 kW	- Mass	11040 kg
- Power Factor	1	- Performance	G2
- Max. Altitude of Installation	500 meter	- SO Number	13180 J P659
- Max. Ambient Temp. (Intake Air)	40 °C		

2.2. Engine:

- Type	J 320 GS - C105	- Speed	1500 rpm
- Engine No.	107 6464	- Weight	5200 kg
- ISO Standard Power	1095 kW		

2.3. Generator:

- Manufacturing	STAMFORT	- Serial No.	A12K 476 241
- Order No.	330 6276	- Exc. Volt	63 Volt
- Frame/Core	PE734E2	- Exc. Ampere	3,30 Ampere
- Base Rate kVA	1710,0 kVA	- Ambient Temp.	40 °C
- Base Rate kW	1366 kW	- Temp. Raise	105 °C
- AMPS Base Rate (BR)	2468,2 A	- Thermal Class	180 °C
- Frequency	50 Hz	- Enclosure	IP 23
- Speed	1500 rpm	- Insulation Class	H
- Voltage	400 Volt	- Stator Winding	312
- Number of Phase	3 Phase	- Stator Connection	STAR
- Power Factor	0,8	- AVR	DM-110

2.4. Power Panel (+L):

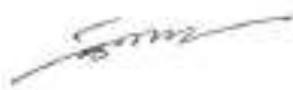
- Project	J P659	- Year	2013
- Wiring	J P659 +L1	- Standard	IEC 60439-1
- Serial/Part No.	GE PC 125 8521 - 001 / 107 6391		

2.5. Module Control Panel (+A):

- Project	000 13180 14	- Project	000 13180 14
- Job	587 081	- Job	599 185
- Wiring Diagram	J P659 +A1	- Wiring Diagram	J P659 +M1
- Serial No.	107 6443	- Serial No.	107 6441
- Year	2013	- Year	2013
- Standard	IEC 60439-1	- Standard	IEC 60439-1

Prepared by:

PT. NAVIGAT Energy



TEGUH HERNOWO

Project Engineer

Notes:

harang + sagap along insulation

teraturan order ayat + gerakan (manual book)

 NAVIGAT Energy Jakarta - Indonesia	DATASHEET MODULE GAS GENSET	Project Customer Site	Bawean 3 x JGS 320 ES.NL PJB Service Bawean Island - Indonesia
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------	----------------------------------------------------------------------

1. MODULE # 01

1.1. Generating Set:

- Type	: JGS 320 GS-N.L	- Rate Frequency	: 50 Hz
- Serial No.	: 107 6395	- Rate Voltage	: 400 Volt
- Year	: 2013	- Rate Current	: 1540 Amperé
- Rate Power (COP)	: 1067 kW	- Mass	: 11000 kg
- Power Factor	: 1	- Performance	: G2
- Max. Altitude of Installation	: 500 meter	- SO Number	: 13180 J P659
- Max. Ambient Temp. (Intake Air)	: 40 °C		

1.2. Engine:

- Type	J 320 GS - C105		
- Engine No.	107 6417	- Speed	1500 rpm
- ISO Standard Power	1095 kW	- Weight	5200 kg

1.3. Generator

- Manufacturing	STAMFORT	- Serial No	A13A 011 964
- Order No.	330 7020	- Exct. Volt	63 Volt
- Frame/Core	PE734E2	- Exct. Ampere	3.30 Ampere
- Base Rate kVA	1710.0 kVA	- Ambient Temp.	40 °C
- Base Rate kW	1388 kW	- Temp. Raise	105 °C
- AMPS Base Rate (BR)	2468.2 A	- Thermal Class	180 °C
- Frequency	50 Hz	- Enclosure	IP 23
- Speed	1500 rpm	- Insulation Class	H
- Voltage	400 Volt	- Stator Winding	312
- Number of Phase	3 Phasse	- Stator Connection	STAR
- Power Factor	0.8	- AVR	DM-110

1.4. Power Panel (4L)

- Project	: JP659	- Year	: 2013
- Wiring	: JP659 *L1	- Standard	: IEC 60439-1
- Serial/Pad No.	: GE PC 125 8531 - 001 / 107 6391		

1.5 Module Control Panel (MCP)

- Project	: 000 13180-11
- Job	: 587 064
- Wiring Diagram	: JP663+A1
- Serial No.	: 107 6430
- Year	: 2012
- Standard	: IEC 60439-1

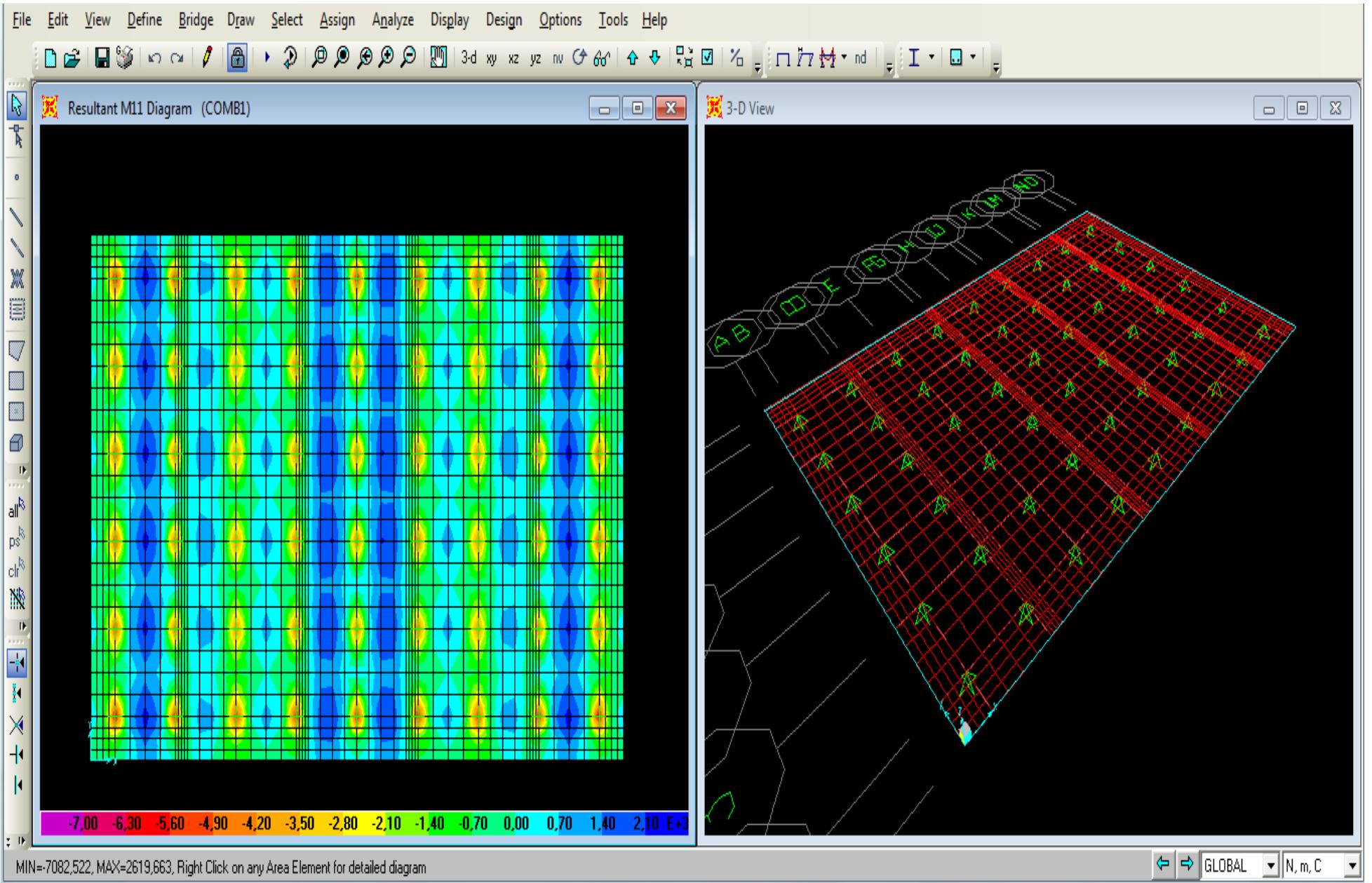
1.6. Interface Panel (+M):

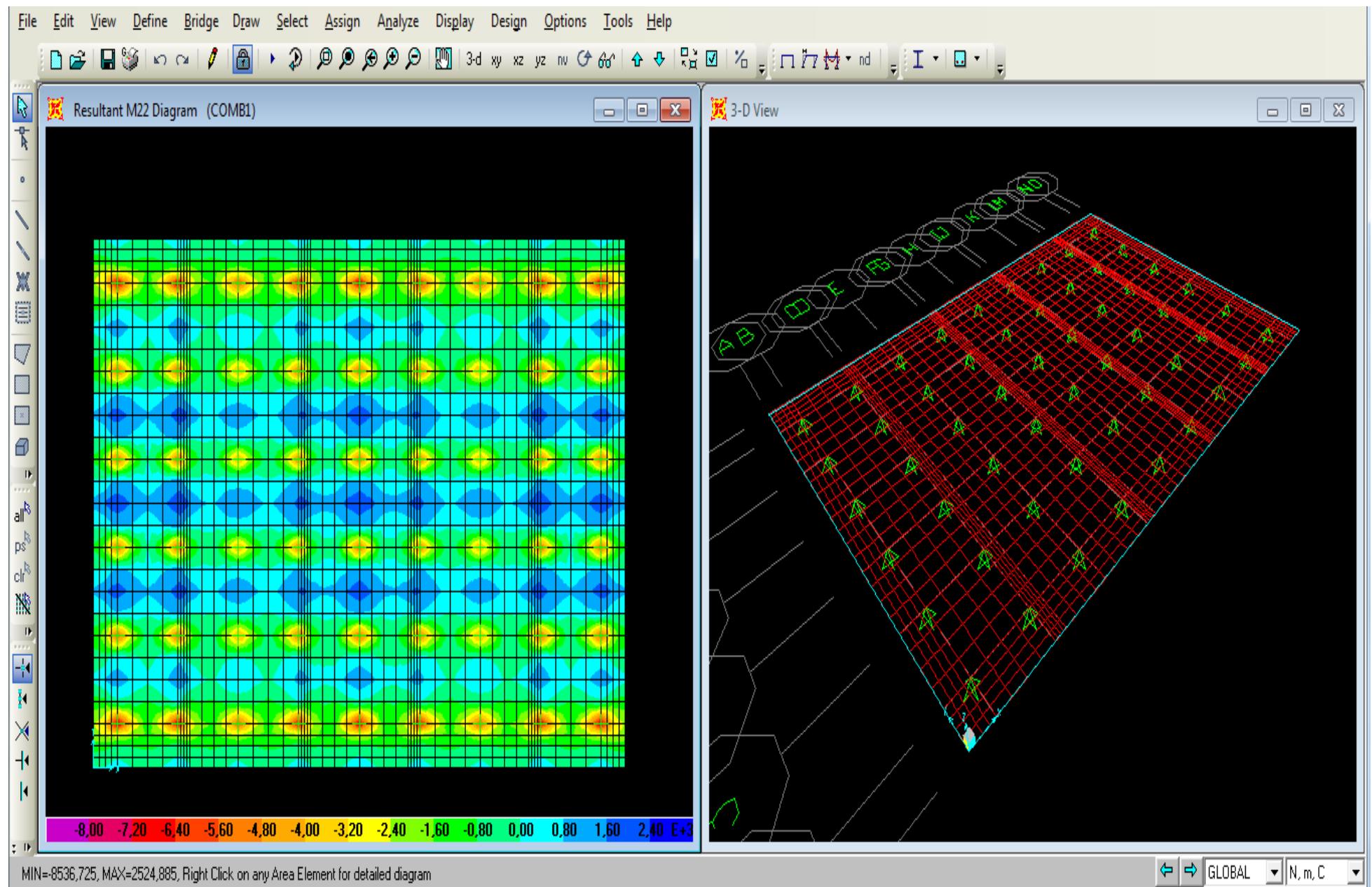
- Project	000 13180 11
- Job	587 034
- Wiring Diagram	J P663 +M1
- Serial No.	107 6424
- Year	2012
- Standard	IEC 60439-1

Prepared by:
PT. NAVIGAT Energy

Notes

TEGUH HERNANDO
Project Engineer





Lampiran 7

1. Momen Tumpuan M₁₁

TABLE: Element Forces - Area Shells																		
	Area	AreaEle	ShellTyp	Joint	OutputC	CaseType	StepTy	StepNu	M11	M22	M12	MMax	MMin	MAngl	V13	V23	VMax	VAngl
38027	6667	16	Plate-Thick	139	COMB1	Combination			-7082,52	-8348,04	-380,85	-6976,75	-8453,82	-15,522	74843,72	70890,32	103087,44	43,446
38028	6758	107	Plate-Thick	149	COMB1	Combination			-7082,52	-8348,04	380,85	-6976,75	-8453,82	15,522	74843,72	-70890,32	103087,44	-43,446
38029	8113	1462	Plate-Thick	242	COMB1	Combination			-7082,52	-8348,04	380,85	-6976,75	-8453,82	15,522	-74843,72	70890,32	103087,44	136,554
38030	8204	1553	Plate-Thick	247	COMB1	Combination			-7082,52	-8348,04	-380,85	-6976,75	-8453,82	-15,522	-74843,72	-70890,32	103087,44	-136,554

2. Momen Lapangan M₁₁

TABLE: Element Forces - Area Shells																		
	Area	AreaEle	ShellTyp	Joint	OutputC	CaseType	StepTy	StepNu	M11	M22	M12	MMax	MMin	MAngl	V13	V23	VMax	VAngl
38027	6790	139	Plate-Thick	6562	COMB1	Combination			2619,66	1361,64	-795,43	3004,74	976,57	-25,832	-464,47	292,09	548,68	147,835
38028	6859	208	Plate-Thick	6613	COMB1	Combination			2619,66	1361,64	795,43	3004,74	976,57	25,832	-464,47	-292,09	548,68	-147,835
38029	8012	1361	Plate-Thick	7502	COMB1	Combination			2619,66	1361,64	795,43	3004,74	976,57	25,832	464,47	292,09	548,68	32,165
38030	8081	1430	Plate-Thick	7553	COMB1	Combination			2619,66	1361,64	-795,43	3004,74	976,57	-25,832	464,47	-292,09	548,68	-32,165

3. Momen Lapangan M₁₁

TABLE: Element Forces - Area Shells																		
	Area	AreaEle	ShellTyp	Joint	OutputC	CaseType	StepTy	StepNu	M11	M22	M12	MMax	MMin	MAngl	V13	V23	VMax	VAngl
38027	6881	230	Plate-Thick	154	COMB1	Combination			-6911,26	-8536,72	248,86	-6874,01	-8573,97	8,512	-91010,8	70296,85	114998,32	142,317
38028	6972	321	Plate-Thick	159	COMB1	Combination			-6911,26	-8536,72	-248,86	-6874,01	-8573,97	-8,512	-91010,8	-70296,85	114998,32	-142,317
38029	7899	1248	Plate-Thick	234	COMB1	Combination			-6911,26	-8536,72	-248,86	-6874,01	-8573,97	-8,512	91010,8	70296,85	114998,32	37,683
38030	7990	1339	Plate-Thick	239	COMB1	Combination			-6911,26	-8536,72	248,86	-6874,01	-8573,97	8,512	91010,8	-70296,85	114998,32	-37,683

4. Momen Lapangan M₂₂

TABLE: Element Forces - Area Shells																		
	Area	AreaEle	ShellTyp	Joint	OutputC	CaseType	StepTy	StepNu	M11	M22	M12	MMax	MMin	MAngl	V13	V23	VMax	VAngl
38027	6924	273	Plate-Thick	6666	COMB1	Combination			-440,16	2524,88	408,56	2580,15	-495,42	82,296	13998,74	-26468,25	29942,16	-62,126
38028	6929	278	Plate-Thick	6669	COMB1	Combination			-440,16	2524,88	-408,56	2580,15	-495,42	-82,296	13998,74	26468,25	29942,16	62,126
38029	7942	1291	Plate-Thick	7446	COMB1	Combination			-440,16	2524,88	-408,56	2580,15	-495,42	-82,296	-13998,74	-26468,25	29942,16	-117,874
38030	7947	1296	Plate-Thick	7449	COMB1	Combination			-440,16	2524,88	408,56	2580,15	-495,42	82,296	-13998,74	26468,25	29942,16	117,874

Lampiran 8

ASUMSI	STEP	PARAMETER	VERTICAL (Z-DIRECTION)	HORIZONTAL (X-DIRECTION)	ROCKING (φ-DIRECTION)
1	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	1392,441152	4177,323457	8563,513086
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	1693,905178	6720,193294	12657,9038
	7.	A	1,05785E-06	2,24233E-05	3,56076E-07
			m	m	rad
			4,16478E-05	0,000882807	3,56076E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		4,76E-04	
				<i>"easily noticeable to person"</i>	
2	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	0	2784,882304	696,2205761
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	0	4480,128863	1029,09787
	7.	A	0	1,49489E-05	2,89493E-08
			m	m	rad
			0	0,000588538	2,89493E-08
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		2,38E-04	
				<i>"barely noticeable to person"</i>	
3	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	-1392,441152	1392,441152	-2158,283786
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	-1693,905178	2240,064431	-3190,203397
	7.	A	-1,05785E-06	7,47444E-06	-8,97427E-08
			m	m	rad
			-4,16478E-05	0,000294269	-8,97427E-08
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		9,31516E-05	
				<i>"not noticeable to person"</i>	
4	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	1392,441152	1392,441152	2854,504362

			kg	kg	kgm
5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448	
6.	FT	1693,905178	2240,064431	4219,301267	
		1,05785E-06	7,47444E-06	1,18692E-07	
7.	A	m	m	rad	
		4,16478E-05	0,000294269	1,18692E-07	
		inch	inch	rad	
8.	A kopel (inch)		1,86E-04		
			<i>"barely noticeable to person"</i>		
5	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	0	0	5012,788148
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	0	0	7409,504663
	7.	A	0	0	2,08435E-07
			m	m	rad
			0	0	2,08435E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		1,35E-04	
				<i>"barely noticeable to person"</i>	
6	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	-2784,882304	0	-12880,08066
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	-3387,810356	0	-19038,31059
	7.	A	-2,11571E-06	0	-5,35561E-07
			m	m	rad
			-8,32955E-05	0	-5,35561E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		-1,98E-04	
				<i>"barely noticeable to person"</i>	
7	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	0	0	-5012,788148
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	0	0	-7409,504663
	7.	A	0	0	-2,08435E-07
			m	m	rad
			0	0	-2,08435E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)		-5,15E-05	

			<i>"not noticeable to person"</i>		
8	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	0	2784,882304	10721,79687
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	0	4480,128863	15848,1072
	7.	A	0	1,49489E-05	4,45819E-07
			m	m	rad
			0	0,000588538	4,45819E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)	4,24E-04		
<i>"easily noticeable to person"</i>					
9	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	0	0	0
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	0	0	0
	7.	A	0	0	0
			m	m	rad
			0	0	0
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)	4,16E-05		
<i>"not noticeable to person"</i>					
10	1.	fn (rpm)	2694,277627	1237,581749	1903,344164
	2.	r	0,556735499	1,212041145	0,788086584
	3.	M	0,95711716	1,426858795	1,176214335
	4.	Fo	2784,882304	-2784,882304	4316,567572
			kg	kg	kgm
	5.	Tr	1,216500371	1,60873185	1,478120448
	6.	FT	3387,810356	-4480,128863	6380,406793
	7.	A	2,11571E-06	-1,49489E-05	1,79485E-07
			m	m	rad
			8,32955E-05	-0,000588538	1,79485E-07
			inch	inch	rad
	8.	A kopel (inch)	-6,14E-05		
<i>"not noticeable to person"</i>					

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Denpasar pada tanggal 10 November 1992, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Singasari pada tahun 1997, SDN Percobaan II Yogyakarta tahun 2005, SMPN 1 Abiansemal pada tahun 2007, dan SMAN 1 Denpasar tahun 2011. Setelah lulus dari SMAN 1 Denpasar, penulis mengikuti ujian masuk untuk program S1 dan diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3111100133. Penulis pernah aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan dan kepanitian selama menjadi mahasiswa. Di jurusan Teknik Sipil ini, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Struktur.

Ni Putu Teja Dewanti (Ms.)
Civil Engineering Student
Sepuluh Nopember Institute of Technology
tejadewanti92@gmail.com
(+62)81916664422