TUGAS AKHIR – RC09 1501

PERENCANAAN PONDASI BEBAN DINAMIS UNTUK KELOMPOK MESIN COMPRESSOR CNG MARINE GRESIK–JAWA TIMUR

CINDY RARA MERIS
3113.105.055

Dosen Pembimbing
Ir. SUWARNO, M.Eng.
Ir. ANANTA SIGIT S., MSc., Ph.D.

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

FINAL PROJECT – RC09 1501

THE DESIGN OF DYNAMIC LOAD FOUNDATION FOR COMPRESSOR MACHINE GROUP CNG MARINE GRESIK – EAST JAVA

CINDY RARA MERIS
3113.105.055

Counsellor Lecture
Ir. SUWARNO, M.Eng.
Ir. ANANTA SIGIT S., MSc., Ph.D.

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

PERENCANAAN PONDASI DINAMIS UNTUK KELOMPOK MESIN COMPRESSOR CNG MARINE GRESIK-JAWA TIMUR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
CINDY RARA MERIS
NRP. 3113 105 055

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Suwarno, M.Eng ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Ananta Sigit S., MSc., PhD ..... (Pembimbing II)

SURABAYA
JULI, 2015

PERENCANAAN PONDASI BEBAN DINAMIS UNTUK KELOMPOK MESIN COMPRESSOR CNG MARINE GRESIK – JAWA TIMUR

Nama : **Cindy RaraMeris**
NRP : **3113 105 055**
Jurusan : **Teknik Sipil FTSP – ITS**
Dosen Konsultasi : **Ir. Suwarno, M.Eng.**
: **Ir. Ananta Sigit S., MSc., PhD.**

Abstrak

Pondasi mesin berfungsi sebagai penahan dan penyalur gaya berupa beban statis dan beban dinamis yang ditimbulkan oleh mesin yang ditopangnya tanpa menimbulkan kerusakan/gangguan pada bangunan di sekitarnya dan orang-orang yang berkerja di sekitarnya serta tidak mengalami penurunan yang signifikan. Dalam perencanaannya harus memperhatikan amplitudo getaran mesin pada frekuensi kerjanya, disamping frekuensi natural system tanah-pondasi tersebut. Sehingga dapat diketahui apakah ada kemungkinan terjadi resonansi getaran pada sistem tersebut dan juga respon yang terjadi baik pada struktur pondasi maupun pada tanah dasar.

Untuk perencanaan pondasi mesin *compressor* yang berlokasi di CNG MARINE Gresik–Jawa, tugas akhir ini akan memberikan beberapa alternatif pondasi yang mampu menahan beban dinamis dan beban statis, dan diselesaikan dengan cara *Lumped Parameter System*. Perencanaan pondasi berupa pondasi tiang ukuran 20 cm x 20 cm dengan 1, 2 dan 4 kelompok mesin *compressor.*

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

THE DESIGN OF DYNAMIC LOAD FOUNDATION FOR COMPRESSOR MACHINE GROUP CNG MARINE GRESIK – EAST JAVA

Student Name	**: Cindy RaraMeris**
NRP	**: 3113 105 055**
Department	**: Civil Engineering FTSP – ITS**
Counsellor Lecture	**: Ir. Suwarno, M.Eng.**
	: Ir. Ananta Sigit S., MSc., PhD.

Abstract

Machine foundation serves to forward and distribute the loads in the form of static load and dynamic loads generated by the engine that supports without causing damage/disruption in the surrounding buildings and the people who work in the vicinity without significant consolidation. To design a machine foundation, we should pay attention to the amplitude of vibration on the operating frequency, in addition to the natural frequency of the soil-foundation system. So it can be known whether there is the possibility of resonance vibrations in the system and also the response that occurs in both the foundation structure and the subgrade.

For the design of mechine foundation which is located on CNG MARINE Gresik – East Java, this final project will provide several alternatives of foundation which are able to withstand the dynamic load and static load, and solved by "Lumped Parameter System" methode. The alternatives for the machine fondation are foundation for 1, 2 and 4 machine group using piles sized 20 cm x 20 cm.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah Yang Mah Esa atas segala limpahan anugerah dan karunia-Nya yang selalu menyertai saya sehingga saya dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.

Tersusunnya tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan, dukungan serta arahan kepada saya. Untuk itu saya ucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Ibunda tercinta, Alm. Merta Lega Lubis dan 'ibunda' kedua Alm. Julia Halet Lubis, 'ibunda' ketiga Hernita Lubis, terima kasih atas perjuangan Mamam dan Uwak membesarkan saya hingga saya menjadi seperti sekarang, tidak pernah menyerah dengan keadaan dan masukan positif yang sangat membangun, serta memberi contoh hidup pantang menyerah yang tetap menginspirasi saya hingga detik ini, TERIMA KASIH *deep from my heart, thank you for making me your only doughter and I proud for that! Thank you for being the amazing you!* Juga untuk setiap doa yang masih saya rasakan. *This is for you*.
2. Untuk saudara-saudara tercinta, Arga R. Dimos, Alm. Harle P. Julio, dan Joga Fadhillah, terimakasih atas cinta dan selalu menjadi *bodyguard, I love u!*☺
3. Bapak Ir. Suwarno, M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Ananta Sigit S., MSc., PhD., selaku dosen pembimbing II, Bapak Ir. Wahju Herijanto, MT., selaku dosen wali saya serta Kepala Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS Bapak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D., yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan,

petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.

4. Sahabat dalam hidup saya, Gayustri Hutabarat, terima kasih karena selalu ada ☺
5. Teman-teman angkatan ganjil 2013, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu saya mengharapkan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga apa yang saya sajikan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak. Akhir kata saya ucapkan terima kasih.

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
LEMBAR PENGESAHAN
ABSTRAK
KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR GAMBAR v
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GRAFIK ix
DAFTAR LAMPIRAN xi

BAB I PENDA HULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 1
1.3 Maksud dan Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Manfaat Penulisan 3
1.6 Lokasi Studi 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Umum 5
2.2 Tanah 6
2.3 Pondasi 7
2.4 Tipe-tipe Mesin 10
2.5 Getaran 12
2.6 *Rotating Machine* 15
2.7 *Transmissibility* 16
2.8 Metode *Lumped Parameter System* 18
2.9 Penurunan Tanah 27
2.10 Daya Dukung Pondasi 31

2.11 Parameter Dinamis Pondasi Dalam 32
2.12 Kontrol Desain Pondasi Mesin 38
2.13 Analisa Biaya 43

BAB III METODOLOGI
3.1 Identifikasi Permasalahan 45
3.2 Studi Literatur 45
3.3 Pengumpulan Data 46
3.4 Pembebanan 46
3.5 Perencanaan Pondasi Mesin 46
3.6 Kontrol Desain Pondasi Mesin 47
3.7 Analisa Hasil Perencanaan (Analisa Biaya) 47
3.8 Kesimpulan 47
3.9 Diagram Alir Metodologi 48

BAB IV ANALISA
4.1 Perhitungan Pembebanan 49
4.2 Daya Dukung Statis Tiang 59
4.3 Perhitungan Modulus Geser (G) dan Gamma Tanah (ϒ) 69
4.4 Analisa Dinamis dengan Pondasi Tiang 20cm x 20cm 76
4.5 Daya Dukung Statis dan Dinamis Tiang 118
4.6 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi 121
4.7 Analisa Biaya 129

BAB V KESIMPULAN 147

DAFTARPUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi proyek dalam peta geologi lembar surabaya	4
Gambar 1.2	Denah lokasi proyek	4
Gambar 2.1	Pondasi blok	8
Gambar 2.2	Pondasi meja	9
Gambar 2.3	Getaran bebas tanpa peredam	12
Gambar 2.4	Getaran bebas dengan peredam	13
Gambar 2.5	Derajat kebebasan	25
Gambar 4.1	Sketsa pondasi untuk kelompok 1 mesin	50
Gambar 4.2	Letak gaya untuk pondasi kelompok 1 mesin	50
Gambar 4.3	Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 1 mesin	51
Gambar 4.4	Sketsa pondasi untuk kelompok 2 mesin	52
Gambar 4.5	Letak gaya untuk pondasi kelompok 2 mesin .	53
Gambar 4.6	Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 2 mesin	53
Gambar 4.7	Sketsa pondasi untuk kelompok 4 mesin	54
Gambar 4.8	Letak gaya untuk pondasi kelompok 4 mesin	55
Gambar 4.9	Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 4 msesin	55
Gambar 4.10	Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 1 mesin	60
Gambar 4.11	Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 2 mesin	63
Gambar 4.12	Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 4 mesin	66

Gambar 4.13 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 1 mesin 131
Gambar 4.14 Potongan 1-1 131
Gambar 4.15 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 2 mesin 134
Gambar 4.16 Potongan 2-2 134
Gambar 4.17 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 4 mesin 137
Gambar 4.18 Potongan 3-3 137

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Plot $M_T Xo/me$ vs. *frequensi ratio* untuk *rotating unbalance* 16
Grafik 2.2 *Vertical constant* 17
Grafik 2.3 *Relationship of K_o to plasticity index and OCR* 19
Grafik 2.4 β_ψ, β_z, dan β_x..... 22
Grafik 2.5 Faktor pengaruh untuk beban bentuk segiempat 29
Grafik 2.6a Parameter f_{18} *relaxed tip concrete pile* 33
Grafik 2.6a Parameter f_{18} *fixedtip concrete pile* 33
Grafik 2.7 *Interaction factor* α_A 34
Grafik 2.8 α_L 36
Grafik 2.9 Hubungan antara frekuensi dan3 getaran yang dihasilkan 40
Grafik 2.10 Hubungan antara frekuensi mesin dan getaran yang dirasakan manusia 41
Grafik 2.11 Hubunganantara *Velocity* dan Frekuensi mesin 42
Grafik 4.1 Interaksi antara tegangan efektif, *boussinesq chart* dan tegangan minimum 73
Grafik 4.2 Rekapitulasi Nilai Amplitudo 125
Grafik 4.3 Rekapitulasi Nilai Velocity 126
Grafik 4.4 Rekapitulasi Nilai K 127
Grafik 5.1 Hubungan Antara Pondasi Kelompok Mesin dan Amplitudo 147
Grafik 5.2 Hubungan Antara Rasio Pondasi Kelompok Mesin dan Rasio Amplitudo 148

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta pegas	18
Tabel 2.2	Nilai k	20
Tabel 2.3	Tipikal harga modulus geser (G)	20
Tabel 2.4	Perkiraan nilai Υ_{sat}	21
Tabel 2.5	Nilai r_o, η_z, η_x, dan η_ψ	22
Tabel 2.6	Ratio redaman	23
Tabel 2.7	Korelasi B_φ dan n_φ	24
Tabel 2.8	Faktor α_z, α_x dan α_φ	24
Tabel 2.9	Nilai *v*	24
Tabel 2.10	Variasi factor waktu (T) terhadapderajatkonsolidasi (U)	30
Tabel 2.11	*Frequency independent constants for embedded pile cap with side resistance*	35
Tabel 2.12	*Value of* $f_{11,1}$, $f_{11,2}f_{7,1}$, $f_{7,2}f_{9,1}$, $f_{9,2,}$ *for* $l/r_o > 25$	35
Tabel 2.13	Nilai K Dieckmann	39
Tabel 2.14	Kategorinilai K	39
Tabel 2.15	*General machinery vibration*	39
Tabel 2.16	Format analisa biaya	43
Tabel 4.1	Rekap hasil test di laboratorium	69
Tabel 4.2	Tegangan efektif tanah	70
Tabel 4.3	*Boussinesq chart*	71
Tabel 4.4	Tegangan minimum	72
Tabel 4.5	Data tanah SPT di titik DB-3	75
Tabel 4.6	Perencanaan Pondasi	121

Tabel 4.7 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 1 mesin 122
Tabel 4.8 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 2 mesin 123
Tabel 4.9 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 4 mesin 124
Tabel 4.10 Harga satuan kerja 138
Tabel 4.11 Harga satuan pokok kegiatan 140
Tabel 4.12 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 1 mesin 144
Tabel 4.13 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 2 mesin 145
Tabel 4.14 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 4 mesin 146
Tabel 5.1 Perbandingan rekapitulasi biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok mesin 149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Tanah
Lampiran 2 Data Mesin *Compressor*
Lampiran 3 Denah dan Tampak Mesin *Compressor*
Lampiran 4 Spesifikasi Tiang Pancang
Lampiran 5 Gambar Rencana Pondasi

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pondasi berfungsi sebagai penerus dan penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah di bawahnya dan tidak mengakibatkan kerusakan maupun penurunan yang berarti.

Untuk mesin biasanya menggunakan pondasi tipe blok dan tipe meja (*table top*). Tiang pancang bisa di pakai jika tanahnya lepas atau lunak. Pondasi mesin pada umumnya mempunyai berat 2-3 kali lebih besar daripada berat mesin yang dipikulnya, sedangkan beban dinamis yang ditimbulkan oleh mesin, biasanya relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan beban statisnya. Akan tetapi, karena beban ini terjadi berulang-ulang dan dalam waktu yang cukup lama, maka dapat memungkinkan terjadinya kerusakan pada mesin itu sendiri, penurunan atau gangguan terhadap bangunan serta orang-orang di sekitanya. Untuk itu, perlu dikontrol frekuensi dan amplitudo yang terjadi.

Pada perencanaan pondasi mesin *Compressor* yang berlokasi di CNG *MARINE* Gresik–Jawa Timur, jumlah mesin yang akan dipasang adalah 16 unit pada area yang berukuran 9,6 m x 80 m. Tugas akhir ini direncanakan untuk memberikan beberapa alternatif kelompok pondasi yang mampu menahan beban dinamis dan beban statis, dan diselesaikan dengan metode *Lumped Parameter System*.

Semoga tulisan ini dapat digunakan sebagai masukan atau referensi untuk perencanaan pondasi *Compressor* lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditemukan dalam perencanaan pondasi mesin C*ompressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14* ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan pondasi akibat pengaruh dari beban dinamis dan beban statis untuk 16 unit mesin *Compressor* dengan alternatif pondasi sebagai berikut:
   a. Satu kelompok pondasi terdiri dari satu mesin.

b. Satu kelompok pondasi terdiri dari dua mesin.
c. Satu kelompok pondasi terdiri dari empat mesin.
Dimana pondasi yang dipakai adalah pondasi tiang ukuran 20 cm x 20 cm.

2. Bagaimana merencanakan pondasi mesin *compressor* agar setidaknya getaran yang ditimbulkan tidak mengganggu manusia di dekatnya (*Easily Noticeable to Person*) atau (<*Troublesome*).
3. Berapa besar anggaran biaya untuk masing-masing alternatif pondasi mesin agar memenuhi kriteria perencanaan.

1.3 Maksud dan Tujuan

Dari permasalahan di atas, adapun tujuan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Merencanakan pondasi akibat pengaruh dari beban dinamis dan beban statis untuk 16 unit mesin *Compressor* dengan alternatif pondasi sebagai berikut:
   a. Satu kelompok pondasi terdiri dari satu mesin.
   b. Satu kelompok pondasi terdiri dari dua mesin.
   c. Satu kelompok pondasi terdiri dari empat mesin.
   Dimana pondasi yang dipakai adalah pondasi tiang ukuran 20 cm x 20 cm.
2. Merencanakan pondasi mesin *compressor* dimana setikdaknya getaran yang ditimbulkan tidak mengganggu manusia di dekatnya (*Easily Noticeable to Person*) atau (<*Troublesome*).
3. Menghitung besar anggaran biaya untuk masing-masing alternatif pondasi mesindan menentukan pondasi mesin yang paling efisien.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dalam pembahasan Tugas Akhir ini adalah:

1. Pembahasan hanya dilakukan pada kasus pembangunan pondasi mesin *Compressor CNG MARINE* PT PJB yang berlokasi di Gresik-Jawa Timur.
2. Data tanah yang digunakan pada perhitungan daya dukung adalah data tanah yang sudah ada dan tidak membahas permasalahan dari tanah.
3. Perhitungan nilai amplitudo dan frekuensi pada pondasi mesin menggunakan metode *Lumped Parameter System* dan tidak membahas metode lain.
4. Untuk perencanaan, mesin diasumsikan bekerja secara serentak untuk masing-masing pondasi kelompok mesin.
5. Data mesin menggunakan data asli yang terlampir dalam lembar spesifikasi *Compressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14*.
6. Tidak meninjau aspek pelaksanaan di lapangan.

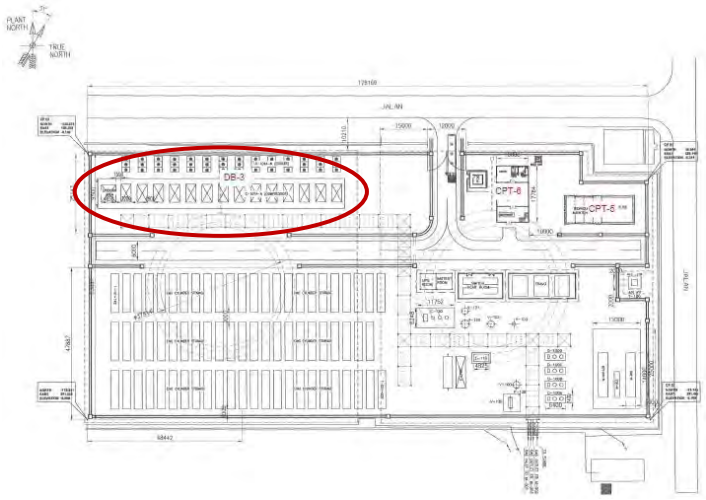
1.5 Manfaat Penulisan

Tugas akhir ini diharapkan berguna sebagai masukan atau referensi untuk perencanaan pondasi *Compressor* lainnya.

1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi berada di Proyek *CNG MARINE* PT PJB UP Gresik, Jawa Timur.

Gambar I.1 Lokasi Proyek Dalam Peta Geologi Lembar Surabaya.



Gambar I.2 Denah Proyek.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perencanaan konstruksi pondasi yang baik tidak hanya dibutuhkan pada konstruksi bangunan sipil tapi juga pada mesin. Bahkan masalah yang ditemui pada perencanaan pondasi mesin jauh lebih rumit karena merupakan perpaduan dari struktur, geoteknik dan teori getaran.

Perencanaan pondasi pada umumnya membutuhkan pengetahuan terutama tentang beban-beban yang akan disalurkan dari bangunan atas ke sistem pondasi, parameter-parameter tanah serta kondisi dan perilaku hubungan antara tegangan dengan perubahan bentuk tanah. Pengukuran parameter-parameter tanah perlu dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan. Parameter-parameter tanah yang diperoleh tersebut harus dapat memberikan suatu informasi yang benar dan cukup memadai untuk dipergunakan dalam merencanakan stabilitas pondasi. Selain itu, beban yang terjadi karena alam (gempa) dan material yang digunakan juga harus diperhatikan. Sehingga dalam perencanaan pondasi dapat terpenuhi keamanan konstruksi/mesin di atasnya.

Hal yang harus diperhatikan pada perancangan sebuah pondasi mesin adalah amplitudo getaran mesin pada frekuensi kerjanya, disamping frekuensi natural system tanah - pondasi tersebut. Hal ini penting untuk mengetahui apakah ada kemungkinan akan terjadi resonansi getaran pada sistem tersebut disamping pula untuk mengetahui respon yang terjadi baik pada struktur pondasi maupun pada tanah dasar.

Semua beban dinamis tidak akan terjadi bila tidak disertai beban statis. Perhatian khusus pada pembahasan tugas akhir ini ditujukan pada beban dinamis yang ditimbulkan oleh mesin *Compressor* sebagai beban statis.

2.2 Tanah

Untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah dalam menghadapi perencanaan dan pelaksanaan konstruksi pondasi diperlukan suatu klasifikasi mengenai tanah. Klasifikasi tanah diperlukan untuk hal-hal sebagai berikut:

1. Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan log-bor tanah , peta tanah dan lain-lain).
2. Perkiraan standar kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing.
3. Perkiraan pemilihan bahan (penentuan tanah yang harus disingkirkan, pemilihan tanah dasar, bahan tanah timbunan dan lain-lain).
4. Perkiraan persentase muai dan susut.
5. Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian).
6. Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi.
7. Rencana pekerjaan/pembuatan lereng dan tembok penahan tanah pemilihan jenis konstruksi dan perhitungan tekanan tanah).

Sementara dari hasil penyelidikan di laboratorium/lapangan diketahui sifat-sifat alami dan teknis tanahyang dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah seperti berikut:

1. Menentukan rembesan, daya rembes dan kecepatan rembesan air yang melalui penampang tanah serta koefisien rembesannya.
2. Menentukan pemampatan tanah yang berdasarkan teori konsolidasi Terzaghi dan penurunan, maka dapat digunakan untuk mengevaluasi penurunan konstruksi.
3. Menentukan kuat geser tanah, untuk mengevaluasi kemantapan lereng bendungan, tanggul dan lain-lain.

Hal lain tentang tanah sebagai bahan pondasi yang harus diselidiki antara lain sebagai berikut:

1. Kekuatan geser tanah (*Shear Strength*)
2. Kemampatan dan konsolidasi tanah
3. Permeabilitas tanah
4. Pemadatan tanah (*Compaction of Soil*)

2.3 Pondasi

Pondasi mesin merupakan pondasi beban dinamis yang dirancang sebagai pondasi yang dapat menerima beban statis mesin yang berupa berat mati mesin dan beban dinamis yang berupa gerak alat. Untuk itu dalam merencanakan pondasi harus menyatukan antara beban dinamis dan statis dengan cara menganalisis setiap beban yang bekerja. Beban-beban dinamis ditimbulkan oleh :

a) Gempa, angin, gelombang air, palu, mesin, kendaraan cepat, bom dan lain-lain dengan cara pembebanan yang berbeda.
b) Gempa merupakan beban yang penting dikarenakan dapat menyebabkan pondasi turun, miring, kehilangan daya dukung, liquefaction, bangunan bisa terapung.
c) Getaran mesin merupakan sinusoidal. Semua beban dinamis tidak akan terjadi jika tidak disertai beban statis.
d) Getaran akibat mesin pada pondasi dapat diumpamakan sebagai beban pegas dan peredam.

Bentuk struktur pondasi mesin banyak ditentukan oleh adanya informasi tentang informasi dan karakteristik tanah dimana mesin itu akan ditempatkan, seperti misalnya tanah berlumpur, tanah berpasir, dan sebagainya.

Disamping itu bentuk konstruksi mesin dan besarnya juga seringkali diambil sebagai bahan pertimbangan dalam merancang struktur pondasi. Dan juga yang perlu diperhatikan adalah pengaruh-pengaruhnya terhadap lingkungan di sekitarnya seperti misalnya pipa-pipa, atau objek lain yang sifatnya tetap.

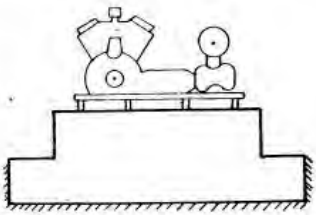
Secara garis besar sistem struktur pondasi mesin dapat dibagi dalam dua kategori umum yaitu:

1. Pondasi Dangkal

Dasar pondasi dangkal bertumpu langsung pada tanah, dimana dapat ditempatkan langsung di atas tanah ataupun pondasi ditanam sebagian. Tipe pondasi dangkal untuk mesin dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

- Pondasi tipe blok

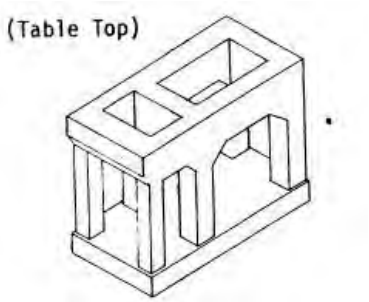
  Yaitu struktur pondasi beton yang berupa suatu luasan tertentu dengan ketebelan yang relative besar, sehingga deformasi struktur akibat beban yang bekerja di atasnya dapat diabaikan. Pondasi ini langsung menopang mesin dan semua alat pelengkap mesin tersebut.



Gambar 2.1 Pondasi Blok

- Pondasi tipe meja (*table top*)

  Yaitu 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 2.2 Pondasi Meja

2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah struktur pondasi yang memerlukan tiang pancang atau sistim pendukung lainnya sebagai konstruksi pendukung dari struktur pondasi pada permukaan tanahnya. Pondasi tiang dipancang atau dicor kedalam tanah sampai mencapai kedalaman yang cukup, berfungsi untuk meneruskan beban ke dalam tanah dan menimbulkan tahanan gesek pada selimutnya dan tahanan ujung tiangnya. Pondasi tiang digunakan untuk mentransfer beban pondasi ke lapisan tanah yang dalam dimana dapat dicapai daya yang lebih baik dan dapat digunakan pula untuk menahan gaya angkat akibat tingginya muka air tanah dan gaya gempa. Penyaluran beban oleh tiang ini dapat dilakukan melalui lekatan antara sisi tiang dengan tanah sekeliling tiang (tahanan kulit), dukungan tiang oleh ujung tiang (*end bearing*). Pondasi tiang yang menopang mesin diperlukan apabila menemui permasalahan seperti di bawah ini:

- Tegangan akibat beban statis dan dinamis melebihi tegangan ijin tanah dan pemakaian pondasi dangkal tidak memungkinkan.
- Tanah dan kondisi muka air tanah yang menyebabkan getaran mesin dapat mengakibatkan tanah kehilangan kekuatan, atau menimbulkan deformasi yang besar. Sehingga beban-beban yang bekerja pada pondasi (statis

dan dinamis) harus ditransfer ke lapisan-lapisan tanah yang lebih dalam.

- Perlu untuk meningkatkan frekuensi natural dan mengurangi amplitudo getaran.
- Pertimbangan gempa.

Jika pondasi tiang digunakan dengan alasan tegangan total yang diterima lebih besar dari bearing capacity tanah, maka dipakai metode desain yang konvesional, seperti pada kasus prosedur praktis dari desain pondasi tiang terdiri dari penentuan jumlah tiang pancang yang diperlukan dari nilai bearing capacity sebuah pondasi tiang tunggal.

Ketika pondasi tiang diperlukan untuk meningkatkan frekuensi natural dari getaran dan menurunkan amplitudo gerakan dari pondasi, maka prosedur desain yang praktis memerlukann pertimbangan-pertimbangan khusus. Frekuensi natural dan amplitudo system tanah-pondasi-tiang untuk setiap mode getaran dapat dihitung dari nilai kekakuan dan dumping dengan menggunakan teori getaran.

2.4 Tipe–tipe Mesin

Perencanaan pondasi mesin harus memperhatikan tipe mesin yang akan membebani pondasi tersebut. Tipe mesin dibagi menjadi tiga macam yaitu :

a) Reciprocating Machine

Reciprocating Machine adalah mesin dengan beban dinamis sebesar < 600 rpm. Yang termasuk dalam mesin jenis ini adalah *internal combustion machine*, *steam engine*, Piston-type pump, *compressor*, serta mesin lain yang memiliki krank mekanis yang berputar dengan kecepatan sudut konstan. Pengoperasian dari mesin ini akan menimbulkan gaya yang tidak seimbang, baik dalam arah gerakan piston maupun tegak lurus piston.

b) Impact Machine

Impact Machine adalah mesin dengan beban dinamis berupa pukulan sebesar 60-150 pukulan per menit. Mesin yang termasuk dalam kategori ini adalah *forging hammers*. Mesin ini menimbulkan beban dinamis yang mencapai puncaknya dalam waktu yang sangat singkat lalu lenyap, dimana gaya getaran yang terjadi akibat pukulan yang berlangsung kurang dari satu detik.

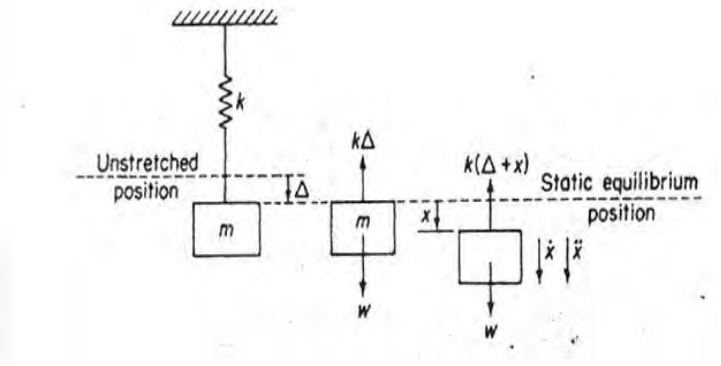
c) Rotating Machine

Rotating Machine adalah mesin dengan beban dinamis sebesar 3000-10000 rpm. Yang termasuk dalam kategori mesin ini adalah Turbo Generator, Turbin, dan *Rotary Compressors*.

Ketiga mesin tersebut memiliki analisis perhitungan yang berbeda untuk memberikan efek beban dinamis pada pondasi. *Compressor* yang ditinjau dalam tugas akhir ini termasuk jenis *Rotating Machine*. Gaya yang dihasilkan oleh mesin ini dapat dianalisis dengan mengubah beban rotasi menjadi beban pegas. Untuk mengubah menjadi beban pegas maka harus diketahui amplitudo yang terjadi akibat gaya rotasi yang bekerja. Amplitudo merupakan besarnya pergeseran pusat rotasi dari titik pusat. Besarnya amplitudo yang terjadi dapat menetukan gaya pegas yang diterima oleh pondasi.

2.5 Getaran

2.5.1 Getaran Bebas Tanpa Redaman



Gambar 2.3 Getaran Bebas Tanpa Peredam

Berdasarkan gambar di atas rumus yang digunakan untuk mencari koefisien pegas sebagai berikut:

k = m a (rumus 2.1)

Sehingga persamaan gerak menjadi:

(m ẍ) + (k x) = W sin θ

Keterangan:

k = Konstanta pegas (kN/m)

m = Massa mesin (ton dt^2/m)

x = Jarak Perpindahan (m)

a = ẍ = Percepatan

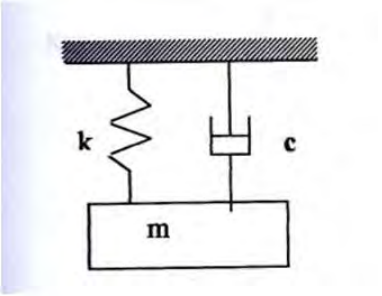
W sin θ = Gaya luar yang bekerja

Misalkan $x = A \sin {}_n t + B \cos \omega_n t$

$- {}_n + (k/m) = 0$

Maka frekuensi alami ${}_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (rumus 2.2)

2.5.2 Getaran Bebas Dengan Redaman



Gambar 2.4 Getaran Bebas Dengan Peredam

Berdasarkan gambar di atas, maka selain koefisien pegas dihitung pula koefisien redaman sebagai berikut:

$c = 2\sqrt{k\,m}$ (rumus 2.3)

Sehingga persamaan gerak menjadi:

$(m\,\ddot{x}) + (c\,\dot{x}) + (k\,x) = W \sin\theta$

Keterangan:

c	= Koefisien Redaman
k	= Konstanta Pegas (kN/m)
m	= Massa Mesin (ton dt^2/m)
x	= Jarak perpindahan (m)
$\dot{x}$	= Kecepatan (m/dt)
$a = \ddot{x}$	= Percepatan (m^2/dt)
$W \sin\theta$	= Gaya luar yang bekerja (kN)

Misalkan $x = e^{st}$

Maka persamaan gerak menjadi:

$$S^2 e^{st} + \left(\frac{c}{m}\right) S e^{st} + \left(\frac{k}{m}\right) e^{st} = 0$$

$$S^2 + \left(\frac{c}{m}\right) S + \left(\frac{k}{m}\right) = 0$$

$$S_{1,2} = \frac{-\left(\frac{c}{m}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{c}{m}\right) - 4\left(\frac{c}{m}\right)}}{2}$$

$$= \left(\frac{1}{2m}\right)\left\{-c \pm \sqrt{[c^2 - 4(km)]}\right\}$$

Bila $c^2 - 4km = 0$

$$c = c_c = 2\sqrt{km}$$

Dengan ratio redaman D:

$$D = \frac{c}{C_c} \qquad \text{(rumus 2.4)}$$

$$D = \frac{c}{2\sqrt{km}} \qquad \text{(rumus 2.5)}$$

$$c = 2D\sqrt{km} \qquad \text{(rumus 2.6)}$$

Maka:

$$S_{1,2} = \quad {}_{n}\left(-D \pm \sqrt{D^2 - 1}\right) \qquad \text{(rumus 2.7)}$$

Dari persamaan tersebut terdapat tiga keadaan:

- Keadaan 1: D > 1 (*Over Dumped*) → tidak ada getaran
- Keadaan 2: D = 1 (*Critical Dumping*) → cepat berhenti
- Keadaan 3: D < 1 (*Under Dumped*) → terjadi getaran

Dengan $x = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$

Maka untuk D < 1:

$$x = e^{-\omega_1 Dt}\left[\left(A_1 cos\sqrt{1 - D \quad {}_{n}t} + iA_1 sin\sqrt{1 - D \quad {}_{n}t}\right)\right.$$
$$\left. + \left(A_2 cos\sqrt{1 - D \quad {}_{n}t} - iA_2 sin\sqrt{1 - D \quad {}_{n}t}\right)\right]$$

$$x = \mathrm{e}^{-\omega_1 Dt}\left[\left(B_1 cos\sqrt{1 - D \quad}_{\mathrm{n}} t + B_2 sin\sqrt{1 - D \quad}_{\mathrm{n}} t\right)\right]$$

$$= X_0 \mathrm{e}^{-\omega_1 Dt} sin(\quad_{\mathrm{n}} t + \varphi)$$

Maka frekuensi alami dengan redaman adalah:

$$_{\mathrm{nd}} = \quad _{\mathrm{n}}\sqrt{1 - \mathrm{D}^2} \qquad \text{(rumus 2.8)}$$

2.6 *Rotating Machine*

Persamaan Gerak: $\mathrm{M_t}\ddot{\mathrm{x}} + \mathrm{c}\dot{\mathrm{x}} + \mathrm{kx} = \underbrace{\mathrm{me}\ ^2 \sin(\ \mathrm{t})}$

Menggantikan posisi $\mathrm{F_o}$

Maka amplitudo:

$$\mathrm{X_o} = \frac{\frac{\mathrm{me}\ ^2}{\mathrm{k}}}{\sqrt{(2\mathrm{Dr})^2 + (1 - \mathrm{r}^2)^2}} \qquad \text{(rumus 2.9)}$$

$$\frac{\mathrm{X_o}}{\frac{\mathrm{me}\ ^2}{\mathrm{k}}} = \frac{1}{\sqrt{(2\mathrm{Dr}) + (1 - \mathrm{r}^2)}} \qquad \text{(rumus 2.10)}$$

pada ordinat harus di gabungkan dengan nilai r, maka:

$$\mathrm{F_o} = \mathrm{me}\ ^2 \qquad \text{(rumus 2.11)}$$

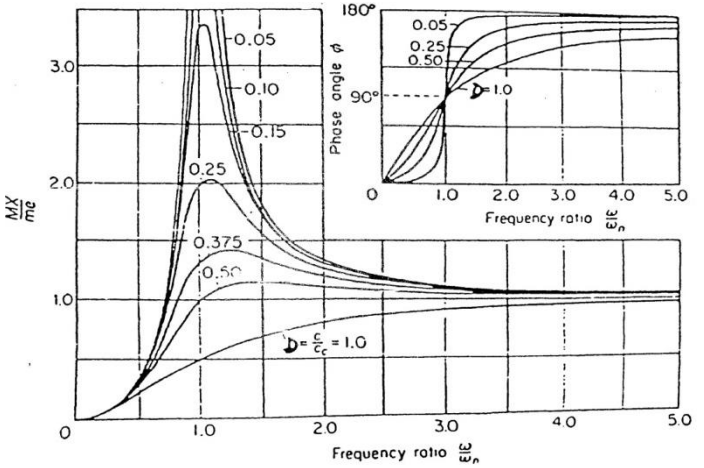
Dimana:

m = (m_e) = massa eksentris
e = eksentrisitas
M_t = massa total

$$\frac{\mathrm{M_t X_o}}{\mathrm{me}} = \frac{\mathrm{r}^2}{\sqrt{(2\mathrm{Dr})^2 + (1 - \mathrm{r}^2)^2}} \quad \text{atau} \quad \frac{\mathrm{M_t X_o}}{\mathrm{me}} = \frac{\mathrm{r}^2}{\sqrt{\left(\frac{\mathrm{c}}{\mathrm{k}}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{M_t}}{\mathrm{k}}\right)^2}}$$

(rumus 2.12)

Digambarkan dalam grafik 2.1.



Grafik 2.1 Plot $M_T Xo/me$ vs. *frequensi ratio* untuk *rotating unbalance* (dari Thomson, 1981)

Dengan cara yang sama seperti pada F_o konstan, diperoleh:

$$= \frac{n}{\sqrt{1-2D^2}} \qquad \text{(rumus 2.13)}$$

dimana adalah resonansi untuk *rotating*.

2.7 *Transmissibility*

Transmissibility adalah penyaluran gaya dinamis ke bangunan bawah.

Besarnya gaya dinamis yang disalurkan kebangunan bawah yaitu:

Gaya melalui pegas : k. X_o

Gaya melalui redaman : c. .X_o

Gaya yang disalurkan melalui pegas dan peredaman:

$$F_T = \sqrt{(kX_o)^2 + (c\ )^2 {X_o}^2} \qquad \text{(rumus 2.14)}$$

Sebelumnya untuk F_o konstan;

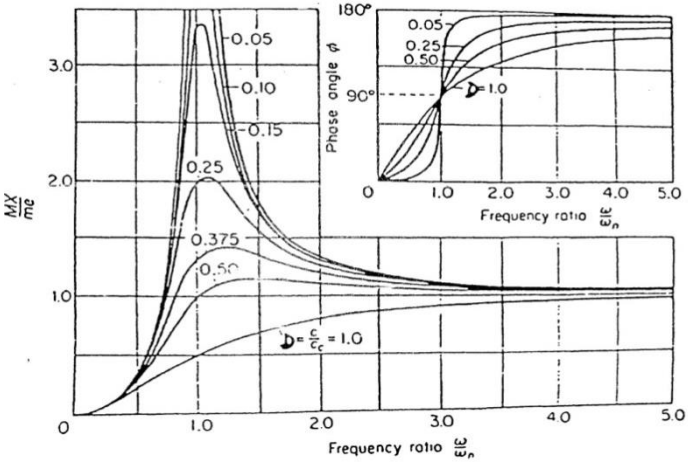
$$F_o = kX_o \sqrt{\left(\frac{c}{k}\right)^2 + \left(1 - \frac{m\ ^2}{k}\right)^2} \qquad \text{(rumus 2.15)}$$

Maka:

$$T_r = \frac{F_T}{F_o} = \frac{kX_o\sqrt{\left(\frac{c}{k}\right)^2+(1)}}{kX_o\sqrt{\left(\frac{c}{k}\right)^2+\left(1-\frac{m}{k}^2\right)^2}} \text{ atau } \quad \frac{F_T}{F_o} = \frac{\sqrt{(2Dr)^2+1}}{\sqrt{(2Dr)^2+(1-r^2)^2}}$$

(rumus 2.16)

Bila digambarkan dalam grafik, bisa dilihat pada grafik 2.2



Grafik 2.2 *Vertical Constant*

Nilai r agar nilai T_r= 1:

Untuk memudahkan perhitungan dipakai D = 0

$$T_r = \frac{\sqrt{1+0}}{\sqrt{0+(1-r^2)^2}} = \frac{1}{\pm(1-r^2)}$$

Agar T_r = 1 ada 2 kemungkinan:

Bila dipilih tanda +, maka $\quad 1 = \frac{1}{+(1-r^2)}\; r = 0$

Bila dipilih tanda -, maka $\quad 1 = \frac{1}{-(1-r^2)}\; r = \sqrt{2}$

untuk *rotating*: $\frac{F_T}{F_o} = \frac{r^2\sqrt{(2Dr)^2+1}}{\sqrt{(2Dr)^2+(1-r^2)^2}} = \overline{T}_r = r^2 T_r$ (rumus 2.17)

2.8 Metode *Lumped Parameter System*

Metode yang paling mudah diikuti dalam menganalisa beban dinamis yaitu dengan menggunakan metode *Lumped Parameter System*. Metode ini merupakan hasil pengembangan dari metode sebelumnya, yaitu metode *Elastic Half Space (EHS)*. Tetapi metode Elastic Half Space sukar diikuti karena untuk mendapatkan amplitudo dan frekuensi saat resonansi langsung menggunakan grafik-grafik. Sedangkan metode *Lumped Parameter System* dalam menganalisa beban dinamis menggunakan massa, pegas dan peredam seperti pada teori getaran, dimana pada metode ini redaman tidak diabaikan.

Tabel 2.1 Nilai konstanta pegas

Bentuk getaran	**Pondasi lingkaran**	**Pondasi kotak**
Vertical	$k_z = \frac{4.G.r_0}{1-v}$ z	$k_z = \frac{G}{1-v}$ z.$\sqrt{B.L.}$ z
Horizontal	$k_x = \frac{32.(1-v).G.r_0}{7-8v}$ x	$k_x = 2(1+v).G.$ x.$\sqrt{B.L.}$ z
Rocking	$k = \frac{8.G.{r_0}^3}{3(1-v)}$	$k = \frac{G}{1-v}$ .BL^2
Torsional	$k = \frac{16.G.{r_0}^3}{3}$	Tidak ada penyelesaian

Keterangan :

k_z = Koefisien pegas akibat gaya vertikal (kN/m)
k_x = Koefisien pegas akibat gaya horizontal (kN/m)
k = Koefisien pegas akibat momen (kN/m)
k = Koefisien pegas akibat torsi (kN/m)
G = Modulus geser (kN/m)
v = *Poison ratio*
r_o = Jari-jari plat lingkaran = $(B.L/\pi)^{0.5}$ (m)

Dimana harga modulus geser diperoleh dengan menggunakan rumus empiris sesuai kriteria sebagaiberikut:

- Untuk pasir butiran bulat (*void ratio* e ≤ 0,80)

$G = 700 \frac{(2{,}17-e)^2}{1+e} (\sqrt{\ _o})$ (kN/m^2) (rumus 2.18)

$_o = 0{,}333 (\ _v + 2\ _h)$ (kN/m^2) (rumus 2.19)

$_h = K_o . \ _v$ (kN/m^2) (rumus 2.20)

- Untuk pasir butiran bulat (*void ratio* e > 0,60)

$G = 326 \frac{(2{,}97-e)^2}{1+e} (\sqrt{\ _o})$ (kN/m^2) (rumus 2.21)

$_o = 0{,}333 (\ _v + 2\ _h)$ (kN/m^2)

$_h = K_o . \ _v$

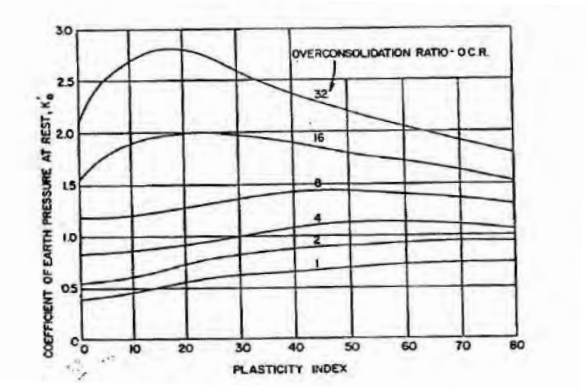
- Untuk lempung jenuh

$G = 1230 \frac{(2{,}973-e)^2}{1+e} (OCR)^k (\sqrt{\ _o})$ (psi) (rumus 2.22)

$_o = 0{,}333 (\ _v + 2\ _h)$ (kg/cm^2)

$_h = K_o . \ _v$ (kg/cm^2)

Dimana nilai Ko dan k bisa dilihat pada grafik 2.3 dan tabel 2.2.



Grafik 2.3 *Relationship of K_o to Plasticity Index and OCR*

Tabel 2.2 Nilai k

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

- Cara pendekatan

Yaitu dengan menggunakan bantuan tabel *Typical value for lowstrin-amplitude shear modulus (Suresh C. Arya) dan tabel Empirical valus for* q_u *and consistency of cohesive soils based on the standard penetration number (Joseph E. Bowles).*

Tabel 2.3 Tipikal harga modulus geser (G)

Soil Type	Shear Modulus (psi)
Soft	3.000-5.000
Stiff clay	10.000-20.000
Very stiff to hard clay	>20000
Medium dense sand	5.000-15.000
Dense sand	10.000-20.000
Medium dense gravel	15.000-25.000
Dene gravel	20.000-40.000

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

Tabel 2.4 Perkiraan nilai Υ_{sat}

consistency	very soft	soft	medium	stiff	very stiff	hard
q_u , ksf	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8
N, standard penetration resistance	0	2	4	8	16	32
Υ_{sat} , pcf (KN/m³)		100-120 (16-19)	110-130 (17-20)		120-140 (19-22)	

(Sumber: *Foundation Analysis and Design, Joseph E. Bowles,1977)*

Berdasarkan nilai konstanta pegas yang didapat maka akan diketahui frekuensi natural untuk setiap gaya. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \text{(rumus 2.23)}$$

Keterangan :
f_n = Frekuensi natural (rad/dt)
k = Konstanta pegas pada setiap arah gaya (kN/m)
m = Total massa (berat pondasi dan mesin per gravitasi) (ton dt^2/m)

Sedangkan untuk menghitung frekuensi resonansi sebagai berikut:

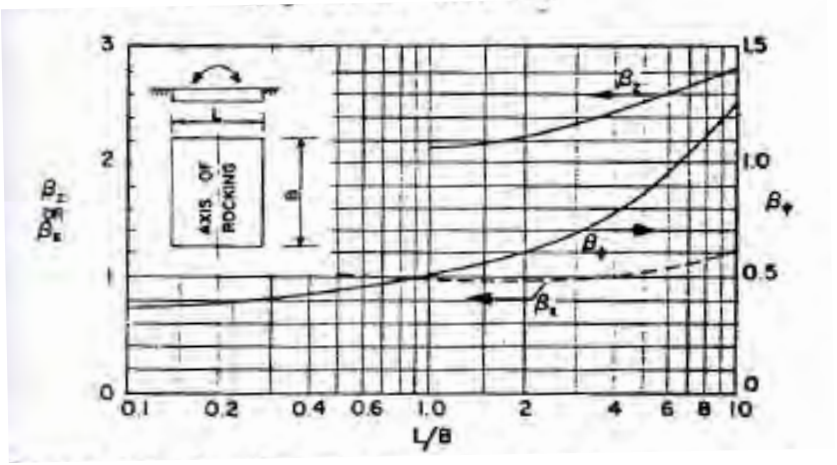
$$f_{res} = f_n \,.\sqrt{1 - 2\,.\,D^2} \qquad \text{(rumus 2.24)}$$

Keterangan:
F_{res} = Frekuensu resonansi (rad/dt)
f_n = Frekuensi natural pada arah gaya yang bekerja (rad/dt)
D = Rasio redaman pada arah gaya yang bekerja

Tabel 2.5 Nilai r_o, $_z$, $_x$, dan

Bentuk getaran	**r_0 untuk pondasi kotak**	**Koefisien**
Vertical	$\sqrt{BL/\pi}$	$_z = 1 + 0{,}6(1 - v)(h/r_0)$
Horizontal	$\sqrt{BL/\pi}$	$_x = 1 + 0{,}55(2 - v)(h/r_0)$
Rocking	$\sqrt[4]{BL^3/3\pi}$	$= 1 + 1{,}2(1 - v)(h/r_0) + 0{,}2(2 - v)(h/r_0)^3$
Torsional	$\sqrt[4]{BL(B^2 + L^2)/6\pi}$	Tidak tersedia

Keterangan:
B = Lebar pondasi (m)
L = Panjang pondasi (m)
h = Tebal penanaman pondasi (m)
v = poison ratio



Grafik 2.4 , $_z$, dan $_x$

Keterangan :
L = Panjang pondasi (m)
B = Lebar pondasi (m)

Sedangkan untuk menghitung koefisien redaman adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6 Ratio redaman

Bentuk getaran	**Rasio masa**	**Ratio redaman**
Vertical	$B_z = \frac{(1-v)}{4} . \frac{W}{r_0^3}$	$D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}$ z
Horizontal	$B_x = \frac{(7-8v)}{32(1-v)} . \frac{W}{r_0^3}$	$D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}}$ x
Rocking	$B = \frac{3(1-v)}{8} . \frac{M_{mo}}{r_0^5}$	$D = \frac{0{,}15 .}{(1+n . B)\sqrt{n . B}}$
Torsional	$B = \frac{M_{mz}}{r_0^5}$	$D = \frac{0{,}5}{1+2B}$

Keterangan :

B_z = Rasio masa akibat gaya vertikal

B_x = Rasio masa akibat gaya horizontal

B = Rasio masa akibat momen

B = Rasio masa akibat torsi

W = Berat alat dan pondasi (ton)

M_{mo} = Momen pada titik nol (ton m dt^2)

$= \sum_1^N \left(\frac{1}{12} m_{pondasi} . (t^2 + l^2) + m_{pondasi} . (L - 1/2\, t)^2\right) + m_{mesin} . (\text{letak titik berat} - L)^2$ (rumus 2.25)

L = Letak titik berat pondasi dan mesin

$= \frac{m_{pondasi} . 1/2t + m_{mesin} . (t + \text{jarak titik berat mesin})}{m_{pondasi} + m_{mesin}}$ (m)

(rumus 2.26)

= Kepadatan tanah (kN dt^2/ m^4)

= Berat jenis tanah (kN/m^3)

n = nilai yang didapat berdasarkan B

dimana:

Tabel 2.7 Korelasi B dan n

B	5	3	2	1	0,8	0,5	0,2
n	1,079	1,110	1,143	1,219	1,251	1,378	1,600

Tabel 2.8 Faktor $_z$, $_x$ dan

Bentuk getaran	**Faktor α**
Vertical	$_z = \frac{1 + 1{,}9(1-\nu)(h/r_0)}{\sqrt{\ _z}}$
Horizontal	$_x = \frac{1 + 1{,}9(2-\nu)(h/r_0)}{\sqrt{\ _x}}$
Rocking	$= \frac{1 + 0{,}7(1-\nu)(h/r_0) + 0{,}6(2-\nu)(h/r_0)^3}{\sqrt{\ }}$

Tabel 2.9 nilai *v*

Jenis tanah	**Nilai *v***
lempung	0,4 - 0,5
pasir	0,3 - 0,35
batuan	0,15 - 0,5

Untuk menghitung besarnya amplitudo yang dihasilkan berdasarkan arah gaya yang terjadi adalah sebagai berikut :

$A = M\frac{Q_o}{k}$ (rumus 2.27)

Dimana $M = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2.D.r)^2}}$ (rumus 2.28)

Keterangan :

A = Amplitudo (inci)

M = *Magnificatinon factor*

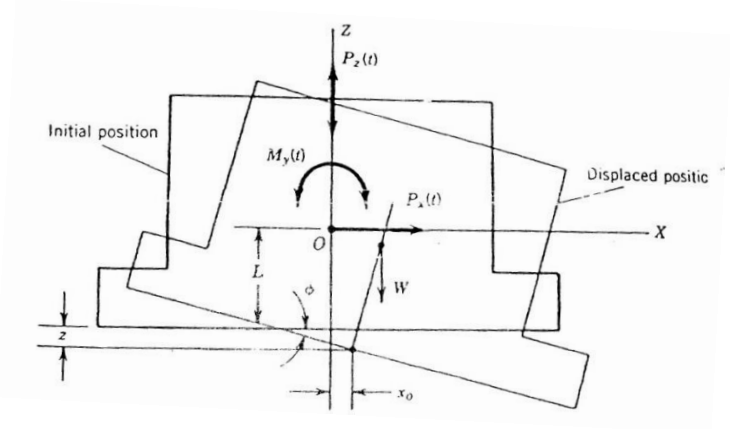
Q_o = Gaya luar berasal dari mesin (ton)

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

D = Rasio redaman

$r = \frac{f_{mesin}}{f_n}$ (rumus 2.29)

***Vertical, Lateral* dan *Rocking* bersama-sama**



Gambar 2.5 Derajat kebebasan

$\sum F_z(t) = m\ddot{z}$
$\sum F_x(t) = m\ddot{x}$
$\sum M_y(t) = M_m\ddot{}$

Keterangan:
- Akibat perpindahan vertikal z, timbul tekanan ke atas
  $Z_1 = -C_u Az$
- Akibat perpindahan posisi, timbul momen $M_w = +WL$
- Akibat perpindahan lateral x_0, timbul tekanan lateral
  $X_1 = -C\ Ax_0$
  Bila $x_0 = x - L$, maka $X_1 = -C\ A(x - L\ )$
- Akibat X_1akan timbul momen, $M_x = +C\ A(x - L\ )L$
- Akibat perputaran , timbul momen $M_0 = -C\ \ I$

Sehingga untuk vertikal tunggal:
$m\ddot{z} + (C_u A)z = P_z \sin\ t$ (rumus 2.30)
Untuk kopel lateral:
$m\ddot{x} + (C\ A)x - (C\ AL)\ = P_x \sin\ t$
(rumus 2.31)

Dan untuk *rocking*:

$$M_m\ddot{} + \left(C\ AL + C\ I - WL\right) - (C\ AL)x = M_y \sin\ t$$

(rumus 2.32)

Dari persamaan di atas terlihat bahwa getaran lateral dan rocking saling berpengaruh. Ketentuan mengenai perlu atau tidaknya melakukan perhitungan kopel dilakukan dengan memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\frac{\sqrt{f_{nx}^2 + f_n^2}}{f_{nx}.f_n} \leq \frac{2}{3.f_{mesin}}$$

(rumus 2.33)

Jika persamaan di atas tidak dipenuhi maka pengaruh kopel harus dihitung sebagai pertambahan pada amplitudo. Untuk mencari nilai amplitudo akibat adanya kopel digunakan rumus sebagai berikut :

$A_x = A_{x1} + A_{x2}$ (rumus 2.34)

$A = A_1 + A_2$ (rumus 2.35)

Dimana :

$$A_{x1} = \frac{F_x}{m.M_m} \frac{\left[\left(-M_m\omega^2 + K_\varphi + K_x L^2\right)^2 + 4\omega\left(D_\varphi\sqrt{K_x M_{mo}} + L^2 D_x\sqrt{K_x m}\right)^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

(rumus 2.36)

$$A_{x2} = \frac{M_y L}{M_m} \frac{\left[\left(\omega_{nx}{}^2\right)^2 + (2.D_x.\omega_{nx}\omega)^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

(rumus 2.37)

$$A_{\varphi 1} = \frac{F_x.L}{M_m} \frac{\omega_{nx}\left(\omega_{nx}^2 + 4.D_x.\omega^2\right)^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

(rumus 2.38)

$$A_{\varphi 2} = \frac{M_y}{M_m} \frac{\left[\left(\omega_{nx}^2 - \omega^2\right)^2 + (2.D_x\omega_{nx}\omega)^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega^2)}$$

(rumus 2.39)

Dimana :

$M_m = M_{mo} - m_{total}.L^2$

(rumus 2.40)

$r = {}^{M_m}/_{M_{m0}}$ (rumus 2.41)

$$\left[{\omega_n}^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]{\omega_n}^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega_n}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - {\omega_n}^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega_n.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - {\omega_n}^2\right)\right]^2 = 0$$

(rumus 2.42)

Dengan mengabaikan nilai redaman (D) maka akan didapat nilai sehingga $\Delta(\ ^2)$:

$$\Delta(\omega^2) = \left\{\left[\omega^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]\omega^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - \omega^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - \omega^2\right)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

(rumus 2.43)

2.9 Penurunan Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Secara umum, penurunan *(settlement)* pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu:

- Penurunan konsolodasi *(consolidation settlement)*, yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
- Penurunan segera *(immediate settlement)*, yang merupakan akibat dari deformasi elastik tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas. (Das, 1995)

Besarnya amplitudo penurunan tanah akibat konsolidasi primer (S_{cp}) dari tanah lempung tergantung dari kondisi sejarah tanahnya, yaitu *normally consolidated* (NC).

$$S_{cp} = \frac{C_c.H}{1+e_o} log\left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma_o}\right) \quad \text{(rumus 2.44)}$$

Keterangan :

C_c = *compression index*

H = tebal lapisan tanah *compressible* (m)

e_0 = angka pori awal (*initial void ratio*)

Δ = *sucharge load* (kN/m^2)

$'_0$ = *overburden pressure effective* (kN/m^2)

Surcharge yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\Delta = q_o . I \quad \text{(rumus 2.45)}$$

$$= \frac{q_o}{2\pi}\left[\frac{m\,n}{\sqrt{1+m^2+n^2}}\frac{1+m^2+n^2}{(1+n^2)(m^2+n^2)} + sin^{-1}\frac{m^2}{\sqrt{m^2+n^2}\sqrt{1+n^2}}\right] \quad \text{(rumus 2.46)}$$

Dimana:

$m = \frac{a}{b}$ $dan\ n = \frac{z}{b}$ $lihat\ grafik$ 2.5

$q_o = {}_t . h_{tanah}$ (rumus 2.47)

Keterangan:

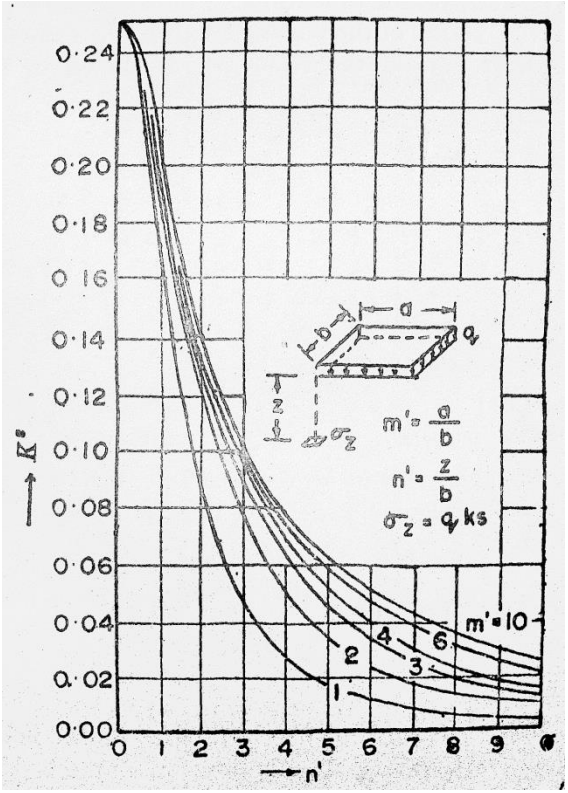
Δ = beban *surcharge* yang terjadi

I = Faktor pengaruh bentuk beban, bisa juga ditentukan dari grafik 2.5

$_t$ = berat volume tanah

h_{tanah} = tinggi timbunan

Apabila timbunan terendam air, maka digunakan harga $_{tanah}$ efektif ($'$).



Grafik 2.5 Faktor pengaruh untuk beban bentuk segiempat
*(*sumber *: Soil Mechanics and Foundation, After Steinbrenner, 1936)*

Waktu atau lamanya penurunan tanah (t) dapat diperoleh dari perumusan sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^{\,2}}{C_v} \qquad \text{(rumus 2.48)}$$

Keterangan :

T_v = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi "U" (tabel 2.10)

Untuk U > 60%, T=1,781-0,933 log (100-U%) (rumus 2.49)

C_v = koefisien konsolidasi vertical (cm^2/sec atau m^2/sec)

H_{dr} = ½ H →*Double drainage*

H_{dr} = H →*Single drainage*

H = Tebal lapisan tanah di lapangan yang memampat

Tabel 2.10 Variasi factor waktu (T) terhadap derajat konsolidasi (U)

Derajat konsolidasi (U%)	Faktor waktu (T)
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	Tak terhingga

2.10 Daya Dukung Pondasi

2.10.1 Pondasi Dangkal

Diantara banyak ahli, Terzaghi lebih terkenal dalam menganalisa kapasitas daya dukung pondasi dangkal. Menurut Terzaghi, besarnya daya dukung ultimate pondasi dangkal segi empat sebagai berikut:

$$q_u = \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right) C\,Nc + \Upsilon\,D\,Nq + \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\Upsilon\frac{B}{2}N_\Upsilon$$

(rumus 2.50)

$$q_{ijin} = \frac{q_u}{SF=3} \qquad \text{(rumus 2.51)}$$

Keterangan :

q_u = Daya dukung ultimate (ton/m^2)
q_{ijin} = Daya dukung ijin (ton/m^2)
C = Cohesi (ton/m^2)
B = Lebar (m)
L = Panjang (m)
Nc, Nq, NΥ = Faktor daya dukung

2.10.2 Pondasi Dalam

Daya dukung yang diberikan oleh pondasi dalam berasal dari *friction* dan *end bearing. Friction* adalah gaya gesek yang terjadi antara tiang dengan tanah. Nilai *friction* terbesar adalah jika terjadi gesekan antara tiang dan tanah lempung. Sedangkan *end bearing* adalah kekuatan tanah dibawah pondasi yang mampu menahan beban. *End bearing* terbesar terjadi apabila pondasi tiang diletakkan pada tanah pasir. Kombinasi dari kedua gaya tersebutlah yang menetukan kekuatan dari satu tiang. Jika tiang tersebut digunakan dalam kelompok maka kekuatan satu tiang harus direduksi dikarenakan tanah yang berada diantara tiang tidak mampu memberikan gaya gesek.

Daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan rumus Luciano Decourt,1982:

$$\mathbf{Q_{ult} = Q_e + Q_f} \qquad \text{(rumus 2.52)}$$

$Q_e = q_p \cdot A_p$
$= \overline{N}_p \cdot K \cdot A_p$

$Q_f = q_s \cdot A_s$
$= \left(\frac{\overline{N}_s}{3} + 1\right). A_s$

Keterangan :
Q_e = Daya dukung pada dasar tiang (ton)
Q_f = Daya dukung pada selimut tiang (ton)
k = Koefisien karateristik tanah
12 t/m^2 : tanah lempung
20 t/m^2 : tanah lanau berlempung
25 t/m^2 : tanah lanau berpasir
40 t/m^2 : tanah pasir
A_p = Luas dasar tiang (m^2)
$\overline{N}_p$ = Harga rata-rata SPT sekitar 4D di atas hingga di bawah
$= \sum_1^N N_i/n$
A_s = Luas selimut tiang (m^2)
$\overline{N}_s$ = Nilai N rata-rata sepanjang tiang tertanam

2.11 Parameter Dinamis Pondasi Dalam

Pondasi dalam yang digunakan berupa pondasi pancang. Untuk itu pengaruh gaya dinamis yang dikeluarkan mesin harus disesuaikan dengan jenis pondasi sehingga didapat perhitungan nilai konstanta pegas dan redaman seperti berikut :

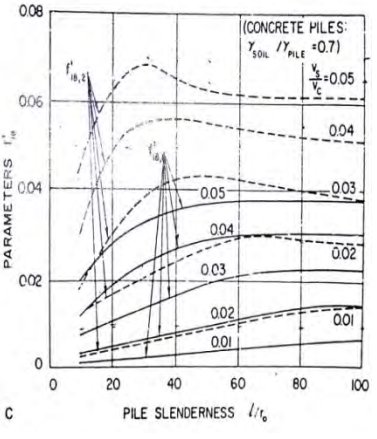
a) Vertikal

$$k_z{}^1 = \frac{E_p.A}{r_o} f_{18,1} \qquad \text{(rumus 2.53)}$$

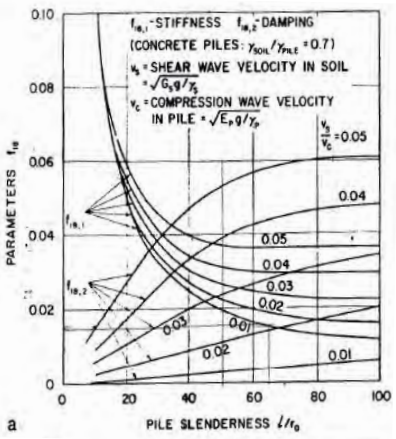
Keterangan :
E_p = 4700√fc' (Mpa)
A = $1/4\pi.d^2$ (m^2)
r_o = jari-jari tiang (m)
$f_{18,1}$, $f_{18,2}$ = grafik 2.6

Berdasarkan nilai v_s/v_c ; $v_s = \sqrt{G_s . g / \gamma_s}$; $v_c = \sqrt{E_p . g / \gamma_p}$;

$\gamma_s / \gamma_p = 0{,}7$ (rumus 2.54)



Grafik 2.6a Parameter f_{18} *relaxed tip concrete pile*



Grafik 2.6b Parameter f_{18} *fixed tip concrete pile*

Sumber : Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979

$c_z{}^1 = \frac{E_p . A}{vs} f_{18,2}$ (rumus 2.55)

$D_z{}^1 = \frac{c_z{}^1}{2\sqrt{k_z{}^1 mc}}$ (rumus 2.56)

$k_z{}^g = \frac{\sum_1^N k_z{}^1}{\sum_1^N \alpha_A}$ (rumus 2.57)

$c_z{}^g = \frac{\sum_1^N c_z{}^1}{\sum_1^N \alpha_A}$ (rumus 2.58)

$c_z total = c_z{}^g + c_z{}^f$ (rumus 2.59)

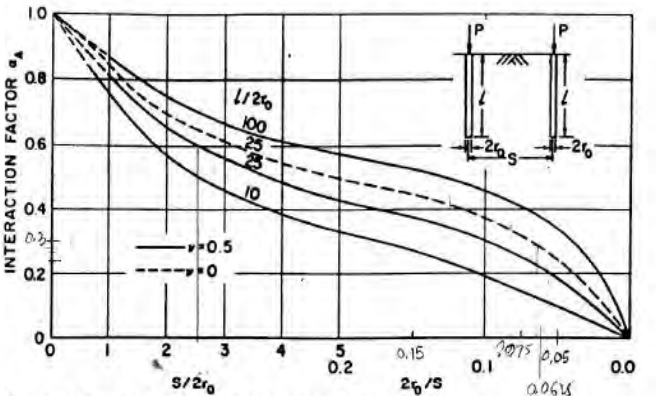
$k_z total = k_z{}^g + k_z{}^f$ (rumus 2.60)

Keterangan :

m_c = Massa total mesin dan pondasi (ton dt^2/m)

$_a$ = grafik 2.7

Berdasarkan nilai $l/2r_o$; $2r_o/S$



Grafik 2.7 *Interaction factor* α_A

Sumber : Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979

$k_z{}^f = G_s h \overline{S_1}$ (rumus 2.61)

$c_z{}^f = h\, r_o \sqrt{G_s \frac{s}{g}} \overline{S_2}$ (rumus 2.62)

$D_z{}^g = \frac{c_z total}{2\sqrt{k_z total.mc}}$ (rumus 2.63)

Keterangan :

r_o = Koefisien penanaman *pile cap* (m)

h = Tebal penanaman *pile cap* (m)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

G_s = Modulus geser tanah

$_s$ = Berat jenis tanah (kN/m^3)

$\overline{S_1}, \overline{S_2}$ = tabel 2.8 ; v = 0,4 (*poison ratio*)

Tabel 2.11 *Frequency independent constants for embedded pile cap with side resistance*

v	$\overline{S_1}$	$\overline{S_2}$	$\overline{S_{U1}}$	$\overline{S_{U2}}$	$\overline{S_{\varphi 1}}$	$\overline{S_{\varphi 2}}$
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

Sumber : Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979

b) Horizontal

$$k_x{}^1 = \frac{E_p.I}{{r_o}^3} f_{11,1} \qquad \text{(rumus 2.64)}$$

$$c_x{}^1 = \left(\frac{E_p.I}{{r_o}^2 v_s}\right) f_{11,2} \qquad \text{(rumus 2.65)}$$

Keterangan :

E_p = 4700√fc' (Mpa)

I_p = Inersia (cm^4)

r_o = Diameter tiang (m)

$f_{11,1}$, $f_{11,2}$ = tabel 2.12

Tabel 2.12 *Value of* $f_{11,1}$, $f_{11,2}$ $f_{7,1}$, $f_{7,2}$ $f_{9,1}$, $f_{9,2}$ *for* l/r_o >25

v	vs/vc	f11,1	f11,2	f7,1	f7,2	f9,1	f9,2
0,4	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
	0,05	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

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

$$k_x{}^g = \frac{\sum_1^N k_x{}^1}{\sum_1^N \alpha_l} \quad \text{(rumus 2.66)}$$

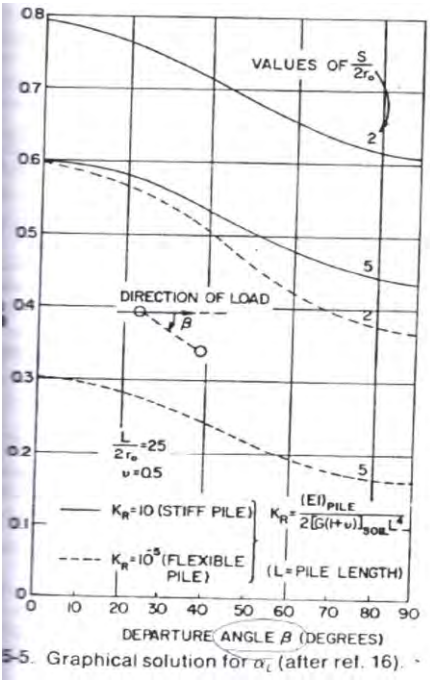
$$c_x{}^g = \frac{\sum_1^N c_x{}^1}{\sum_1^N \alpha_l} \quad \text{(rumus 2.67)}$$

$$c_x total = c_z{}^g + c_z{}^f \quad \text{(rumus 2.68)}$$

$$k_x total = k_x{}^g + k_x{}^f \quad \text{(rumus 2.69)}$$

Keterangan :

L = grafik 2.8



5-5. Graphical solution for α_L (after ref. 16).

Grafik 2.8 α_L

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

$$k_x{}^f = G_s h \overline{S_{u1}} \quad \text{(rumus 2.70)}$$

$$c_x{}^f = h\, r_o \sqrt{G_s \tfrac{s}{g} \overline{S_{u2}}} \quad \text{(rumus 2.71)}$$

$$D_x{}^g = \frac{c_x total}{2\sqrt{k_x total.mc}} \quad \text{(rumus 2.72)}$$

Keterangan :
$\overline{S_{u1}}, \overline{S_{u2}}$= tabel 2.11 ; v = 0,4 (*poison ratio*)

c) *Rocking*

$$k_\varphi{}^1 = \frac{E_p.I}{r_o} f_{7,1} \quad \text{(rumus 2.73)}$$

$$c_\varphi{}^1 = \left(\frac{E_p.I}{v_s}\right) f_{7,2} \quad \text{(rumus 2.74)}$$

$$k_{x\varphi}{}^1 = \frac{E_p.I}{{r_o}^2} f_{9,1} \quad \text{(rumus 2.75)}$$

$$c_{x\varphi}{}^1 = \left(\frac{E_p.I}{r_o v_s}\right) f_{9,2} \quad \text{(rumus 2.76)}$$

Keterangan :
$f_{7,1}$, $f_{7,2}$, $f_{9,1}$, $f_{9,2}$ = tabel 2.12

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

$$k_\varphi{}^f = G_s r_o h^2 \overline{S_{\varphi 1}} + G_s {r_o}^2 h \left[\left(\frac{\delta^2}{3}\right) + \left(\frac{z_c}{r_o}\right)^2 - \delta\left(\frac{z_c}{r_o}\right)\right] \overline{S_{u1}}$$

$$c_\varphi{}^g = \sum_1^N \left[c_\varphi^1 + c_z^1 x_r^2 + c_x^1 z_c^2 - 2 z_c c_{x\varphi}^1\right] + c_\varphi^f$$

$$c_\varphi^f = \delta r_o^4 \sqrt{G_s \gamma_s / g} \left\{\overline{S_{\varphi 2}} + \left[\left(\delta^2/3\right) + \left(z_c/r_o\right)^2 - \delta\left(z_c/r_o\right)\right] \overline{S_{u2}}\right\}$$

$$D_\varphi^f = \frac{c_\varphi^f}{2\sqrt{c_\varphi{}^g mc}}$$

Keterangan :

Δ = Tebal penanaman *pile cap* dibagi koefisien penanaman *pile cap* (h/r_o)

z_c = Jarak pangkal tiang hingga pusat titik berat pondasi dan mesin

x_r = jarak tiang dan garis sumbu

$\overline{S_{\varphi 1}}, \overline{S_{\varphi 2}}$ = tabel 2.11 ; v = 0,4 (*poison ratio*)

2.12 Kontrol Desain Pondasi Mesin

Tujuan utama dalam merencanakan pondasi mesin adalah membatasi amplitudo sehingga tidak akan membahayakan mesin yang bekerja di atasnya dan tidak mengganggu orang yang ada di sekitar mesin tersebut. Selain mengontrol amplitudo, berikut ini merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan pondasi mesin:

1. Daya dukung statis harus ≤ 50% $\bar{\sigma}$.
2. Daya dukung statis + dinamis ≤ 50% $\bar{\sigma}$.
3. Untuk penurunan statis, agar penurunan merata titik berat mesin direncanakan berimpit dengan titik berat pondasi, dengan toleransi < 5% dimensi.
4. Untuk penurunan statis+dinamis, agar penurunan merata titik berat mesin direncanakan berimpit dengan titik berat pondasi, dengan toleransi < 0,5% dimensi.
5. Pembesaran dinamis untuk vertikal < 1,5.
6. Frekuensi resonansi harus < 0,8 atau > 1,2 dari frekuensi mesin.
7. Amplitudo vertikal dikontrol dengan grafik 2.10 dengan ketentuan setidaknya memenuhi kategori *"Easily Noticeable to Person"*.
8. Berdasarkan nilai amplitudo akan didapat nilai *velocity* dengan rumus :

   $v = 2\pi \, . f \, . A$ (inc/det) (rumus 2.82)

   Nilai *velocity* dikontrol dengan menggunakan tabel 2.15 dengan ketentuan keadaan mesin setidaknya memenuhi kategori *"Very Good"*. Untuk *velocity vertical* dikontrol

dengan menggunakan grafik 2.11 dengan ketentuan keadaan mesin setidaknya memenuhi kategori "*Barely noticeable to persons"*.

9. Amplitudo horizontal dikontrol dengan grafik 2.9 dengan ketentuan setidaknya memenuhi kategori *"Minor Foults"*.
10. Getaran horizontal dan vertical dikontrol dengan nilai K rumus Dieckmann dengan ketentuan setidaknya memenuhi kategori *"Affected but Still Possible"* pada tabel 2.14

Tabel 2.13 Nilai K Dieckmann

X vibration	**Nilai Kx**	**Z vibration**	**Nilai Kz**
<2 Hz	K = 0,002 A f^2	<5 Hz	K = 0,001 A f^2
2-25 Hz	K= 0,004 A f	5-40 Hz	K= 0,005 A f
> 25 Hz	K = 0,1 A	>40 Hz	K = 0,2 A

Amplitudo dalam microns dan frekuensi dalam Hz

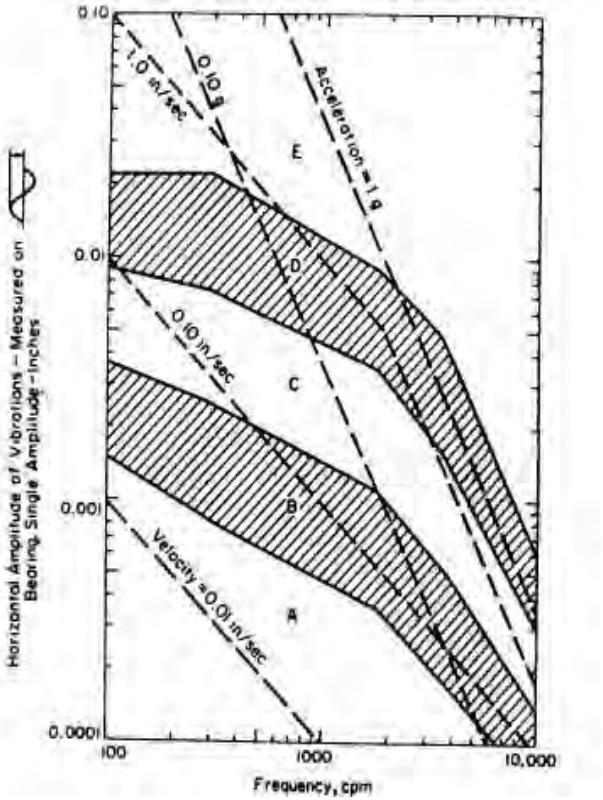
Tabel 2.14 Kategori nilai K untuk horizontal

Nilai K	**Effect on work**
0,1	Not Affected
0,1-0,3	Not Affected
0,3-1,0	Still Not Affected
1-3	Affected but Possible Considerably
3-10	Affected but Still Possible
10-30	Barely Possible
30-100	Imposible

Tabel 2.15 *General machinery vibration*

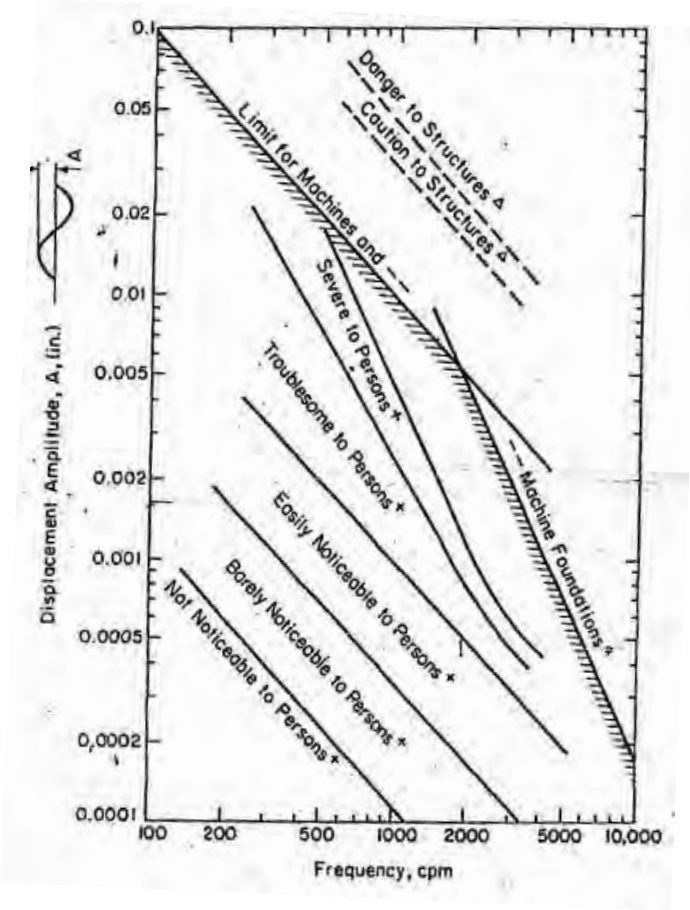
Horizontal Peak Velocity(in/sec)	**Machinery Operation**
< 0,005	Extremely smooth
0,005-0,01	Very smooth
0,01-0,02	Smooth
0,02-0,04	Very good
0,04-0,08	Good
0,08-0,160	Fair
0,160-0,315	Slightly rough
0,315-0,630	Rough
> 0,630	Very rough

Sumber : Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979



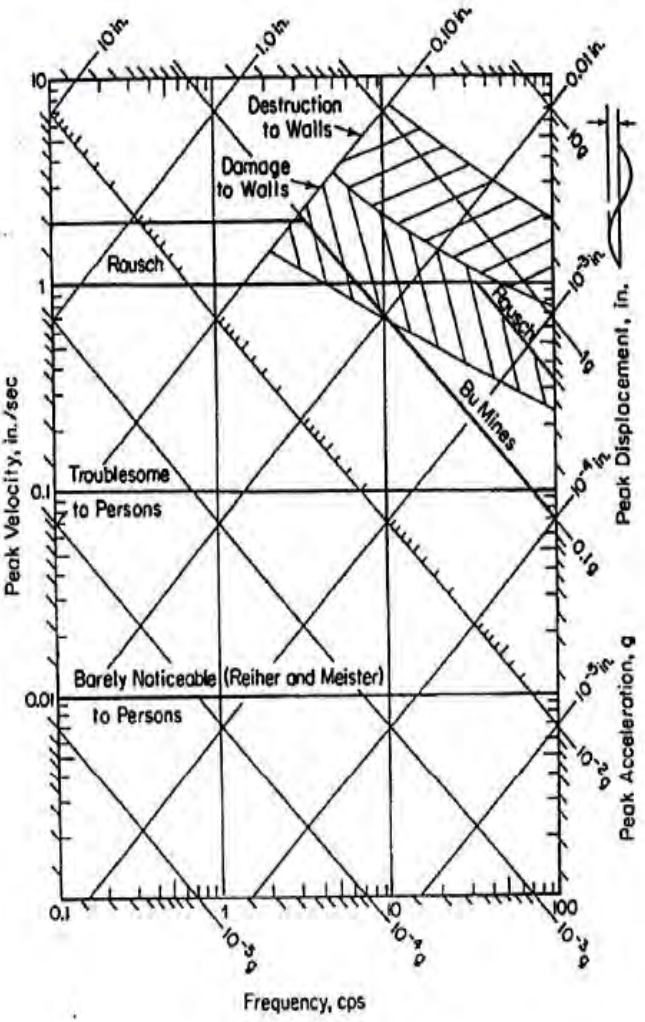
Grafik 2.9 Hubungan antara frekuensi dan getaran yang dihasilkan
Sumber *: Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979*

Kategori:
A = No Foults
B = Minor foults
C = Foulty
D = Failure is near
E = Dangerous



Grafik 2.10 Hubungan antara frekuensi mesin dan getaran yang dirasakan manusia

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



Grafik 2.11 Hubungan antara *Velocity* dan frekuensi mesin
Sumber : Design of Structures and Fondations for Vibrating Machines, Suresh C. Arya,1979

2.13 Analisa Biaya

Untuk menganalisis biaya suatu proyek dilakukan suatu analisis dengan dasar menghitung harga satuan bangunan. Analisis harga satuan berdasarkan pada perhitungan biaya yang diperlukan untuk 1 unit pekerjaan

Contoh format analisa biaya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.16 Format analisa biaya

No	Uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga satuan	Biaya
	....	....	....	Rp	Rp ....
	....	....	....	Rp	Rp ....
	...	....	....	Rp	Rp ....
			Subtotal	Rp	Rp ....

"Halaman ini sengaja di kosongkan"

BAB III
METODOLOGI

3.1 Identifikasi Permasalahan

Pengambilan judul tugas akhir ini berawal dari identifikasi permasalahan yang telah dibahas pada BAB I.

3.2 Studi Literatur

Buku acuan yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Sidharta, Ananta Sigit. 2013. "Buku Ajar Pondasi Beban Dinamis". Jurusan Teknik Sipil ITS.
b. Arya, Suresh C., Michael W. O'Neil, & George Pincus. 1979. *Design of Structures and Fondations for Vibrating Machine.* Texas. Gult Publishing Company.
c. Untung, Djoko.2010. Rekayasa Pondasi Tiang. Jurusan Teknik Sipil ITS.
d. Untung, Djoko. 2011. Rekayasa Pondasi Dangkal. Jurusan Teknik Sipil ITS.
e. Irsyam, Masyur. 2004. "Catatan Kuliah Pondasi Dinamis". Departemen teknik Sipil ITB.
f. Sanglerat, Guy, Gilbert Olivari, & Bernard Cambou. 1989. "Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi". Jakarta. Erlangga. Terjemahan oleh Ir. V. F. X. Kristanto, M.Eng.
g. Bowles, Joseph E. 1993. "*Foundation Analysis and Design", fifth Edition.* Jakarta. Erlangga. Terjemahan oleh Pantur Silaban.
h. Nakazawa, Kazuto. 2000. "*Soil Mechanics And Foundation Engineering".* Jakarta. Pertja. Terjemahan oleh Taulu.

3.3 Pengumpulan Data

Untuk perencanaan pondasi *Compressor* ini menggunakan data sekunder. Data tanah yang digunakan merupakan hasil dari tes CPT untuk mengetahui jenis tanah yang telah dilakukan oleh

PT PJB UP Gresik, Jawa Timur. Dan data gambar yang digunakan adalah gambar rencana pembangunan gambar mesin.

Data spesifikasi yang digunakan ialah data yang menyebutkan mengenai gaya yang ditimbulkan, berat dan dimensi serta letak gaya yang dihasilkan mesin *Compressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14*. Data tersebut didapat dari PT PJB UP Gresik, Jawa Timur.

3.4 Pembebanan

Beban yang bekerja pada pondasi adalah:

1. Beban mati
   Beban mati adalah berat sendiri dari struktur pondasi dan mesin *Compressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14*.
2. Beban dinamis
   Beban dinamis adalah beban yang ditimbulkan oleh mesin *Compressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14* saat bekerja.

3.5 Perencanaan Pondasi Mesin

Tugas akhir ini dilakukan untuk merencanakan pondasi untuk 16 unit mesin *Compressor* dengan 3 alternatif kelompok mesin, yaitu:

1. Satu kelompok pondasi terdiri dari satu mesin.
2. Satu kelompok pondasi terdiri dari dua mesin.
3. Satu kelompok pondasi terdiri dari empat mesin.

Dimana masing-masing kelompok pondasi mesin berupa pondasi tiang ukuran 20 cm x 20 cm dan mesin diasumsikan bekerja secara serentak.

3.6 Kontrol Desain Pondasi Mesin

Tujuan utama dalam merencanakan pondasi mesin adalah membatasi amplitude sehingga tidak akan membahayakan mesin yang bekerja di atasnya dan tidak mengganggu orang yang ada di sekitar mesin tersebut. Selain mengontrol amplitudo, daya dukung pondasi juga harus dikontrol seperti yang sudah dibahas di BAB II.

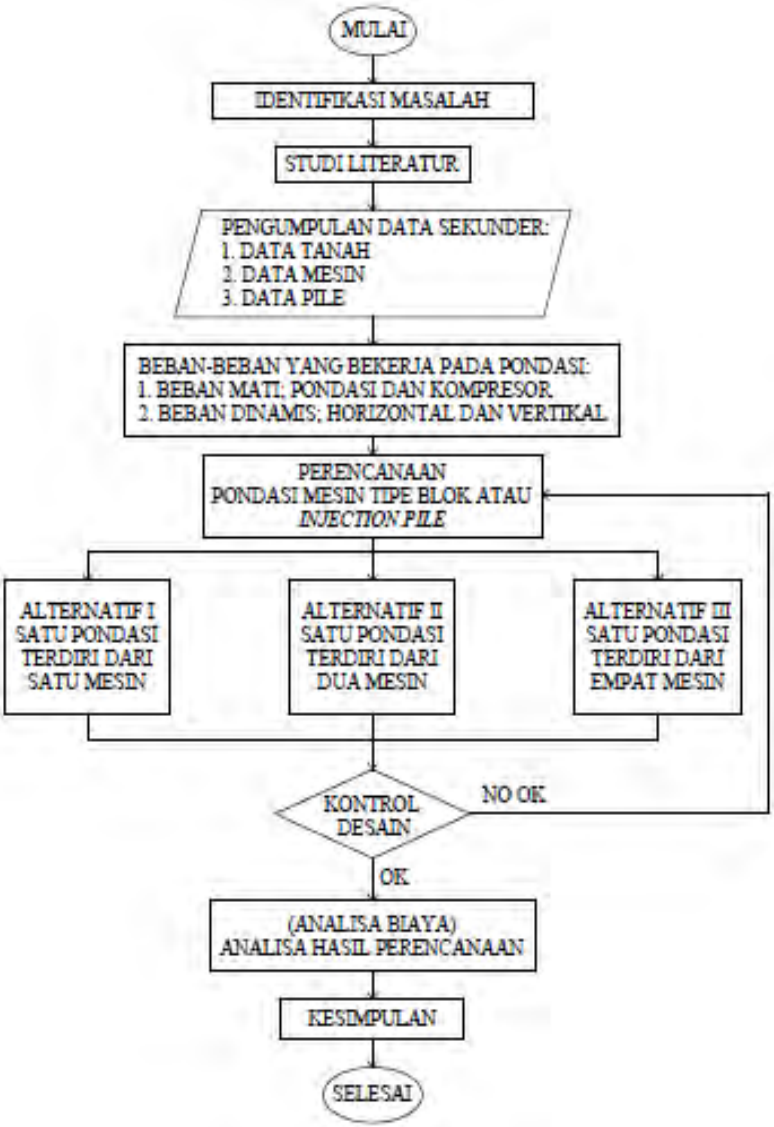
3.7 Analisa Hasil Perencanaan (Analisa Biaya)

Rencana anggaran biaya merupakan perhitungan anggaran biaya yang diperlukan untuk pekerjaan pondasi, baik pekerjaan pondasi blok maupun tiang pancang.

3.8 Kesimpulan

Berisi kesimpulan dan saran dari pembahasan perencanaan pondasi dinamis, serta menentukan alternatif pondasi yang dipakai dari segi kualitas dan ekonomi.

3.9 Diagram Alir Metodologi



BAB IV
ANALISA

4.1 Perhitungan Pembebanan

Berdasarkan data *Compressor Type Galileo MX4 400-4-1500-14* diperoleh data-data sebagai berikut:

Kecepatan *compressor* = 1500 rpm
f = 50 cps
Berat alat = 12 ton

Pondasi direncanakan di bangun di atas tanah dengan luas area 9,5 m x 80 m. Jumlah mesin *Compressor* yang akan di pasang adalah 16 unit, dengan luas dasar 1 mesin:

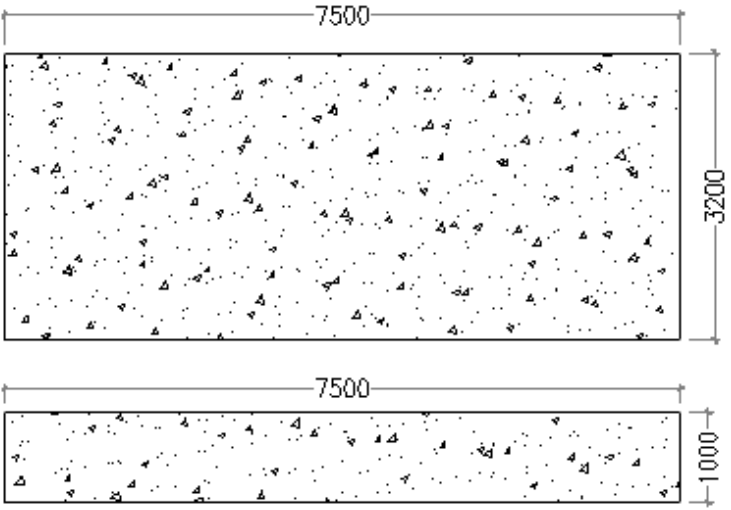
Panjang = 6,946 m
Lebar = 2,612 m

a. Direncanakan pondasi untuk 1 mesin, maka dimensi rencana mesin:

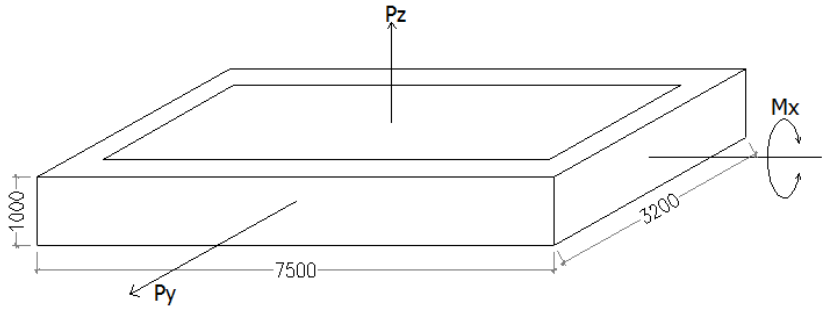
Panjang = 7,5 m Tebal = 1 m
Lebar = 3,2 m Tebal tertanam = 0,6 m

Beban mati akibat pondasi dan mesin:

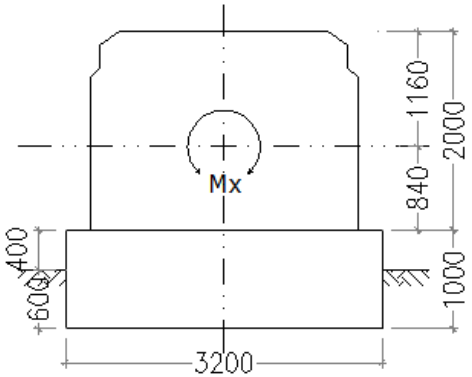
W pile cap = volume pondasi .bj beton
= (7,5 x 3,2 x 1) x 2,4
= 57,60 ton
Wtotal = Wpondasi + Wmesin
= 57,60+ 12,0
= 69,60 ton
mtotal = Wtotal / gravitasi
= 69,60/ 9,81
= 7,095 ton dt2/m



Gambar 4.1 Sketsa pondasi untuk kelompok 1 mesin



Gambar 4.2 Letak gaya untuk pondasi kelompok 1 mesin



Gambar 4.3 Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 1 mesin

Beban hidup untuk 1 mesin merupakan beban yang terjadi berdasarkan getaran yang dihasilkan oleh berat rotor mesin sebesar 2,4 ton adalah.

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

Dimana : $\omega = 2 . \pi .f$

$= 2 .\pi . 50$

$= 314,159$ rad/dt

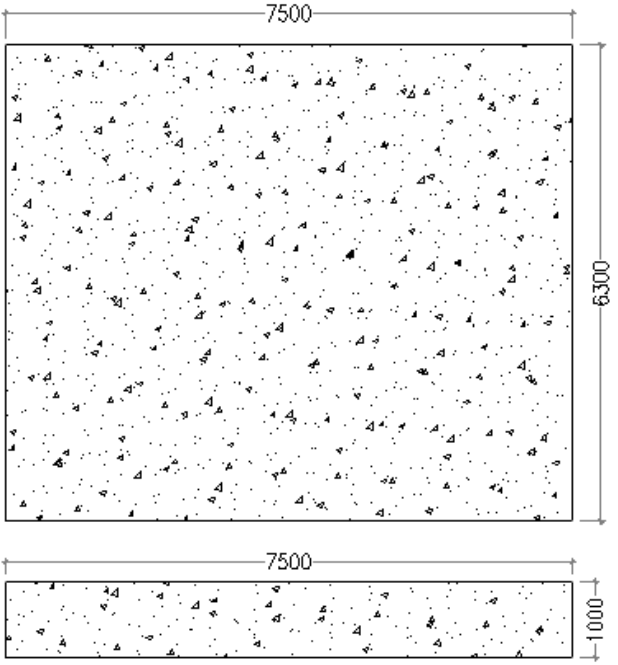
e = 0,001 in = 0,0000254

$Q_o = (2,4/9,81) \times 0,0000254 \times 314,159^2$

$= 0,613$ ton

b. Direncanakan pondasi untuk 2 mesin, maka dimensi rencana mesin:

Panjang	= 7,5 m	Tebal	= 1 m
Lebar	= 6,3 m	Tebal tertanam	= 0,6 m



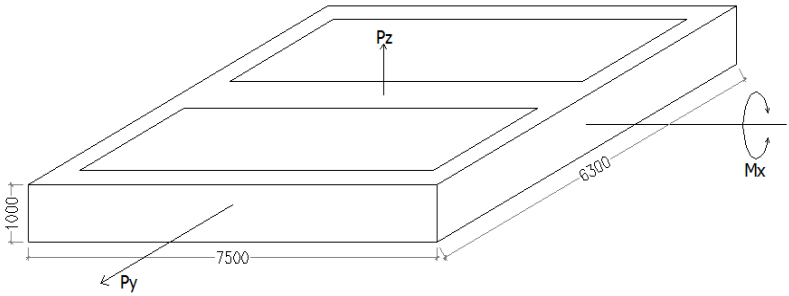
Gambar 4.4 Sketsa pondasi untuk kelompok 2 mesin

Beban mati akibat pondasi dan mesin:

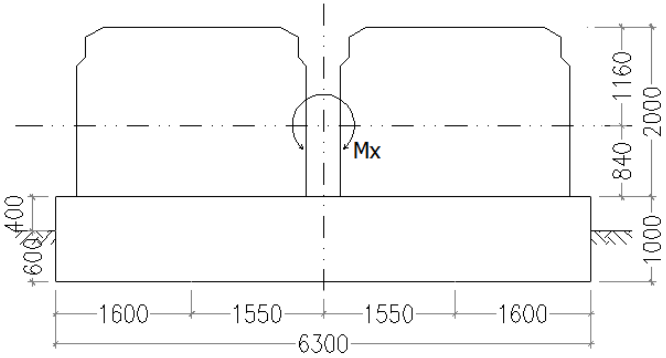
W *pile cap* = volume pondasi .bj beton
= (7,5 x 6,3 x 1) x 2,4
= 113,40 ton

W_{total} = $W_{pondasi}$ + W_{mesin}
= 113,40+ 2 . 12,0
= 137,4ton

m_{total} = W_{total} / gravitasi
= 137,4/ 9,81
= 14,006ton dt^2/m



Gambar 4.5 Letak gaya untuk pondasi kelompok 2 mesin



Gambar 4.6 Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 2 mesin

Beban hidup untuk 2 mesin merupakan beban yang terjadi berdasarkan getaran yang dihasilkan oleh berat rotor mesin sebesar 4,8 ton adalah.

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

Dimana : $\omega = 2 . \pi .f$

$= 2 .\pi . 50$

$= 314,159$ rad/dt

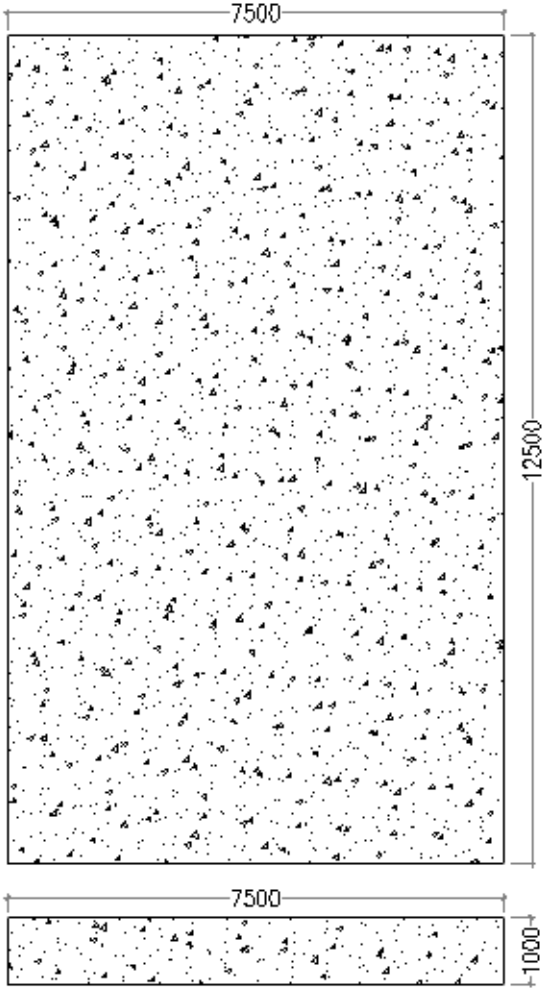
$e = 0,001$ in $= 0,0000254$ m

$Q_o = (4,8/9,81) \times 0,0000254 \times 314,159^2$

$= 1,227$ ton

c. Direncanakan pondasi untuk 4 mesin, maka dimensi rencana mesin:

Panjang	= 7,5 m	Tebal	= 1 m
Lebar	= 12,5 m	Tebal tertanam	= 0,6 m



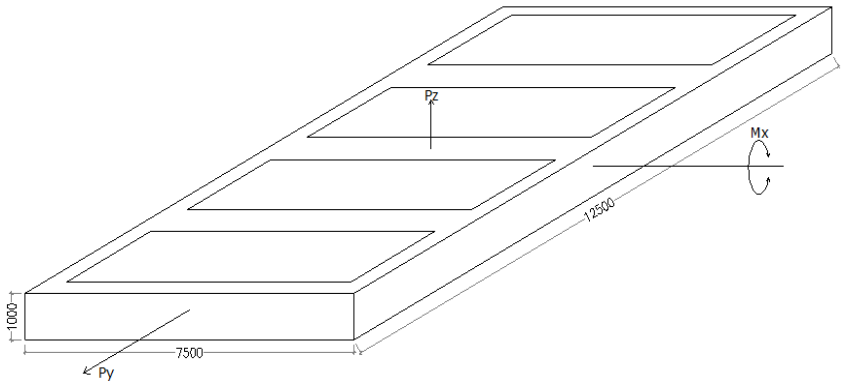
Gambar 4.7 Sketsa pondasi untuk kelompok 4 mesin

Beban mati akibat pondasi dan mesin:

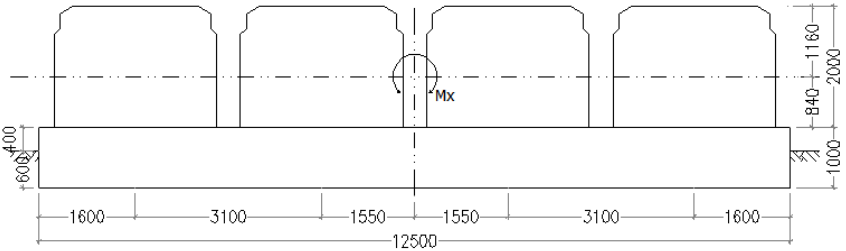
W *pile cap* = volume pondasi .bj beton
= (12,5 x 7,5 x 1) x 2,4
= 112,50 ton

W_{total} = $W_{pondasi}$ + W_{mesin}
= 225,00 + 4 . 12,0
= 273,00ton

m_{total} = W_{total} / gravitasi
= 273,00/ 9,81
= 27,829 ton dt^2/m



Gambar 4.8 Letak gaya untuk pondasi kelompok 4 mesin



Gambar 4.9 Letak gaya arah melintang untuk pondasi kelompok 4 mesin

Beban hidup untuk 4 mesin merupakan beban yang terjadi berdasarkan getaran yang dihasilkan oleh berat rotor mesin sebesar 9,6 ton adalah.

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

Dimana : $\omega = 2 . \pi .f$

$= 2 .\pi . 50$

$= 314,159$ rad/dt

$e = 0,001$ in $= 0,0000254$ m

$Q_o = (9,6/9,81)$ x0,0000254 x $314,159^2$

$= 2,453$ton

Perhitungan Mass Momen Inersia (M_{mo})

a. Pondasi untuk 1 mesin

Pondasi direncanakan satu poros dengan mesin *compressor*. Dimensi pondasi yang direncanakan adalah panjang 7,5 m dan lebar 3,2 m. Tebal bagian pondasi yang tertanam dalam tanah adalah 60 cm dan rotor terpasang pada ketinggian 84 cm dari permukaan pondasi (titik pusat mesin).

Luas dasar pondasi adalah:

$A = 7,5$ x $3,2 = 24,0$ m^2

Perhitungan Mass Momen Inersia (M_{mo}):

$m_{pondasi} = w/g = 57,6 / 9,81 = 5,872$ ton dt^2/m

$m_{mesin} = w/g = 12,0 / 9,81 = 1,223$ ton dt^2/m

$m_{total} = 5,872 + 1,223 = 7,095$ ton dt^2/m

M_{mo} pondasi sesuai rumus 2.25:

$$M_{mo} = \frac{1}{12} . m . (a^2 + b^2) + mx^2$$

$$M_{mo} = \frac{1}{12} . 5,872 . (3,2^2 + 1^2) + 5,872 . (0,5 . 1)^2$$

$$= 6,968 \text{ ton m dt2}$$

M_{mo} mesin:

$M_{mo} = mx^2$

$M_{mo} = 1{,}223 \,.\, (0{,}84 + 1)^2 = 4{,}141$ ton m dt2

Maka M_{mo} total:

$M_{mo} = 6{,}968 + 4{,}141 = 11{,}109$ ton m dt2

Letak titik berat mesin dan alat sesuai rumus 2.26:

$$L = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{5{,}872.\,0{,}5\,.\;1 + 1{,}223\,.\,(0{,}84 + 1)}{7{,}095} = 0{,}731 \text{ m}$$

Maka sesuai rumus 2.37 :

$M_m = 11{,}109 - (7{,}095.\,0{,}731^2) = 7{,}318$ ton m dt2

b. Pondasi untuk 2 mesin

Dimensi pondasi yang direncanakan adalah panjang 7,5 m dan lebar 6,3 m. Tebal bagian pondasi yang tertanam dalam tanah adalah 60 cm dan rotor terpasang pada ketinggian 84 cm dari permukaan pondasi (titik pusat mesin).

Luas dasar pondasi adalah:

A = 7,5 x 6,3 = 47,25 m^2

Perhitungan Mass Momen Inersia (M_{mo}):

$m_{pondasi}$ = w/g = 113,40/ 9,81 = 11,56 ton dt^2/m

m_{mesin} = w/g = (2 . 12,0) / 9,81 = 2,446 ton dt^2/m

m_{total} = 11,56 + 2,446 = 14,006ton dt^2/m

M_{mo} pondasi sesuai rumus 2.25:

$$M_{mo} = \frac{1}{12} \,.\, m\,(a^2 + b^2) + mx^2$$

$$M_{mo} = \frac{1}{12} \,.\, 11{,}56\,.\,(6{,}3^2 + 1^2) + 11{,}56\;.\,(0{,}5\,.\,1)^2$$

$= 42{,}087$ ton m dt2

M_{mo} mesin:
$M_{mo} = mx^2$
$M_{mo} = 2{,}446 \,.\, (0{,}84 + 1)^2 = 8{,}283$ ton m dt2

Maka M_{mo} total:
$M_{mo} = 42{,}087 + 8{,}283 = 50{,}37$ ton m dt2

Letak titik berat mesin dan alat sesuai rumus 2.26:

$$L = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{11{,}56.\,0{,}5\,.\ 1 + 2{,}446\,.\,(0{,}84 + 1)}{14{,}006} = 0{,}734 \text{ m}$$

Maka sesuai rumus 2.37 :
$Mm = 50{,}37 - (14{,}006\ .\,0{,}734^2) = 42{,}822$ ton m dt2

c. Pondasi untuk 4 mesin

Dimensi pondasi yang direncanakan adalah panjang 7,5 m dan lebar 12,5 m. Tebal bagian pondasi yang tertanam dalam tanah adalah 60 cm dan rotor terpasang pada ketinggian 84 cm dari permukaan pondasi (titik pusat mesin).
Luas dasar pondasi adalah:
A = 7,5 x 12,5 = 93,75 m^2

Perhitungan Mass Momen Inersia (M_{mo}):
$m_{pondasi}$ = w/g = 225,00/ 9,81 = 22,936 ton dt^2/m
m_{mesin} = w/g = (4 .12,0) / 9,81 = 4,893 ton dt^2/m
m_{total} = 22,936 + 4,893 = 27,829 ton dt^2/m

M_{mo} pondasi sesuai rumus 2.25:

$$M_{mo} = \frac{1}{12}\,.\,m\,.\,(a^2 + b^2) + mx^2$$

$$M_{mo} = \frac{1}{12}\,.22{,}936\,.\,(12{,}5^2 + 1^2) + 11{,}468\,.\,(0{,}5\,.\,1)^2$$

$= 306{,}288$ ton m dt2

M_{mo} mesin:
$M_{mo} = mx^2$
$M_{mo} = 4{,}893 \,.\, (0{,}84 + 1)^2 = 16{,}566$ ton m dt2

Maka M_{mo} total:
$M_{mo} = 306{,}288 + 16{,}566 = 322{,}854$ ton m dt2

Letak titik berat mesin dan alat sesuai rumus 2.26:
$$L = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{22{,}936 \,.\, 0{,}5 \,.\, 1 + 4{,}893 \,.\, (0{,}84 + 1)}{27{,}829} = 0{,}736 \text{ m}$$

Maka sesuai rumus 2.37 :
$Mm = 322{,}854 - (27{,}829 \,.\, 0{,}736^2) = 307{,}795$ ton m dt2

4.2 Daya Dukung Statis Tiang

Direncanakan tiang bor sebagai berikut :
Dimensi tiang = 20x20 cm
Panjang tiang = 10 m
A_{tiang} = 0,04m^2 = 40.000 mm^2

Perhitungan daya dukung berdasakan rumus Luciano Decourt 1982 (rumus 2.52).
Np = 13
K = 35 t/m^2 (tanah lempung berlanau berpasir)
$Q_e = 13 \,.\, 35 \,.\, 0{,}04 = 18{,}20$ ton

$\overline{N_s} = 7{,}167$
$A_s = 2.(B + L).p = 2.(0{,}20 + 0{,}20).10 = 8{,}0 \text{ m}^2$
$$Q_f = \left(\frac{7{,}167}{3} + 1\right) .8{,}0 = 27{,}111 \text{ ton}$$

Q_{ult} = 18,20+ 27,111 = 45,311 ton

Q_{ijin} tiang:

$$Q_{ijin} = \frac{45{,}311}{3} = 15{,}104 \text{ ton}$$

Kekuatan tiang yang digunakan 50%, Q_{ijin} tiang:

$$Q_{ijin} = 50\%.15{,}104 = 7{,}552 \text{ ton}$$

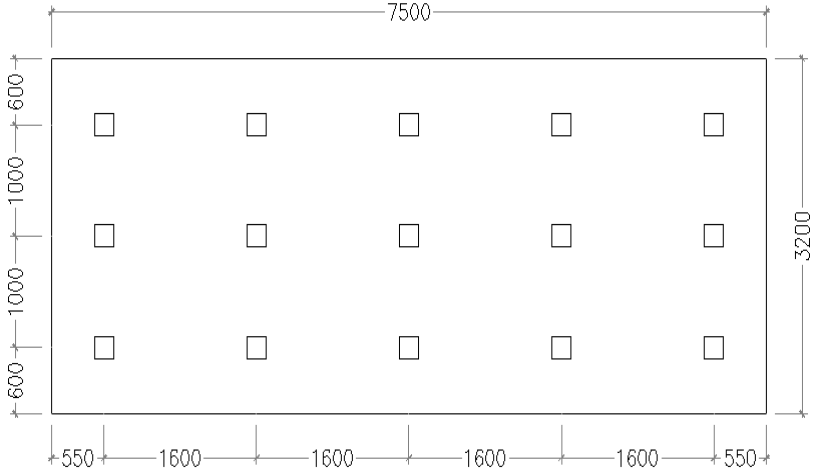
Sehingga jumlah tiang yang digunakan:

- Untuk pondasi 1 mesin:

Dengan beban mati total (Wtotal) = 69,6 ton, dan Q_{ijin}tiang= 7,552 ton, maka jumlah pondasi adalah:

$$n = \frac{69{,}6}{7{,}552} = 9{,}216 \text{ tiang}$$

Dengan pertimbangan statis dan dinamis, dipakai jumlah tiang sebanyak 15 tiang.



Gambar 4.10 Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 1 mesin

Untuk mengetahui kekuatan satu tiang pancang dalam sebuah kelompok tiang pancang, harus dilakukan perhitungan efisiensi sebagai berikut :

$$Ef = \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + n^2 . P_{ut}^2}}$$

Keterangan :

P_{ub} : Kekuatan kelompok tiang

P_{ut} : Kekuatan satu tiang

n : Jumlah tiang

$P_{ub} = Q_e + Q_f$

$Q_e = q_p . A_p$

$= \overline{N}_p . K . A_p$

Keterangan :

$\overline{N}_p$ = Nilai rata-rata N sepanjang 4D di atas dan di bawah ujung tiang, D = 2,2 m (sisi terpendek dari jumlah jarak tiang pondasi).

$\overline{N}_p$ = (3+2+5+8+12+14+16+17+17+18)/10 = 11,2

K = 35 ton/m^2(tanah lempung berlanau berpasir)

A_p = [(1,0 . 2)+0,2] . [(1,6 . 4) +0,2] = 14,5 m^2

Q_e = 11,2 . 30 .14,5 = 5.691,840 ton

$Q_f = q_s . A_s$

$= \left(\frac{\overline{N}_s}{3} + 1\right). A_s$

Keterangan :

$\overline{N}_s$: Nilai rata-rata N sepanjang tiang.

$\overline{N_s} = 7{,}167$

A_s = Luas selimut pondasi kelompok

A_s = [2 .(1,0 . 2+4 .1,6 +2.0,2).10]= 156,0 m^2

$$Q_f = \left(\frac{7{,}167}{3} + 1\right). 156{,}0 = 528{,}667 \text{ ton}$$

P_{ub} = 5.691,840 + 528,667 = 6.220,507 ton

P_{ut} = 45,311 ton

$$Ef = \sqrt{\frac{6.220{,}507^2}{6.220{,}507^2 + 15^2 \,.\, 45{,}311^2}} = 0{,}994$$

Maka Q_{ijin} untuk satu tiang = 0,994. 7,552 = 7,507 ton.

Beban yang diterima oleh tiang sebesar :

$$P_{maks} = \frac{v}{n} + \frac{M \,.\, d}{\sum d^2}$$

Keterangan :

V : Beban vertikal sebesar 12 ton

n : Jumlah tiang sebanyak 15 tiang

M : Momen yang diterima

Mx = Wmesin. L_1 = 12 . 0.09 = 1,08 tonm

My = Wmesin. L_2 = 12 . 0,463 = 5,556 tonm

D :Jarak antar pondasi, arah melintang 1,0 m dan arah memanjang1,6 m

$$P_{maks} = \frac{69{,}6}{15} + \frac{5{,}556 \,.\, (2 \,.\, 1{,}6)}{6 \,.\, ((2 \,.\, 1{,}6)^2 + 1{,}6^2)} + \frac{1{,}08 \;.\, (1{,}0)}{10 \,.1{,}0^2} = 4{,}98 \; ton$$

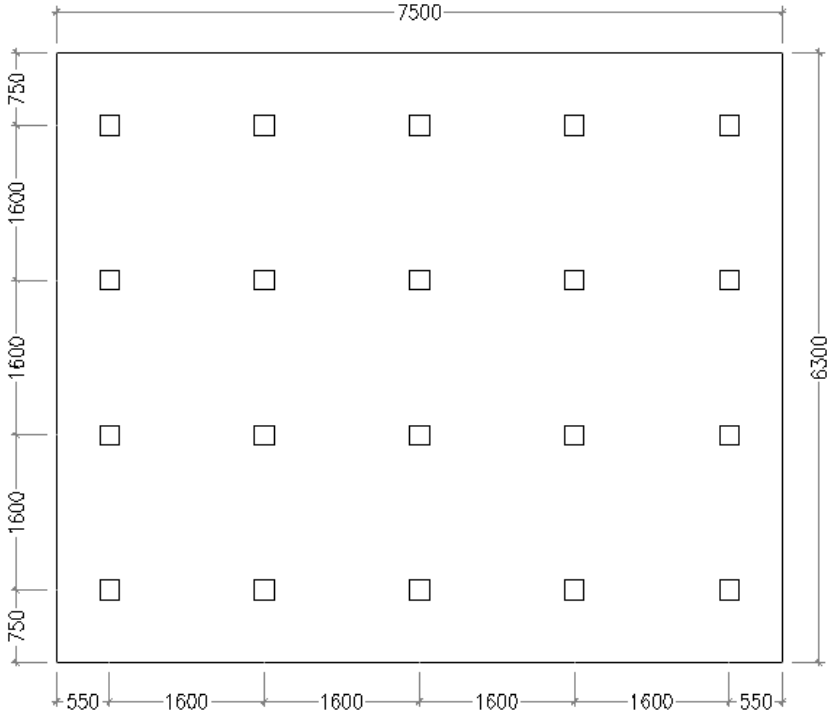
P_{maks}= 4,98 ton < Q_{ijin} = 7,507 ton maka pondasi mampu menahan beban statis yang terjadi.

- Untuk pondasi 2 mesin:

Dengan beban mati total (Wtotal) = 137,4 ton, dan Q_{ijin}tiang= 7,552 ton, maka jumlah pondasi adalah:

$$n = \frac{137,4}{7,552} = 18,194 \text{ tiang}$$

Dengan pertimbangan statis dan dinamis, dipakai jumlah tiang sebanyak 20 tiang.



Gambar 4.11 Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 2 mesin

Untuk mengetahui kekuatan satu tiang pancang dalam sebuah kelompok tiang pancang, harus dilakukan perhitungan efisiensi sebagai berikut :

$$Ef = \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + n^2 \, . \, P_{ut}^2}}$$

Keterangan :
P_{ub} : Kekuatan kelompok tiang
P_{ut} : Kekuatan satu tiang
n : Jumlah tiang

$P_{ub} = Q_e + Q_f$

$Q_e = q_p \, . A_p$
$= \overline{N}_p \, . \, K \, . A_p$

Keterangan :
$\overline{N}_p$ = Nilai rata-rata N sepanjang 4D di atas dan di bawah ujung tiang, D = 5,0 m (sisi terpendek dari jumlah jarak tiang pondasi).
$\overline{N}_p$ = (3+2+5+8+12+14+16+17+17+18+18)/11 = 11,818
K = 35 ton/m^2(tanah lempung berlanau berpasir)
A_p = (3 . 1,6+0,2) . (4 . 1,6+0,2) = 33,0 m^2
Q_e = 30 .11,818 . 33,0 = 13.650,0 ton

$Q_f = q_s \, . \, A_s$
$= \left(\frac{\overline{N}_s}{3} + 1\right) . \, A_s$

Keterangan :
$\overline{N}_s$: Nilai rata-rata N sepanjang tiang.
$\overline{N_s} = 7{,}167$
A_s = Luas selimut pondasi kelompok
A_s = 2 . ((3 . 1,6+0,2)+(4 . 1,6+0,2)) . 10 = 232,0 m^2
$Q_f = \left(\frac{7{,}167}{3} + 1\right) . 232{,}0 = 786{,}222$ ton

P_{ub} = 13.650,0 + 786,222 = 14.436,222ton
P_{ut} = 45,311 ton

$$Ef = \sqrt{\frac{14.436{,}222^2}{14.436{,}222^2 + 20\,.\,45{,}311^2}} = 0{,}998$$

Maka Q_{ijin} untuk satu tiang = 0,998.7,552 = 7,537 ton.

Beban yang diterima oleh tiang sebesar :

$$P_{maks} = \frac{v}{n} + \frac{M\,.\,d}{\sum d^2}$$

Keterangan :

V : Beban vertikal sebesar 137,4 ton
n : Jumlah tiang sebanyak 20 tiang
M : Momen yang diterima
Mx = Wmesin. L_1 = -12.(1,55-0,09)+12.(1,55+0,09)
= 2,16 tonm
My = 2. Wmesin. L_2 = 2 . 12 . 0,463 = 11,112 tonm
d : Jarak antar pondasi, arah melintang 1,6 m dan arah memanjang 1,6 m

$$P_{maks} = \frac{137{,}4}{20} + \frac{2{,}16\ .(1{,}5\ .1{,}6)}{10.[(0{,}5\ .1{,}6)^2+(1{,}5\ .1{,}6)^2]} + \frac{11{,}112\ .(1{,}6\ .2)}{8\ .(1{,}6^2+(2\ .1{,}6)^2)} = 7{,}298 \text{ ton}$$

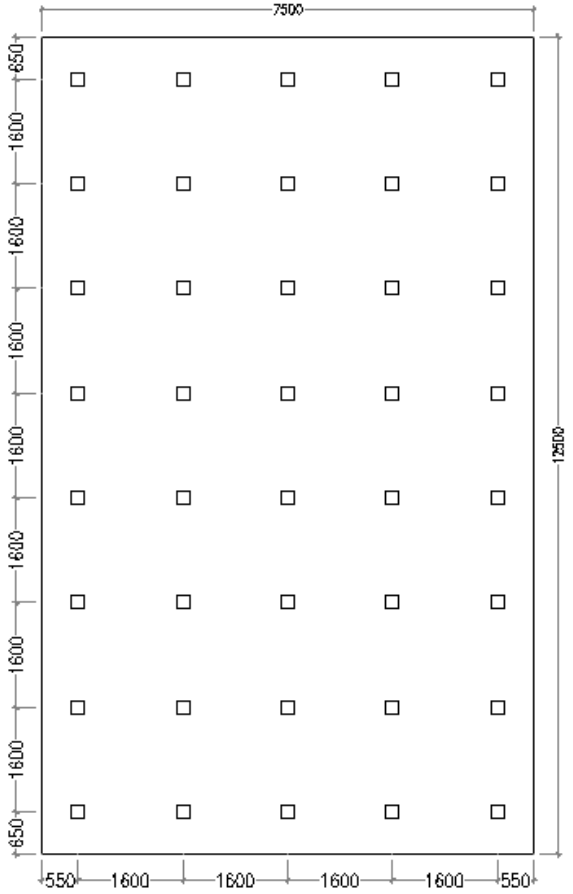
P_{maks}= 7,298 ton < Q_{ijin} = 7,537 ton maka pondasi mampu menahan beban statis yang terjadi.

- Untuk pondasi 4 mesin:

Dengan beban mati total (Wtotal) = 273,0 ton, dan Q_{ijin}tiang= 7,552 ton, maka jumlah pondasi adalah:

$$n = \frac{273,0}{7,552} = 36,15 \text{ tiang}$$

Dengan pertimbangan statis dan dinamis, dipakai jumlah tiang sebanyak 40 tiang.



Gambar 4.12 Denah tiang bor 20x20cm untuk pondasi kelompok 4 mesin

Untuk mengetahui kekuatan satu tiang pancang dalam sebuah kelompok tiang pancang, harus dilakukan perhitungan efisiensi sebagai berikut :

$$Ef = \sqrt{\frac{P_{ub}^2}{P_{ub}^2 + n \, . \, P_{ut}^2}}$$

Keterangan :

P_{ub} : Kekuatan kelompok tiang
P_{ut} : Kekuatan satu tiang
n : Jumlah tiang

$P_{ub} = Q_e + Q_f$

$Q_e = q_p \, . A_p$
$= \overline{N}_p \, . \, K \, . A_p$

Keterangan :

$\overline{N}_p$ = Nilai rata-rata N sepanjang 4D di atas dan di bawah ujung tiang, D = 6,6 m (sisi terpendek dari jumlah jarak tiang pondasi).

$\overline{N}_p$ = (3+2+5+8+12+14+16+17+17+18+19+24+25+25)/14
= 14,643

K =35 ton/m^2(tanah lempung berlanau berpasir)

A_p = (4 .1,625) . (8 .1,406) = 73,112 m^2

Q_e = 30 .14,643 . 73,112 = 37.469,900 ton

$Q_f = q_s \, . \, A_s$
$= \left(\frac{\overline{N}_s}{3} + 1\right) . \, A_s$

Keterangan :

$\overline{N}_s$: Nilai rata-rata N sepanjang tiang.

$\overline{N_s} = 7{,}167$

A_s = Luas selimut pondasi kelompok

A_s = 2 . ((4 . 1,6+0,2)+(7 .1,6+0,2)) .10 = 360,0 m^2

$$Q_f = \left(\frac{7{,}167}{3} + 1\right) . 360{,}0 = 1.220{,}0 \text{ ton}$$

P_{ub} = 37.469,900 + 1.220,0 = 38.689,900 ton

P_{ut} = 45,311 ton

$$Ef = \sqrt{\frac{38.689{,}900^{\,2}}{38.689{,}900^{\,2} + 40\,.\,45{,}311^{2}}} = 0{,}999$$

Maka Q_{ijin} untuk satu tiang = 0,999 . 7,552 = 7,544 ton.

Beban yang diterima oleh tiang sebesar :

$$P_{maks} = \frac{v}{n} + \frac{M\,.\,d}{\sum d^2}$$

Keterangan :

V : Beban vertikal sebesar 273,0 ton

n : Jumlah tiang sebanyak 40 tiang

M : Momen yang diterima

Mx = Wmesin. L_1 = -12.(1,55+3,1-0,09) -12.(1,55-0,09)+12.(1,55+0,09) +12.(1,55+3,1+0,09)

= 4,32 tonm

My = 4. Wmesin. L_2 = 4. 12 . 0,463 = 22,224 tonm

d : Jarak antar pondasi, arah melintang 1,6 m dan arah memanjang 1,6 m

$$P_{maks} = \frac{273{,}0}{40} + \frac{4{,}32\ .(3{,}5\,.\,1{,}6)}{10.[(0{,}5\,.\,1{,}6)^2 + (1{,}5\,.\,1{,}6)^2 + (2{,}5\,.\,1{,}6)^2 + (3{,}5\,.\,1{,}6)^2]}$$

$$+ \frac{22{,}224\ .(2\,.\,1{,}6)}{16\,.\,[1{,}6^2 + (2\,.\,1{,}6)^2]} = 7{,}217 \text{ ton}$$

P_{maks}= 7,217 ton < Q_{ijin} = 7,544 ton maka pondasi mampu menahan beban statis yang terjadi.

4.3 Perhitungan Modulus Geser (G) dan Gamma Tanah (ϒ)

a. Perhitungan modulus geser (G_s) untuk *pile cap*

Tanah yang digunakan dalam perhitungan ini adalah tanah pada titik DB-3 (hasil pengujian SB-2 di laboratorium). Karena keterbatasan data maka muka air tanah diasumsikan pada kedalaman -01.00 m dari permukaan tanah. Perhitungan modulus geser tanah yang digunakan sesuai dengan rumus 2.22 yang terdapat dalam Bab 2, yaitu:

$$G_{max} = 1230 \frac{(2{,}973-e)^2}{1+e} (OCR)^k (\sqrt{\sigma_o}) \quad \text{(psi)}$$

Tabel 4.1 Rekap hasil test di laboratorium

DEPTH (m)	Yd (gr/cc)	w (%)	OCR	PI	e	Ysat (gr/cc)
0.20	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
0.50	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
0.60	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
1.00	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
1.20	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
1.50	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
1.70	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
2.00	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
2.20	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
2.50	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
2.70	1.22	39	5.880	22.0	1.13	1.696
3.00	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
3.20	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
3.50	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
3.70	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
4.00	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
4.20	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
4.50	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
4.70	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726
5.00	1.26	37	2.310	26.0	1.06	1.726

Tabel 4.2 Tegangan efektif tanah

H (m)	Υ_{sat} (kN/m^3)	Υ_{air} (kN/m^3)	Υ_{tanah} (kN/m^3)	$\sigma_{vertikal}$ (kN/m^2)
0.20	16.958	-	16.958	3.392
0.50	16.958	-	16.958	8.479
0.60	16.958	-	16.958	10.175
1.00	16.958	10	6.958	12.958
1.20	16.958	10	6.958	14.350
1.50	16.958	10	6.958	16.437
1.70	16.958	10	6.958	17.829
2.00	16.958	10	6.958	19.916
2.20	16.958	10	6.958	21.308
2.50	16.958	10	6.958	23.395
2.70	16.958	10	6.958	24.787
3.00	17.262	10	7.262	26.965
3.20	17.262	10	7.262	28.418
3.50	17.262	10	7.262	30.596
3.70	17.262	10	7.262	32.049
4.00	17.262	10	7.262	34.227
4.20	17.262	10	7.262	35.680
4.50	17.262	10	7.262	37.858
4.70	17.262	10	7.262	39.311
5.00	17.262	10	7.262	41.489

Tabel 4.3 *Boussinesq chart*

H	z/r_o			$\Delta\sigma/q_o$			$\Delta\sigma$ (kN/m^2)		
(m)	1 mesin	2 mesin	4 mesin	1 mesin	2 mesin	4 mesin	1 mesin	2 mesin	4 mesin
0.2	0.072	0.052	0.037	0.490	0.490	0.490	10.479	10.517	10.537
0.5	0.181	0.129	0.092	0.470	0.480	0.480	10.051	10.303	10.322
0.6	0.217	0.155	0.110	0.460	0.470	0.470	9.837	10.088	10.107
1.0	0.362	0.258	0.183	0.440	0.460	0.460	9.410	9.873	9.892
1.2	0.434	0.309	0.220	0.420	0.450	0.460	8.982	9.659	9.892
1.5	0.543	0.387	0.275	0.410	0.440	0.460	8.768	9.444	9.892
1.7	0.615	0.438	0.311	0.390	0.420	0.450	8.340	9.015	9.677
2.0	0.723	0.516	0.366	0.370	0.410	0.440	7.913	8.800	9.462
2.2	0.796	0.567	0.403	0.350	0.400	0.430	7.485	8.585	9.247
2.5	0.904	0.644	0.458	0.340	0.390	0.420	7.271	8.371	9.031
2.7	0.977	0.696	0.494	0.320	0.370	0.410	6.843	7.942	8.816
3.0	1.085	0.773	0.549	0.300	0.350	0.400	6.416	7.512	8.601
3.2	1.157	0.825	0.586	0.290	0.340	0.390	6.202	7.298	8.386
3.5	1.266	0.902	0.641	0.270	0.330	0.390	5.774	7.083	8.386
3.7	1.338	0.954	0.677	0.260	0.320	0.370	5.560	6.868	7.956
4.0	1.447	1.031	0.732	0.250	0.310	0.360	5.346	6.654	7.741
4.2	1.519	1.083	0.769	0.240	0.300	0.350	5.133	6.439	7.526
4.5	1.628	1.160	0.824	0.230	0.290	0.340	4.919	6.224	7.311
4.7	1.700	1.212	0.860	0.210	0.280	0.330	4.491	6.010	7.096
5.0	1.809	1.289	0.915	0.200	0.270	0.320	4.277	5.795	6.881

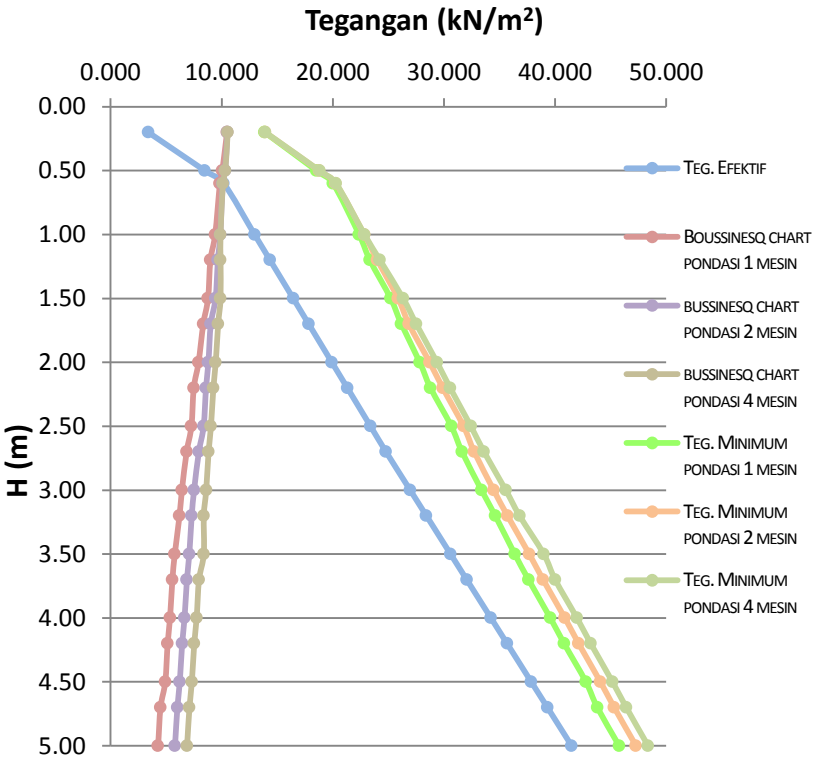
$$qo_{1\ mesin} = \frac{W \,.\, g}{A} = \frac{69{,}6 \,.\, 9{,}81}{24} = 28{,}449\ \mathrm{KN/m^2}$$

$$qo_{2\ mesin} = \frac{W \,.\, g}{A} = \frac{137{,}4 \,.\, 9{,}81}{47{,}25} = 28{,}527\ \mathrm{KN/m^2}$$

$$qo_{4\ mesin} = \frac{W \,.\, g}{A} = \frac{273{,}0 \,.\, 9{,}81}{93{,}75} = 28{,}567\ \mathrm{KN/m^2}$$

Tabel 4.4 Tegangan minimum

H	$\sigma_{vertikal}$	Δσ (kN/m^2)			σvertikal + Δσ (kN/m^2)		
(m)	(kN/m^2)	1 mesin	2 mesin	4 mesin	1 mesin	2 mesin	4 mesin
0.20	3.392	10.479	10.517	10.537	13.871	13.909	13.928
0.50	8.479	10.051	10.303	10.322	18.530	18.782	18.801
0.60	10.175	9.837	10.088	10.107	20.012	20.263	20.281
1.00	12.958	9.410	9.873	9.892	22.368	22.831	22.850
1.20	14.350	8.982	9.659	9.892	23.332	24.008	24.241
1.50	16.437	8.768	9.444	9.892	25.205	25.881	26.329
1.70	17.829	8.340	9.015	9.677	26.169	26.843	27.505
2.00	19.916	7.913	8.800	9.462	27.829	28.716	29.378
2.20	21.308	7.485	8.585	9.247	28.793	29.893	30.554
2.50	23.395	7.271	8.371	9.031	30.666	31.766	32.426
2.70	24.787	6.843	7.942	8.816	31.630	32.728	33.603
3.00	26.965	6.416	7.512	8.601	33.381	34.477	35.567
3.20	28.418	6.202	7.298	8.386	34.619	35.715	36.804
3.50	30.596	5.774	7.083	8.386	36.370	37.679	38.983
3.70	32.049	5.560	6.868	7.956	37.609	38.917	40.005
4.00	34.227	5.346	6.654	7.741	39.574	40.881	41.968
4.20	35.680	5.133	6.439	7.526	40.812	42.119	43.206
4.50	37.858	4.919	6.224	7.311	42.777	44.083	45.169
4.70	39.311	4.491	6.010	7.096	43.802	45.320	46.407
5.00	41.489	4.277	5.795	6.881	45.766	47.284	48.370



Grafik 4.1 Interaksi antara tegangan efektif, *Boussinesq chart* dan tegangan minimum.

Tegangan minimum yang terjadi merupakan penjumlahan dari tegangan efektif ditambah *boussinesq chart*, lalu diambil nilai terkecil sebagai penentuan kedalaman tanah yang akan digunakan. Pada grafik di atas dapat diketahui bahwa tegangan minimum yang terjadi berada pada kedalaman 0.6 m (di bawah pondasi).

Pada kedalaman 0,6 m:

γ_{sat} = 1,6958 gr/cm^3
= 1695,8 kg/m^3

σ_v = (γ_t . h_1)
= ((1695,8) . 0,6)
= 1.017,48 kg/m^2
= 0,1017 kg/cm^2
= 1,447 psi

Sesuai dengan data yang ada, pada kedalaman 0,4 m didapat nilai OCR sebesar 5,88. Oleh karena itu berdasaran grafik 2.3 dengan nilai IP = 22,0 dan nilai OCR = 5,88, maka nilai K_o = 1,1 sehingga sesuai rumus 2.19 dan rumus 2.20 diperoleh:

σ_h = 1,1 . 1,447 = 1,592 psi
σ_o = 0,333 (1,447 + 2 . 1,592) = 1,542 psi

Dari tabel 2.2, dengan nilai IP = 22, maka didapat nilai k dari hasil interpolasi:

$$\frac{(22-20)}{(40-20)} = \frac{(k-0{,}18)}{(0{,}30-0{,}18)}$$

k = 0,192

Maka :

$$G_{max} = 1230\frac{(2{,}973-e)^2}{1+e}(OCR)^k(\sqrt{\sigma_o}) \quad \text{(psi)}$$

$$G = 1230\frac{(2{,}973-1{,}13)^2}{1+1{,}13}(5{,}88)^{0{,}192}(\sqrt{1{,}542})$$

G = 3.422,61 psi
G = 2.406.334,264 kg/cm^2
G = 24.529,401 kN/m^2

b. Perhitungan modulus geser (G_s) untuk tiang

Tabel 4.5 Data tanah SPT di titik DB-3

KEDALAMAN (-m)	JENIS TANAH	KETERANGAN
0	Lanau berpasir	Very soft
1		
2		
3	Lempung berlanau	Soft
4	Lempung berpasir	Soft
5		
6	Lempung berlanau berpasir	Medium to stiff
7		
8		
9		
10		
11		
12	Lempung berlanau berpasir	Stiff to very stiff
13		
13,5		

KEDALAMAN (-m)	JENIS TANAH	KETERANGAN
13,5		
14	Lempung berlanau berpasir	Very stiff
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		

Berdasarkan data tanah di atas jenis tanah adalah *medium* ke *stiff*, tetapi tanah yang paling berpengaruh terhadap tiang pada kedalaman 10 m adalah jenis tanah *medium* ke *stiff*, maka dengan menggunakan tabel 2.3 diperkirakan nilai modulus geser G_s antara 5.000 psi – 20.000 psi

Diperkirakan nilai G_s = 15000 psi

= 1.054,605 kg/cm^2

= 103.456,751 kN/m^2

Sedangkan untuk nilai Υ_{sat} menggunakan tabel 2.4.

Diperkirakan nilai Υ_{sat} = 20 kN/m^3

4.4 Analisa Dinamis dengan Pondasi Tiang 20cm x 20cm

Direncanakan pondasi tiang bor sebagai berikut :

Dimensi tiang = 20x20 cm

$r_o = \sqrt{\frac{20 \,.\, 20}{\pi}} = 11.284$ cm

Panjang tiang = 10 m

Kuat tekan (fc') = 45 MPa

$E_{tiang} = 4700\sqrt{fc'} = 29.725{,}41$ Mpa

$= 29.725.410.005{,}583$ N/m^2

$= 29.725.410{,}006$ kN/m^2

$A_{tiang} = 0{,}04$ m^2 $= 40.000$ mm^2

$I_{tiang} = \frac{1}{12}BH^3 = \frac{1}{12}200 \,.\, 200^3 = 133.333.333{,}3$ mm^4

γ_{sat} (10 m) = 20 kN/m^3

$\gamma_{soil} / \gamma_{tiang} = 0{,}7$

$\gamma_{tiang} = \frac{20}{0{,}7} = 28{,}5714$ kN/m^3

4.4.1 Analisa Kelompok Pondasi 1 Mesin

4.4.1.1 Vertikal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

$$v_c = \sqrt{\frac{29.725{,}41 \,.10^3 \,.9{,}81}{28{,}5714}} = 3.194{,}717 \text{ m/dt}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{103.456{,}751 \,.\, 9{,}81}{20}} = 225{,}268 \text{ m/dt}$$

$\upsilon_s/\upsilon_s = 0{,}071$

$\upsilon = 0{,}4$

$l/r_o = 10$ m$/0{,}113$m $= 88{,}263$

Berdasarkan grafik 2.6b, didapat:

$f_{18,1} = 0{,}055$

$f_{18,2} = 0{,}090$

Sesuai rumus 2.53:

$$k_z{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58 \,.\, 0{,}04)}{0{,}113} . 0{,}055 = 579.556.091{,}776 \text{ N/m}$$

$= 579.556{,}092$ kN/m

Sesuai rumus 2.55:

$$c_z{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005,58 \;.\; 0,04}{225,268}\right).0,090 = \text{ 475.041,369 N dt/m}$$

$$= \text{ 475,041 kN dt/m}$$

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:
Berdasarkan grafik 2.7, dengan nilai $l/2r_o$ = 44,3dan nilai $2r_o/S$ dan $S/2r_o$ masing-masing tiang diperoleh nilai α_A = 5,86

Sesuai rumus 2.57:

$$k_z{}^g = \frac{15 \;.\; 579.556,092}{5,86} = \text{ 1.483.505,354KN/m}$$

Sesuai rumus 2.58:

$$c_z{}^g = \frac{15 \;.\; 475,041}{5,86} = \text{ 1.215,97620 } kNdt/m$$

Data *pile cap* :
h = 0,6 m
r_o = 2,764 m
Gs = 24.529,401kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 7,095 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison υ = 0,4, maka;
$\overline{S_1}$ = 2,7
$\overline{S_2}$ = 6,7

Sesuai rumus 2.61:

$$k_z{}^f = 24.529,401 \,.\, 0,6 \,.\, 2,7 = 39.737,630 \text{ kN/m}$$

Sesuai rumus 2.62:

$$c_z{}^f = 0,6 \,.\, 2,764 \,.\, \sqrt{24.529,401 \; \frac{16,958}{9,81}}\, 6,7 = 2.287,984 \; kNdt/m$$

Maka sesuai rumus 2.59:

$$c_z{}^{total} = 1.215,97620 + 2.287,984 = \text{ 3.503,960 kN dt/m}$$

Sesuai rumus 2.59:
$k_z{}^{total}$ = 1.483.505,354 + 39.737,630 =1.523.242,984 kN/m

Sesuai rumus 2.63:

$$D_z{}^{g} = \frac{3.503{,}960}{2\sqrt{1.523.242{,}984 \,.\, 7{,}095 \,.\, 9{,}81}} = 0{,}170$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1.523.242{,}984}{7{,}095 \;.9{,}81}} = 23{,}545 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:

$$f_{res} = 23{,}545 \;.\sqrt{1 - 2\,.\;0{,}170^2} = 22{,}853 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{22{,}853}{50} = \; 0{,}457 < 0{,}8 \;\; ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{23{,}545} = 2{,}124$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}170 \;\; .2{,}124)^2}}{\sqrt{(1 - 2{,}124^2)^2 + (2\,.\,0{,}170 \;\; .2{,}124)^2}} = \; 0{,}344$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
F_t = 0,344 . 0,613= 0,211 ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1-2{,}124^2)^2+(2\,.0{,}170 \;\; .2{,}124)^2}} = 0{,}279 \; < 1{,}5 \ldots \text{OK}$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A_z = 0{,}279 \, . \, \frac{0{,}613 \, . \, 9{,}81}{1.523.242{,}984}$$

$$= 0.000001102 \text{ m} = 0.000043398 \text{ in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin}= 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2 . A
   $K = 0{,}2 \, . \, 0.000001102 \, . 10^6 = 0{,}22$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Barely Noticeable to Person*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50 . 0,000043398 = 0,014 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

4.4.1.2 Horizontal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt
υ_s = 225,268 m/dt
υ_s/υ_s = 0,071
υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12 didapat:

$f_{11,1}$ = 0,0614 (interpolasi)
$f_{11,2}$ = 0,1459 (interpolasi)

Sesuai rumus 2.64:

$$k_x{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^3}.0{,}0614$$
$$= 169.502.468{,}02\text{N/m} = 169.502{,}468\ \text{kN/m}$$

Sesuai rumus 2.65:

$$c_x{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333}{0{,}113^2.\ 225{,}268}\right).0{,}1459$$
$$= 201.598{,}81\ \text{N dt/m} = 201{,}599\ \text{kN dt/m}$$

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:

Berdasarkan grafik 2.8, dengan nilai K_R = 5,8.10^6dan nilai β masing-masing tiang diperoleh nilai α_L = 4,24

Sesuai rumus 2.66:

$$k_x{}^g = \frac{15\ .169.502{,}468}{4{,}24} = 599.654{,}958\ \text{kN/m}$$

Sesuai rumus 2.67:

$$c_x{}^g = \frac{15\ .\ 201{,}599}{4{,}24} = 713{,}203\ \text{kNdet/m}$$

Data *pile cap* :

h = 0,6 m
r_o = 2,764 m
Gs = 24.529,401 kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 7,095 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;
$\overline{S_{u1}}$ = 4,1
$\overline{S_{u2}}$ = 10,6

Sesuai rumus 2.70:
$k_x{}^f = 24.529{,}401\ .0{,}6\ .4{,}1 = 60{,}342.327$ kN/m

Sesuai rumus 2.71:
$c_x{}^f = 0{,}6\ .\ 2{,}764\ \sqrt{24.529{,}401\ \frac{16{,}958}{9{,}81}}\ 10{,}6 = 3.619{,}796\ kNdt/m$

Maka sesuai rumus 2.68:
$c_x{}^{total} = 713{,}203 + 3.619{,}796$ = 4.332,999 kN dt/m

Sesuai rumus 2.69:
$k_x{}^{total} = 599.654{,}958\ + 60{,}342.327$ = 659.997,285 kN/m

Sesuai rumus 2.72:
$$D_x{}^g = \frac{4.332{,}999}{2\sqrt{659.997{,}285\ .\ 7{,}095\ .\ 9{,}81}} = \ 0{,}320$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{659.997{,}285}{7{,}095\ .9{,}81}} = 15{,}498 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:
$$f_{res} = 15{,}498\ .\sqrt{1 - 2\ .\ 0{,}320^{\,2}} = 13{,}824 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps
$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{13{,}824}{50} = \ 0{,}276\ < 0{,}8\ \ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{15{,}498} = 3{,}226$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}320\ .\,3{,}226)^2}}{\sqrt{(1 - 3{,}226^2)^2 + (2\,.\,0{,}320\ .\,3{,}226)^2}} = 0{,}238$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :

$F_t = 0{,}238\,.0{,}613 = 0{,}146$ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$\mathrm{M} = \frac{1}{\sqrt{(1 - 3{,}226^2)^2 + (2\,.0{,}320\ .\,3{,}226)^2}} = 0{,}104$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$\mathrm{A}_x = 0{,}104\,.\ \frac{0{,}613\ .\,9{,}81}{659.997{,}285}$$

$$= 0.000000946\ \mathrm{m} = 0.000037263\ \text{in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1 . A
   $\mathrm{K} = 0{,}1\,.\,0.000000946\,.\,10^6 = 0{,}095$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori "*No Foults*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50.0.000037263 = 0,012in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah "*Smooth"*

4.4.1.3 *Rocking*

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt

υ_s = 225,268 m/dt

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12, maka;

$f_{7,1}$ = 0,554(hasil interpolasi).

$f_{7,2}$ = 0,387 (hasil interpolasi).

Sesuai rumus 2.73:

$$k_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113}.\ 0{,}554 = 9.444.578{,}176 \text{ Nm}$$

$$= 19.444{,}578 \text{ kNm}$$

Sesuai rumus 2.74:

$$c_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{225{,}268}.\ 0{,}387 = 6.805{,}752 \text{ Nmdet}$$

$$= 6{,}806 \text{ kNmdet}$$

Menghitung $k_\varphi{}^g$,$c_\varphi{}^g$, $k_{x\varphi}{}^1$ dan $c_{x\varphi}{}^1$:

Berdasarkan tabel 2.12, maka nilai;

$f_{9,1}$ = -0.137 (hasil interpolasi).

$f_{9,2}$ = -0.199 (hasil interpolasi).

Sesuai rumus 2.75:

$$k_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^2}.\ (-0.137)$$

$$= 42.581.864{,}281 \text{ N} = -42.581{,}864 \text{ kN}$$

Sesuai rumus 2.76:

$$c_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113\ .\ 225{,}268}.\ (-0.199)$$

$$= -30.972{,}763 \text{ Ndet} = 30{,}973 \text{ kNdet}$$

Data *pile cap* :

h = 0,6 m

r_o = 2,26 m

Gs = 24.529,401 kN/m^2

Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3

m_c = 7,095 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;

$\overline{S_{\varphi 1}}$ = 2,5

$S_{\varphi 2}$ = 1,8

$\overline{S_{u1}}$ = 4,1

$\overline{S_{u2}}$ = 10,6

Xr = 1m

Zc = 0,731 m

$\delta = \frac{h}{r_o} = 0{,}266$

Sesuai rumus 2.78:

$$k_\varphi{}^f = (24.529{,}401.2{,}260\,.\,0{,}6^2.2{,}5) + (24.529{,}401.2{,}260^2.0{,}6)\left[\left({}^{0{,}266^2}/_{3}\right) + \left({}^{0{,}731}/_{2{,}260}\right)^2 - \left(0{,}266\left({}^{0{,}731}/_{2{,}260}\right)\right)\right]4{,}1$$

$$= 62.908{,}554 \text{ KNm}$$

Sesuai rumus 2.80:

$$c_\varphi{}^f = (0{,}266\,.2{,}260^4)\left(\sqrt{{}^{(24.529{,}401\,\,.\,\,16{,}958)}/_{9{,}81}}\right)\left[1{,}8 + \left\{\left({}^{(0{,}266)^2}/_{3}\right) + \left({}^{0{,}731}/_{2{,}260}\right)^2 - \left(0{,}266\left({}^{0{,}731}/_{2{,}260}\right)\right)\right\}10{,}6\right]$$

$$= \quad 3.204{,}882 \quad \text{KNmdet}$$

Maka sesuai rumus 2.77:

$$k_\varphi^g = 15.\left[\begin{matrix} 19.444{,}578 \;+\; 579.556{,}092\,.1^2 \\ +\,169.502{,}468\,.0{,}731^2 \;-\; 2\,.0{,}731\,.(-42.581{,}864) \end{matrix}\right] + 62.908{,}554$$

$$= 11.340.543{,}744 \text{ KNm}$$

Dan sesuai rumus 2.79:

$$c_{\varphi}^{g} = 15.\begin{bmatrix} 6{,}806 + 475{,}041\ .1^2 + 201{,}599\ .0{,}731^2 \\ -2\ .0{,}731\ .(-30.973) \end{bmatrix}$$
$$+3.204{,}882$$
$$= 12.727{,}904 \text{ KNmdet}$$

Sesuai rumus 2.81:

$$D_{\varphi}^{g} = \frac{12.727{,}904}{2\sqrt{11.340.543{,}744\ .69{,}6}} = 0{,}227$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{11.340.543{,}744}{69{,}6}} = 64{,}244 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:

$$f_{res} = 64{,}244\ .\sqrt{1 - 2.\ 0{,}227^2} = 60{,}858 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:

f_{mesin}=50 cps

$$\frac{\mathrm{f_{res}}}{\mathrm{f_{mesin}}} = \frac{60{,}858}{50} = 1.217 > 1{,}2\ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{64{,}244} = 0{,}778$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\ .0{,}227\ .0{,}778)^2}}{\sqrt{(1 - 0{,}778^2)^2 + (2\ .0{,}227\ .0{,}778)^2}} = 2{,}005$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :

$F_t = 2{,}005\ .\ 0{,}613 = 1{,}229$ ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0{,}778^2)^2 + (2\,.\,0{,}227\,.0{,}778)^2}} = 1{,}891$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A = 1{,}891\ \frac{1{,}128\,.\,9{,}81}{11.340.543{,}744} = \ 0.00000185\ \text{rad}$$

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :

$A_{\varphi z}$ = (3,2/2) .0.00000185
= 0,0000029529 m

A_z = 0.00011625 in

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2 . A
   $K = 0{,}2\,.\,0.0000029529\,.\,10^6 = \ 0{,}591$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Still Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Easily noticeable to person"*
4. *Velocity* V = 2 .π .50 .0.00011625 = 0,037 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

4.4.1.4 *Kopel Rocking* dan *Horizontal*

Sesuai rumus 2.42:

$$\left[{\omega_n}^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]{\omega_n}^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 +$$
$$4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega_n}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - {\omega_n}^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega_n.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - {\omega_n}^2\right)\right]^2 = 0$$

Dengan mengabaikan nilai redaman (D), maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2 \pm \sqrt{\left({\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2\right)^2 - 4r\left(\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}\right)^2}}{2r}$$

Dimana nilai r sesuai rumus 4.21:

$$r = \frac{Mm}{Mmo} = \frac{7{,}317}{11{,}109} = 0{,}659$$

$\omega_{nx} = 2\pi.f_{nx} = 2\pi.15{,}498$

$\omega_{nx} = 97{,}379$ rad/dt

$\omega_{n\varphi} = 2\pi.f_{n\varphi} = 2\pi.64.244$

$\omega_{n\varphi} = 403{,}657$ rad/dt

Maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{97{,}379^2 + 403{,}657^2 \pm \sqrt{(97{,}379^2 + 403{,}657^2)^2 - 4\ .\ 0{,}659.(97{,}379\ .403{,}657)^2}}{2\ .0{,}659}$$

$(\omega_{n1})^2 = 252.470{,}998$

$(\omega_{n2})^2 = 9.290{,}969$

$\omega_{n1} = 502{,}465$rad/dt

$\omega_{n2} = 96{,}390$rad/dt

Maka nilai $\Delta(\omega^2)$ sesuai rumus 2.43:

$$\Delta(\omega^2) = \left\{\begin{array}{l}\left[\omega^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2 + {\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]\omega^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 \\ +4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - \omega^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - \omega^2\right)\right]^2\end{array}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\omega_{mesin} = 2\pi f = 2\pi\ .50 = 314{,}159$ rad/dt

$$\Delta(\omega^2) =$$

$$\left\{\left[314{,}159^{\ 4} - \left[\frac{97{,}379^{\ 2}+403{,}657^{\ 2}}{0{,}659} - \frac{4.0.320\ .0.227\ .97{,}379.403{,}657}{0{,}659}\right]314{,}159^{\ 2} + \frac{97{,}379^2 403{,}657^{\ 2}}{0{,}659}\right]^2 + 4\left[\frac{0.320\ .97{,}379.314{,}159}{0{,}659}(403{,}657^{\ 2} - 314{,}159^2) + \frac{0.227\ .314{,}159\ .403{,}657}{0{,}659}(97{,}379^2 - 314{,}159^{\ 2})\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta(\omega^2) = 13.398.462.778{,}369$$

Maka:
Sesuai rumus 2.36:

$$A_{x1} = \frac{0{,}613}{7{,}095.7{,}317}\ \text{x}$$

$$\frac{\left\{\left(-7{,}317\ .314{,}159^2 + 1.156.018{,}730 + 67.278{,}011\ .0.731^2\right)^2 + 4\ .314{,}159\ .\left(0.227\sqrt{67.278{,}011\ .4{,}946} + 0.731^2\ .0.320\ \sqrt{67.278{,}011\ .7{,}095}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}}{13.398.462.778{,}369}$$

$$\text{A}_{\text{x1}} = 0{,}00000041\ m$$
$$\text{A}_{\text{x1}} = 0{,}00001631\ \text{inc}$$

Sesuai rumus 2.37:

$$A_{x2} = \frac{1{,}128\ .0.731}{7{,}317}\frac{\left[\left(97{,}379^2\right)^2 + (2\ .\ 0.320\ .97{,}379.\ 314{,}159\ )^2\right]^{1/2}}{13.398.462.778{,}369}$$

$$\text{A}_{\text{x2}} = 0{,}00000018\ m$$
$$\text{A}_{\text{x2}} = 0{,}00000720\ \text{inc}$$

Sesuai rumus 2.38:

$$A_{\varphi 1} = \frac{0{,}613\ .0.731}{7{,}317}\frac{(97{,}379)\left((97{,}379)^2 + 4\ .\ 0.320\ .314{,}159^{\ 2}\right)^{1/2}}{13.398.462.778{,}369}$$

$$\text{A}_{\varphi 1} = 0{,}00000016\ \text{rad}$$

Sesuai rumus 2.39:

$$A_{\varphi 2} = \frac{1{,}128}{7{,}317}\ \frac{\left[\left((97{,}379)^2 - 314{,}159^{\ 2}\right)^2 + (2\ .0.320\ \ .97{,}379.314{,}159\ )^2\right]^{1/2}}{13.398.462.778{,}369}$$

$A_{\varphi 2} = 0{,}00000105$ rad

Jadi nilai amplitudo total sesuai rumus 4.34 dan 4.35:
$A_x = 0.00001631 + 0.00000720 = 0{,}00002351$ inchi
$A_\varphi = 0.00000016 + 0.00000105 = 0{,}00000122$ rad

Amplitudo *rocking* menambah besarnya ampiltudo yang terjadi pada arah vertikal.

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :
$A_{\varphi z} = (3{,}2/2) \,.\, 0{,}00000122$
$= 0{,}00000194$ m $= 0{,}00007655$ in
$A_z = 0{,}000043398 + 0{,}00007655 = 0.00011995$ inc

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai $f_{mesin} = 50$ cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2.A
   $K = 0{,}2 \,.\, 0.00011995. \, (2{,}54/100) \,.\, 10\text{^}6 = 0{,}61$
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Still Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori *"Easily noticeable to person"*
4. Velocity $V = 2 \,.\pi\, .50 \,.0.00011995 = 0{,}038$ in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*

Amplitudo horizontal
A_x = 0.00000060 m = 0,00002351inc

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1.A
   K = 0,1 . 0.00000060 . 10^6 = 0,060
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori *"No foults*"
4. Velocity V = 2 .π .50.0,00002351 = 0,00739 in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah *"Very Smooth"*

4.4.2 Analisa Kelompok Pondasi 2 Mesin

4.4.2.1 Vertikal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

$$v_c = \sqrt{\frac{29.725{,}41 \,.10^3 \,.9{,}81}{28{,}5714}} = 3.194{,}717 \text{ m/dt}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{103.456{,}751 \,.\, 9{,}81}{20}} = 225{,}268 \text{ m/dt}$$

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

l/r_o = 10 m/0,113m = 88,623

Berdasarkan grafik 2.6b, didapat:

$f_{18,1}$ = 0,055

$f_{18,2}$ = 0,090

Sesuai rumus 2.53:

$$k_z{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58 \;.\; 0{,}04)}{0{,}113} . 0{,}055$$

$$= 579.556.091{,}776 \text{ N/m} = 579.556{,}092 \text{ kN/m}$$

Sesuai rumus 2.55:

$$c_z{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005{,}58 \;.\; 0{,}04}{225{,}268}\right) . 0{,}090$$

$$= 475.041{,}369 \text{ N dt/m} = 475{,}041 \text{ kN dt/m}$$

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:

Berdasarkan grafik 2.7, dengan nilai $l/2r_o$ = 44,3dan nilai $2r_o/S$ dan $S/2r_o$ masing-masing tiang diperoleh nilai α_A = 7,18

Sesuai rumus 2.57:

$$k_z{}^g = \frac{20 \,.\, 579.556{,}092}{7{,}18} = 1.614.362{,}373 \text{ KN/m}$$

Sesuai rumus 2.58:

$$c_z{}^g = \frac{20 \,.\, 475{,}041}{7{,}18} = 1.323{,}235 \; kNdt/m$$

Data *pile cap* :
h = 0,6 m
r_o = 3,878 m
Gs = 24.529,401 kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 14,006 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison υ = 0,4, maka;
$\overline{S_1}$ = 2,7
$\overline{S_2}$ = 6,7

Sesuai rumus 2.61:
$k_z{}^f = 24.529{,}401 \ .0{,}6 \ . 2{,}7 = 39.737{,}63$ kN/m
Sesuai rumus 2.62:
$c_z{}^f = 0{,}6 \ . 3{,}878 \ . \sqrt{24.529{,}401 \ \frac{16{,}958}{9{,}81}} 6{,}7 = \ 3.210{,}32 \ Ndt/m$
Maka sesuai rumus 2.59:
$c_z{}^{total} = 1.323{,}235 + 3.210{,}32$ = 4.533,555 kN dt/m
Sesuai rumus 2.59:
$k_z{}^{total} = 1.614.362{,}373 + 39.737{,}63$ = 1.654.100,003 kN/m

Sesuai rumus 2.63:
$$D_z{}^g = \frac{4.533{,}555}{2\sqrt{1.654.100{,}003 \ . 14{,}006 \ . 9{,}81}} = 0{,}150$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1.654.100{,}003}{14{,}006 \ .9{,}81}} = 17{,}463 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:
$$f_{res} = 17{,}463 \ . \sqrt{1 - 2 \ . \ 0{,}15^2} = 17{,}063 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{17{,}063}{50} = 0{,}341 < 0{,}8 \ \ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{17{,}463} = 2{,}863$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}150\,.\,2{,}863)^2}}{\sqrt{(1 - 2{,}863^2)^2 + (2\,.\,0{,}150\,.\,2{,}863)^2}} = \ 0{,}182$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
$F_t = 0{,}182\ .1{,}227 =$ 0,223 ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 2{,}863^2)^2 + (2\ .0{,}150\ .2{,}863)^2}} = 0{,}138$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A_z = 0{,}138\ .\ \frac{1{,}227\ .9{,}81}{1.654.100{,}003} = 0{,}00000100 \text{ m} = 0{,}00003951 \text{ in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2.A
   K = 0,2 . 0.00000100 . 10^6 = 0,2
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Barely Noticeable to Person*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50 . 0,00003951= 0,012 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*

4.4.2.2 Horizontal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt

υ_s = 225,268 m/dt

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12 didapat:

$f_{11,1}$ = 0,0614 (interpolasi)

$f_{11,2}$ = 0,1459 (interpolasi)

Sesuai rumus 2.64:

$$k_x{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^3}.0{,}0614$$

$$=169.502.468{,}02\text{N/m} = 169.502{,}468\ \text{kN/m}$$

Sesuai rumus 2.65:

$$c_x{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333}{0{,}113^2.\ 225{,}268}\right).0{,}1459$$

$$=201.598{,}81\ \text{N dt/m} = 201{,}599\ \text{kN dt/m}$$

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:

Berdasarkan grafik 2.8, dengan nilai K_R= 0,00000577 dan nilai β masing-masing tiang diperoleh nilai α_L = 5,31

Sesuai rumus 2.66:

$$k_x{}^g = \frac{20\ .169.502{,}468}{5{,}31} = 638.427{,}375\ \text{KN/m}$$

Sesuai rumus 2.67:

$$c_x{}^g = \frac{20\ .\ 201{,}599}{5{,}31} = 759{,}318\ kNdt/m$$

Data *pile cap* :
h = 0,6 m
r_o = 3,878 m
Gs = 24.529,401 kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 14,006 ton dt^2/m
Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;
$\overline{S_{u1}}$ = 4,1
$\overline{S_{u2}}$ = 10,6

Sesuai rumus 2.70:
$k_x{}^f = 24.529,401 \ .0,6 \ .4,1 = 60.342,327$ kN/m

Sesuai rumus 2.71:
$c_x{}^f = 0,6 \ . 3,878 \sqrt{24.529,401 \ \frac{16,958}{9,81}} 10,6 = 5.079,014 kNdt/m$

Maka sesuai rumus 2.68:
$c_x{}^{total} = 759,318 + 5.079,014 = 5.838,331$kN dt/m

Sesuai rumus 2.69:
$k_x{}^{total} = 638.427,375 + 60.342,327 =$ 698.769,702 kN/m

Sesuai rumus 2.72:
$$D_x{}^g = \frac{5.838,331}{2\sqrt{630.211,729 \ . 14,006 \ . 9,81}} = 0,298$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{698.769,702}{14,006 \ .9,81}} = 11,350 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:
$$f_{res} = 11,350 \ . \sqrt{1 - 2 \ . \ 0,298^2} = 10,293 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{10{,}293}{50} = 0{,}206 < 0{,}8 \ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{11{,}350} = 4{,}405$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}298\,.\,4{,}405)^2}}{\sqrt{(1 - 4{,}405)^2 + (2\,.\,0{,}298\,.\,4{,}405)^2}} = 0{,}151$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :

$F_t = 0{,}151\,.\,1{,}227 = 0{,}185$ ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 4{,}405^2)^2 + (2\,.0{,}298\,.\,4{,}405)^2}} = 0{,}054$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A_x = 0{,}054\,.\,\frac{1{,}227\,.\,9{,}81}{698.769{,}702}$$
$$= 0{,}00000093 \text{ m} = 0{,}00003646 \text{ in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1 . A
   $K = 0{,}1\,.\,0{,}00000093\,.\,10^6 = 0{,}09$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori "*No Foults*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50 . 0,00003646 = 0,011 in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah "*Smooth"*

4.4.2.3 *Rocking*

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt

υ_s = 225,268 m/dt

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12, maka;

$f_{7,1}$ = 0,554 (hasil interpolasi).

$f_{7,2}$ = 0,387 (hasil interpolasi).

Sesuai rumus 2.73:

$$k_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113}.0{,}554$$

$$= 19.444.578{,}176 \text{ Nm} = 19.444{,}578 \text{kNm}$$

Sesuai rumus 2.74:

$$c_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{225{,}268}.0{,}387$$

$$= 6.805{,}752 \text{ Nmdet} = 6{,}806 \text{ kNmdet}$$

Menghitung $k_\varphi{}^g$,$c_\varphi{}^g$, $k_{x\varphi}{}^1$ dan $c_{x\varphi}{}^1$:

Berdasarkan tabel 2.12, maka nilai;

$f_{9,1}$ = -0.137 (hasil interpolasi)

$f_{9,2}$ = -0.199 (hasil interpolasi)

Sesuai rumus 2.75:

$$k_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^2}.(-0.137)$$

$$= -42.581.864{,}281 \text{ N} = -42{,}581.864 \text{ kN}$$

Sesuai rumus 2.76:

$$c_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113\ .\ 225{,}268}.(-0.199)$$

$$= -30{,}972.763 \text{ Ndet} = 30{,}973 \text{ kNdet}$$

Data *pile cap* :

h = 0,6 m

r_o = 3,756 m

Gs = 24.529,401 kN/m^2

Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3

m_c = 14,006 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;

$\overline{S_{\varphi 1}}$ = 2,5

$S_{\varphi 2}$ = 1,8

$\overline{S_{u1}}$ = 4,1

$\overline{S_{u2}}$ = 10,6

Xr = 2,4 m

Zc = 0,734 m

$\delta = \frac{h}{r_o} = 0{,}160$

Sesuai rumus 2.78:

$$k_{\varphi}{}^{f} = (\,24.529{,}401\ .3{,}756.\ 0{,}6^2.2{,}5) + (\,24.529{,}401\ .3{,}756^2.0{,}6)\left[\left({}^{0{,}160^2}/_{3}\right) + \left({}^{0{,}734}/_{3{,}756}\right)^2 - \left(0{,}160\ \left({}^{0{,}734}/_{3{,}756}\right)\right)\right] 4{,}1$$

$$= 96.094{,}178\ \text{KNm}$$

Sesuai rumus 2.80:

$$c_{\varphi}{}^{f} = (0{,}160\ .3{,}756^4)\left(\sqrt{{}^{(\,24.529{,}401\ .\ 16{,}958)}/_{9{,}81}}\right)\left[1{,}8 + \left\{\begin{matrix}\left({}^{(0{,}160\,)^2}/_{3}\right) + \left({}^{0{,}734}/_{3{,}756}\right)^2 \\ -\left(0{,}160\ \left({}^{0{,}734}/_{3{,}756}\right)\right)\end{matrix}\right\} 10{,}6\right]$$

$$= 12.856{,}571\ \text{KNmdet}$$

Maka sesuai rumus 2.77:

$$k_{\varphi}^{g} = 20.\begin{bmatrix} 19.444{,}578 + 579.556{,}092\ .\ 2{,}4^2 \\ +\ 169.502{,}468\ .\ 0{,}734^2 - 2\ .\ 0{,}734\ .\ (-42.581{,}864) \end{bmatrix} + 96.094{,}1783\ =\ 70.326.868{,}871\ \text{KNm}$$

Dan sesuai rumus 2.79:

$$c_{\varphi}^{g} = 20.\begin{bmatrix} 6{,}806 + \ 475{,}041\ .\ 2{,}4^2 + \ 201{,}599\ .\ 0{,}734^2 \\ -2\ .\ 0{,}734\ .\ (-30.973) \end{bmatrix} + 12.856{,}571\ = 70.799{,}501\ \text{KNmdet}$$

Sesuai rumus 2.81:

$$D_{\varphi}^{g} = \frac{70.799{,}501}{2\sqrt{70.326.868{,}871\ \ .137{,}4}} =\ 0{,}360$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{70.326.868{,}871}{137{,}40}} =\ 113{,}864\ \text{cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:

$$f_{res} = 113{,}864\ .\sqrt{1 - 2.\ 0{,}360^2} =\ 97{,}991\ \text{cps}$$

Kontrol resonansi:

f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{\text{f}_{\text{res}}}{\text{f}_{\text{mesin}}} = \frac{97{,}991}{50} = 1{,}96 > 1{,}2\ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{113{,}864} = 0{,}439$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\ .0{,}360\ .0{,}439)^2}}{\sqrt{(1 - 0{,}439^2)^2 + (2\ .0{,}360\ .0{,}439)^2}} = 1{,}210$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
F_t = 1,210 .1,227= 1,484 ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0{,}439^2)^2 + (2\,.\,0{,}360\,.0{,}439)^2}} = 1{,}154$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A = 1{,}154\ \frac{1{,}227.\ 1{,}84.\ 9.81}{70.326.868{,}871} =\ 0.00000036 \text{ rad}$$

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :
$A_{\varphi z}$ = (6,3/2) . 0.00000036
= 0.00000114 m
A_z =0.00004504 in

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2 . A
   $K = 0{,}2\,.\,0{,}00004504\,.\,(2{,}54/100)\,.\,10^6 =\ 0{,}229$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Barely noticeable to person"*
4. *Velocity* V = 2 .π .50 .0.00004504 = 0,014 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

4.4.2.4 *Kopel Rocking dan Horizontal*

Sesuai rumus 2.42:

$$\left[{\omega_n}^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]{\omega_n}^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega_n}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - {\omega_n}^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega_n.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - {\omega_n}^2\right)\right]^2 = 0$$

Dengan mengabaikan nilai redaman (D), maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{{\omega_{nx}}^2 + {\omega_{n\varphi}}^2 \pm \sqrt{\left({\omega_{nx}}^2 + {\omega_{n\varphi}}^2\right)^2 - 4r\left(\omega_{nx}.\,\omega_{n\varphi}\right)^2}}{2r}$$

Dimana nilai r sesuai rumus 4.21:

$$\mathrm{r} = \frac{\mathrm{Mm}}{\mathrm{Mmo}} = \frac{42{,}822}{50{,}37} = 0{,}850$$

$\omega_{nx} = 2\pi.f_{nx} = 2\pi.11{,}35$
$\omega_{nx} = 71{,}314$ rad/dt
$\omega_{n\varphi} = 2\pi.f_{n\varphi} = 2\pi.113{,}864$
$\omega_{n\varphi} = 715{,}430$ rad/dt

Maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{71{,}314^{\,2} + 715{,}430^{\,2} \pm \sqrt{(71{,}314^{\,2} + 715{,}430^{\,2})^2 - 4\,.\,0{,}850.\,(71{,}314\;.\,715{,}430\,)^2}}{2\,.\,0{,}850}$$

$(\omega_{n1})^2$ = 602.952,515
$(\omega_{n2})^2$ = 5.078,036
ω_{n1} = 776.500rad/dt
ω_{n2} = 71,26 rad/dt

Maka nilai $\Delta(\omega^2)$ sesuai rumus 2.43:

$$\Delta(\omega^2) = \left\{\left[\omega^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]\omega^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - \omega^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - \omega^2\right)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\omega_{mesin} = 2\pi f = 2\pi .50 = 314{,}159$ rad/dt

$$\Delta(\omega^2) = \left\{\begin{array}{l}\left[\begin{array}{c}314{,}159^{\ 4} - \left[\frac{71{,}314^{\ 2}+715{,}430^{\ 2}}{0{,}850} - \frac{4.0{,}298\ .0{,}360.71{,}314\ .715{,}430}{0{,}850}\right]314{,}159^{\ 2} \\ + \frac{71{,}314^{\ 2}715{,}430^{\ 2}}{0{,}850}\end{array}\right]^2 \\ +4\left[\begin{array}{c}\frac{0{,}298\ .71{,}314\ .314{,}159}{0{,}850}(715{,}430^{\ 2} - 314{,}159^2) \\ + \frac{0{,}360.314{,}159\ .715{,}430}{0{,}850}(71{,}314^{\ 2} - 314{,}159^{\ 2})\end{array}\right]^2\end{array}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\Delta(\omega^2) = 46.082.067.449{,}7$

Maka:

Sesuai rumus 2.36:

$$A_{x1} = \frac{1{,}227}{14{,}006.42{,}822}\frac{\left\{\begin{array}{c}(-42{,}822\ .314{,}159^2 + 7.168.895{,}909 + 71.230{,}347\ .0{,}734^2)^2 \\ +4\ .314{,}159\ .\left(0{,}360\sqrt{71.230{,}347\ .4{,}946} + 0{,}734^2\ .0{,}298\ \sqrt{71.230{,}347\ .14{,}006}\right)^2\end{array}\right\}^{\frac{1}{2}}}{46.082.067.449{,}7}$$

$A_{x1} = 0{,}00000013\ m$

$A_{x1} = 0{,}00000521$ inc

Sesuai rumus 2.37:

$$A_{x2} = \frac{2{,}257\ .0{,}734}{42{,}822}\frac{[(71{,}314\ ^2)^2 + (2\ .\ 0{,}298\ .71{,}314\ .\ 314{,}159\ )^2]^{1/2}}{46.082.067.449{,}7}$$

$A_{x2} = 0{,}00000001\ m$

$A_{x2} = 0{,}00000047$ inc

Sesuai rumus 2.38:

$$A_{\varphi 1} = \frac{1{,}227\ .0{,}734}{42{,}822}\frac{(71{,}314\ )((71{,}314\ )^2 + 4\ .\ 0{,}298\ .314{,}159\ ^2)^{1/2}}{46.082.067.449{,}7}$$

$A_{\varphi 1} = 0{,}00000001$ rad

Sesuai rumus 2.39:

$$A_{\varphi 2} = \frac{2{,}257}{42{,}822}\frac{\left[\left((71{,}314\ )^2 - 314{,}159^{\ 2}\right)^2 + (2\ .0{,}298.71{,}314\ .314{,}159\ )^2\right]^{1/2}}{46.082.067.449{,}7}$$

$A_{\varphi 2} = 0{,}00000011$ rad

Jadi nilai amplitudo total sesuai rumus 4.34 dan 4.35:
A_x = 0,00000521 + 0,00000047 = 0,00000568 inchi
A_φ = 0,00000001 + 0,00000011 = 0.00000012 rad

Amplitudo *rocking* menambah besarnya ampiltudo yang terjadi pada arah vertikal.

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :
$A_{\varphi z}$ = (6,3/2) . 0.00000012
= 0.00000038 m = 0.00001483 in
A_z =0,00003951 + 0.00001483 = 0.00005433 inc

Kontrol nilai amplitudo:
1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2.A = 0,2 . 0, 00005433 . (2,54/100) .10^6 = 0,276
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori *"Barely noticeable to person"*
4. Velocity V = 2 .π .50 .0.00005433 = 0,017 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

Amplitudo horizontal
A_x= 0.00000014 m = 0,00000568 inc

Kontrol nilai amplitudo:
1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1.A = 0,1 . 0,00000014 .10^6 = 0,014
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori "*No foults*"
4. Velocity V = 2 .π .50 .0,00000568= 0,00178 in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah *"Smooth"*

4.4.3 Analisa Kelompok Pondasi 4 Mesin

4.4.3.1 Vertikal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

$$v_c = \sqrt{\frac{29.725,41 .10^3 .9,81}{28,5714}} = 3.194,717 \text{ m/dt}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{103.456,751 . 9,81}{20}} = 225,268 \text{ m/dt}$$

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

l/r_o = 10 m/0,113m = 88,623

Berdasarkan grafik 2.6b, didapat:

$f_{18,1}$ = 0,055

$f_{18,2}$ = 0,090

Sesuai rumus 2.53:

$$k_z{}^1 = \frac{(29.725.410.005,58 . 0,04)}{0,113} . 0,055$$

$$= 579.556.091,776 \text{ N/m} = 579.556,092 \text{ kN/m}$$

Sesuai rumus 2.55:

$$c_z{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005,58 . 0,04}{225,268}\right) . 0,090$$

$$= 475.041,369 \text{ N dt/m} = 475,041 \text{ kN dt/m}$$

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:

Berdasarkan grafik 2.7, dengan nilai $l/2r_o$ = 44,3dan nilai $2r_o/S$ dan $S/2r_o$ masing-masing tiang diperoleh nilai α_A = 11,14

Sesuai rumus 2.57:

$$k_z{}^g = \frac{40 . 579.556,092}{11,14} = 2.080.991,353 \text{KN/m}$$

Sesuai rumus 2.58:

$$c_z{}^g = \frac{40 . 475,041}{11,14} = 1.705,714 \, kNdt/m$$

Data *pile cap* :
h = 0,6 m
r_o = 5,46 m
Gs = 24.529,401 kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 27,829 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison υ = 0,4, maka;
$\overline{S_1}$ = 2,7
$\overline{S_2}$ = 6,7

Sesuai rumus 2.61:
$k_z{}^f = 24.529{,}401 \ . 0{,}6 \ . 2{,}7 = 39.737{,}63$ kN/m

Sesuai rumus 2.62:
$c_z{}^f = 0{,}6 \ . 5{,}46 \ . \sqrt{24.529{,}401 \ \frac{16{,}958}{9{,}81} 6{,}7} = 4.522{,}026 \ Ndt/m$

Maka sesuai rumus 2.59:
$c_z{}^{total} = 1.705{,}714 + 4.522{,}026 =$ 6.227,740kN dt/m

Sesuai rumus 2.59:
$k_z{}^{total} = 2.080.991{,}353 + 39.737{,}63 =$ 2.120.728,983 kN/m

Sesuai rumus 2.63:
$$D_z{}^g = \frac{6.227{,}740}{2\sqrt{2.120.728{,}983 . 27{,}829 \ . 9{,}81}} = 0{,}129$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2.120.728{,}983}{27{,}829 \ .9{,}81}} = 14{,}028 \text{cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:
$$f_{res} = 14{,}028 \ . \sqrt{1 - 2 \ . 0{,}129 \ ^2} = 13{,}791 \text{ cps}$$

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{13{,}791}{50} = 0{,}276 < 0{,}8 \ \ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{14{,}028} = 3{,}564$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}129\ \ .3{,}564)^2}}{\sqrt{(1 - 3{,}564^2)^2 + (2\,.\,0{,}129\ \ .3{,}564)^2}} = \ 0{,}116$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
F_t = 0,116.2,453= 0,284 ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 3{,}564^2)^2 + (2\,.0{,}129\ \ .3{,}564)^2}} = 0{,}085$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A_z = 0{,}085\,.\ \frac{2{,}453\,.\,9{,}81}{2.120.728{,}983} = \ 0.000001 \text{ m} = \ 0.0000381 \text{ in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2.A = 0,2 . 0,000001 .10^6 = 0,193
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Barely Noticeable to Person*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50 .0.0000381= 0,012 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*

4.4.3.2 Horizontal

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt

υ_s = 225,268 m/dt

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12 didapat:

$f_{11,1}$ = 0,0614 (interpolasi)

$f_{11,2}$ = 0,1459 (interpolasi)

Sesuai rumus 2.64:

$$k_x{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^3}.0{,}0614$$

= 169.502.468,02 N/m = 169.502,468 kN/m

Sesuai rumus 2.65:

$$c_x{}^1 = \left(\frac{29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333}{0{,}113^2.\ 225{,}268}\right).0{,}1459$$

=201.598,81 N dt/m = 201,599 kN dt/m

Menghitung $k_x{}^g$,$c_x{}^g$, $k_x{}^f$ dan $c_x{}^f$:

Berdasarkan grafik 2.8, dengan nilai K_R= 0,00000577dan nilai β masing-masing tiang diperoleh nilai α_L = 8,36

Sesuai rumus 2.66:

$$k_x{}^g = \frac{40\ .169.502{,}468}{8{,}36} = 811.016{,}593\text{KN/m}$$

Sesuai rumus 2.67:

$$c_x{}^g = \frac{40\ .\ 201{,}599}{8{,}36} = 964{,}588\ kNdt/m$$

Data *pile cap* :

h = 0,6 m

r_o = 5,46 m

Gs = 24.529,401 kN/m^2

Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3

m_c = 27,829 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;
$\overline{S_{u1}}$ = 4,1
$\overline{S_{u2}}$ = 10,6

Sesuai rumus 2.70:
$k_x{}^f = 24.529{,}401 \ .0{,}6 \ .4{,}1 = 60.342{,}327$ kN/m

Sesuai rumus 2.71:
$c_x{}^f = 0{,}6 \ . 5{,}46 \sqrt{24.529{,}401 \ \frac{16{,}958}{9{,}81}} 10{,}6 = 7.154{,}25 \ kNdt/m$

Maka sesuai rumus 2.68:
$c_x{}^{total} = 964{,}588 + 7.154{,}25 =$ 8.118,84kN dt/m

Sesuai rumus 2.69:
$k_x{}^{total} = 811.016{,}593 + 60.342{,}327 =$ 871.358,921kN/m

Sesuai rumus 2.72:
$$D_x{}^g = \frac{8.118{,}84}{2\sqrt{871.358{,}921 \ . 27{,}829 \ . 9{,}81}} = 0{,}263$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{871.358{,}921}{27{,}829 \ .9{,}81}} = 8{,}992 \text{ cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:
$f_{res} = 8{,}992 \ . \sqrt{1 - 2 \ . 0{,}263^2} =$8,346 cps

Kontrol resonansi:
f_{mesin}= 50 cps
$$\frac{f_{res}}{f_{mesin}} = \frac{8{,}346}{50} = 0{,}167 < 0{,}8 \ ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{8{,}992} = 5{,}561$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\,.\,0{,}263\,.\,5{,}561\,)^2}}{\sqrt{(1 - 5{,}561\,)^2 + (2\,.\,0{,}263\,.\,5{,}561\,)^2}} = 0{,}103$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
F_t = 0,103 .2,453= 0,252 ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$\mathrm{M} = \frac{1}{\sqrt{(1 - 5{,}561\,^2)^2 + (2\,.0{,}263\,.\,5{,}561\,)^2}} = 0{,}033$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$\mathrm{A}_x = 0{,}033\,.\,\frac{2{,}453\,.\,9{,}81}{871.358{,}921}$$
$$= \ 0.0000009\ \mathrm{m} = \ 0.0000362\ \mathrm{in}$$

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin}= 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1 . A
   $\mathrm{K} = 0{,}1\,.\,0{,}0000009\,.\,10^6 = \ 0{,}09$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori "*No Foults*"
4. *Velocity* V = 2 .π .50 . 0,00003646 = 0,011 in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah "*Smooth"*

4.4.3.3 *Rocking*

Nilai konstanta pegas dan redaman sesuai dengan rumus 2.54:

υ_c = 3.194,717 m/dt

υ_s = 225,268 m/dt

υ_s/υ_s = 0,071

υ = 0,4

Berdasarkan tabel 2.12, maka;

$f_{7,1}$ = 0,554 (hasil interpolasi).

$f_{7,2}$ = 0,387 (hasil interpolasi).

Sesuai rumus 2.73:

$$k_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113}.0{,}554$$

$$= 19.444.578{,}176\ \text{Nm} = 19.444{,}578\ \text{kNm}$$

Sesuai rumus 2.74:

$$c_\varphi{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{225{,}268}.0{,}387$$

$$= 6.805{,}752\ \text{Nmdet} = 6{,}806\ \text{kNmdet}$$

Menghitung $k_\varphi{}^g$,$c_\varphi{}^g$, $k_{x\varphi}{}^1$ dan $c_{x\varphi}{}^1$:

Berdasarkan tabel 2.12, maka nilai;

$f_{9,1}$ = -0.137 (hasil interpolasi)

$f_{9,2}$ = -0.199 (hasil interpolasi)

Sesuai rumus 2.75:

$$k_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113^2}.(-0.137)$$

$$= -42.581.864{,}281\text{N} = -42{,}581.864\ \text{kN}$$

Sesuai rumus 2.76:

$$c_{x\varphi}{}^1 = \frac{(29.725.410.005{,}58\ .\ 0{,}000133333)}{0{,}113\ .\ 225{,}268}.(-0.199)$$

$$= -30{,}972.763\ \text{N} = 30{,}973\ \text{kNdet}$$

Data *pile cap* :
h = 0,6 m
r_o = 6,28 m
Gs = 24.529,401 kN/m^2
Υ_{sat} = 16,958 kN/m^3
m_c = 27,829 ton dt^2/m

Berdasarkan tabel 2.11, dengan angka poison 0,4, maka;
$\overline{S_{\varphi 1}}$ = 2,5
$S_{\varphi 2}$ = 1,8
$\overline{S_{u1}}$ = 4,1
$\overline{S_{u2}}$ = 10,6
Xr = 5,6 m
Zc = 0,736 m
$\delta = \frac{h}{r_o} = 0{,}1$

Sesuai rumus 2.78:

$$k_\varphi{}^f = (24.529{,}401 \ . 6{,}28 \ . \ 0{,}6^2 . 2{,}5) + (24.529{,}401 \ . 6{,}28^{\,2} . 0{,}6)\left[\left(0{,}100^2/_3\right) + \left(0{,}736/_{6{,}28}\right)^2 - \left(0{,}100\left(0{,}736/_{6{,}28}\right)\right)\right] 4{,}1$$

$$= 151.875{,}07 \text{ kNm}$$

Sesuai rumus 2.80:

$$c_\varphi{}^f = (0{,}100 \ . 6{,}28^{\,4})\left(\sqrt{(24.529{,}401 \ . \ 16{,}958)/_{9{,}81}}\right)\left[1{,}8 + \left\{\left((0{,}100)^2/_3\right) + \left(0{,}736/_{6{,}28}\right)^2 - \left(0{,}100\left(0{,}736/_{6{,}28}\right)\right)\right\} 10{,}6\right]$$

$$= 56.857{,}39 \text{ KNmdet}$$

Maka sesuai rumus 2.77:

$$k_{\varphi}^{g} = 40.\begin{bmatrix} 19.444{,}578 + 579.556{,}092\,.\,2{,}4^2 \\ +\,169.502{,}468\,.\,0{,}736^2 - 2\,.\,0{,}736\,.\,(-42.581{,}864) \end{bmatrix} \\ +151.875{,}07 \;=\; 734.099.497{,}4 \;\text{KNm}$$

Dan sesuai rumus 2.79:

$$c_{\varphi}^{g} = 40.\begin{bmatrix} 6{,}806 + \;475{,}041\;.\,2{,}4^2 + \;201{,}599\;.\,0{,}736^2 \\ -2\,.\,0{,}736\,.\,(-30.973) \end{bmatrix} \\ +\,56.857{,}39 \;=\; 659.207{,}72\;\text{KNmdet}$$

Sesuai rumus 2.81:

$$D_{\varphi}^{g} = \frac{659.207{,}72}{2\sqrt{734.099.497{,}4.273{,}00}} = \;0{,}74$$

Frekuensi natural sesuai rumus 2.23:

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{734.099.497{,}4}{273{,}00}} = \;260{,}99\text{cps}$$

Frekuensi resonansi sesuai rumus 2.24:

$$f_{res} = 260{,}99\;.\sqrt{1 - 2.0{,}74^2} = \;imajiner$$

Kontrol resonansi:

f_{mesin}= 50 cps

$$\frac{\mathrm{f_{res}}}{\mathrm{f_{mesin}}} = \frac{imainer}{50} = imajiner\;ok$$

Sesuai rumus 2.29:

$$r = \frac{50}{260{,}99} = 0{,}19$$

Transmisibility sesuai rumus 2.16:

$$T_r = \frac{\sqrt{1 + (2\ .0{,}74\ .0{,}19)^2}}{\sqrt{(1 - 0{,}19^2)^2 + (2\ .0{,}74\ .0{,}19)^2}} = 1{,}04$$

Sehingga beban yang diterima tanah dasar adalah :
$F_t = 1{,}04\ .2{,}453 = 2{,}54$ ton

Magnification factor sesuai rumus 2.28:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0{,}19^2)^2 + (2\ .0{,}74\ .0{,}19)^2}} = 0{,}996$$

Amplitudo sesuai rumus 2.27:

$$A = 0{,}996 \frac{2{,}453.\ 1{,}84.9.81}{734.099.497{,}4} = \ 0{,}000000060 \text{ rad}$$

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :
$A_{\varphi z}$ = (12,5/2) . 0,000000060rad
= 0,00000038 m
A_z =0,000014787 in

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin}= 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2 . A
   $K = 0{,}2\ .0{,}00000038\ .10^6 = \ 0{,}075$
   Maka dari tabel 2.14, didapat katergori "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori "*Barely noticeable to person"*
4. *Velocity* V = 2 .π .50 .0,000014787= 0,005 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

4.4.3.4 *Kopel Rocking dan Horizontal*

Sesuai rumus 2.42:

$$\left[{\omega_n}^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]{\omega_n}^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega_n}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - {\omega_n}^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega_n.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - {\omega_n}^2\right)\right]^2 = 0$$

Dengan mengabaikan nilai redaman (D), maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{{\omega_{nx}}^2 + {\omega_{n\varphi}}^2 \pm \sqrt{\left({\omega_{nx}}^2 + {\omega_{n\varphi}}^2\right)^2 - 4r\left(\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}\right)^2}}{2r}$$

Dimana nilai r sesuai rumus 4.21:

$$\mathrm{r} = \frac{\mathrm{Mm}}{\mathrm{Mmo}} = \frac{307{,}795}{322{,}854} = 0{,}953$$

$\omega_{nx} = 2\pi.f_{nx} = 2\pi.8{,}992$
$\omega_{nx} = 56{,}496$ rad/dt
$\omega_{n\varphi} = 2\pi.f_{n\varphi} = 2\pi.260{,}99$
$\omega_{n\varphi} = 1.639{,}820$ rad/dt

Maka:

$$\left(\omega_{n1,2}\right)^2 = \frac{56{,}496^2 + 1.639{,}820^{\,2} \pm \sqrt{\begin{matrix}(56{,}496^2 + 1.639{,}820^{\,2})^2 \\ -4\,.\,0{,}953.\,(56{,}496\,.\,1.639{,}820\,)^2\end{matrix}}}{2\,.\,0{,}953}$$

$(\omega_{n1})^2 = 2.820.722{,}043$
$(\omega_{n2})^2 = 3.191{,}614$
$\omega_{n1} = 1.679{,}501$rad/dt
$\omega_{n2} = 56{,}494$ rad/dt

Maka nilai $\Delta(\omega^2)$ sesuai rumus 2.43:

$$\Delta(\omega^2) = \left\{\left[\omega^4 - \left[\frac{{\omega_{nx}}^2+{\omega_{n\varphi}}^2}{r} - \frac{4.D_x.D_\varphi.\omega_{nx}.\omega_{n\varphi}}{r}\right]\omega^2 + \frac{{\omega_{nx}}^2{\omega_{n\varphi}}^2}{r}\right]^2 + 4\left[\frac{D_x.\omega_{nx}.\omega}{r}\left({\omega_{n\varphi}}^2 - \omega^2\right) + \frac{D_\varphi.\omega.\omega_{n\varphi}}{r}\left({\omega_{nx}}^2 - \omega^2\right)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega_{mesin} = 2\pi f = 2\pi\ .50 = 314{,}159 \text{ rad/dt}$$

$$\Delta(\omega^2) =$$

$$\left\{\left[\begin{array}{c} 314{,}159^{\ 4} - \left[\begin{array}{c} \frac{56{,}496^2 + 1.639{,}820^{\ 2}}{0{,}953} \\ -\frac{4.0{,}263\ .0{,}74.56{,}496.1.639{,}820}{0{,}953} \\ +\frac{56{,}496^2\ 1.639{,}820^{\ 2}}{0{,}953} \end{array}\right] 314{,}159^{\ 2} \end{array}\right]^2 + 4\left[\begin{array}{c} \frac{0{,}263\ .56{,}496.314{,}159}{0{,}953}\left(1.639{,}820^{\ 2} - 314{,}159^2\right) \\ +\frac{0{,}74.314{,}159\ .1.639{,}820}{0{,}953}\left(56{,}496^2 - 314{,}159^{\ 2}\right) \end{array}\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta(\omega^2) = 257.552.500.612{,}2$$

Maka:

Sesuai rumus 2.36:

$$A_{x1} = \frac{2{,}453}{27{,}829.307{,}795}$$

$$\frac{\left\{\begin{array}{c} (-307{,}795.314{,}159^2 + 74.831.753{,}05 + 88.823{,}539\ .0{,}736^2)^2 \\ +4\ .314{,}159\ .\left(0{,}74\sqrt{88.823{,}539\ .4{,}946} + 0{,}736^2\ .0{,}263\sqrt{88.823{,}539.27{,}829}\right)^2 \end{array}\right\}^{\frac{1}{2}}}{257.552.500.612{,}2}$$

$$\mathrm{A_{x1}} = 0{,}00000005\ m$$

$$\mathrm{A_{x1}} = 0{,}00000195 \text{ inc}$$

Sesuai rumus 2.37:

$$A_{x2} = \frac{4{,}514\ .0{,}736}{307{,}795} \frac{[(56{,}496^2)^2 + (2\ .\ 0{,}263\ \ .56{,}496\ .\ 314{,}159\ )^2]^{1/2}}{257.552.500.612{,}2}$$

$$\mathrm{A_{x2}} = \ 0{,}00000000041\ m$$

$$\mathrm{A_{x2}} = \ 0{,}00000002 \text{ inc}$$

Sesuai rumus 2.38:

$$A_{\varphi 1} = \frac{2{,}453\ .0{,}736}{307{,}795} \frac{(56{,}496)((56{,}496)^2 + 4\ .\ 0{,}263\ .314{,}159\ ^2)^{1/2}}{257.552.500.612{,}2}$$

$$\mathrm{A_{\varphi 1}} = \ 0{,}00000000042 \text{ rad}$$

Sesuai rumus 2.39:

$$A_{\varphi 2} = \frac{4{,}514}{307{,}795} \frac{\left[\begin{matrix}((56{,}496)^2 - 314{,}159\ ^2)^2 \\ +(2\ .\ 0{,}263.56{,}496\ .314{,}159\ )^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{257.552.500.612{,}2}$$

$$\mathrm{A_{\varphi 2}} = \ 0{,}0000000055 \text{ rad}$$

Jadi nilai amplitudo total sesuai rumus 4.34 dan 4.35:

A_x = 0,00000195 + 0,00000002= 0,00000196 inchi

A_φ=0,00000000042+ 0,0000000055 =0,0000000059 rad

Amplitudo *rocking* menambah besarnya ampiltudo yang terjadi pada arah vertikal.

Maka besarnya nilai amplitudo vertikal sebagai berikut :

$A_{\varphi z}$ = (12,5/2) . 0.0000000059

= 0,000000037 m = 0,000001448 in

A_z =0,0000381 + 0,000001448 = 0,00003950 inc

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,2.A
   K = 0,2 . 0.00003950 . 10^6 = 0,201
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 30 μm = 0,00118 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.10, didapat kategori *"Barely noticeable to person"*
4. Velocity V = 2 .π .50 .0,00003950 = 0,012 in/sec
   Berdasarkan grafik 2.11, didapat kategori "*Barely Noticeable to Pearson"*.

Amplitudo horizontal

A_x = 0.00000005 m = 0.00000196inc

Kontrol nilai amplitudo:

1. Dengan nilai f_{mesin} = 50 cps, maka nilai K rumus Dieckmann berdasarkan tabel 2.13:
   K = 0,1.A
   K = 0,1 . 0.00000005. 10^6 = 0,005
   Maka dari tabel 2.14 didapat katergory "*Not Affected"*.
2. Nilai amplitudo lebih kecil dari 50 μm = 0,0019685 inchi
3. Berdasarkan grafik 2.9, didapat kategori "*No foults*"
4. Velocity V = 2 .π .50 .0.00000196 = 0,0006 in/sec
   Berdasarkan tabel 2.15, keadaan mesin adalah *"Very Smooth"*

4.5 Daya Dukung Statis dan Dinamis Tiang

Daya dukung ijin tiang:
Qijin = 15,104 ton

$$P_{stat+dinamis} = \frac{v+Pz\,.Tr}{n} + \frac{(M+P.Tr.c)\,.\,d}{\sum d^2}$$

a. Pondasi kelompok 1 mesin
Efisiensi = 0,994
75% Qijin = 75% . 0,994 . 15,104 = 11,261 ton
Momen yang bekerja:
Mx = Wmesin. L_1 = 12 . 0.09 = 1,08 tonm
My = Wmesin. L_2 = 12 . 0,463 = 5,556 tonm
d = Jarak antar pondasi, arah melintang 1,0 m dan arah memanjang1,6 m
Jumlah tiang n = 15 tiang
TRz = 0,3443
TRy = 0,238
P = Qo = 0,613 ton
c1 = 1 + 0,84 = 1,84 m
c2 = 0,09m
V = Wtot. = 69,6 ton

$$P_{stat+dinamis} = \frac{69,6 + (0,613\,.\,0,3443)}{15} + \frac{(1,08 + 0,613\,.\,0,238\,.\,1,84 + 0,613.\,0,344)\,.\,(1,0)}{10\,.\,1,0^2} + \frac{5,556.\,(2\,.\,1,6)}{6\,.\,((2\,.\,1,6)^2 + 1,6^2)} = 5,022\ ton$$

Pstat+dinamis = 5,022 ton < 75%Q_{ijin} = 11,261 ton …OK

b. Pondasi kelompok 2 mesin
Efisiensi = 0,998
75% Qijin = 75% . 0,998 . 15,104 = 11,306 ton
Momen yang bekerja:

Mx = Wmesin. L_1 = -12.(1,55-0,09)+12.(1,55+0,09)
= 2,16 tonm

My = 2. Wmesin. L_2 = 2 . 12 . 0,463 = 11,112 tonm

d = jarak antar pondasi, arah melintang 1,6 m dan arah memanjang 1,6 m

Jumlah tiang n = 20 tiang

TRz = 0,182

TRy = 0,151

P = Qo = 1,227 ton

c1 = 1 + 0,84 = 1,84 m

c2 = 0,09m

V = Wtot. = 137,4 ton

$$P_{stat+dinamis} = \frac{137{,}4 + (1{,}227 \,.\, 0{,}182)}{20} + \frac{(2{,}16 + 1{,}227 \,.\, 0{,}151.\, 0{,}09 + 1{,}227 \,.\, 0{,}182 \,.\, 1{,}84) \,.\, (1{,}5 \,.\, 1{,}6)}{10.\,[(0{,}5 \,.\, 1{,}6)^2 + (1{,}5 \,.\, 1{,}6)^2]} + \frac{11{,}112 \;.\, (1{,}6 \,.\, 2)}{8 \,.\, (1{,}6^2 + (2 \,.\, 1{,}6)^2)} = 7{,}502\ ton$$

Pstat+dinamis = 7,325 ton < 75%Q_{ijin} = 11,306 ton …OK

c. Pondasi kelompok 4 mesin

Efisiensi = 0,999

75% Qijin = 75% . 0,999 . 15,104 = 11,315 ton

Momen yang bekerja:

Mx = Wmesin. L_1 = -12.(1,55+3,1-0,09) -12.(1,55 - 0,09)
+12.(1,55+0,09) +12.(1,55+3,1+0,09)
= 4,32 tonm

My = 4. Wmesin. L_2 = 4. 12 . 0,463 = 22,224 tonm

d = jarak antar pondasi, arah melintang 1,6 m dan arah memanjang 1,6 m

Jumlah tiang n = 40 tiang

TRz = 0,116

TRy = 0,103

P = Qo = 2,453 ton
c1 = 1 + 0,84 = 1,84 m
c2 = 0,09m
V = Wtot. = 273 ton

$$P_{stat+dinamis} = \frac{273{,}0 + (2{,}453 \,.\, 0{,}116)}{40} + \frac{(4{,}32 + (2{,}453 \,.\, 0{,}103.\, 0{,}09 + 2{,}453.\, 0{,}116.\, 1{,}84)) \,.\, (3{,}5 \,.\, 1{,}6)}{10.\{(0{,}5 \,.\, 1{,}6)^2 + (1{,}5 \,.\, 1{,}6)^2 + (2{,}5 \,.\, 1{,}6)^2 + (3{,}5 \,.\, 1{,}6)^2\}} + \frac{22{,}224 \,.\, (2 \,.\, 1{,}6)}{16 \,.\, [1{,}6^2 + (2 \,.\, 1{,}6)^2]} = 8{,}059 \text{ ton}$$

Pstat+dinamis = 8,059 ton < 75%Q_{ijin} = 11,315 ton …OK

4.6 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi

4.6.1 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Pembebanan Statis

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 4.1 dan sub bab 4.2 maka hasil perencanaan dapat di sajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.6 Perencanaan Pondasi

No	Parameter	Pondasi Kelompok		
		1 Mesin	2 Mesin	4 Mesin
1	Dimensi *Pile Cap* :			
	Panjang	7.5	7.5	7.5
	Lebar	3.2	6.3	12.5
	Tinggi	1	1	1
2	Jumlah Tiang 20 cm X 20 cm	15	20	40

4.6.2 Rekapitulasi Hasil Analisa Dinamis

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 4.2, sub bab 4.4 dan sub bab 4.5 maka hasil perencanaan dapat di sajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.7 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 1 mesin

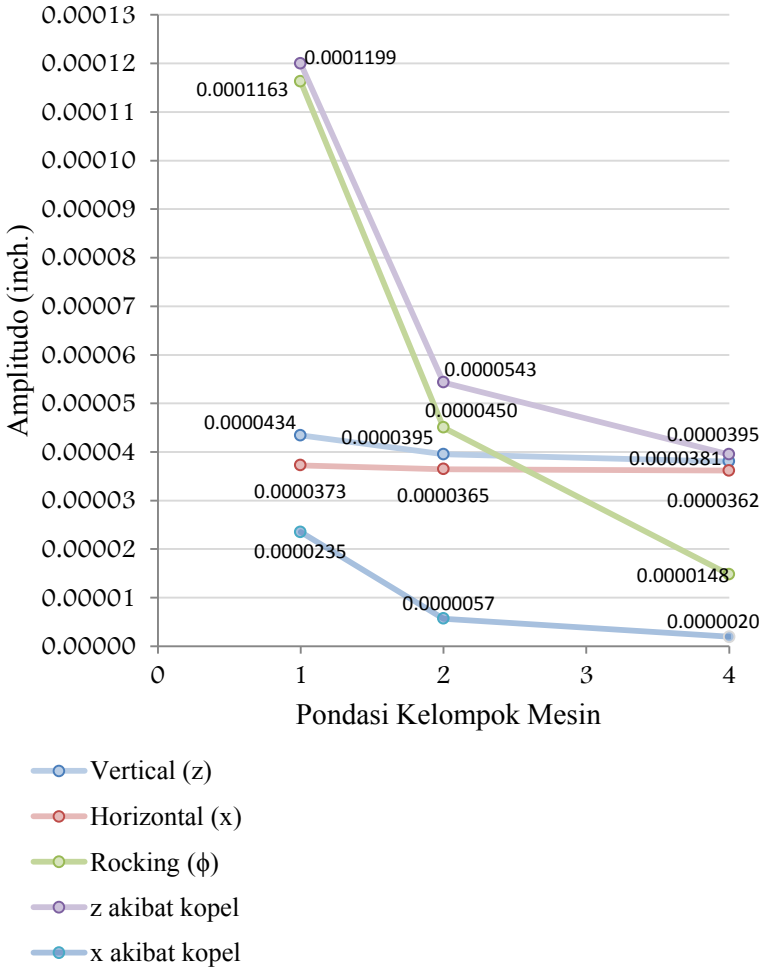
No.	Parameter	Referensi	Pondasi Kelompok 1 mesin					Kontrol	KET.
			Vertical (z)	Horizontal (x)	Rocking (ϕ)	Kopel Rocking+Horizontal ($x\,\phi$)			
						(z)	(x)		
1	Daya dukung Statis (ton)				4.980			< 50% Q ijin= 7.5 ton	OK
2	Daya dukung statis+dinamis (ton)				5.022			< 75% Q ijin = 11,3 ton	OK
3	Damping rasio (D)	$D = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}}$	0.170	0.320	0.227				
4	Frekuensi mesin (f) (cps)				50				
5	Frekuensi natural (f_n) (cps)	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$	23.545	15.498	64.244				
6	Frekuensi resonansi (f_{res}) (cps)	$f_{res} = f_n \cdot \sqrt{1-2 \cdot D^2}$	22.853	13.824	60.858				
	fres/fmesin		0.457	0.276	1.217			< 0,8 atau > 1,2 atau imajiner	OK
7	Frekuensi rasio (r)	f_{mesin} / f_n	2.124	3.226	0.778				
8	Transmisibility factor (Tr)	$\frac{\sqrt{1+(2 \cdot D \cdot r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.344	0.238	2.005				
9	Transmited force (Ft) (ton)	$Ft = Tr \cdot Qo$	0.211	0.146	1.229				
10	Pembesaran dinamis (M)	$\frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.279	0.104	1.891			< 1,5 untuk vertikal	OK
11	Displacement response (A) (inchi)	$M \cdot (Qo/k)$	0.0000434	0.0000373	0.0001163	0.0001199	0.0000235	Vertikal dan Rocking < Troublesome to Person	OK
	Kategori		Barely Noticeable to Person	No Foults	Easily Noticeable to Person	Easily Noticeable to Person	No Foults	Horizontal < Foulty	OK
12	Velocity (v) (inchi/sec)	$2\pi \cdot \omega_{mesin} \cdot A$	0.014	0.012	0.037	0.038	0.007		
	Keadaan Mesin		Barely Noticeable to Person	Smooth	Barely Noticeable to Person	Barely Noticeable to Person	Very Smooth	< Good	OK
	Dieckman (K)	Tabel 2.13	0.220459352	0.095	0.591	0.609	0.060		
13	Kategori		Not Affected	Not Affected	Still Not Affected	Still Not Affected	Not Affected	< Affected but Still Possible	OK

Tabel 4.8 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 2 mesin

No.	Parameter	Referensi	Pondasi Kelompok 2 mesin					Kontrol	KET.
			Vertical (z)	Horizontal (x)	Rocking (ϕ)	Kopel Rocking+Horizontal (x ϕ)			
						(z)	(x)		
1	Daya dukung Statis (ton)				7.298			< 50% Q ijin= 7.5 ton	OK
2	Daya dukung statis+dinamis (ton)				7.502			< 75% Q ijin = 11.3 ton	OK
3	Damping rasio (D)	$D = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot mc}}$	0.150	0.298	0.360				
4	Frekuensi mesin (f) (cps)				50				
5	Frekuensi natural (f_n) (cps)	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{mc}}$	17.463	11.350	113.864				
6	Frekuensi resonansi (f_{res}) (cps)	$f_{res} = f_n \cdot \sqrt{1-2 \cdot D^2}$	17.063	10.293	97.991				
	fres/fmesin		0.341	0.206	1.960			< 0,8 atau > 1,2 atau imajiner	OK
7	Frekuensi rasio (r)	f_{mesin} / f_n	2.863	4.405	0.439				
8	Transmisibility factor (Tr)	$\frac{\sqrt{1+(2 \cdot D \cdot r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.182	0.151	1.210				
9	Transmited force (Ft) (ton)	Ft = Tr . Qo	0.223	0.185	1.484				
10	Pembesaran dinamis (M)	$\frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.138	0.054	1.154			< 1,5 untuk vertikal	OK
11	Displacement response (A) (inchi)	M . (Qo/k)	0.0000395	0.0000365	0.0000450	0.0000543	0.0000057	Vertikal dan Rocking < Troublesome to Person	OK
	Kategori		Barely Noticeable to Person	No Foults	Barely Noticeable to Person	Barely Noticeable to Person	No Foults	Horizontal < Foulty	OK
12	Velocity (v) (inchi/sec)	$2\pi \cdot \omega_{mesin} \cdot A$	0.012	0.011	0.014	0.019	0.002		
	Keadaan Mesin		Barely Noticeable to Person	Smooth	Barely Noticeable to Person	Barely Noticeable to Person	Smooth	< Good	OK
	Dieckman (K)	Tabel 2.13	0.201	0.093	0.229	0.276	0.014		
13	Kategori		Not Affected	Not Affected	Not Affected	Not Affected	Not Affected	< Affected but Still Possible	OK

Tabel 4.9 Rekapitulasi analisa dinamis pondasi kelompok 4 mesin

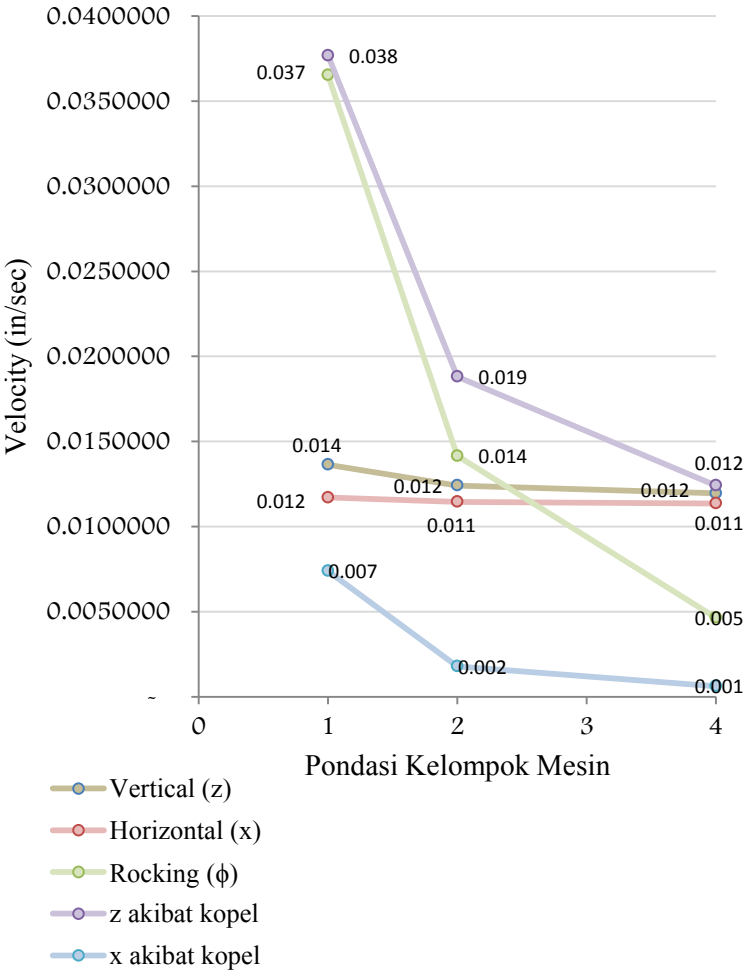
No.	Parameter	Referensi	Pondasi Kelompok 4 mesin					Kontrol	KET.
			Vertical (z)	Horizontal (x)	Rocking (ϕ)	Kopel Rocking+Horizontal ($x\,\phi$)			
						(z)	(x)		
1	Daya dukung Statis (ton)		7.217					< 50% Q ijin= 7.5 ton	OK
2	Daya dukung statis+dinamis (ton)		8.059					< 75% Q ijin = 11,3 ton	OK
3	Damping rasio (D)	$D = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot mc}}$	0.129	0.263	0.736				
4	Frekuensi mesin (f) (cps)		50						
5	Frekuensi natural (f_n) (cps)	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{kc}{mc}}$	14.028	8.992	260.985				
6	Frekuensi resonansi (f_{res}) (cps)	$f_{res} = f_n \cdot \sqrt{1-2 \cdot D^2}$	13.791	8.346	imajiner				
	fres/fmesin		0.276	0.167	imajiner			< 0,8 atau > 1,2 atau imajiner	OK
7	Frekuensi rasio (r)	f_{mesin} / f_n	3.564	5.561	0.192				
8	Transmisibility factor (Tr)	$\frac{\sqrt{1+(2 \cdot D \cdot r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.116	0.103	1.035				
9	Transmited force (Ft) (ton)	Ft = Tr . Qo	0.284	0.252	2.539				
10	Pembesaran dinamis (M)	$\frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2 \cdot D \cdot r)^2}}$	0.085	0.033	0.996			< 1,5 untuk vertikal	OK
11	Displacement response (A) (inchi)	M . (Qo/k)	0.0000381	0.0000362	0.0000148	0.0000395	0.0000020	Vertikal dan Rocking < Troublesome to Person	OK
	Kategori		Barely Noticeable to Person	No Foults	Barely Noticeable to Person	Barely Noticeable to Person	No Foults	Horizontal < Foulty	OK
12	Velocity (v) (inchi/sec)	$2\pi \cdot \omega_{mesin} \cdot A$	0.012	0.011	0.005	0.012	0.0006		
	Keadaan Mesin		Barely Noticeable to Person	Smooth	Barely Noticeable to Person	Barely Noticeable to Person	Very Smooth	< Good	OK
13	Dieckman (K)	Tabel 2.13	0.193	0.092	0.075	0.201	0.005		
	Kategori		Not Affected	Not Affected	Not Affected	Not Affected	Not Affected	< Affected but Still Possible	OK



Grafik 4.2 Rekapitulasi Nilai Amplitudo

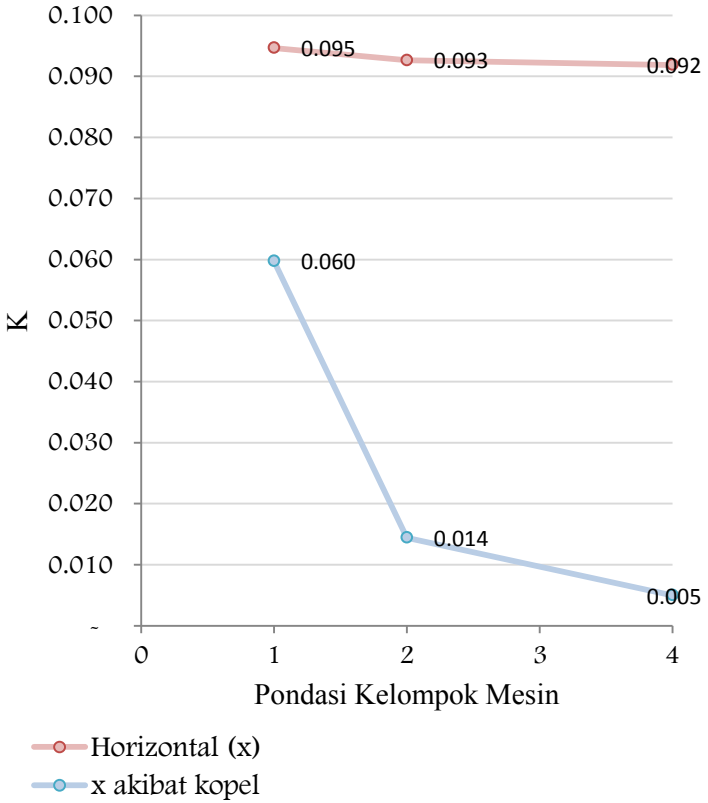
Grafik 4.2 menggambarkan amplitudo yang terjadi akibat dari masing-masing gaya untuk pondasi kelompok satu mesin, pondasi kelompok dua mesin dan pondasi kelompok empat mesin. Dari grafik tersebut diketahui bahwa amplitudo semakin

berkurang bersamaan dengan semakin banyaknya mesin yang dikelompokkan dalam satu pondasi. Sehingga getaran yang ditimbulkan tidak mengganggu manusia di sekitarnya.



Grafik 4.3 Rekapitulasi Nilai Velocity

Grafik 4.3 menggambarkan kecepatan/velocity yang terjadi akibat dari masing-masing gaya untuk pondasi kelompok satu mesin, pondasi kelompok dua mesin dan pondasi kelompok empat mesin. Dari grafik tersebut diketahui bahwa kecepatan rambat mesin semakin berkurang bersamaan dengan semakin banyaknya mesin yang dikelompokkan dalam satu pondasi. Sehigga keadaan mesin masih dikategorikan di bawah "*GOOD*" atau aman untuk di operasikan dan tidak mengganggu manusia.



Grafik 4.4 Rekapitulasi Nilai K

Grafik 4.4 menggambarkan nilai K Dieckmann yang terjadi akibat dari masing-masing gaya horizontal untuk pondasi kelompok satu mesin, pondasi kelompok dua mesin dan pondasi kelompok empat mesin. Dari grafik tersebut diketahui bahwa nilai K semakin kecil bersamaan dengan semakin banyaknya mesin yang dikelompokkan dalam satu pondasi. Sehingga keadaan mesin masih dibawah kategori "*Affected but still possible*" dengan kata lain mesin tidak menimbulkan dampak kerusakan pada bangunan disekitarnya dan juga tidak mengganggu manusia disekitarnya.

Berdasarkan ketiga grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai Amplitudo, *Velocity* dan nilai K Dieckmann akan semakin stabil pada kelompok mesin yang lebih banyak. Namun hal ini juga harus mempertimbangkan kepada fungsi mesin *compressore*, dimana perencanaan ini dilakukan dengan syarat mesin yang bekerja secara serentak, yang artinya jika salah satu mesin rusak maka mesin lainnya yang berada dalam satu kelompok pondasi harus dihentikan (berhenti beroperasi). Oleh karena itu, perencanaan ini atau kelompok mesin yang lebih besar dalam satu pondasi dapat diterapkan jika perusahaan pengguna menyetujui syarat awal perencanaan.

4.7 Analisa Biaya

4.7.1 Penulangan *Pile Cap* Tiang Ukuran 20cm x 20cm

a. Pondasi tiang kelompok 1 mesin

Data perencanaan:

- Panjang pile cap = 7,5 m
- Lebar pile cap = 3,2 m
- Tebalpile cap = 1,0 m
- Diameter tulangan rencana = 22 mm
- As' = 380,133 mm^2
- Mutu baja = 350 MPa
- Mutu beton = 22,5 MPa
- β_1 = 0,85
- Selimut beton = 50 mm
- dx = 1000 –50 – 0,5(22) –22 = 917 mm
- b = 1000 mm
- P_{maks} = 5,022 ton
- g = 9,81 m/dt^2
- L = 1,0 m

Perhitungan ρ pakai :

$$\rho min = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$\rho b = \frac{0,85\,fc}{fy}\beta 1\left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$$= \frac{0,85.22,5}{350}.0,85.\left(\frac{600}{600+350}\right) = 0,029$$

$$m = \frac{fy}{0,85.fc'} = \frac{350}{0,85.22,5} = 18,301$$

Mu = Pmax .L
= 5,022 .1,0
= 5,022 tm
= $4{,}927.10^7$ Nmm

Rn = $\frac{Mu}{\phi.b.dx^2} = \frac{4{,}927.10^7}{0{,}85.1000.917^2}$ = 0,069 MPa

ρperlu = $\frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.m.Rn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{18{,}301}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.18{,}301.0{,}069}{350}}\right)$ = 0,0002

dipakai ρmin = 0,004
As perlu = ρ.b.d
= 0,004 .1000 . 917
= 3.668,0 mm^2

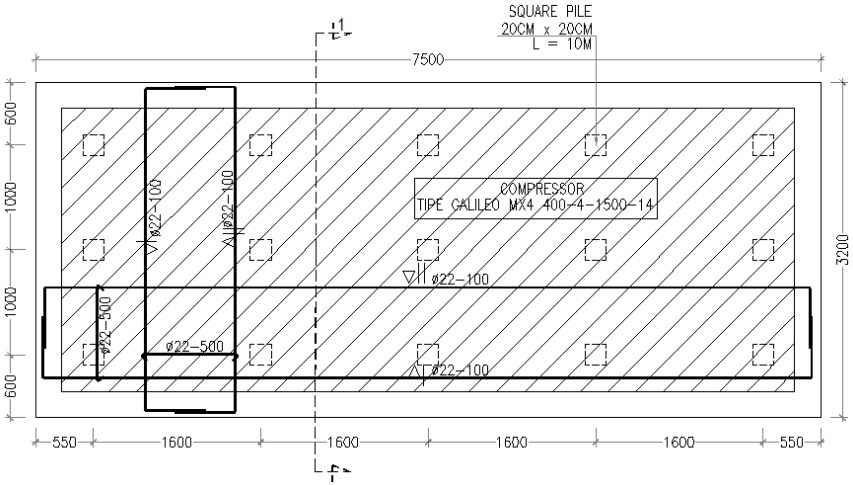
Jumlah tulangan per m':

n = $\frac{As\ perlu}{As} = \frac{3.668{,}0}{380{,}133}$ = 9,65 unit ≈ 10 unit

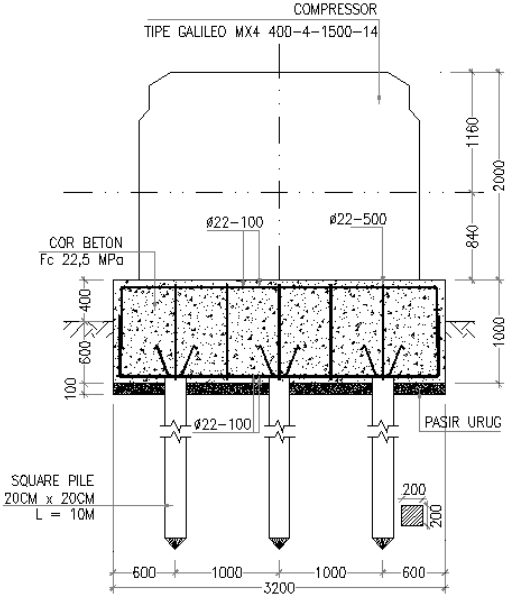
Jarak = $\frac{b}{(n-1)} = \frac{1000}{(10-1)}$ = 111,111 mm ≈ 100 mm

Digunakan tulangan Ø 22 – 100mm

Kontrol:
As' . n > As perlu
380,133 . 10 = 3.801,33 mm^2 > 3.668,0 mm^2 ….OK



Gambar 4.13 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 1 mesin



Gambar 4.14 Potongan 1-1

b. Pondasi tiang kelompok 2 mesin

Data perencanaan:

- Panjang pile cap = 7,5 m
- Lebar pile cap = 6,3 m
- Tebalpile cap = 1,0 m
- Diameter tulangan rencana = 22 mm
- As' = 380,133 mm^2
- Mutu baja = 350 MPa
- Mutu beton = 22,5 MPa
- β_1 = 0,85
- Selimut beton = 50 mm
- dx = 1000 –50 – 0,5(22) –22 = 917 mm
- b = 1000 mm
- P_{maks} = 7,502 ton
- g = 9,81 m/dt^2
- L = 2,4 m

Perhitungan ρ pakai :

$$\rho min = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$\rho b = \frac{0,85\,fc}{fy}\beta 1\left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$$= \frac{0,85.22,5}{350}.0,85.\left(\frac{600}{600+350}\right) = 0,029$$

$$m = \frac{fy}{0,85.fc'} = \frac{350}{0,85.22,5} = 18,301$$

Mu = Pmax .L

= 7,502. 2,4

= 18,004 tm

= 17,662. 10^7 Nmm

Rn $= \frac{Mu}{\phi.b.dx^2} = \frac{17{,}662\ .10^7}{0{,}85.1000.917^2} = 0{,}247$ MPa

ρperlu $= \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.m.Rn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{18{,}301}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.18{,}301.0{,}247}{350}}\right) = 0{,}0007$

dipakai ρmin = 0,004

As perlu = ρ.b.d

= 0,004 .1000 . 917

= 3.668,0 mm^2

Jumlah tulangan per m':

n $= \frac{As\ perlu}{As} = \frac{3.668{,}0}{380{,}133} = 9{,}65$ unit ≈ 10 unit

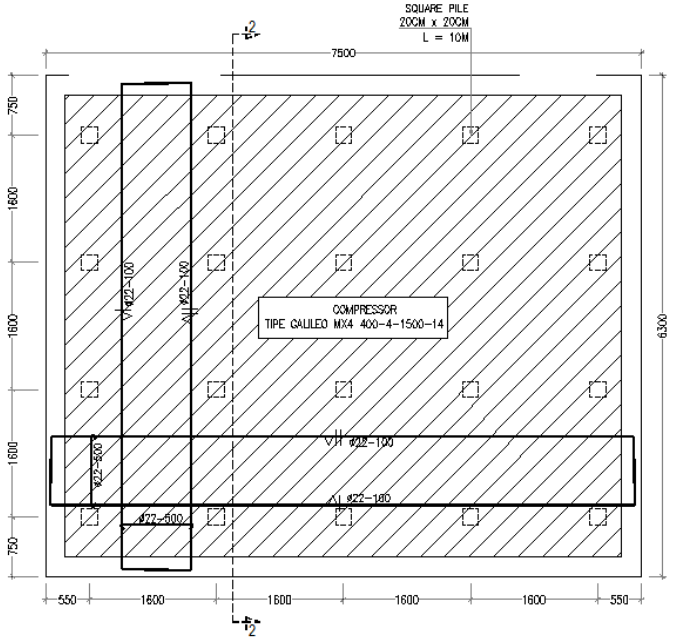
Jarak $= \frac{b}{(n-1)} = \frac{1000}{(10-1)} = 111{,}111$ mm ≈ 100 mm

Digunakan tulangan Ø 22 – 100mm

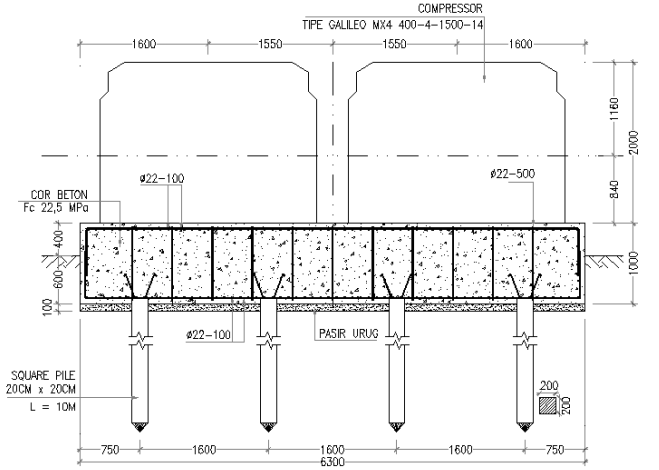
Kontrol:

As' . n > As perlu

380,133 . 10 = 3.801,33 mm^2 > 3.668,0 mm^2 ….OK



Gambar 4.15 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 2 mesin



Gambar 4.16 Potongan 2-2

c. Pondasi tiang kelompok 4 mesin

Data perencanaan:

- Panjang pile cap = 7,5 m
- Lebar pile cap = 12,5 m
- Tebalpile cap = 1,0 m
- Diameter tulangan rencana = 22 mm
- As' = 380,133 mm^2
- Mutu baja = 350 MPa
- Mutu beton = 22,5 MPa
- β_1 = 0,85
- Selimut beton = 50 mm
- dx = 1000 –50 – 0,5(22) –22 = 917 mm
- b = 1000 mm
- P_{maks} = 8,059 ton
- g = 9,81 m/dt^2
- L = 5,6 m

Perhitungan ρ pakai :

$$\rho min = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$\rho b = \frac{0,85\,fc}{fy}\beta 1\left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$$= \frac{0,85.22,5}{350}.0,85.\left(\frac{600}{600+350}\right) = 0,029$$

$$m = \frac{fy}{0,85.fc'} = \frac{350}{0,85.22,5} = 18,301$$

Mu = Pmax .L

= 8,059.5,6

= 45,129 tm

= 44,272.10^7 Nmm

Rn $= \frac{Mu}{\phi.b.dx^2} = \frac{44{,}272.10^7}{0{,}85.1000.917^2} = 0{,}619$ MPa

ρperlu $= \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.m.Rn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{18{,}301}\left(1-\sqrt{1-\frac{2.18{,}301.0{,}619}{350}}\right) = 0{,}0017$

dipakai ρmin = 0,004

As perlu = ρ.b.d

= 0,004 .1000 . 917

= 3.668,0 mm^2

Jumlah tulangan per m':

n $= \frac{As\ perlu}{As} = \frac{3.668{,}0}{380{,}133} = 9{,}65$ unit ≈ 10 unit

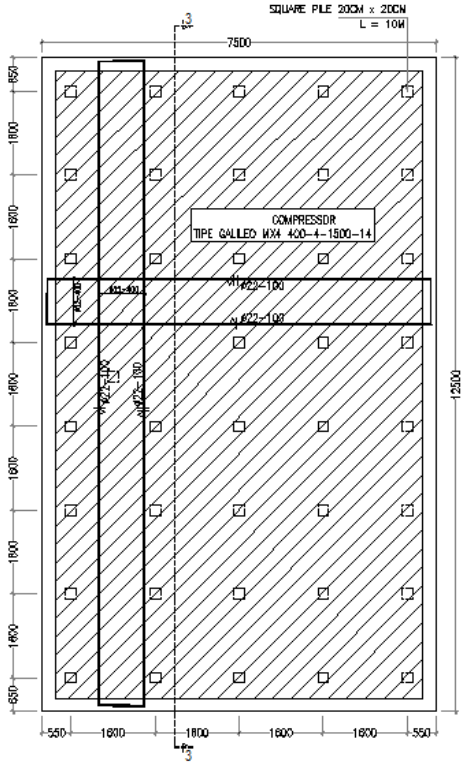
Jarak $= \frac{b}{(n-1)} = \frac{1000}{(10-1)} = 111{,}111$ mm ≈ 100 mm

Digunakan tulangan Ø 22 – 100mm

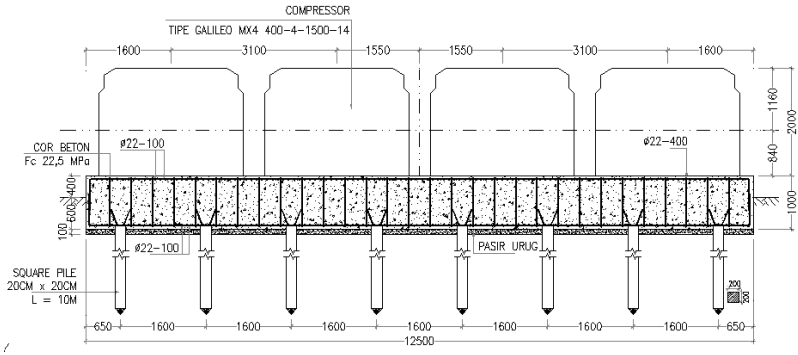
Kontrol:

As' . n > As perlu

380,133 . 10 = 3.801,33 mm^2 > 3.668,0 mm^2



Gambar 4.17 Denah pondasi untuk pondasi kelompok 4 mesin



Gambar 4.18 Potongan 3-3

4.7.2 Harga Satuan Kerja

Harga satuan kerja berdasarkan harga satuan upah/material/ alat yang tercantum pada lembar HSPK wilayah Surabaya.

Tabel 4.10 Harga satuan kerja

NO	ITEM	HARGA	SATUAN
A	UPAH		
1	Surveyor Geodesi	150,000	OH
2	Mandor	150,000	OH
3	Kepala tukang kayu	120,000	OH
4	Kepala Tukang Cat	120,000	OH
5	Kepala Tukang Batu	120,000	OH
6	Kepala Tukang Besi	120,000	OH
7	Tukang Cat	95,000	OH
8	Tukang Besi	95,000	OH
9	Tukang kayu	95,000	OH
10	Tukang batu	95,000	OH
11	Tukang	95,000	OH
12	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	75,000	OH
B	BAHAN		
1	Semen portland (40kg)	60,200	Zak
2	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	63,100	Zak
3	Pasir Urug	135,400	m^3
4	Pasir Pasang	170,700	m^3
5	Pasir Beton	232,100	m^3
6	Batu Pecah mesin 2/3	247,200	m^3
7	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	329,600	m^3
8	Kawat Beton	17,700	kg
9	Dolken Kayu Gelam 8-10/400cm	8,100	Batang
10	Kayu Meranti Kaso 5/7	4,280,000	m^3
11	Kayu Meranti (bekisting)	2,214,900	m^3

Tabel 4.10 Harga satuan kerja *lanjutan*..

NO	ITEM	HARGA	SATUAN
12	Kayu Meranti (Usuk 4/6)	4,280,000	m^3
13	Kayu Meranti Kaso 5/7	4,280,000	m^3
14	Paku biasa 2" - 5"	25,900	kg
15	Paku Asbes	116,000	kg
16	Air (biaya air tawar)	27	Liter
17	OKA Class "MS" Piles 200x200 mm	200,000	m'
18	Besi Beton (ulir) dia 22mm	10,000	kg
19	Besi Plat strip	21,200	kg
20	Bata merah (kelas 1)	800	buah
21	Batu Bata Merah uk 22 x 11 x 4.5 cm	800	buah
22	Waterproofing	80,200	kg
23	Serat Fiber	10,200	m^2
24	Kaca Polos tbl 3 mm	95,400	m^2
25	Kunci Tanam	66,600	buah
26	Lapis triplek 0.4 cm	68,600	lembar
27	Gel. BJLS 30 uk. (80cmx180cm)	56,500	Lembar
28	Seng Gelombang Uk. (0,8 x 1,50)	56,500	Lembar
29	Cat Meni Besi	56,500	kg
C	PERALATAN		
1	Sewa Theodolit	352,300	Hari
2	Sewa Dump Truck 5 T (min 5 jam)	66,100	Hour
3	Sewa Crane 30 ton - min. 8 jam (termasuk mob/demob, operator, BBM)	139,800	Hour
4	Sewa Hammer tiang pancang - min. 8 jam(termasuk mob/demob, operator, BBM)	188,100	Hour
5	Sewa Escavator 6 m3	132,200	Hour
6	Sewa Concrete Vibrator	15,000	Hour

4.7.3 Harga Satuan Pokok Kegiatan

Harga satuan pokok kegiatan dihitung berdasarkan harga satuan upah, material dan alat di wilayah kota Surabaya.

Tabel 4.11 Harga satuan pokok kegiatan

24.01.01.05	**Uitzet Dengan WaterPass / Theodolit**		**m2**		
	Upah:				
23.01.02.01.43.F	Surveyor Geodesi	0.0067	O.H	150,000	1,000
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.0133	O.H	75,000	1,000
				Jumlah:	**2,000**
	Sewa Peralatan:				
23.02.05.12.04.01.F	Sewa Theodolit	0.0067	hari	352,300	2,349
				Jumlah:	**2,349**
				Nilai HSPK :	**4,349**
24.01.01.04	**Pembersihan Lapangan "Berat" dan Perataan**		**m2**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0500	O.H	150,000	7,500
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.1000	O.H	75,000	7,500
				Jumlah:	**15,000**
				Nilai HSPK :	**15,000**
24.01.01.10	**Pembuatan Direksi Kit**		**m2**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0500	O.H	150,000	7,500
23.02.04.01.02.F	Kepala tukang kayu	0.3000	O.H	120,000	36,000
23.02.04.01.03.F	Tukang kayu	2.0000	O.H	95,000	190,000
23.02.04.01.03.F	Tukang batu	1.0000	O.H	95,000	95,000
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	2.0000	O.H	75,000	150,000
				Jumlah:	**478,500**
	Bahan:				
20.01.01.43.05.01.F	Dolken Kayu Gelam 8-10/400cm	1.2500	Batang	8,100	10,125
20.01.01.43.04.03.F	Kayu Meranti Kaso 5/7	0.1800	m3	4,280,000	770,400
20.01.01.28.04.05.F	Paku biasa 2" - 5"	0.8500	kg	25,900	22,015
20.01.01.11.01.F	Besi Plat strip	1.1000	kg	21,200	23,320
20.01.01.02.02.F	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	0.7000	zak	63,100	44,170
20.01.01.04.03.F	Pasir pasang	0.1500	m3	170,700	25,605
20.01.01.04.04.F	Pasir Beton	0.1000	m3	232,100	23,210
20.01.01.05.04.02.F	Batu Pecah mesin 2/3	0.1500	m3	247,200	37,080
20.01.01.05.06.01.F	Bata merah (kelas 1)	30.0000	buah	800	24,000
20.01.01.07.02.01.F	Gel. BJLS 30 uk. (80cmx180cm)	0.2500	lembar	56,500	14,125
20.01.01.03.02.02.F	Kaca Polos tbl 3 mm	0.0800	m2	95,400	7,632
20.01.01.25.01.F	Kunci Tanam	0.1500	buah	66,600	9,990
20.01.01.34.01.F	Lapis triplek 0.4 cm	0.0600	lembar	68,600	4,116
				Jumlah:	**1,015,788**
				Nilai HSPK :	**1,494,288**
24.01.01.01	**Pembuatan Bowplank /Titik**		**Titik**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0045	O.H	150,000	675
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Kayu	0.0100	O.H	120,000	1,200
23.02.04.01.03.F	Tukang Kayu	0.1000	O.H	95,000	9,500
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.1000	O.H	75,000	7,500
				Jumlah:	**18,875**
	Bahan/Material:				
20.01.01.43.04.05.F	Kayu Meranti (bekisting)	0.0080	m3	2,214,900	17,719
20.01.01.43.04.03.F	Kayu Meranti (Usuk 4/6)	0.0120	m3	4,280,000	51,360
20.01.01.28.04.05.F	Paku biasa 2" - 5"	0.0500	Kg	25,900	1,295
				Jumlah:	**70,374**
				Nilai HSPK :	**89,249**

Tabel 4.11 Harga satuan pokok kegiatan *lanjutan*…

24.01.01.11	**Pembuatan pagar sementara seng gelombang tinggi 2 m**		**m1**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0200	O.H	150,000	3,000
23.02.04.01.02.F	Kepala tukang kayu	0.0200	O.H	120,000	2,400
23.02.04.01.03.F	Tukang kayu	0.2000	O.H	95,000	19,000
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.4000	O.H	75,000	30,000
				Jumlah:	**54,400**
	Bahan:				
20.01.01.43.05.01.F	Dolken Kayu Gelam 8-10/400cm	1.2500	batang	8,100	10,125
20.01.01.02.02.F	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	0.0500	zak	63,100	3,155
20.01.01.07.02.01.F	Seng Gelombang Uk. (0,8 x 1,	1.2000	lembar	56,500	67,800
20.01.01.04.04.F	Pasir beton	0.0050	m3	232,100	1,161
20.01.01.05.04.02.F	Batu Pecah Mesin 2/3	0.0090	m3	247,200	2,225
20.01.01.43.04.03.F	Kayu Meranti Kaso 5/7	0.0720	m3	4,280,000	308,160
20.01.01.25.02.F	Paku Asbes	0.0600	kg	116,000	6,360
20.01.01.06.01.02.F	Cat Meni Besi	0.4500	Kg	56,500	25,425
				Jumlah:	**425,010**
				Nilai HSPK :	**479,410**
24.01.02.12	**Penggalian Tanah dengan Alat Berat**		**m3**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0070	O.H	150,000	1,050
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.2260	O.H	75,000	16,950
				Jumlah:	**18,000**
	Sewa Peralatan:				
23.02.05.03.04.04.F	Sewa Dump Truck 5 T (min 5 jam)	0.0670	Jam	66,100	4,429
23.02.05.11.01.01.F	Sewa Escavator 6 m3	0.0670	Jam	132,200	8,857
				Jumlah:	**13,286**
				Nilai HSPK :	**31,286**
24.02.01.25	**Pemancangan Tiang Pancang m1 (≥ 200m)**		**m1**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.1250	O.H	150,000	18,750
				Jumlah:	**18,750**
	Bahan:				
22.01.01.03.05.01.F	OKA Class "MS" Piles 200x200 mm	1.0000	m	200,000	200,000
				Jumlah:	**200,000**
	Sewa Peralatan:				
23.02.05.11.03.01.F	Sewa Crane 30 ton - min. 8 jam (termasuk mob/demob, operator, BBM)	0.2180	Jam	139,800	30,476
23.02.05.11.10.01.F	Sewa Hammer tiang pancang - min. 8 jam(termasuk mob/demob, operator, BBM)	0.2180	Jam	188,100	41,006
				Jumlah:	**71,482**
				Nilai HSPK :	**290,232**

Tabel 4.11 Harga satuan pokok kegiatan *lanjutan…*

24.01.02.15	**Pengerugan Pasir (PADAT)**		**m3**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0100	O.H	150,000	1,500
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.3000	O.H	75,000	22,500
				Jumlah:	**24,000**
	Bahan:				
20.01.01.04.01.F	Pasir Urug	1.2000	m3	135,400	162,480
				Jumlah:	**162,480**
				Nilai HSPK :	**186,480**
24.04.01.01	**BEKISTING PONDASI Pemasangan Dinding Batu Merah 1 Pc : 2 Pp tebal 1 bata**		**m2**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0300	O.H	150,000	4,500
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Batu	0.0200	O.H	120,000	2,400
23.02.04.01.03.F	Tukang Batu	0.2000	O.H	95,000	19,000
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.6000	O.H	75,000	45,000
				Jumlah:	**70,900**
	Bahan:				
20.01.01.02.02.F	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	0.8700	Zak	63,100	54,897
20.01.01.04.03.F	Pasir Pasang	0.0800	m3	170,700	13,656
20.01.01.05.06.01.F	Batu Bata Merah uk 22 x 11 x 4.5 cm	140.0000	Buah	800	112,000
				Jumlah:	**180,553**
				Nilai HSPK :	**251,453**
24.03.01.09	**Pekerjaan Beton K-275**		**m3**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0830	O.H	150,000	12,450
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Batu	0.0280	O.H	120,000	3,360
23.02.04.01.03.F	Tukang batu	0.2750	O.H	95,000	26,125
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	1.6500	O.H	75,000	123,750
				Jumlah:	**165,685**
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	10.1500	Zak	63,100	640,465
20.01.01.04.04.F	Pasir Beton	0.4275	m3	232,100	99,223
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5400	m3	329,600	177,984
23.02.02.02.01.F	Air (biaya air tawar)	215.0000	Liter	27	5,805
				Jumlah:	**923,477**
				Nilai HSPK :	**1,089,162**
24.03.01.14	**Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos/ulir)**		**kg**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0004	O.H	150,000	60
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Besi	0.0007	O.H	120,000	84
23.02.04.01.03.F	Tukang Besi	0.0070	O.H	95,000	665
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.0070	O.H	75,000	525
				Jumlah:	**1,334**
	Bahan:				
20.01.01.03.01.01.F	Besi Beton (ulir) dia 22mm	1.0500	Kg	10,000	10,500
20.01.01.35.02.01.F	Kawat Beton	0.0150	Kg	17,700	266
				Jumlah:	**10,766**
				Nilai HSPK :	**12,100**

Tabel 4.11 Harga satuan pokok kegiatan *lanjutan*...

24.04.01.21	**Pekerjaan Acian**		**m2**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0100	O.H	150,000	1,500
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Batu	0.0100	O.H	120,000	1,200
23.02.04.01.03.F	Tukang Batu	0.1000	O.H	95,000	9,500
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.2000	O.H	75,000	15,000
				Jumlah:	**27,200**
	Bahan:				
20.01.01.02.02.F	Semen PC (Portland Cement) 50 kg	0.0650	Zak	63,100	4,102
				Jumlah:	**4,102**
				Nilai HSPK :	**31,302**
24.04.02.17	**Pelapisan Waterproofing**		**m2**		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0025	O.H	150,000	375
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Cat	0.0075	O.H	120,000	900
23.02.04.01.03.F	Tukang Cat	0.0750	O.H	95,000	7,125
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Terampil	0.0500	O.H	75,000	3,750
				Jumlah:	**12,150**
	Bahan:				
20.01.01.06.05.01.F	Waterproofing	0.3500	Kg	80,200	28,070
20.01.01.06.05.02.F	Serat Fiber	1.0000	m2	10,200	10,200
				Jumlah:	**38,270**
				Nilai HSPK :	**50,420**
24.01.02.06	**Pengangkutan Tanah keluar Proyek**		**m3**		
	Upah:				
23.02.04.01.04.F	Pekerja/ Buruh Tak Teran	0.2500	O.H	75,000	18,750
				Jumlah:	**18,750**
	Sewa Peralatan:				
23.02.05.09.04.04.F	Sewa Dump Truck 5 T (min 5 jam)	0.2500	Jam	66,100	16,525
				Jumlah:	**16,525**
				Nilai HSPK :	**35,275**

4.7.4 Rencana Anggaran Biaya

Berikut rencana anggaran biaya pekerjaan pondasi mesin *compressor*:

a. Pondasi kelompok 1 mesin

Tabel 4.12 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 1 mesin

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp.)	TOTAL (Rp.)
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**				
1	Uitzet	48.45	m^2	4,348.67	210,692.90
2	Pembersihan lahan	49.4	m^2	15,000.00	741,000.00
3	Direksi kit	35	m^2	1,494,288.00	52,300,080.00
4	Pemasangan bouplank	20	unit	89,249.20	1,784,984.00
5	Pagar sementara seng gelombang h=2m	11.3875	m'	479,410.30	5,459,284.79
II	**PEKERJAAN TANAH**				
1	Galian tanah (*pile cap*)	14.4	m^3	31,286.10	450,519.84
2	Pengangkutan Tanah keluar Proyek	14.4	m^3	35,275.00	507,960.00
3	Tiang pancang 20cm x 20cm (fc' 40 Mpa), temasuk sewa *crane*, operator, *hammer* tiang pancang, *mobile* dan *demobile* peralatan pancang	150	m'	290,232.20	43,534,830.00
4	Potong kepala tiang pancang	15	unit	35,000.00	525,000.00
III	**PEKERJAAN BEKISTING**				
1	Bekisting *pile cap*	21.4	m^2	251,453.00	5,381,094.20
IV	**PEKERJAAN BETON**				
1	Pekerjaan Beton (fc' 22,5 Mpa)	24	m^3	1,089,161.75	26,139,882.00
V	**PEKERJAAN PENULANGAN**				
1	Tulangan D22-100mm	3,581.11	kg	12,099.50	43,329,633.40
VI	**FINISHING**				
1	Pekerjaan aci (*exposed concrete*)	32.56	m^2	31,301.50	1,019,176.84
2	Pekerjaan pelapis water proofing (exposed concrete)	32.56	m^2	50,420.00	1,641,675.20
VII	**PEMBERSIHAN LAHAN**	49.4	m^2	15,000.00	741,000.00
	TOTAL PER UNIT				**183,766,813.17**
	DIBULATKAN				**183,767,000.00**
	TOTAL PEKERJAAN	**16**	**unit**	**183,767,000.00**	**2,940,272,000.00**

b. Pondasi kelompok 2 mesin

Tabel 4.13 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 2 mesin

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp.)	TOTAL (Rp.)
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**				
1	Uitzet	96.9	m^2	4,348.67	421,385.80
2	Pembersihan lahan	78.85	m^2	15,000.00	1,182,750.00
3	Direksi kit	35	m^2	1,494,288.00	52,300,080.00
4	Pemasangan bouplank	20	unit	89,249.20	1,784,984.00
5	Pagar sementara seng gelombang h=2m	22.775	m'	479,410.30	10,918,569.58
II	**PEKERJAAN TANAH**				
1	Galian tanah (*pile cap*)	28.35	m^3	31,286.10	886,960.94
2	Pengangkutan Tanah keluar Proyek	28.35	m^3	35,275.00	1,000,046.25
3	Tiang pancang 20cm x 20cm (fc' 40 Mpa), temasuk sewa *crane*, operator, *hammer* tiang pancang, *mobile* dan *demobile* peralatan pancang	200	m'	290,232.20	58,046,440.00
4	Potong kepala tiang pancang	20	unit	35,000.00	700,000.00
III	**PEKERJAAN BEKISTING**				
1	Bekisting *pile cap*	27.6	m^2	251,453.00	6,940,102.80
IV	**PEKERJAAN BETON**				
1	Pekerjaan Beton (fc' 22,5 Mpa)	47.25	m^3	1,089,161.75	51,462,892.69
V	**PEKERJAAN PENULANGAN**				
1	Tulangan D22-100mm	6,563.30	kg	12,099.50	79,412,629.67
VI	**FINISHING**				
1	Pekerjaan aci (*exposed concrete*)	58.29	m^2	31,301.50	1,824,564.44
2	Pekerjaan pengecatan (exposed concrete)	58.29	m^2	50,420.00	2,938,981.80
VII	**PEMBERSIHAN LAHAN**	78.85	m^2	15,000.00	1,182,750.00
	TOTAL PER UNIT				**271,003,137.96**
	DIBULATKAN				**271,004,000.00**
	TOTAL PEKERJAAN	**8**	**unit**	**271,004,000.00**	**2,168,032,000.00**

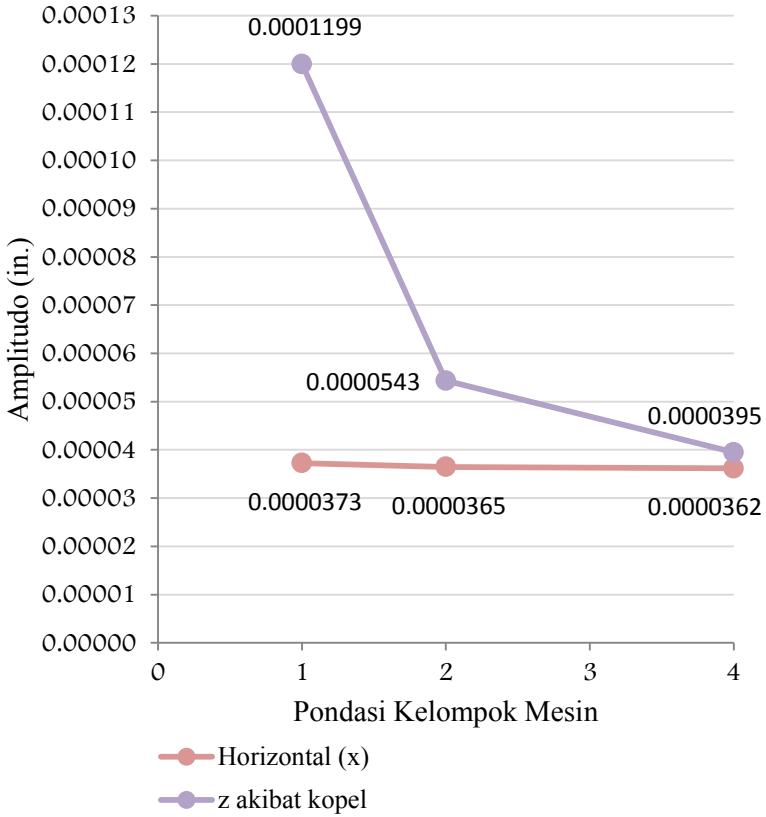
c. Pondasi kelompok 4 mesin

Tabel 4.14 Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok 4 mesin

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp.)	TOTAL (Rp.)
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**				
1	Uitzet	193.8	m^2	4,348.67	842,771.60
2	Pembersihan lahan	137.75	m^2	15,000.00	2,066,250.00
3	Direksi kit	35	m^2	1,494,288.00	52,300,080.00
4	Pemasangan bouplank	20	unit	89,249.20	1,784,984.00
5	Pagar sementara seng gelombang h=2m	45.55	m^1	479,410.30	21,837,139.17
II	**PEKERJAAN TANAH**				
1	Galian tanah (*pile cap*)	56.25	m^3	31,286.10	1,759,843.13
2	Pengangkutan Tanah keluar Proyek	56.25	m^3	35,275.00	1,984,218.75
3	Tiang pancang 20cm x 20cm (fc' 40 Mpa), temasuk sewa *crane*, operator, *hammer* tiang pancang, *mobile* dan *demobile* peralatan pancang	400	m^1	290,232.20	116,092,880.00
4	Potong kepala tiang pancang	40	unit	35,000.00	1,400,000.00
III	**PEKERJAAN BEKISTING**				
1	Bekisting *pile cap*	40	m^2	251,453.00	10,058,120.00
IV	**PEKERJAAN BETON**				
1	Pekerjaan Beton (fc' 22,5 Mpa)	93.75	m^3	1,089,161.75	102,108,914.06
V	**PEKERJAAN PENULANGAN**				
1	Tulangan D22-100mm	12,527.68	kg	12,099.50	151,578,622.21
VI	**FINISHING**				
1	Pekerjaan aci (*exposed concrete*)	109.75	m^2	31,301.50	3,435,339.63
2	Pekerjaan pengecatan (exposed concrete)	109.75	m^2	50,420.00	5,533,595.00
VII	**PEMBERSIHAN LAHAN**	137.75	m^2	15,000.00	2,066,250.00
	TOTAL PER UNIT				**474,849,007.54**
	DIBULATKAN				**474,850,000.00**
	TOTAL PEKERJAAN	**4**	**unit**	**474,850,000.00**	**1,899,400,000.00**

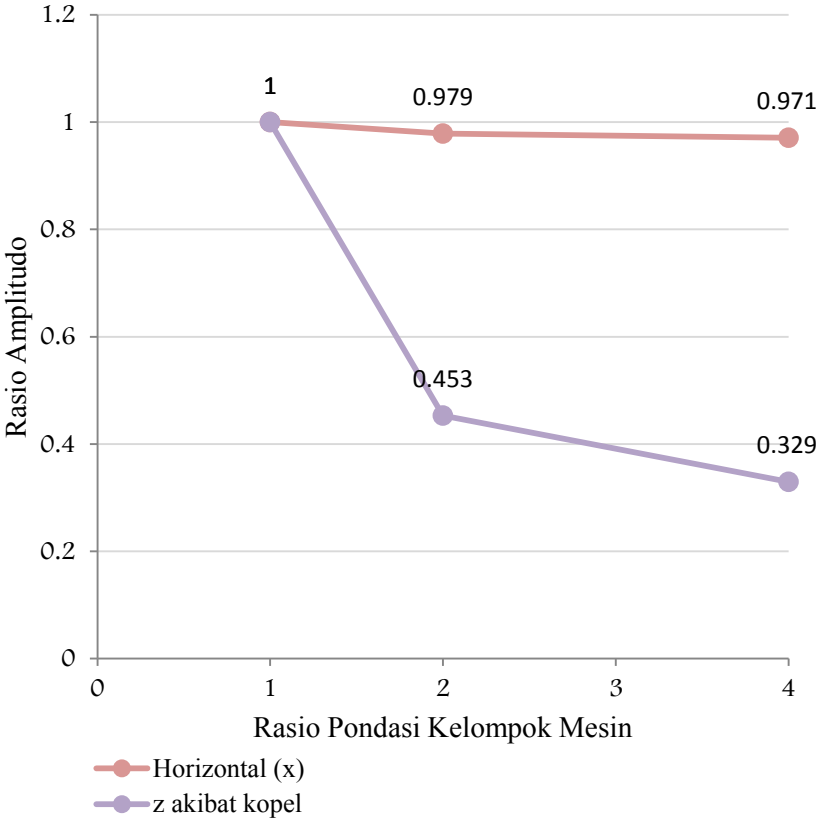
BAB V
KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perencanaan pondasi *compressor,* maka nilai amplitudo yang paling mempengaruhi di tampilkan pada grafik sebagai berikut :



Grafik 5.1 Hubungan Antara Pondasi Kelompok Mesin dan Amplitudo

Rasio amplitudo ditampilkan pada grafik sebagai berikut:



Grafik 5.2 Hubungan Antara Rasio Pondasi Kelompok Mesin dan Rasio Amplitudo

Perbandingan rekapitulasi biaya pekerjaan untuk pekerjaan pondasi mesin compressor untuk ketiga alternatif disajikan dalam tabel 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1 Perbandingan rekapitulasi biaya untuk pekerjaan pondasi kelompok mesin

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp.)	TOTAL (Rp.)
I	PEKERJAAN PONDASI KELOMPOK 1 MESIN	16	UNIT	183,767,000	2,940,272,000
II	PEKERJAAN PONDASI KELOMPOK 2 MESIN	8	UNIT	271,004,000	2,168,032,000
III	PEKERJAAN PONDASI KELOMPOK 4 MESIN	4	UNIT	474,850,000	1,899,400,000

Dari data tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin banyak mesin dikelompokkan ke dalam satu pondasi, maka nilai amplitudo semakin kecil atau rasio amplitudo berkurang semakin besar.
2. Semakin banyak mesin dikelompokkan ke dalam satu pondasi, biaya pekerjaan yang dibutuhkan semakin kecil.
3. Dari hasil perencanaan untuk ketiga alternatif pondasi kelompok mesin, dengan kondisi yang ditentukan, maka didapatkan pondasi yang paling efisien diterapkan pada proyek Mesin Compressor CNG MARINE PT PJB UP Gresik, Jawa Timur adalah pondasi kelompok empat mesin.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

A.5. SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT

Borehole I_D			Shallow boring-1		Shallow boring-2		Shallow Boring-3		Deep Boring-1			Deep Boring-2		
Sample depth, m			2.00	4.00	1.00	3.00	1.00	2.00	8.50	14.50	22.50	0.50	10.50	18.50
Coef of consolidation, cv (cm2/s)			4.40E-03	1.40E-03	2.70E-03	3.50E-03	2.40E-03	2.50E-03	1.70E-03	1.70E-03	1.40E-03	2.10E-03	1.70E-03	1.60E-03
Specific gravity, Gs			2.56	2.50	2.60	2.58	2.53	2.54	2.55	2.50	2.52	2.52	2.54	2.55
Liquid Limit (LL)			-	38	47	48	42	44	58	62	67	34	56	60
Plastic Limit (PL)			-	21	25	22	24	20	26	24	21	22	21	23
Index Plasticity (IP)			-	17	22	26	18	24	32		46	12		37
Wet Density, gr/cm^3			1.74	1.74	1.70	1.72	1.79	1.92	1.82	1.83	1.86	1.76	1.83	1.86
Dry Density, gr/cm^3			1.30	1.31	1.22	1.26	1.38	1.56	1.41		1.48	1.33		1.46
Natural Water Content, %			34	33	39	37	30	23	29	27	26	32	28	27
Liquidity index			-	0.71	0.64	0.58	0.33	0.13	0.09	0.08	0.11	0.83	0.20	0.11
Void Ratio			0.97	0.91	1.13	1.06	0.84	0.63	0.81	0.73	0.71	0.89	0.78	0.74
USCS Classification			SP-SC	CL	CL	SC	CL	CL	CH	CH	CH	CL	CH	CH
Soil type			poorly-clayey SAND	silty CLAY	silty CLAY	clayey SAND	Limestone	Limestone	silty CLAY	silty CLAY	silty CLAY	Limestone	silty CLAY	silty CLAY
Grain Size Test	% Gravel		3.34	-	-	2.47	0.87	2.12	-	0.50	-	2.21	-	-
	% Sand		88.62	18.75	11.29	75.78	43.41	52.26	0.64	18.72	0.14	35.01	0.43	0.18
	% Silt		8.04	66.38	71.15	14.78	38.77	29.93	79.50	65.99	77.60	43.61	79.59	79.87
	% Clay		-	14.87	17.56	6.97	16.96	15.70	19.87	14.79	22.26	19.18	19.99	19.96
Strength Test	UCT	Cohesion, kg/cm^2	-	0.20	-	-	0.33	-	-	-	-	0.20	-	-
		quu, kg/cm^2	-	0.41	-	-	0.66	-	-	-	-	-	-	-
	UU-TX	Cohesion, kg/cm^2	-	-	0.23	-	-	0.28	0.60	1.30	1.50	-	0.67	1.30
		Angle of Int. Friction (deg)	-	-	8	-	-	5	7	6	10	-	7	2
	QT	Cohesion, kg/cm^2	0.10	-	-	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
		Angle of Int. Friction (deg)	29	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-
Moduli	Undrained moduli, (kg/cm^2)		-	51	65	-	54	80	180	225	534	51	170	280
	Secant moduli, (kg/cm^2)		-	39	45	-	38	55	90	200	466	39	120	220
	Oedometer moduli, (kg/cm^2)		60	12	12	35	10	25	33	50	85	17	32	47
Consolidation Test	Compression index, C_c		0.12	0.55	0.50	0.19	0.20	0.18	0.34	0.29	0.27	0.40	0.47	0.41
	Eff. overburden pressure, p_o (kg/cm^2)		0.35	0.70	0.17	0.52	0.18	0.38	1.55	2.65	4.19	0.09	1.92	3.44
	Preconsolidation pressure, p_c' (kg/cm^2)		1.90	1.00	1.00	1.20	0.75	1.40	1.80	1.40	2.60	0.70	2.00	1.00
	Swelling index, C_s		0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.03	0.12	0.10	0.08	0.06	0.10	0.08
	Coeff. of volume change, m_v (cm^2/kg)		0.02	0.08	0.08	0.03	0.10	0.04	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03	0.02
	OCR		5.46	1.43	5.88	2.31	4.17	3.68	1.16	0.53	0.62	7.95	1.04	0.29

COPY
05.21.14.
TESTANA

Testana Engineering, Inc.
Soil Testings & Research Administration.

A.3.2. Boring log

PROJECT	: CNG Marine.	DATE OF TEST	: April 25, 2014.	Ground Water Level	: Unrecorded.
LOCATION	: PLTUG Gresik/ PJB Gresik.	BORING DEPTH	: 5.00 m.	Ground Surface Level	: ± 0.00 m.

DEPTH, m,	SOIL DESCRIPTION	STRENGTH TEST				ATTERBERG LIMITS											
		TYPE	cu	Ø	qu	0	20	40	60	80	100	γ_t	Gs	eo	Sr	γ_d	n
0.00	Clay and silt, brown, inorganic, little of sand, trace of gravel										> 100						
	Limestone, whitish brown, having gradation of clay and silt.																
1.00		UU	0.23	8	-			25 ● 39 ○ 47 △				1.70	2.60	1.13	90	1.22	53
2.00	Clay and silt, brown, inorganic, trace to little of sand																
3.00		QT	0.40	34	-			22 ● 37 ○ 48 △				1.72	2.58	1.06	90	1.26	51
4.00	Sand, brown, some clay, contain crushed shells at some depth																
5.00	***End of Boring***																

BORE HOLE # : **SB - 2**

0 to 10 % = Trace
10 to 20 % = Little
20 to 35 % = Some
35 to 50 % = And
◪ = Thin walled

C = Cohesion, kg/cm²
Ø = Angle of internal friction
UU = Unconsolidated undrained
CU = Consolidated undrained
CD = Consolidated drained
qu = Unconfined compression strength, kg/cm²

O = Water content, %
● = Plastic limit, %
Δ = Liquid limit, %

γ_t = Natural Density, t/m³
Gs = Specific Gravity
eo = Void Ratio
Sr = Degree of Saturation, %
γ_d = Dry Density, gr/cc
n = Porosity, %

COPY
05.21.14.
TESTANA

TESTANA ENGINEERING, Inc.

A.3. BORING LOG

BOREHOLE # : DB-3

PROJECT : **CNG Marine.**
LOCATION : ***PLTUG Gresik/ PJB Gresik.***
DATE OF TEST : **31 Mei - 2 June 2014**
DEPTH : **30.0 m**
GROUND WATER LEVEL : **Undetected**
GROUND SURFACE LEVEL : **± 0.00 m**

DEPTH, m.	SOIL DESCRIPTION
0 – 2	Limestone, yellowish brown, having gradation of silt and sand, trace gravel, very loose
2 – 3	Clay and silt, brown, inorganic, trace sand
3 – 5	Clay and sand, grey, contain crushed shells at some depth, soft consistency
5 – 11	Clay and silt, brown mottled with grey, inorganic, trace sand, medium to stiff consistency
11 – 14	Clay and silt, grey mottled with brown, inorganic, trace sand, stiff to very stiff consistency
14 – 30	Clay and silt, grey, inorganic, trace sand, very stiff consistency
30	*End of Boring*

STANDARD PENETRATION TEST (0 10 20 30 40 ≥50)

Depth, m	N-SPT
1	3
2	2
3	5
4	8
5	12
6	14
7	16
8	17
9	17
10	18
11	19
12	24
13	25
14	25
15	26

STRENGTH TEST

DEPTH, m.	TYPE	c	φ
0 – 30			

ATTERBERG LIMITS (0 20 40 60 80 100)

DEPTH, m.	γ	Gs	eo	Sr
0 – 30				

NOTE :

0 to 10 % = Trace
10 to 20 % = Little
20 to 35 % = Some
35 to 50 % = And

= Undisturbed sample
= SPT
= Farily UDS
c = Cohesion intercept, kg/cm²
φ = Internal friction angle, deg

SPT = Standard penetration test (blows / ft)
UU = Triaxial, Unconsolidated undrained
CU = Triaxial. Consolidated undrained
Vane = Vane shear test
qu = Unconfined compression strength, kg/cm²
QT = Direct shear, quick test.

O = Wn = Moisture content, %
● = Wp = Plastic limit, %
Δ = Wt = Liquid limit, %
γ = Bulk density, t/m³
Gs = Specific gravity
eo = Void ratio

GALILEO

Core Compressor / Microbox / Microskid **400-4-1500-14**

COMPRESSOR DATASHEET

v 2.00

Customer Data

Company	

Unit Data

Model 400 | 4 | 1500 | 14

Instrumentation

Base Parameters	Sm3/h at 1,01 bara, 15.0 °C
Elevation	15,2 m
Ambient Temperature	37,8 ºC
Suction Temperature	26,7 ºC
Gas Specific Gravity	0,65

Performance Data

	MINIMUM IN.PRESSURE	WORKING PRESSURE	MAXIMUM IN.PRESSURE
Suction Pressure	10 bar	12 bar	14 bar
Discharge Pressure	255 bar	255 bar	255 bar
Flow	2589 Sm3/h	3096 Sm3/h	3614 Sm3/h
Power	317 kw	356 kw	394 kw
Specific Consumption	**0,122 kwh/Sm3**	**0,115 kwh/Sm3**	**0,109 kwh/Sm3**

		COMPRESSION STAGES			
		1	2	3 (x2)	4 (x2)
Cylinder		B22D 170 1500	B14D 120 1500	M10T 90 1500	A05T 45 1500
Bore In (mm)		170	120	90	45
Inlet Pressure	bar	14	26	52	142
Outlet Pressure	bar	28	58	157	271
Inlet Temperature	°C	28	51	51	50
Outlet Temperature	°C	77	110	141	99
Power	Kw	81	98	69	36

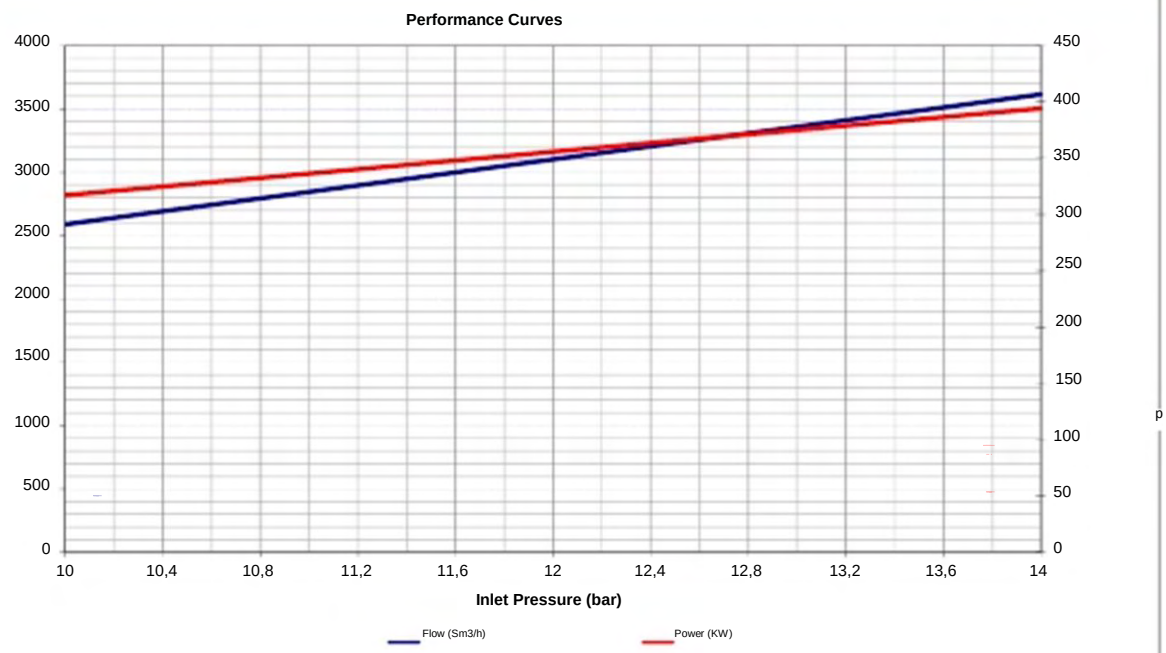
Pressure Alarms

Inlet Pressure	PSL	9			
	PSH	15			
Outlet Pressure	PSL	17	37	103	229
	PSH	31	64	173	265
Safety Relief Valves	PSV	32	67	181	275

Temperature Alarms

Outlet Temperature	TSL				
	TSH	185	185	185	185

Graphics



*All values may have a +/-10% variation

**The manufacturer reserves the right to modify totally or partially any of the datasheet indications without any previous notification

***The power and specific consumption are at the compressor axis and do not consider losses for engine performance and equipment auxiliary systems

****The interstages pressures and performance may change depending on the different gas compositions.

*****The alarm values indicated are presented only as a reference and the Galileo's authorized technical service reserves the right of increasing or reducing them for the equipment performance optimization.

DATA SHEET

COMPRESSOR

FRAME	MODEL	STAGES Nr.	MAX. SUCTION PRESS.	VERSION
MX-400	MX4 400-4-1500-14	4	14 barG	ELECTRIC

CABIN

EQUIPMENT		PRESURIZATION		LIGHTING			DISPLAY	
CORE®		NO		FRONT CABIN	X	APE	4" COLOR DISPLAY	X
CORE® w/ CABIN		YES	X	MOTOR CABIN	X	APE	7" COLOR DISPLAY	
MICROBOX®	X			METERING S. CABIN	X	APE	ADDITIONAL REMOTE DISPLAY	

MAIN DRIVE / FANS

MAKE	WEG	POWER RATING	400 kW	TOTAL CAPACITY	-
MODEL / TYPE	400 MTA 355				
MAIN DRIVE START SYSTEM	SOFT STARTER	THREE-PHASE VOLTAGE	380 V	PRESSURE	-
FANS START SYSTEM	DIRECT	RPM	1.500		
MAX. AMBIENT TEMP.	35 °C	FRECUENCY	50 Hz		
HEIGHT	15 MASL	ELECTRICAL HEATERS	NO		

INTERNAL STORAGE

BANK 1	-
BANK 2	-
BANK 3	-

PRIORITY PANEL

WAYS NUMBER	1

HEAT EXCHANGER

STANDARD	X	TROPICAL	

GAS DRYER

INLET GAS DRYER	-
TOWERS Qty.	-
REGENERATION TYPE	-
NOTE: -	

OUTLET GAS REFRIGERATION

ADDITIONAL REFRIGERATION	-
FLOW MAX.	-

INLET CONNECTION / METERING STATION

METERING STATION	YES	INLET CONNECTION	Ø 3" (to be confirmed)
LINES	1	GAS METER	-
PRESSURE REGULATOR	-	FLOW CORRECTOR	-
INLET FILTER	YES		

PRC

PRC	-
MODEL	-
FLOW MAX.	-

SAFETY SYSTEMS

COMPRESSION CABIN

SAFETY RELIEF VALVES	STD	AUTOMATIC SHUTOFF VALVES ACTIVATED BY THE EMERGENCY SYSTEM	YES
PRESURIZATION	YES		
FIRE DETECTION SYSTEM	Termoveloc.		
FIRE EXTINTION SYSTEM	YES	GAS DETECTION SYSTEM	YES
AUTOMATIC STORAGE VENTING	YES		

MAIN DRIVE CABIN

PRESURIZATION	YES

ELECTRICAL CABIN

GAS DETECTION SYSTEM	YES
INTRINSICAL SAFETY BARRIERS	YES

INSTRUMENTS

COMPRESSION CABIN

	INLET	YES	INLET	NO	
	STAGE 1	YES	STAGE 1	PT-1000	
	STAGE 2	YES	STAGE 2	PT-1000	
	STAGE 3	YES	STAGE 3	PT-1000	
	STAGE 4	YES	STAGE 4	PT-1000	
	OUTLET	YES	OUTLET	PT-1000	
	BANK 1	-	VIBRATION DETECTOR	YES	
	BANK 2	-			
	BANK 3	-	CABIN TEMPERATURE	NO	
	MOBILE BANK	-	CABIN PRESSURE	YES	

LUBRICATION SYSTEM

PRESSURE	STD PRESSURE GAUGE
TEMPERATURE	PT-1000
PRIMARY FILTER PRESSURE INDICATOR	MECHANICAL INDICATOR
OIL LEVEL	SWITCH MURPHY
PRELUBRICATION PUMP	YES
COMPRESSOR OIL HEATERS	-
OIL TANK HEATERS	-

METERING CABIN

METER	-		
FLOW CORRECTOR	-		

MAIN DRIVE CABIN

VIBRATION DETECTOR	-
CABIN TEMPERATURE	PT-1000
CABIN PRESSURE	STD PRESSURE GAUGE

OTHERS

VENTILATION DUCT	-
ANTI-VIBRATION SUPPORT	-
AIR COMPRESSOR	NOT INCLUDED
REMOTE ALARM	-
CERTIFICATION	-

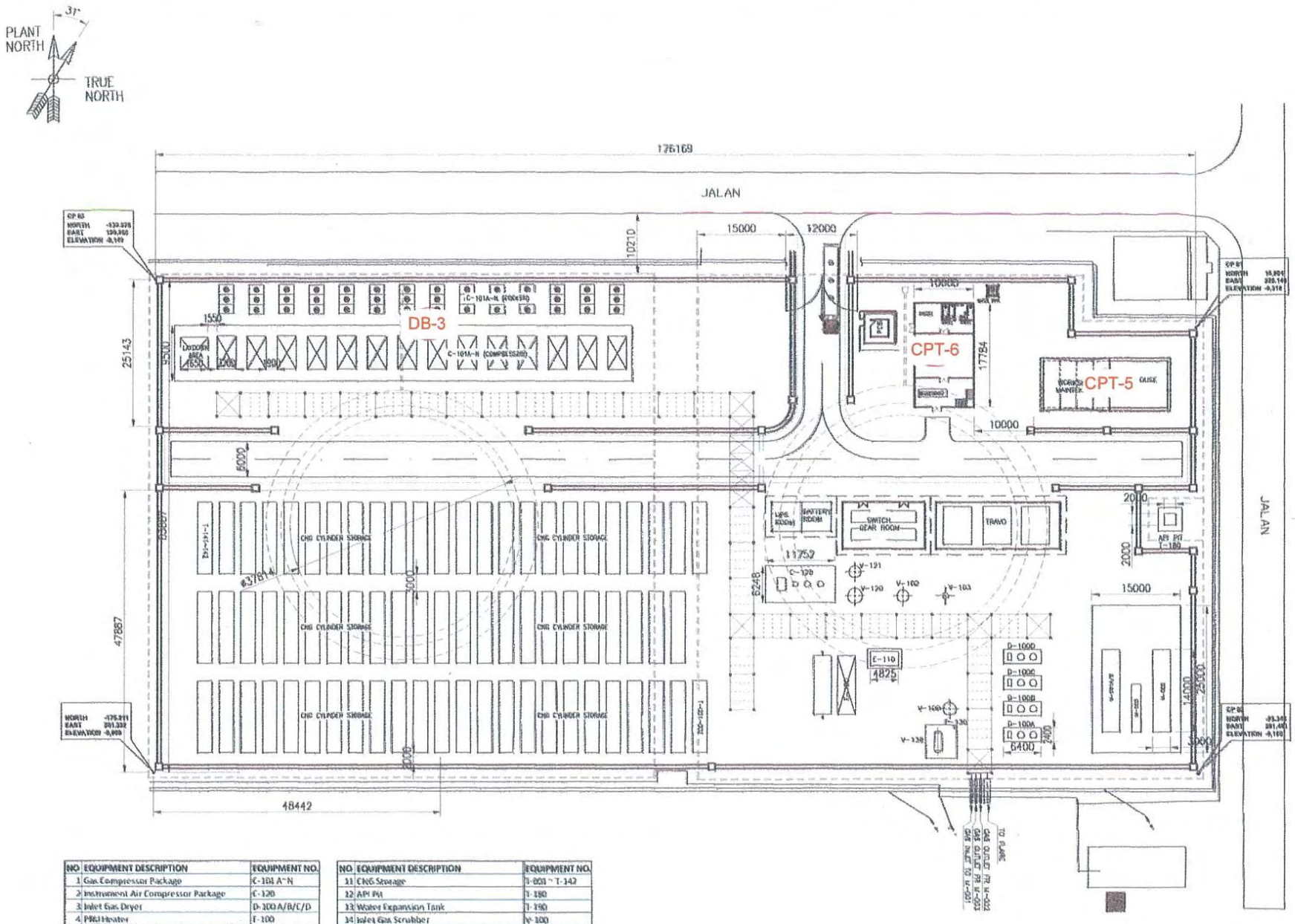
TELECONTROL SYSTEM

SCADA READY	YES
MX TO MX COMUNICATION	-

INSTALLATION KIT

INLET & OUTLET INSTALLATION KIT	-

COMMENTS



NO.	EQUIPMENT DESCRIPTION	EQUIPMENT NO.
1	Gas Compressor Package	C-101 A~N
2	Instrument Air Compressor Package	C-120
3	Inlet Gas Dryer	D-200 A/B/C/D
4	PIG Heater	E-100
5	Gas Fire Heater	E-130
6	Inlet Gas Metering	M-001 A/B
7	CNG to Carrier Metering	M-002
8	Gas to Power Plant Metering	M-003
9		
10	Flare K.O. Drum Sump Pump	P-130

NO.	EQUIPMENT DESCRIPTION	EQUIPMENT NO.
11	CNG Storage	T-001 ~ T-142
12	API Pit	T-180
13	Water Expansion Tank	T-190
14	Inlet Gas Scrubber	V-100
15	Fuel Gas Filter Coalescer	V-103
16	Gas Filter Coalescer	V-102
17	Utility Air Receiver	V-121
18	Instrument Air Receiver	V-120
19	Flare K.O. Drum	V-130

A1

412027-1-M-22-0011O-001

NOTES

REFERENCE DRAWINGS

DWG. NO.	TITLE

NO.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHKD	APVD
0	ISSUED FOR APPROVAL	20/05/14	--	PT. PLN	UA

REVISIONS

REV	DATE	APPROVED

ISSUED FOR CONSTRUCTION

DATE			
BY	DRAWN	DSGND	CHKD	APPROVED

OWNER :

PT. PLN (PERSERO)

DIVISI – JAWA TIMUR
INDONESIA

DESIGN AND :

PLN ENJINIRING

EXECUTING AND :

CIMC ENRIC

GAS COMPRESSING FACILITY, CNG TRANSPORTATION AND DECOMPRESSING FACILITY TO SUPPLY GAS TO POWER PLANT IN LOMBOK

CONTRACT NO. : 0096.PJ/061/DBU1/2014

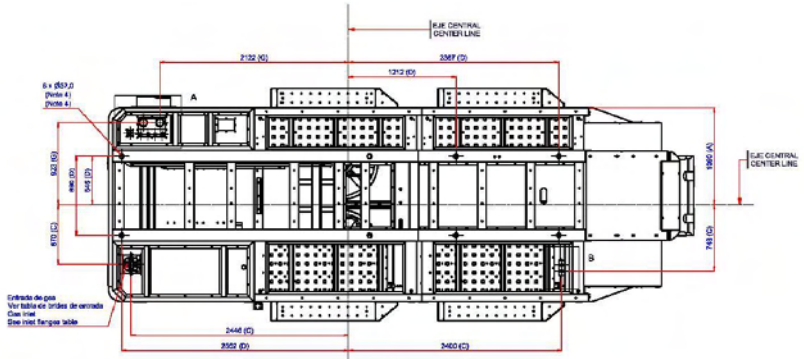
PLN DRAWING NO. : --

TITLE :

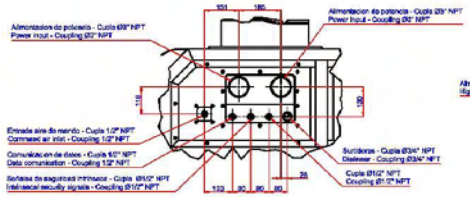
GENERAL
PLOT PLAN (SHEET 1 OF 2)

SCALE : NTS | JOB NO. : AS 1301

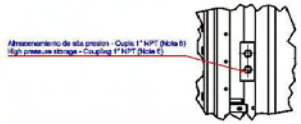
PROJECT	DRAWING NO.	REVISION
CNG	412027-1-M-22-0011O-001	B



DETALLE A
ACOMETIDAS ELECTRICAS
DETAIL A
ELECTRIC CONNECTIONS

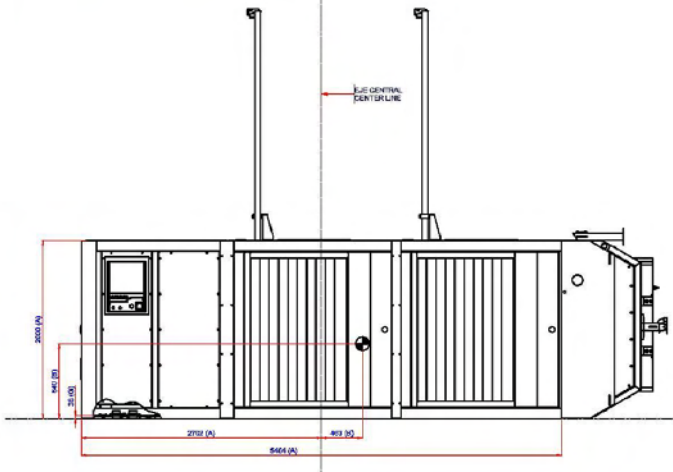


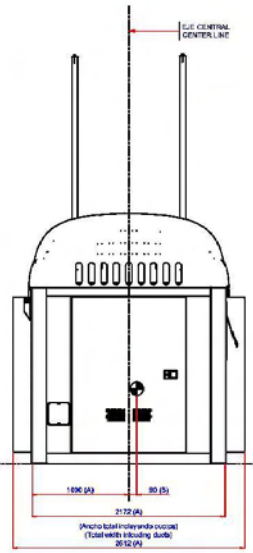
DETALLE B
SALIDA DE GAS
DETAIL B
GAS OUTLET

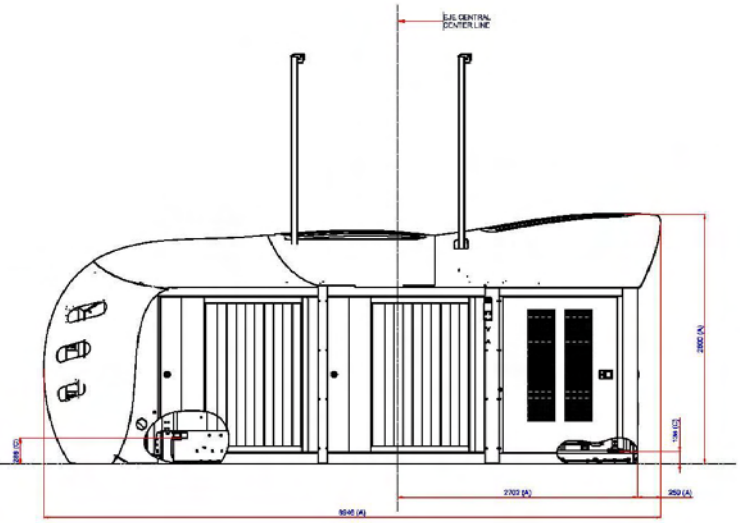


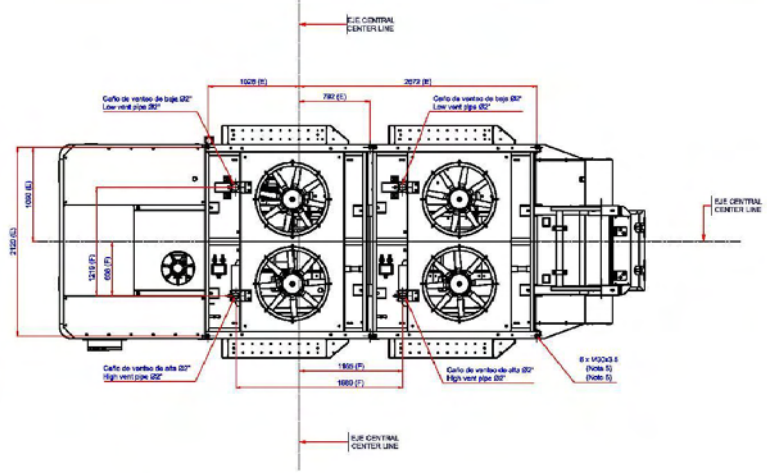
NOTAS/NOTES:
1- Verificar con el estudio de suelo en el lugar de instalacion si el espesor y tipo de hormigon armado (f'PA°) son suficientes. / Verify with the ground study in the installation place if the thickness and type of reinforced concrete plate are sufficient.
2- El diametro y cantidad de conexiones estan a modo de referencia / The diameter and number of connections are for reference.
3- La posicion del las acometidas tienen una tolerancia de +/- 50 mm / The posicion of the connections have a tolerance +/- 50 mm.
4- Puntos de anclaje / Anchoring points.
5- Puntos de izaje / Lifting points.
6- La conexion para almacenamiento externo será opcional dependiendo del equipo / The connection to external storage is optional coponding on the equipment.

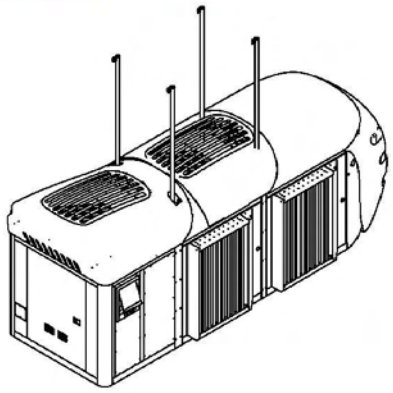
REFERENCIA COTAS/DIEMENSIONS REFERENCE:
(A)- Dimensiones generales / Main dimensions.
(B)- Centro de gravedad / Center of gravity.
(C)- Acometidas de gas / Gas connections.
(D)- Puntos de anclaje / Anchoring points.
(E)- Puntos de izaje / Lifting points.
(F)- Lineas de venteo / Vent lines.
(G)- Acometidas electricas / Electric connections.

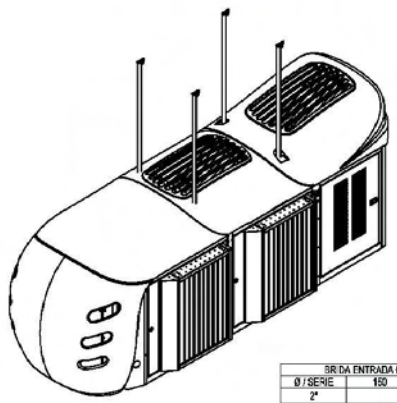












BRIDA ENTRADA GAS / GAS INLET FLANGE

Ø / SERIE	150	300	600
2"			
3"	X		
4"			

Rev	Descripción	A.I.	Fecha	Aprob.	Rev	Descripción	PR.E.	A.I.	1°/10/12 Fecha	A.E.C. Aprob.
					00	EMISION				

GALILEO

Ver formato código/See code formula:

Material:

Iso E | Escala: | Tolerancia / Tolerance: Angular ±1° Lineal ± 2.0

	Nombre/Name	Fecha/Date
Dib./Dra.	L.M.B.	11/10/12
Rev./Rev.	A.E.D.	11/10/12
Apr./App.	A.E.D.	11/10/12

Unidad/Unit: mm | Masa/Weight: 12 Tn | Hoja/Sheet: 1 DE 1 | A1

Título/Title: DIMENSIONAL MCS 400 - ELECTRIC - 1 WAY

Proyecto: DIMENSIONAL MCS 400 - ELECTRIC - 1 WAY

Clase N°/Group N°: TIPMCS400E-001 | Rev. 00

R 2008-1

OKA

PRECAST CONCRETE PILES

(67634-M)

Conform To MS 1314 : 2004

OKA Reinforced Concrete Square Piles

Design and Code of Practices

The design and manufacture of OKA reinforced concrete piles is in accordance with :

MS 1314:2004	"Malaysian Standard for Precast Concrete Piles"
BS 8004:1986	"British Standard Code of Practice for Foundation"
BS 8110:Pt 1:1985	"British Standard on Structural Use of Concrete - Code of Practice for Design and Construction".

Materials Specifications

Concrete	Characteristic cube strength shall be 45 N/mm² ; Water /Cement Ratio <0.45
Cement	Ordinary Portland Cement to MS 522
Aggregates	MS 29
Reinforcement	MS 144 and MS 146

Design Criteria

The piles are designed and manufactured to withstand loads or stresses due to lifting, stacking, transport, handling, pitching and driving at site.

MAIN LONGITUDINAL REINFORCEMENT is designed for lifting, handling and pitching. It is also been taken into consideration for contributing to the axial load capacity :

For OKA Class "MS" Pile,

Small Piles up to 175mm	Minimum 1.0% steel content by volume
Piles 200mm & above	Minimum 0.8% steel content by volume

LATERAL REINFORCEMENT in the form of links is provided to prevent shattering or splitting of pile during driving :

All Piles	Minimum 0.6% steel content by volume (at pile head/toe)
	Minimum 0.2% steel content by volume (at pile body)

Handling & Pitching

OKA piles are designed to resist bending moment due to single point or two points lifting/pitching.

Pile Shoes

OKA piles come with FIVE alternative type of pile shoes. The type of pile shoe selected depend on driving and soil conditions.

(FLAT SHOE)

Type N	Normal Flat Shoe (Flat-ended MS Plate)	.....	easy to medium hard driving

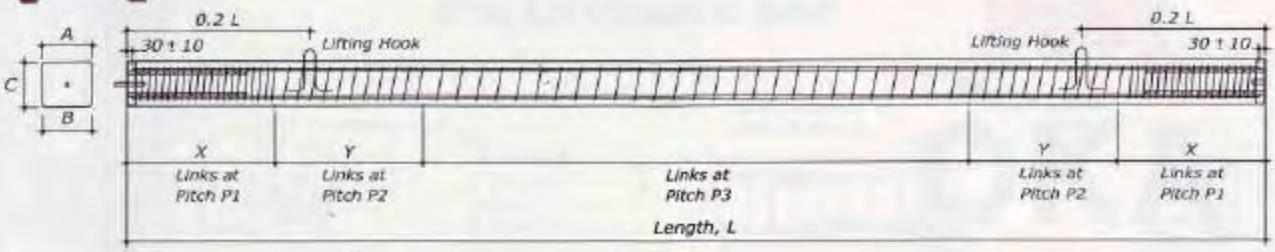
(POINTED SHOES)

Type 1	X-Pointed Shoe	.....	moderate to hard driving
Type 2	Fabricated Pointed Shoe	.....	normal hard driving
Type 3	Cast-iron Pointed Shoe	.....	normal hard driving, to penetrate cemented soil layer , pile seating on weak rock,
Type 4	Rock Shoe ("Oslo Point")	.....	hard driving and piles seating on hard rock strata

RC Piles at OKA factory.

OKA readymix concrete plant.

OKA REINFORCED CONCRETE SQUARE PILES



Pile Dimensions and Details

Pile Nominal Size A x C	Pile Length L	Maximum Structural Load	Recommended Axial Working Load	Pile Dimensions			Main Reinforcement	Links					
				A	B	C		Wire Size	P1	X	P2	Y	P3
(mm x mm)	(M)	(ton)	(ton)	(mm)	(mm)	(mm)	(No/Dia)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
OKA Class "MS" Piles (Conform To MS1314 : 2004)													
150 X 150	6,3	32	25	153	147	150	4 T 9	4.5	45	450	45 - 75	450	75
175 X 175	6,3	44	35	178	172	175	4 T 10	4.5	40	525	40 - 87	525	87
200 X 200	9,6,3	58	45	203	197	200	4 T 12	5.0	45	600	45 - 100	600	100
225 X 225	9,6,3	71	57	228	222	225	4 T 12	5.0	42	675	42 - 112	675	112
250 X 250	9,6,3	89	75	253	247	250	8 T 10	5.5	40	750	40 - 125	750	125
250 X 250	12	92	75	253	247	250	4 T 16	5.5	40	750	40 - 125	750	125
275 X 275	9,6,3	105	85	278	272	275	8 T 10	5.5	41	825	41 - 117	825	117
275 X 275	12	108	85	278	272	275	4 T 16	5.5	41	825	41 - 117	825	117
300 X 300	12,9,6,3	126	105	303	297	300	4 T 16	6.0	43	900	43 - 135	900	135
325 X 325	12,9,6,3	148	120	328	322	325	8 T 12	6.0	42	975	42 - 131	975	131
350 X 350	12,9,6,3	172	145	353	347	350	4 T 16 + 4 T 10	6.0	40	1050	40 - 120	1050	120
375 X 375	12,9,6,3	198	160	378	372	375	4 T 20	6.5	45	1125	45 - 136	1125	136
400 X 400	12,9,6,3	227	190	403	397	400	4 T 20 + 4 T 10	6.5	44	1200	44 - 133	1200	133
450 X 450	12,9,6,3	282	230	453	447	450	4 T 20 + 4 T 12	6.5	41	1350	41 - 120	1350	120
OKA Class "C" Piles													
150 X 150	6,3	32	25	153	147	150	4 T 9	4.5	45	450	45 - 75	450	75
175 X 175	6,3	43	35	178	172	175	4 T 9	4.5	40	525	40 - 87	525	87
200 X 200	6,3	55	45	203	197	200	4 T 10	5.0	45	600	45 - 100	600	100

Type N Normal Flat Shoe Details

Pile Nominal Size A x C	Joint Plate Thickness	Centering Bar Diameter	Anchorage Bars	
			No / Dia	Length
(mm x mm)	(mm)	(mm)		
OKA Class "MS" Flat Shoe				
150 X 150	6	12	4 T 9	315
175 X 175	6	12	4 T 10	350
200 X 200	9	16	4 T 12	384
225 X 225	9	16	4 T 12	384
250 X 250	9	16	4 T 16	512
275 X 275	9	20	4 T 16	512
300 X 300	9	20	4 T 16	512
325 X 325	9	20	4 T 20	640
350 X 350	12	20	4 T 20	640
375 X 375	12	20	4 T 20	640
400 X 400	12	20	4 T 25	800
450 X 450	12	20	4 T 25	800
OKA Class "C" Flat Shoe				
150 X 150	4.5	12	4 T 9	300
175 X 175	4.5	12	4 T 9	300
200 X 200	6	16	4 T 10	350

CAPACITY OF PILE

The maximum allowable structural working load (Safe Working Load) of the pile is calculated in accordance with BS 8004.

$$\text{Max. Structural Working Load} = \frac{f_{cu} \times A_c + f_{sc} \times A_{sc}}{3.65}$$

f_{cu} — *Characteristic cube strength of concrete at 28 days = 45 N/mm²*

A_c — *Area of concrete*

f_{sc} — *175 N/mm² for High Yield Reinforcement*

A_{sc} — *Area of steel*

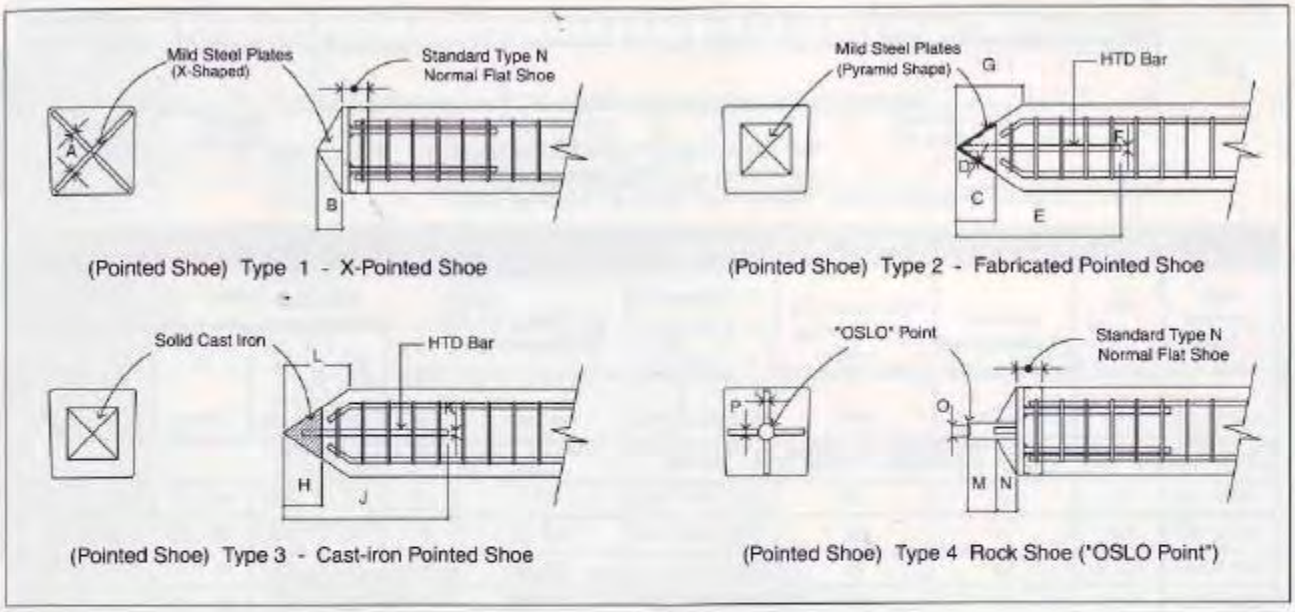
Notes :

1. *OKA Class "MS" piles are designed and manufactured in accordance with MS 1314:2004.*
2. *OKA Class "C" piles are designed and manufactured in accordance with BS 8004.*
3. *Concrete used shall be grade 45 with characteristic cube strength of 45 N/mm² at 28 days.*
4. *The above structural loads are for reference only. Actual structural loads are also dependent on other factors especially ground conditions.*

In view of continual review and improvement, OKA reserves the right to change the above specification without notice. Please check with us when you place your orders.

OKA REINFORCED CONCRETE SQUARE PILES

TYPES OF POINTED PILE SHOE



Pile Nominal Size	TYPES OF POINTED PILE SHOE															
	Type 1 X-Pointed Shoe		Type 2 Fabricated Pointed Shoe					Type 3 Cast-iron Pointed Shoe				Type 4 Rock Shoe ("Oslo Point")			
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	J (mm)	K (mm)	L (mm)	M (mm)	N (mm)	O (mm)	P (mm)
150x150	**6**	**45**	**100**	**6**	**500**	**16**	**150**	**100**	**600**	**20**	**150**	**45**	**45**	**20**	**20**
175x175	6	50	100	6	500	16	175	100	600	20	175	50	50	20	20
200x200	**6**	**60**	**100**	**6**	**500**	**16**	**200**	**150**	**600**	**20**	**200**	**60**	**60**	**20**	**20**
225x225	8	65	150	8	500	16	225	150	600	20	225	65	65	50	20
250x250	**8**	**75**	**150**	**8**	**500**	**16**	**250**	**150**	**600**	**20**	**250**	**75**	**75**	**50**	**20**
275x275	8	80	150	8	500	16	275	150	600	20	275	80	80	50	20
300x300	**8**	**85**	**150**	**8**	**500**	**16**	**300**	**150**	**600**	**20**	**300**	**85**	**85**	**50**	**20**
325x325	8	95	150	8	500	16	325	150	600	20	325	95	95	50	20
350x350	**8**	**100**	**150**	**8**	**500**	**16**	**350**	**150**	**600**	**20**	**350**	**100**	**100**	**50**	**20**
375x375	8	110	150	8	500	16	375	150	600	20	375	110	110	50	20
400x400	**8**	**115**	**150**	**8**	**500**	**16**	**400**	**150**	**600**	**20**	**400**	**115**	**115**	**50**	**20**

Quality Control

Quality Control of all materials and components in pile manufacturing is an essential part of the Oka piling system.

To achieve this, regular testing is carried out and maintained in accordance with Oka's specifications, relevant British Standard Codes of Practices and Malaysian standard. Results are recorded graphically to ensure trends can be recognised early and for ease of reference each pile carries an identification number.
Among the many test carried out are:

- Test on concrete cubes for compressive strength.
- Checks on finished piles for straightness, cross-section, alignment of joint and fittings.
- Slump test on concrete batches.
- Test on aggregate samples for grading and silt content.
- Stringent checks on reinforcement cages for steel quality, spacing and stirrups pitch.

OKA CONCRETE INDUSTRIES SDN BHD
(Subsidiary of OKA CORPORATION BHD)
HEAD OFFICE
No.6, Lebuhraya Chateau, Off Jalan Kampar,
30250 Ipoh, Perak Darul Ridzuan.
Tel: 05-2542741 / 2542745 / 2542746 / 2542748 / 2531734 / 2425211
Fax: 05-2532403 / 2411851

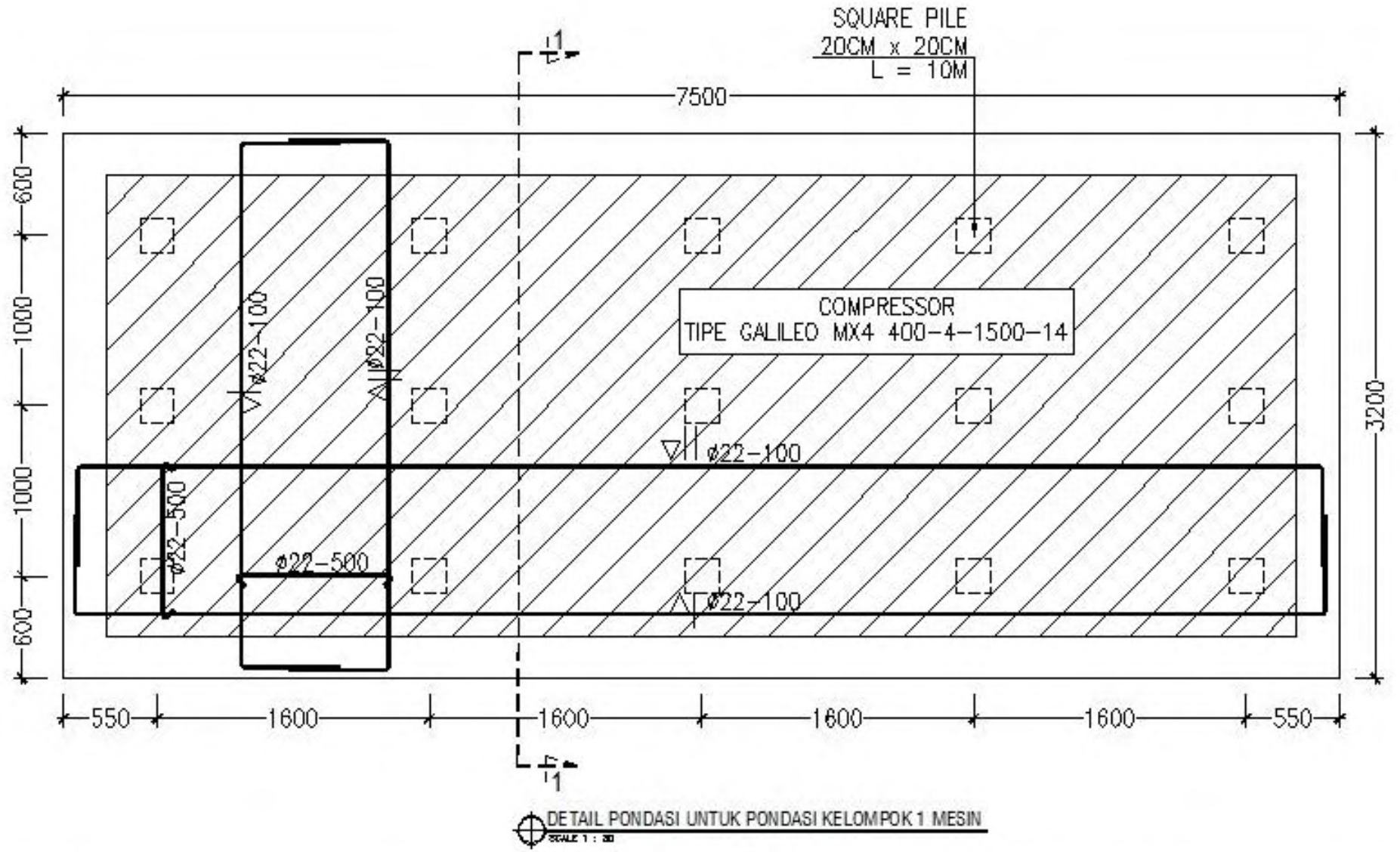
FACTORIES:

Perak
8KM, Off Jalan Gopeng/Batu Gajah,
31300 Kampung Kepayang,
Ipoh, Perak.
Tel: 05-3663516/3666457
Fax: 05-3656505

Negeri Sembilan
PT 2500, Batu 2½
Jalan Pajam-Batang Benar,
71800 Nilai, Negeri Sembilan.
Tel: 06-7999287
Fax: 06-7999287

Johor
Lot 548, Mukim Senai,
Jalan Seelong,
81400 Kulai, Johor.
Tel: 07-5511008
Fax: 07-5511011

Pahang
Lot 986 & Lot 2354,
Batu 6, Jalan Gambang,
25150 Kuantan, Pahang.
Tel: 09-5511371
Fax: 09-5511560

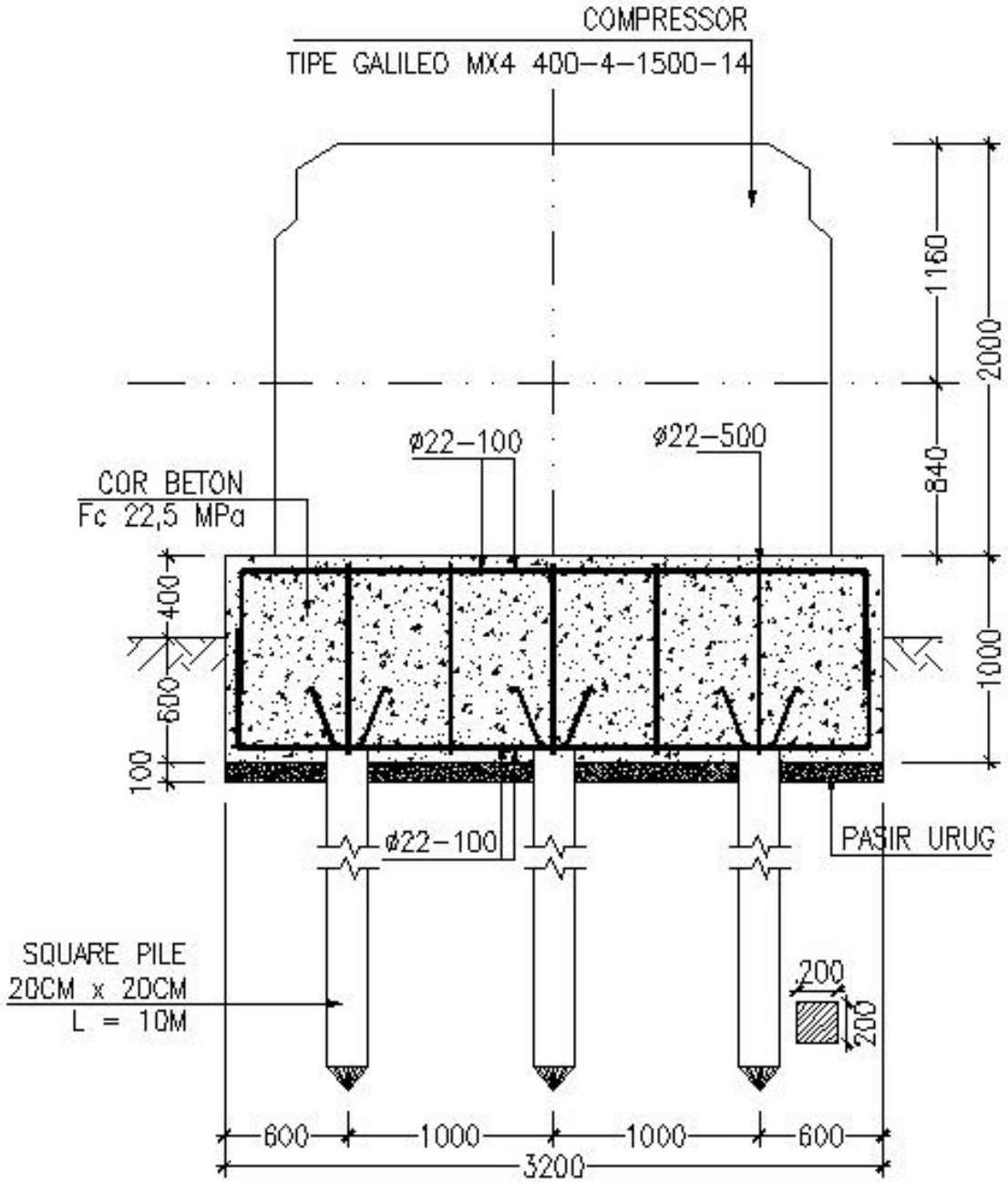


DETAIL PONDASI UNTUK PONDASI KELOMPOK 1 MESIN

SCALE 1 : 50

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

DIGAMBAR OLEH:
CINDY RARA MERIS / 3113.105.055



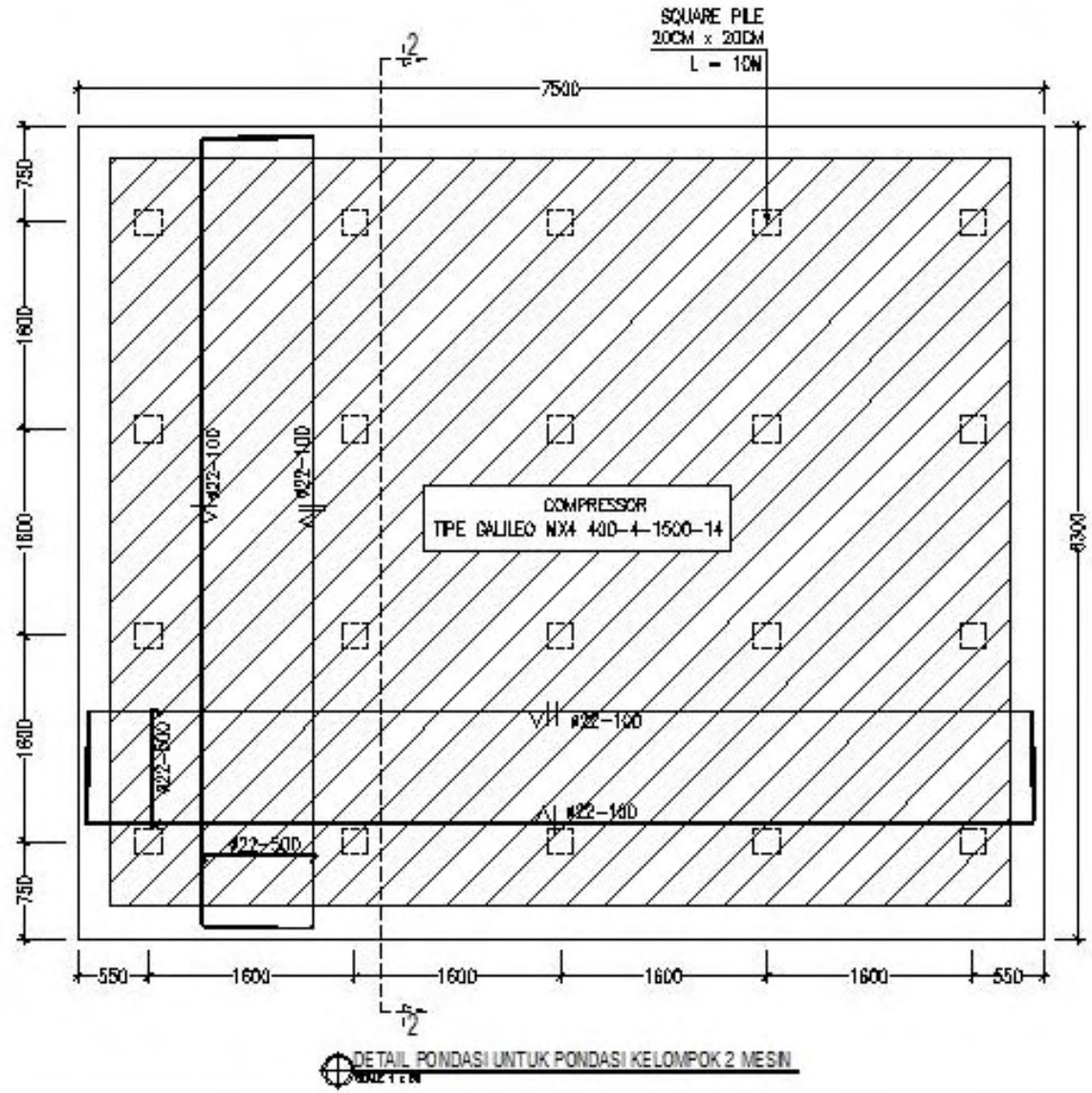
POTONGAN 1-1

SCALE 1 : 30

DIGAMBAR OLEH

CINDY RARA MORIS / 3113 105 055

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

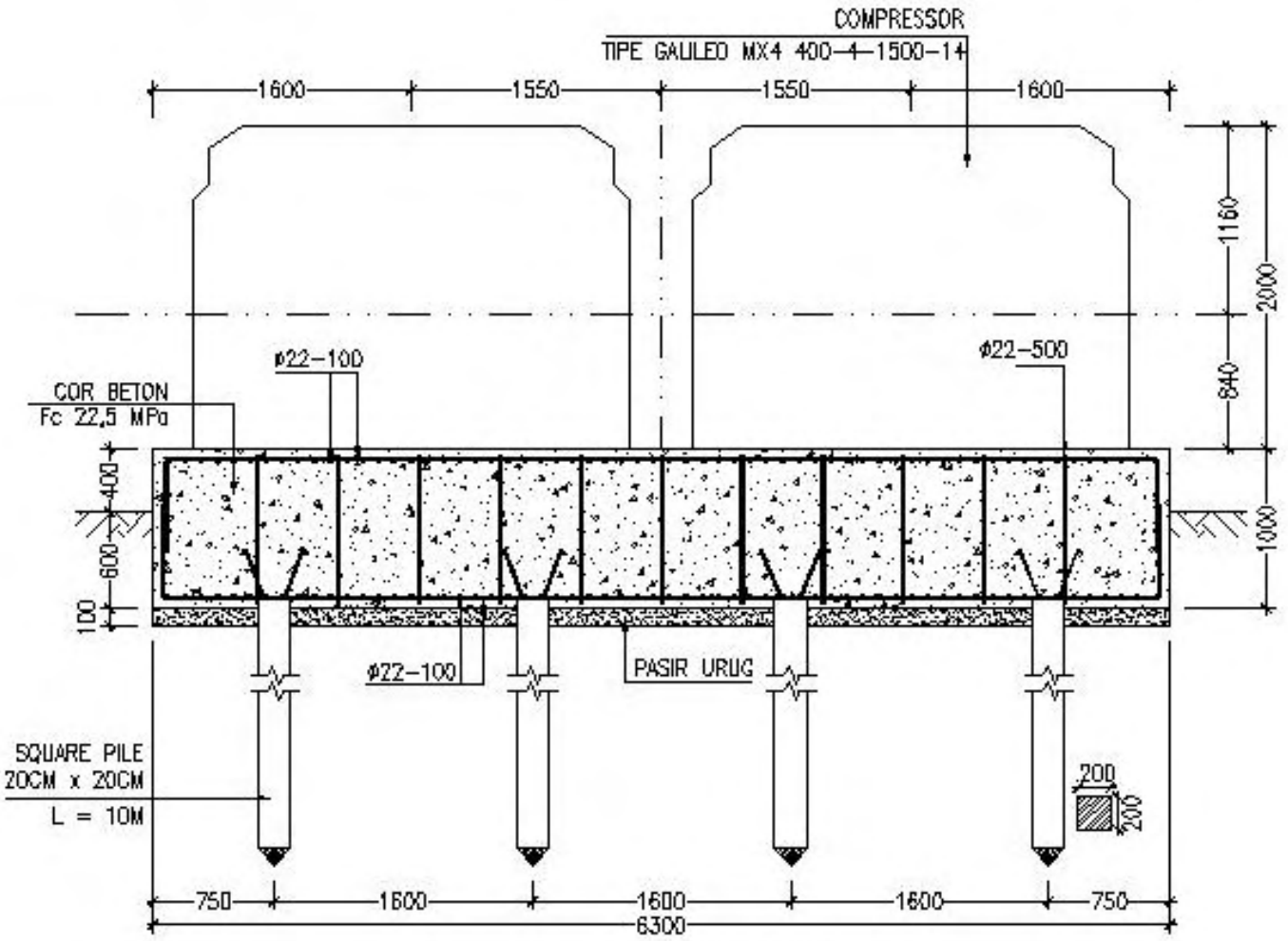


DETAIL PONDASI UNTUK PONDASI KELOMPOK 2 MESIN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

DIGAMBAR OLEH:

CINDY RARA MERIS / 3113.105.055



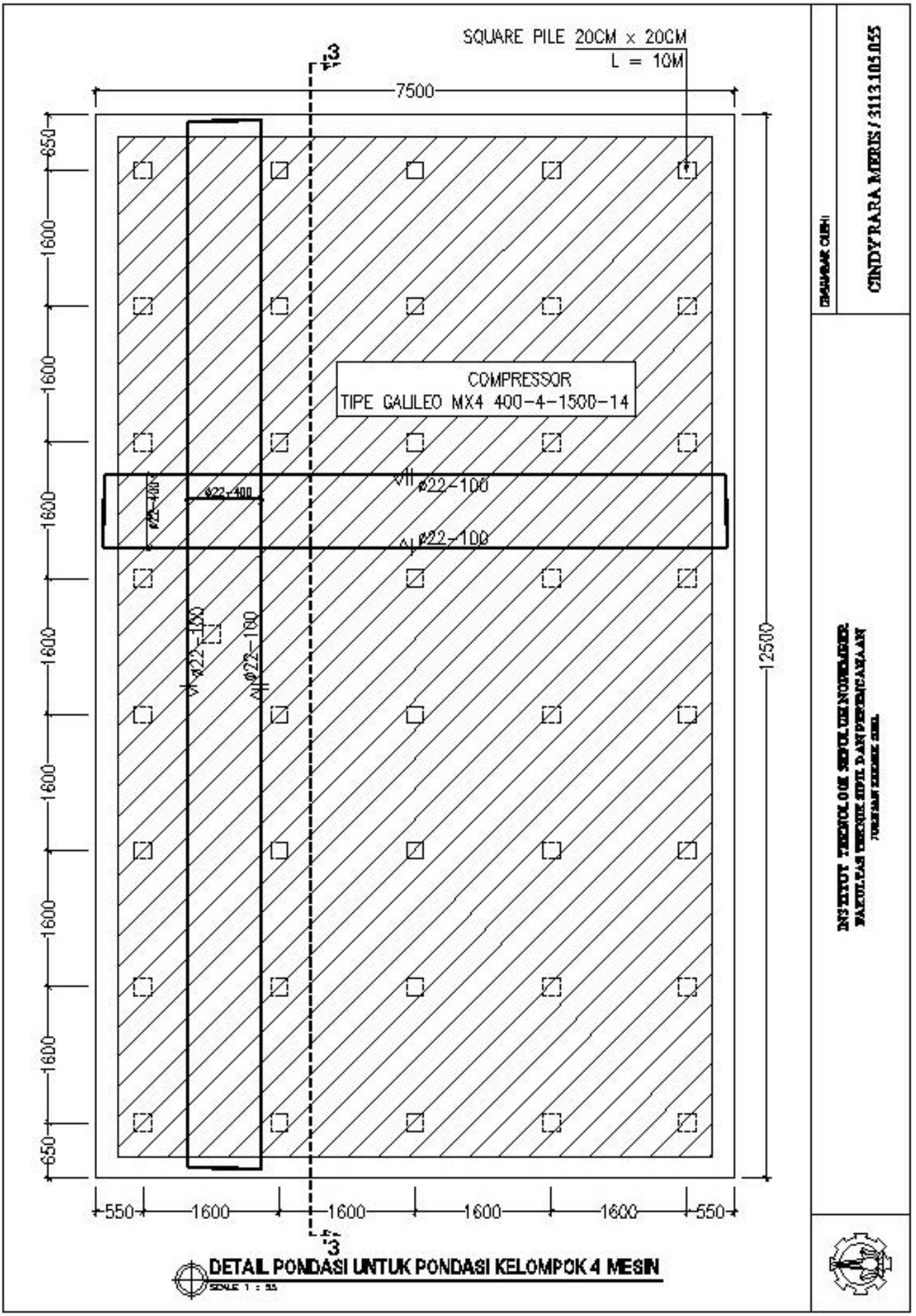
POTONGAN 2-2

SCALE 1 : 40

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

DIGAMBAR OLEH:

CINDY RARA MERIS / 3113.105.055



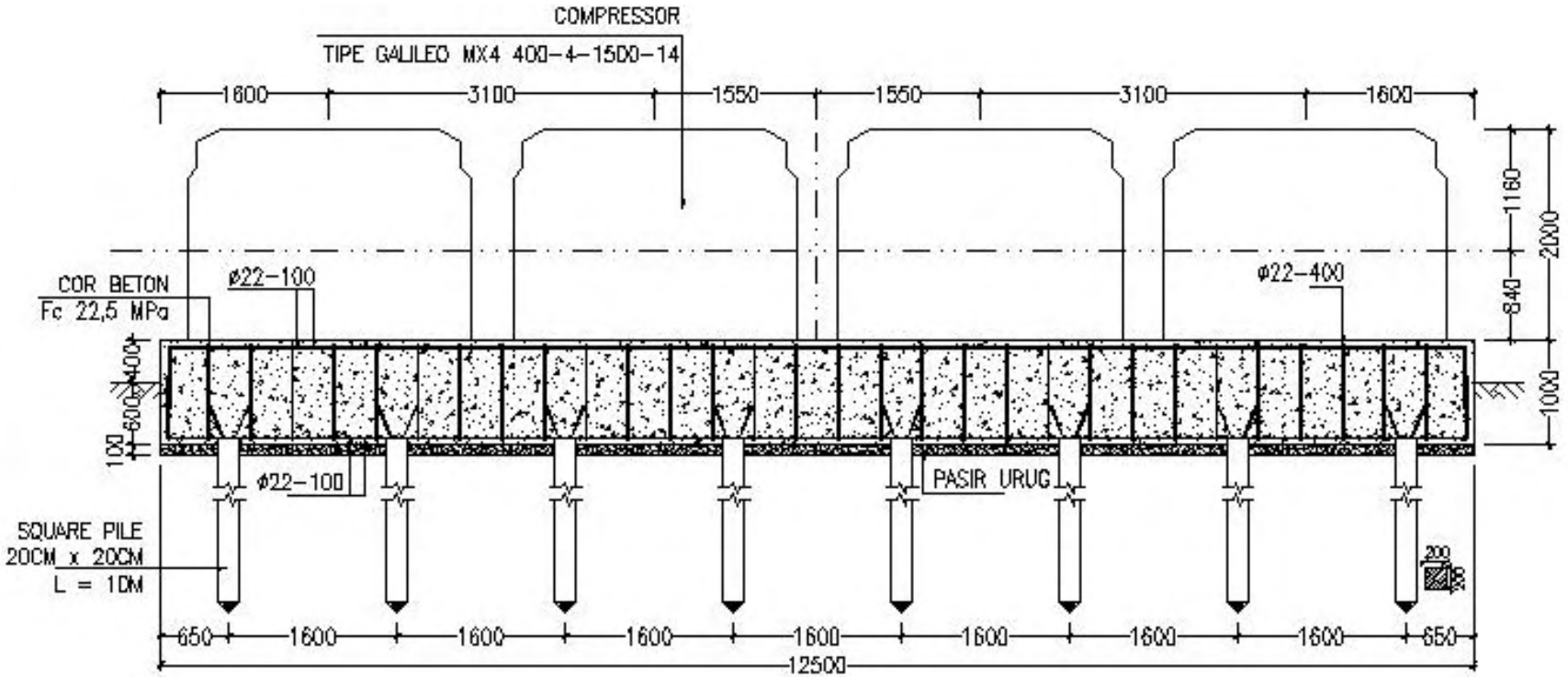
DETAIL PONDASI UNTUK PONDASI KELOMPOK 4 MESIN

SCALE 1 : 55

GAMBAR OLEH :

CINDY'RARA MERIS / 3113105055

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL



POTONGAN 3-3

SCALE 1 : 80

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

DIGAMBAR OLEH:

CINDY RARA MERIS / 3113.105.055

DAFTAR PUSTAKA

Sidharta, Ananta Sigit. 2013. "Buku Ajar Pondasi Beban Dinamis". Jurusan Teknik Sipil ITS.

Arya, Suresh C., Michael W. O'Neil, & George Pincus. 1979. *Design of Structures and Fondations for Vibrating Machine.* Texas. Gult Publishing Company.

Untung, Djoko.2010. Rekayasa Pondasi Tiang. Jurusan Teknik Sipil ITS.

Untung, Djoko. 2011. Rekayasa Pondasi Dangkal. Jurusan Teknik Sipil ITS.

Irsyam, Masyur. 2004. "Catatan Kuliah Pondasi Dinamis". Departemen teknik Sipil ITB.

Sanglerat, Guy, Gilbert Olivari, & Bernard Cambou. 1989. "Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi". Jakarta. Erlangga. Terjemahan oleh Ir. V. F. X. Kristanto, M.Eng.

Bowles, Joseph E. 1993. "*Foundation Analysis and Design", fifth Edition.* Jakarta. Erlangga. Terjemahan oleh Pantur Silaban.

Nakazawa, Kazuto. 2000. "*Soil Mechanics And Foundation Engineering".* Jakarta. Pertja. Terjemahan oleh Taulu.

BIODATA PENULIS

CINDY RARA MERIS

Penulis dilahirkan di Paraman Ampalu, Sumatera Barat, 02 Juli 1989. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya :

1. SD N 01 Paraman Ampalu (1995-2001)
2. SLTP N 01 Paraman Ampalu (2001-2004)
3. SMA N 03 Rumbai, Riau (2004-2007)
4. Politeknik Negeri Medan (2007-2010)

Sebelum melanjutkan perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Penulis sudah pernah bekerja di perusahaan *developer*, PT. Savanro Utama di Sibolga (2010-2011) sabagai *staff engineer*, dan perusahaan konstruksi, PT. Sinar Mitra Abadi di Medan (2011-2013) sebagai *staff engineer*.

Tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada program Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS.

Email: cin.meris@gmail.com