TUGAS AKHIR - RC14-1501

STUDI PENGARUH KEDALAMAN PENANAMAN DAN KETEBALAN PONDASI MESIN *STEAM TURBINE* PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) LOAN KOREA LOMBOK TIMUR

TANNIA KURNIA PUTRI
NRP 3114 105 016

Dosen Pembimbing I
Ir. Suwarno., M.Eng

Dosen Pembimbing II
Ir. Ananta Sigit Sidharta., M.Sc. PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

TUGAS AKHIR - RC14-1501

STUDI PENGARUH KEDALAMAN PENANAMAN DAN KETEBALAN PONDASI MESIN *STEAM TURBINE* PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) LOAN KOREA LOMBOK TIMUR

TANNIA KURNIA PUTRI
NRP 3114 105 016

Dosen Pembimbing I
Ir. Suwarno., M.Eng

Dosen Pembimbing II
Ir. Ananta Sigit Sidharta., M.Sc. PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT - RC14-1501

STUDY INFLUENCE OF PLANTING DEPTH AND THICKNESS OF THE STEAM TURBINE ENGINE FOUNDATION ON POWER PLANT LOAN KOREA EAST LOMBOK

TANNIA KURNIA PUTRI
NRP 3114 105 016

Supervisor I
Ir. Suwarno., M.Eng

Supervisor II
Ir. Ananta Sigit Sidharta., M.Sc. PhD

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

STUDI PENGARUH KEDALAMAN PENANAMAN DAN KETEBALAN PONDASI MESIN *STEAM TURBINE* PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) LOAN KOREA LOMBOK TIMUR

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
TANNIA KURNIA PUTRI
NRP. 3114105016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Suwarno., M.Eng (.....)
2. Ir. Ananta Sigit Sidharta, M.Sc, PhD (.....)

SURABAYA
JULI, 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI PENGARUH KEDALAMAN PENANAMAN DAN KETEBALAN PONDASI MESIN *STEAM TURBINE* PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) LOAN KOREA LOMBOK TIMUR

Nama Mahasiswa	**: Tannia Kurnia Putri**
NRP	**: 3114105016**
Jurusan	**: Teknik Sipil FTSP – ITS**
Dosen Pembimbing	**: Ir. Suwarno., M.Eng**
	Ir. Ananta Sigit Sidharta., M.Sc. PhD

ABSTRAK

Pemerataan penyediaan listrik di Indonesia, tak luput pada daerah Lombok Timur. Besarnya permintaan daya listrik di daerah Lombok Timur, menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Loan Korea Lombok Timur (PLTU) harus menyediakan daya listrik sesuai permintaan masyarakat daerah Lombok Timur. Hal ini mendorong pembangunan mesin *Steam Turbine*. Pembangunan ini perlu adanya struktur pendukung yang harus direncanakan adalah pondasi mesin.

Pondasi mesin selain sebagai penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah, juga membatasi gerak amplitudo yang tidak membahayakan saat mesin beroperasi. Pondasi mesin yang akan direncanakan menggunakan pondasi mesin tipe blok.

Perencanan pondasi mesin ini akan dikelompokan menjadi dua macam pengelompokan mesin. Pengelompokan pertama menopang dua mesin dan pengelompokan ke dua menopang tiga mesin. Setiap pengelompokan mesin direncanakan menjadi dua yaitu ketebalan pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (empat perbedaan penanaman), dan ketebalan pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muka tanah yang sama (empat perbedaan ketebalan pondasi). Dari hasil pengelompokan tersebut mendapatkan nilai besaran rasio redaman.

Pengaruh kedalaman penanaman menghasilkan kurva kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) berbentuk kurva linier. Untuk ketinggian muka tanah 0,4m selisih amplitudo konstan sebesar 0,2% dan untuk ketinggian muka tanah 0,3m selisih amplitudo dengan interval 0,2% dan 0,3%. Sedangkan studi pengaruh ketebalan pondasi mesin menghasilkan kurva kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) berbentuk kurva linier. Dengan setiap penambahan kedalaman sebesar 0,1m nilai amplitudo berkurang secara konstan sebesar 1%. Selain kedalaman penanaman pondasi, nilai dimensi pondasi B x L juga mempengaruhi nilai amplitudo. Semakin besar nilai dimensi pondasi (B x L) semakin kecil pula nilai amplitudo.

Adanya studi ini, maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap.

Kata kunci :pondasi mesin, ketebalan pondasi, kedalaman penanaman pondasi.

STUDY INFLUENCE OF PLANTING DEPTH AND THICKNESS OF THE STEAM TURBINE ENGINE FOUNDATION ON POWER PLANT LOAN KOREA EAST LOMBOK

Student : **Tannia Kurnia Putri**
NRP : **3114105016**
Department : **Civil Engineering FTSP – ITS**
Supervisor : **Ir. Suwarno., M.Eng**
Ir. Ananta Sigit Sidharta., M.Sc. PhD

ABSTRACT

The equalization of electricity provision in Indonesia, is including the area of East Lombok. The amount of electric power demand in the area of East Lombok, causing the Loan Korea East Lombok power plant must provides the electrical power as the order of the regional community in East Lombok. Accordingly, it stimulate the establishment of steam turbine engine. Those project need the additional structures that have to be planned, such as the machine's foundation.

Machine's foundation aside as a distributor of the load from the upper structure to the soil, also limits the motion of amplitude that is not harmful while the machine is operating. Machine's foundation that will be planned, using the block type of machine's foundation.

The plan of this machine's foundation will be group into two kind of machines group. The first group, sustain two engines, while the second group sustain three engines. Each of machine's group are planned into two: have the same thickness of foundation but different in depths of planting (four differences of planting), and differ in thickness foundation but have the height's foundation in the same ground surface (four differences of foundation's thickness). From the results of these grouping, get the amount of damping ratio values.

The impact of planting in depths, generate a depths curve on vertical amplitude (Az) shaped liniear curve. 0,4 m to ground level height difference constant amplitude of 0,2% and for the ground level height 0,3m difference in amplitude with intervals of 0,2% and 0,3%. At the same time, study of the impact of machine's foundation thickness produces a depth curve of vertical amplitude (Az) shaped liniear curve. With each additional 0.1M depth at constant amplitude value is reduced by 1%. In addition to foundation's planting depth, those foundation dimension value B x L also affect the value of the amplitude. The greater the value of the foundation dimensions (B x L), it means smaller the amplitude values.

Accordingly to this study, the machine's foundation plan should altitude on the fixed of the ground face, but different in planting depths. This is because in a fast amplitude is reduced compared to the thickness of the foundation remains.

Keywords: foundation of the machine, the thickness of the foundation, the foundation planting depth

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK iii
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 3
1.4. Manfaat 3
1.5. Batasan Masalah 4
1.6. Lokasi 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1. Pondasi Mesin 7
2.1.1. Derajat Kebebasan Pondasi 8
2.1.2. Beban Dinamis 9
2.1.3. Beban Statis 13
2.1.4. Metode Linear Lumped Parameter System 13
2.1.5. Pengaruh Penanaman Pondasi *(Embedment)* 16
2.1.6. Getaran Kopel 23
2.1.7. Grafik Rasio redaman 27
2.2. Daya Dukung Pondasi Dangkal 28
2.3. Penurunan Tanah 38
BAB III METODOLOGI 45
3.1. Diagram Alir *(Flow Chart)* 45
3.2. Uraian Metodologi 47
BAB IV ANALISA DATA 55
4.1. Data Perencanaan 55
4.2. Beban Dinamis dan Beban Statis 55
4.2.1. Kelompok I 55

4.2.2. Kelompok II 62
4.3. Pengaruh kedalaman Penanaman Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin 68
4.3.1. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok I 68
4.3.2. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok II 104
4.4. Pengaruh Ketebalan Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin 139
4.4.1. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok I 139
4.4.2. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok II 173
4.5. Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman Terhadap Ketebalan Pondasi 208
4.5.1. Kelompok I 208
4.5.2. Kelompok II 211
4.5.3. Kelompok I dengan Kelompok II 214
4.6. Grafik Non Dimensi 215
4.6.1 Kelompok I 216
4.6.2 Kelompok II 217
BAB V REKAPITULASI 221
5.1. Kelompok I 221
5.2. Kelompok II 224
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 229
6.1. Kesimpulan 229
6.2. Saran 231
DAFTAR PUSTAKA 233
LAMPIRAN 235
BIODATA PENULIS 367

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi Pembangunan Pondasi Mesin Steam Turbine Pada Lokasi No. 1 5
Gambar 2.1 Tipe pondasi blok 7
Gambar 2.2 Tipe Pondasi Meja 7
Gambar 2.3 Derajat Kebebasan Podasi Tipe Blok 8
Gambar 2.4 Getaran Bebas Tanpa Peredam 9
Gambar 2.5 Getaran Bebas dengan Peredam 10
Gambar 2.6 Hubungan antara Frekuensi Mesin dan Getaran yang dirasakan Manusia 12
Gambar 2.7 Gaya Vertikal Konstan 14
Gambar 2.8 Gaya Horizontal Konstan 15
Gambar 2.9 Gaya Rocking Konstan 15
Gambar 2.10 Menentukan nilai **Δσvqo** 21
Gambar 2.11 Kriteria untuk Getaran Mesin Berputar 26
Gambar 2.12 Faktor Daya Dukung untuk Keruntuhan Geser setempat menurut Terzaghi 31
Gambar 2.13 Pengaruh Lokasi Permukaan Air Tanah terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal. (a) Keadaan I, (b) Keadaan II, (c) Keadaan III 32
Gambar 2.14 Penjelasan Beban yang ditopang Pondasi 34
Gambar 2.15 Daya Dukung Tanah Pasir yang Berlapis (Lapisan Pasir Lepas Berada di Atas Lapisan Pasir Padat) 36
Gambar 2.16 Variasi daya dukung batas dengan H/B untuk tanah pasir berlapis (lapisan yang lepas berada di atas lapisan padat) 38
Gambar 2.17 Faktor Pengaruh Untuk Beban Bentuk Segi Empat 40
Gambar 3.1 Diagram Alir 45
Gambar 3.2 Diagram Alir Lanjutan 46
Gambar 3.3 Diagram Alir Lanjutan 47
Gambar 3.4 Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 49

Gambar 3.5 Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 49
Gambar 4.1 Denah Pondasi Kelompok I 56
Gambar 4.2 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,3m 57
Gambar 4.3 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,4m 58
Gambar 4.4 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,9m 59
Gambar 4.5 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,6 m 59
Gambar 4.6 Denah Pondasi Kelompok II.....63
Gambar 4.7 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,3m 63
Gambar 4.8 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,4m 64
Gambar 4.9 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,9m 65
Gambar 4.10 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,6 m 66
Gambar 4.11 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m 69
Gambar 4.12 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....85
Gambar 4.13 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v) 86
Gambar 4.14 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 86
Gambar 4.15 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 87
Gambar 4.16 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz) ...90
Gambar 4.17 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) ..91

Gambar 4.18 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx).....95
Gambar 4.19 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m.....96
Gambar 4.20 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 99
Gambar 4.21 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v) 99
Gambar 4.22 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas.....100
Gambar 4.23 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz).102
Gambar 4.24 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 103
Gambar 4.25 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx).....103
Gambar 4.26 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m (Pot. Melintang) 104
Gambar 4.27 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 121
Gambar 4.28 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v) 122
Gambar 4.29 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 122
Gambar 4.30 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (Kx) 123
Gambar 4.31 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M)...125
Gambar 4.32 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 128

Gambar 4.33 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx) 130
Gambar 4.34 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m. 131
Gambar 4.35 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....134
Gambar 4.36 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v) 135
Gambar 4.37 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 135
Gambar 4.38 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (Kx) 136
Gambar 4.39 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz) .137
Gambar 4.40 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 138
Gambar 4.41 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx) 138
Gambar 4.42 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m 139
Gambar 4.43 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....156
Gambar 4.44 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v) 157
Gambar 4.45 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 157
Gambar 4.46 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (Kx) 158
Gambar 4.47 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz) .160
Gambar 4.48 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 163

Gambar 4.49 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx).....165
Gambar 4.50 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m 166
Gambar 4.51 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 169
Gambar 4.52 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v) 169
Gambar 4.53 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas.....170
Gambar 4.54 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz).171
Gambar 4.55 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 172
Gambar 4.56 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx).....173
Gambar 4.57 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m 174
Gambar 4.58 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 190
Gambar 4.59 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (Az).....191
Gambar 4.60 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Vertikal (Kz) 191
Gambar 4.61 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Horizontal (Kx) 192
Gambar 4.62 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz).194
Gambar 4.63 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx).....197

Gambar 4.64 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx) 199
Gambar 4.65 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m 200
Gambar 4.66 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....203
Gambar 4.67 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v) 203
Gambar 4.68 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Horizontal (Kx) 204
Gambar 4.69 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Vertikal (KZ).....204
Gambar 4.70 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz) .206
Gambar 4.71 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) 207
Gambar 4.72 Hubungan Frekuensi Natural (ao) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (Mx) 208
Gambar 4.73 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....210
Gambar 4.74 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az).....213
Gambar 4.75 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M).....216
Gambar 4.76 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M).....217
Gambar 4.77 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M).....218
Gambar 4.78 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M).....219

Gambar 5.1 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m.....221
Gambar 5.2 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m 222
Gambar 5.3 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m 223
Gambar 5.4 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m 224
Gambar 5.5 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m 225
Gambar 5.6 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m 225
Gambar 5.7 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m 226
Gambar 5.8 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m 227

"Halaman ini sengaja di kosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Penanaman Pondasi dari Nilai Konstanta Pegas 16
Tabel 2.2 Rasio Redaman untuk Pondasi Lingkaran dan Pondasi Bujur Sangkar 17
Tabel 2.3 Nilai Konstanta Pegas 18
Tabel 2.4 Efek kedalaman Penanaman Pondasi terhadap Damping Ratio 19
Tabel 2.5 Nilai-nilai nφ untuk berbagai nilai Bφ 19
Tabel 2.6 Nilai k 20
Tabel 2.7 Korelasi SPT 21
Tabel 2.8 Porositas, Angka Pori dan Berat Satuan Tanah Tipikal Alami 22
Tabel 2.9 Pedoman Memperkirakan Harga ϕ Dari Harga NSPT untuk Tanah Dominan Pasir 23
Tabel 2.10 Kategoti Kecepatan Amplitudo Horizontal 26
Tabel 2.11 Persamaan Reaksi Gaya Pegas 27
Tabel 2.12 Efek Reaksi Gaya Pegas 27
Tabel 2.13 Faktor Daya Dukung untuk Keruntuhan Geser Menyeluruh 30
Tabel 2.14 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi 41
Tabel 2.15 Harga-harga angka poisson 42
Tabel 2.16 Faktor- faktor pengaruh untuk pondasi 42
Tabel 4.1 Data Tanah 69
Tabel 4.2 Perhitungan Modulus Geser (Gs) 70
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 83
Tabel 4.4 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 83

Tabel 4.5 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 84
Tabel 4.6 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao).....88
Tabel 4.7 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) terhadap Frekuensi Natural (ao) 92
Tabel 4.8 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao).....94
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda..... 96
Tabel 4.10 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 97
Tabel 4.11 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 98
Tabel 4.12 Data Tanah 105
Tabel 4.13 Perhitungan Modulus Geser (Gs) 105
Tabel 4.14 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda.....119
Tabel 4.15 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 119
Tabel 4.16 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 120

Tabel 4.17 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 124
Tabel 4.18 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 126
Tabel 4.19 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 129
Tabel 4.20 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda..... 131
Tabel 4.21 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 132
Tabel 4.22 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 133
Tabel 4.23 Data Tanah 140
Tabel 4.24 Perhitungan Modulus Geser (Gs) 140
Tabel 4.25 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 154
Tabel 4.26 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 154
Tabel 4.27 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 155
Tabel 4.28 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 159
Tabel 4.29 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 161
Tabel 4.30 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao) 164

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda.....166
Tabel 4.32 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 167
Tabel 4.33 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 167
Tabel 4.34 Data tanah.....174
Tabel 4.35 Perhitungan Modulus Geser (Gs) 175
Tabel 4.36 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 188
Tabel 4.37 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 188
Tabel 4.3 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 189
Tabel 4.39 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao).....193
Tabel 4.4 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao).....195
Tabel 4.41 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (ao).....198
Tabel 4.42 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda 200
Tabel 4.4 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda 201

Tabel 4.44 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda 202
Tabel 4.45 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 209
Tabel 4.46 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 209
Tabel 4.4 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 211
Tabel 4.48 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (Az) 212
Tabel 4.49 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 214
Tabel 4.50 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda 214
Tabel 4.51 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 215
Tabel 4.52 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda 215
Tabel 5.1 Rekapitulasi 222
Tabel 5.2 Rekapitulasi 224
Tabel 5.3 Rekapitulasi 226
Tabel 5.4 Rekapitulasi 227

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemerataan penyediaan listrik di Indonesia, tak luput pada daerah Lombok Timur. Masih banyaknya daerah di Lombok Timur yang belum terjamah dengan adanya listrik. Sedangkan pertumbuhan penduduk di daerah Lombok Timur setiap tahunnya semakin meningkat. Hal ini menyebabkan permintaan daya listrik meningkat pula, mulai dari tempat tinggal, perkantoran, hingga prasana pendukung lainnya. Besarnya permintaan daya listrik di daerah Lombok Timur, menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Loan Korea Lombok (PLTU Loan Korea Lombok) harus menyediakan daya listrik sesuai permintaan masyarakat daerah Lombok Timur. Untuk memenuhi permintaan daya listrik ini, mendorong terciptanya mesin pembangkit listrik bersakala besar (50 MW), salah satunya mesin *Steam Turbine*. Perencanaan pembangunan mesin *Steam Turbine* perlu adanya perencanaan struktur pendukung. Struktur pendukung yang harus direncanakan adalah pondasi mesin.

Fungsi dari pondasi adalah sebagai penerus dan penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah dibawahnya. Selain itu perencanaan pondasi mesin adalah untuk membatasi gerak amplitudo yang tidak membahayakan saat mesin beroperasi dan tidak membahayakan orang-orang yang bekerja disekitarnya. Untuk mesin *Steam Turbine* menggunakan pondasi tipe blok. Dikarenakan menggukanan tipe pondasi tersebut, beban stuktur atas hanya dari *Steam Turbine* yang memiliki karakteristik beban gerak statis dan dinamis berupa beban horizontal, vertikal, dan *rocking* yang membentuk rotasi sebagai gaya tambahan pada pondasi.

Perencanaan pondasi mesin *Steam Turbine* ditinjaudari segi strukturnya hingga menghasilkan getaran terkecil. Perencanaan pondasi mesin *Steam Turbine* akan direncanakan dengan dua macam dimensi pengelompokan mesin, kelompok I menopang dua mesin *Steam Turbin* (setiap mesin berkapasitas 10 MW) dan kelompok II menopang tiga mesin *Steam Turbin* (setiap mesin berkapasitas 10 MW). Hal ini dibedakan menjadi dua pengelompokan dikarenakan untuk membedakan jumlah beban yang ditopang. Selain itu setiap pengelompokan mesin direncanakan dengan dua tipe berbeda yaitu tebal pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (dengan empat perbedaan penanaman) dan tebal pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muka tanah sama (dengan empat perbedaan ketebalan pondasi). Dari hasil setiap pengelompokan tersebut didapatkan kurva rasio redaman. Kurva redaman tersebut digunakan untuk menentukan pondasi yang menghasilkan redaman terkecil.

Pembangkit listrik merupakan sumber utama listrik memerlukan stuktur pendukung (pondasi mesin) yang dapat menopang beban mesin tanpa mengalami penurunan dan tidak mengganggu aktifitas pekerja. Oleh sebab itu perencanaan pondasi mesin ini sangat penting dan harus memperhatikan persyaratan yang telah dijelaskan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* akibat pengaruh beban dinamis dan beban statis dengan dua macam pengelompokan mesin (kelompok I menopang dua mesin pada satu pondasi mesin dan kelompok II menopang tiga mesin pada satu pondasi mesin)

2. Bagaimana pengaruh kedalaman penanaman pondasi mesin *Steam Turbine* terhadap getaran yang ditimbulkan serta kurva perbandingan antara kedalaman penanaman pondasi dengan ratio redaman
3. Bagaimana pengaruh ketebalan pondasi mesin *Steam Turbine* terhadap getaran yang ditimbulkan serta kurva perbandingan antara ketebalan pondasi dengan ratio redaman

1.3. Tujuan

Dari permasalahan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* akibat pengaruh beban dinamis dan beban statis dengan dua macam pengelompokan mesin
2. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* dengan berbagai macam kedalaman penanaman pondasi mesin agar mengetahui hasil perbedaan penanaman kedalaman pondasi terhadap getaran yang ditimbulkan oleh mesin
3. Merencanakan pondasi mesin *Steam Turbine* dengan berbagai macam tebal pondasi mesin agar mengetahui hasil tebal pondasi terhadap getaran yang ditimbulkan oleh mesin

1.4. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai adalah setiap pengelompokan tersebut didapatkan kurva rasio redaman. Kurva redaman tersebut untuk menentukan pondasi yang menghasilkan redaman terkecil.

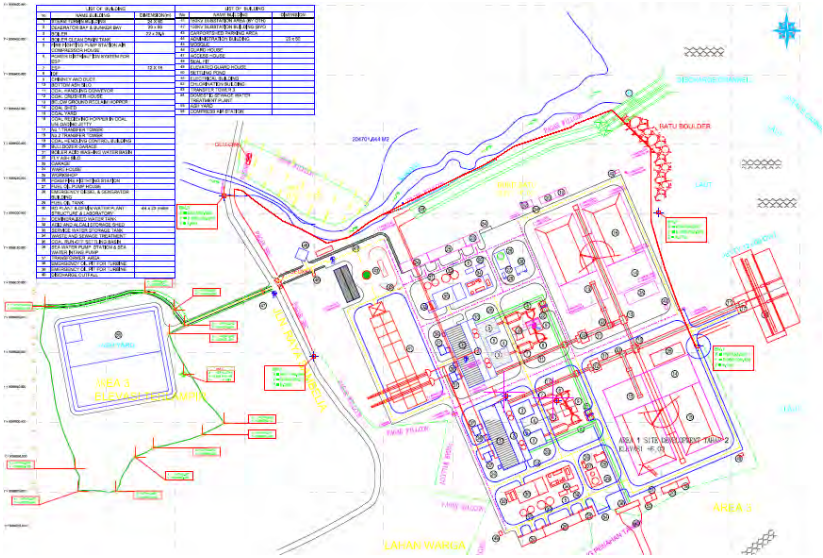
1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pembahasan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Pembahasan hanya pada kasus pembangunan pondasi mesin *Steam Turbine* yang berlokasi di PLTU Loan Korea Lombok Timur
2. Data tanah yang digunakan pada perhitungan daya dukung adalah data tanah asli dari lokasi pembangunan pondasi mesin ini dan tidak membahas permasalahan dari tanah
3. Perencanaan pondasi mesin ini, diasumsikan mesin bekerja secara serentak untuk masing-masing tiap pengelompokan pondasi mesin
4. Data mesin menggunakan data asli yang terlampir dalam lembar spesifikasi mesin *Steam Turbine*. Memakai dari produk SIEMENS, tipe SST 200 dengan kapasitas hingga 10 MW
5. Tidak meninjau aspek pelaksanaan pembangunan pondasi mesin di lapangan

1.6. Lokasi

Lokasi pembangunan pondasi mesin *Steam Turbine* ini terletak pada Padak Guar-Lombok Timur (PLTU Loan Korea Lombok Timur).



Gambar 1.1. Lokasi Pembangunan Pondasi Mesin Steam Turbine Pada Lokasi No. 1

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pondasi Mesin

Beban pada pondasi mesin lebih kompleks dibandingkan dengan pondasi yang hanya menerima beban statis. Pondasi mesin selain menerima beban statis (yang berasal dari berat mesin dan berat pondasi), juga menerima beban dinamis (berasal dari getaran mesin). Maka untuk perencanaan pondasi mesin ini harus menyatukan antara beban dinamis dan statis.

Pondasi mesin dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

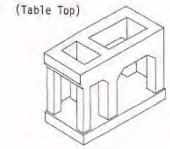
a.) Pondasi blok

Pondasi ini terdiri atas pelat beton yang tebal dan langsung menopang mesin dan semua alat pelengkap mesin (Kartikasari, 2012).

Gambar 2.1 Tipe pondasi blok
(Prakash, 1997)

b.) Pondasi meja

Pondasi ini terdiri atas pelat dasar yang menopang tiang-tiang dan pada bagian atas tiang tersebut terdapat balok-balok yang menahan mesin (Kartikasari, 2012).



Gambar 2.2 Tipe Pondasi Meja
(Prakash, 1997)

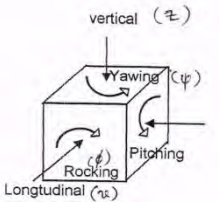
Pada perencaan kali ini yang akan digunakan adalah tipe pondasi blok. Maka yang akan dibahas adalah pondasi blok.

2.1.1. Derajat Kebebasan Pondasi

Gaya-gaya dan momen yang diterima oleh pondasi mesin berbeda dengan pondasi struktur lainnya. Akibat gaya-gaya dan momen yang bekerja secara dinamis, maka pondasi mesin dapat bergetar dalam enam *mode* yaitu:

1. Translasi searah sumbu z (vertikal)
2. Translasi searah sumbu x (lateral)
3. Translasi searah sumbu x (lateral)
4. Rotasi terhadap sumbu x *(pitching)*
5. Rotasi terhadap sumbu y *(rocking)*
6. Rotasi terhadap sumbu z *(yawing/ torsi)*

Setiap gerakan dari pondasi blok dapat dipecahkan ke dalam enam *displacement* secara terpisah. Oleh karena itu pondasi blok mempunyai enam derajat kebebasan dengan enam natural frekuensi.



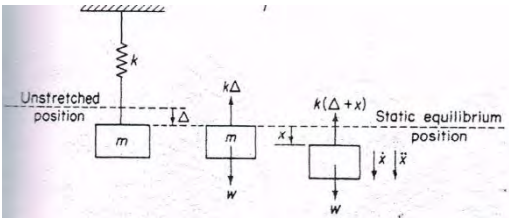
Gambar 2.3 Derajat Kebebasan Podasi Tipe Blok (Prakash, 1997)

Dari kemampuan mode getaran, translasi arah sumbu z dan rotasi terhadap sumbu z dapat terjadi secara terpisah dari *mode* lainnya. Sedangkan translasi arah sumbu x dengan rotasi terhadap sumbu x selalu terjadi secara simultan dan saling mempengaruhi sehingga disebut *coupled mode*. Pada kenyataannya pondasi blok memiliki empat *mode* getaran yaitu dua *mode* tunggal

(vertikal dan yawing) dan dua *mode* kopel (*rocking* + lateral dan *pitching* + longitudinal).

2.1.2. Beban Dinamis

Beban dinamis yang diterima oleh pondasi mesin berasal dari sistem kerja mesin. Pada mesin *Steam Turbine* beban berasal dari putaran mesin dengan data mesin terlampir. Kemudian diasumsikan seperti gaya pegas sesuai dengan gambar 2.4.



Gambar 2.4 Getaran Bebas Tanpa Peredam
(Prakash, 1997)

Berdasarkan gambar 2.4 persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien pegas sebagai berikut:

$k = m \,.a$ 2.1

Sehingga persamaan gerak menjadi:

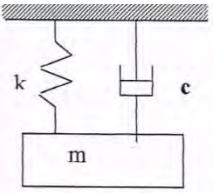
$(m \,.\, \ddot{x}) + (k \,.\, x) = W \sin \theta$ 2.2

Keterangan:

k = konstanta pegas (kN/m)
m = massa mesin (ton dt^2/m)
x = jarak perpindahan (m)
$a = \ddot{x}$ = perecepatan (m^2/dt)
W sin θ = gaya luar yang bekerja (kN)

Jika berdasarkan gambar 2.5, maka selain koefisien pegas dihitung pula koefisien redaman sebagai berikut:

$c = 2\sqrt{k \,.\, m}$ 2.3



Gambar 2.5 Getaran Bebas dengan Peredam
(Prakash, 1997)

Sehingga persamaan gerak menjadi:

$(m \cdot \ddot{x}) + (c \cdot \dot{x}) + (k \cdot x) = W \sin \theta$ 2.4

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)
$a = \ddot{x}$ = perecepatan (m^2/dt)
W sin θ = gaya luar yang bekerja (kN)

Gaya luar pada persamaan di atas didapat dari gerakan dinamis yang dihasilkan dari mesin. Untuk tipe *rotating machine* yang menghasilkan gerakan rotasi maka gaya luar (W) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5.

$Q_o = m \cdot e. \omega^2$ 2.5

Keterangan :

Q_o = gaya luar (kN, ton)
m = massa mesin (ton dt^2/m)
e = eksentrisitas (m)

$= 1 \text{ x } \sqrt{\frac{12000}{f_{mesin}}} < 1 \text{ mil}$ 2.6

$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot f_{mesin}$ 2.7

= Resonansi untuk *rotating* (rad/dt^2)

Persamaan 2.5 juga dapat dicari dari beban dinamis vertikal konstan (Q) sebagai berikut:

$Q = Q_o \cdot \sin \omega t$ 2.8

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

$$T_r = \frac{F_T}{F_o} \quad \text{..... 2.9}$$

$$= \frac{k \cdot X_o \sqrt{\left(\frac{c \cdot \omega}{k}\right)^2 + (1)}}{k \cdot X_o \sqrt{\left(\frac{c \cdot \omega}{k}\right)^2 + \left(1 - \frac{m \cdot \omega^2}{k}\right)^2}} \quad \text{..... 2.10}$$

$$= \frac{\sqrt{(2 \cdot D \cdot r)^2 + (1)}}{\sqrt{(2 \cdot D \cdot r)^2 + (1 - r^2)^2}} \quad \text{..... 2.11}$$

Keterangan:

Tr = *transmibility*

X_o = amplitudo, untuk mesin *steam turbine* perhitungan amplitudo sesuai dengan persamaan 2.12

$$= \frac{Q_o}{K \cdot \sqrt{(2 \cdot D \cdot r)^2 + (1 - r^2)^2}} \quad \text{..... 2.12}$$

D = rasio redaman sesuai dengan arah gaya, persamaan yang digunakan tertera pada tabel 2.2

r = ekivalen bentuk pondasi

$$= \frac{\omega_{mesin}}{\omega_n} \quad \text{..... 2.13}$$

$$= \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad \text{..... 2.14}$$

f = frekuensi mesin

k = konstanta pegas sesuai dengan arah gaya, persamaan tertera pada tabel 2.3

Sehingga besar beban yang disalurkan menjadi:

$P = T_r \cdot Q_o$ 2.15

Keterangan:

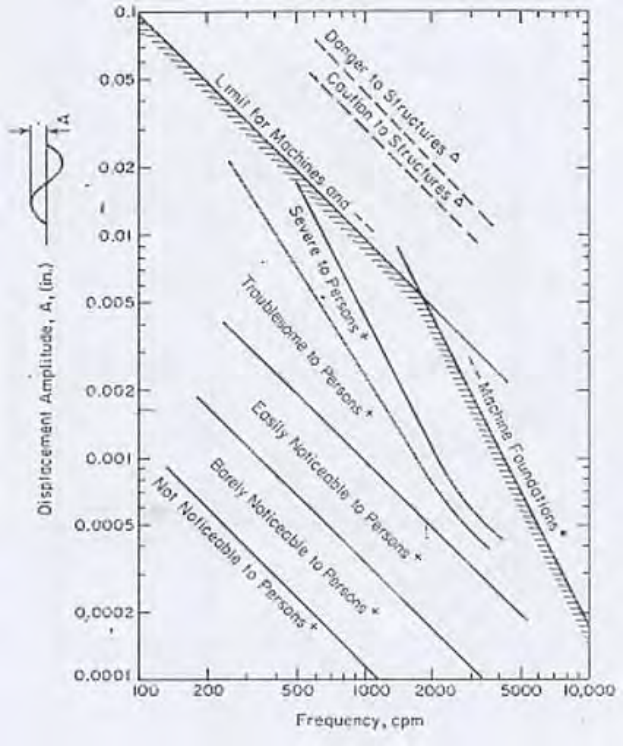
P = gaya yang diterima tanah sesuai dengan arah gaya (ton atau kN)

Q_o = gaya luar yang dihasilkan oleh mesin (ton atau kN)

Sedangkan untuk menghitung besarnya amplitudo yang dihasilkan berdasarkan arah gaya terjadi sebagai berikut:

$$A = M \cdot \frac{Q_o}{k} \quad \text{..... 2.16}$$

Nilai amplitudo harus maksimum kategori *troublesome to person* atau dibawahnya, di cek menggunakan gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan antara Frekuensi Mesin dan Getaran yang dirasakan Manusia (Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

$$M = \frac{1}{\sqrt{(2\,.\,D\,.\,r)^2 + (1-r^2)^2}} \quad \text{..... 2.17}$$

Nilai M harus kurang dari 1,5

Keterangan:

A = amplitudo sesuai degan arah gaya (inch)

M = pembesaran dinamis saat mesin berjalan sesuai dengan arah gaya

Q_o = gaya luar dari mesin (ton)

k = konstanta pegas sesuai dengan arah gaya, persamaan tertera pada tabel 2.3 (ton/m)

D = rasio redaman sesuai dengan arah gaya, persamaan yang digunakan tertera pada tabel 2.2

r = ekivalen bentuk pondasi sesuai dengan persamaan 2.13 dan 2.14

2.1.3. Beban Statis

Beban statis adalah beban tetap, baik besarnya (intensitasnya), titik bekerjanya dan arah garis kerjanya tetap. Persamaan menghitung beban statis sebagai berikut:

$W_{mesin} = n\,.\,W_{mesin}$ 2.18

$W_{pondasi} = l\,.b\,.h\,.\gamma_{beton}$ 2.19

$W_{total} = W_{mesin} + W_{pondasi}$ 2.20

Keterangan:

W_{mesin} = diperoleh dari spesifikasi mesin

n = jumlah mesin yang ditopang setiap pondasi

2.1.4. Metode Linear Lumped Parameter System

Metode *LinearLumped Parameter System* merupakan hasil penelitian dan pengembangan dari metode *Elastic Half Space* (EHS). Teori EHS, sulit diikuti karena untuk mendapatkan amplitudo dan frequensi saat resonansi langsung menggunakan grafik-grafik. Cara yang lebih mudah diikuti yaitu dengan menggunakan massa, pegas, dan peredam.

Teori *Linear Lumped Parameter System* adalah sistem yang digunakan untuk memperkaku blok pondasi dengan menggunakan massa, pegas, dan *dashpot*. Sistem ini menerapkan semua komponen massa, pegas, dan redaman. Metode ini dikembangkan oleh Lysmer dan Richart (1966) yang bersumber dari *"Dynamic Boussinesq Problems"*.

Dengan persamaan gerak:

$m\ddot{z} + C\dot{z} + Kz = P \sin(\omega t)$ 2.21

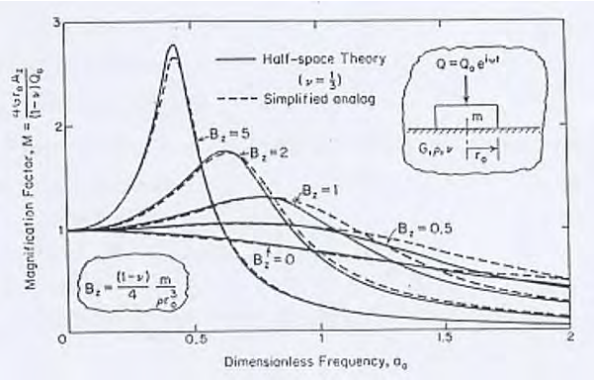
Tetapi yang menjadi persoalan disini adalah berapa harga C dan K yang sesuai dengan hasilnya cocok dengan hasil cara EHS. Sehingga persamaan gerak untuk mode vertikal yang ada dapat diubah menjadi:

$m\ddot{z} + c_1 c_z \dot{z} + K_1 K_2 z = P_z \sin(\omega t)$ 2.22

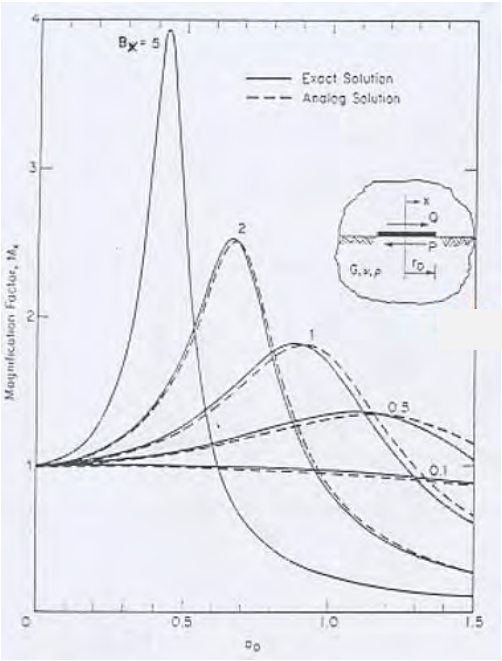
dari Timoshenko dan Godier (1951) dipakai harga koefisien kekakuan pegas sebagai berikut:

$$k_z = \frac{4 \cdot Gr_o}{1-v}$$ 2.23

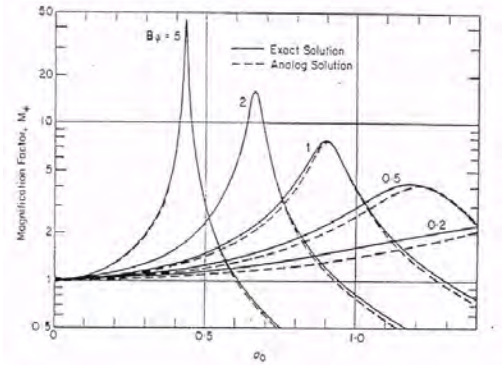
Dari gambar 2.7 untuk vertikal konstan dapat dilihat bahwa dipakai cara simplifikasi dengan menggunakan nilai $c_1 = 0{,}85$ serta $k_1 = 1$, maka akan diperoleh hasil yang mendekati dengan hasil memakai cara EHS.



Gambar 2.7 Gaya Vertikal Konstan
(Lysmer, Richart, & Jr, 1966)



Gambar 2.8 Gaya Horizontal Konstan
(Lysmer, Richart, & Jr, 1966)



Gambar 2.9 Gaya Rocking Konstan
(Lysmer, Richart, & Jr, 1966)

$K = k_1 . k_z$ 2.24

$= 1 \frac{4 . Gr_o}{1-v}$ 2.25

$C = c_1 . c_z$ 2.26

$= 0{,}85 \left(\frac{4 . G . r_o}{(1-v) . V_s}\right)$ 2.27

$= \frac{3{,}4}{1-v} r_o^2 \sqrt{\rho . G}$ 2.28

Ratio redaman $D = \frac{c}{c_c}$ 2.29

Getaran vertikal $D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}$ 2.30

Untuk menaikan redaman yang besar, maka cara paling cepat menaikan nilai jari-jari ekivalen (r_o).

2.1.5. Pengaruh Penanaman Pondasi *(Embedment)*

Pada umumnya pondasi mesin akan ditanam pada suatu kedalaman tertentu. Jika pondasi mesin ditanamkan pada kedalaman tertentu, maka amplitudo getaran yang dihasilkan akan berbeda dengan pondasi mesin yang terletak di atas tanah. Hal ini dikarenakan konstanta pegas dan redaman tanah akan bertambah besar. Untuk membuktikan hal ini, maka akan dibahas kedalaman penanaman yang berbeda. Bentuk pondasi dapat dianggap berbentuk lingkaran maupun persegi. Untuk memperhitungkan *embedment* ini, persamaan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Koefisien Penanaman Pondasi dari Nilai Konstanta Pegas

Bentuk Getaran	**r_o untuk pondasi lingkaran**	**Koefisien**
Vertikal	$r_o = \sqrt{\frac{B . L}{\pi}}$	$\eta_z = 1 + 0{,}6 . (1 - v) . \left(\frac{h}{r_o}\right)$

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Tabel 2.1 Koefisien Penanaman Pondasi dari Nilai Konstanta Pegas (Lanjutan)

Bentuk Getaran	**r_o untuk pondasi lingkaran**	**Koefisien**
Horizontal	$r_o = \sqrt{\frac{B \,.\, L}{\pi}}$	$\eta_x = 1 + 0{,}55 \,.\, (2 - v) \,.\, \left(\frac{h}{r_o}\right)$
Rocking	$r_o = \sqrt[4]{\frac{B \,.\, L^3}{3 \,.\, \pi}}$	$\eta_x = 1 + 1{,}2 \,.\, (1 - v) \,.\, \left(\frac{h}{r_o}\right) + 0{,}2 \,.\, (2 - v) \,.\, \left(\frac{h}{r_o}\right)^3$
Torsional	$r_o = \sqrt[4]{\frac{B \,.\, L}{(B^2 + L^2)}{6 \,.\, \pi}}$	Tidak ada penyelesaian

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Tabel 2.2 Rasio Redaman untuk Pondasi Lingkaran dan Pondasi Bujur Sangkar

Bentuk Getaran	**Mass (or Inertia) Ratio**	**Damping Ratio (D)**
Vertikal	$B_z = \frac{(1 - v)}{\frac{W}{\gamma \,.\, r_o^3}}$	$D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}} \alpha_z$
Horizontal	$B_x = \frac{(7 - 8 \,.\, v)}{32 \,.\, (1 - v)} \frac{W}{\gamma \,.\, r_o^3}$	$D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x$

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Tabel 2.2 Rasio Redaman untuk Pondasi Lingkaran dan Pondasi Bujur Sangkar

Bentuk Getaran	Mass (or Inertia) Ratio	Damping Ratio (D)
Rocking	$B_\varphi = \frac{3\,(1-\nu)}{8} \frac{M_m}{\rho \,.\, r_o^3}$	$D_\varphi = \frac{0{,}15}{\left[\frac{(1+n_\varphi \,.\, B_\varphi)}{\sqrt{n_\varphi \,.\, B_\varphi}}\right]} \alpha_\varphi$
Torsional	$B_\psi = \frac{M_{mz}}{\rho \,.\, r_o^5}$	$D_\psi = \frac{0{,}50}{1 + 2\,.\, B_\psi}$

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Tabel 2.3 Nilai Konstanta Pegas

Bentuk Getaran	Pondasi Lingkaran	Pondasi Kotak
Vertikal	$k_z = \frac{4\,.\,G\,.\,r_o}{1-\nu} \eta_z$	$k_z = \frac{G}{1-\nu} \beta_z \sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$
Horizontal	$k_x = \frac{32\,.\,(1-\nu).\,G\,.\,r_o}{7-8.\nu} \eta_x$	$k_x = 2\,.(1+\nu)\,.\,G\,.\,\beta_z \sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$
Rocking	$k_\varphi = \frac{8\,.\,G\,.\,{r_o}^3}{3\,.\,(1-\nu)} \eta_\varphi$	$k_\varphi = \frac{G}{1-\nu} \beta_\varphi B\,.\,L^2 \eta_z$
Torsional	$k_\psi = \frac{16\,.\,G\,.\,{r_o}^3}{3}$	Tidak ada penyelesaian

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Keterangan:

k_z = koefisien pegas akibat gaya vertikal (kN/m)
k_x = koefisien pegas akibat gaya horizontal (kN/m)
k_φ = koefisien pegas akibat momen (kN/m)
G = modulus geser (kN/m)

Tabel 2.4 Efek kedalaman Penanaman Pondasi terhadap *Damping Ratio*

Bentuk Getaran	***Damping Ratio Embedment Factor***
Vertikal	$\alpha_z = \frac{1 + 1{,}9\,(1 - \nu)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$
Horizontal	$\alpha_x = \frac{1 + 1{,}9\,(2 - \nu)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$
Rocking	$\alpha_\varphi = \frac{1 + 0{,}7(1 - \nu)\frac{h}{r_o} + 0{,}6\,(2 - \nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_\varphi}}$

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Tabel 2.5 Nilai-nilai n_φ untuk berbagai nilai B_φ

B_φ	n_φ
5	1,079
3	1,110
2	1,143
1	1,219
0,8	1,251
0,5	1,378
0,2	1,600

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Pengaruh tekanan tanah samping mempengaruhi harga ekivalen kekakuan pegas misalnya untuk getaran vertical dipengaruhi oleh nilai modulus geser G. Untuk mencari nilai G sebagai berikut:

1. Untuk pasir berbutir bulat (e $\leq$0,80)

$$G = \frac{700\,(2{,}17 - e)^2}{1 + e}\sqrt{\bar{\sigma}_o}$$ dalam satuan Kg/cm^2.... 2.31

2. Untuk pasir butiran bersudut (e > 0,60)

$G = \frac{326\,(2{,}97-e)^2}{1+e}\sqrt{\bar{\sigma}_o}$ dalam satuan Kg/cm^2.... 2.32

3. Untuk lempung jenuh

$G_{max} = 1230\ \frac{(2{,}973-e)^2}{1+e}(OCR)^k\left(\sqrt{\bar{\sigma}_o}\right)$ 2.33

dalam satuan psi

Nilai k tertera pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai k

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

(Sumber: Arya, O'Neill, & Pincus, 1979)

Dengan:

$\bar{\sigma}_o = 0{,}333\,.\,(\bar{\sigma}_v + 2\,.\,\bar{\sigma}_H)$ 2.34

$\bar{\sigma}_v = h_{\text{lapis pertama}} \text{ x } \gamma_t$ 2.35

= untuk lapis pertama

$\bar{\sigma}_v = \bar{\sigma}_{v\ sebelum} + \left[\left(h_{tinjau} - h_{lapisan\ sebelum}\right).\gamma_t\right]$ 2.36

= untuk lapis berikutnya

$\frac{z}{r_o} = \frac{h - h_{penanaman\ pondasi}}{r_{oz}}$ 2.37

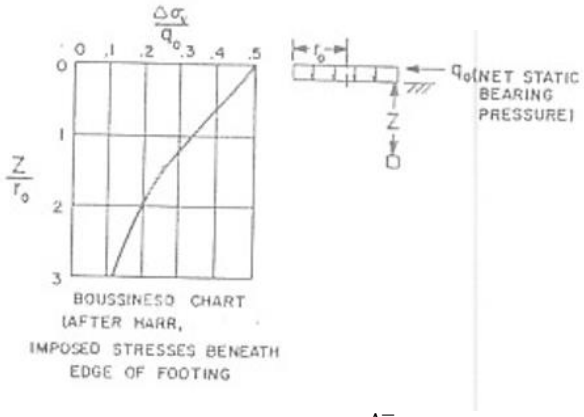
= dimulai dari dasar pondasi

$\frac{P}{a} = \frac{\Sigma W_{statis}}{B.\,L.\,\frac{\Delta\bar{\sigma}_v}{q_o}}$ 2.38

$\bar{\sigma}_{v\ minimal} = \text{minimal}\ \left(\bar{\sigma}_v + \frac{P}{a}\right)$ 2.39

$\bar{\sigma}_H = K_o \text{ x } \bar{\sigma}_{v\ minimal}$ 2.40

$\frac{\Delta\bar{\sigma}_v}{q_o}$ = tertera pada gambar 2.8



Gambar 2.10 Menentukan nilai $\frac{\Delta\bar{\sigma}_v}{q_o}$

Tabel 2.7 Korelasi SPT

Uraian	**Tanah Tidak Kohesif**				
N	0 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50	
Berat isi (kN/m^3)	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23	
Sudut Geser (ϕ)	25 – 35	28 – 36	30 – 40	> 35	
Keadaan	Lepas	Sedang	Padat	Sangat Padat	
Uraian	**Tanah Kohesif**				
N	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
Berat isi (kN/m^3)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 18	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Keadaan	Sangat Lunak	Lunak	Sedang	Kenyal (*stiff*)	Keras

(Sumber: Bowles & Hainim, 2004)

Tabel 2.8 Porositas, Angka Pori dan Berat Satuan Tanah Tipikal Alami

Uraian	**Porositas (%)**	**Angka Pori, e**	**Kadar air, w (%)**	**Berat Satuan (gram/cm^3)**	
				γ_d	γ
Pasir seragam, lepas	46	0,85	32	1,43	1,89
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	1,75	2,09
Pasir berbutir campuran, lepas	40	0,67	25	1,59	1,99
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	1,86	2,16
Tillglasial, sangat berbutir campuran	20	0,25	9	2,12	2,32
Lempung glasial lunak	55	1,20	45	-	1,77
Lempung glasial kaku	37	0,60	22	-	2,07
Lempung organik agak lunak	66	1,90	70	-	1,58
Lempung organik lunak	75	3,00	110	-	1,43
Beton lunak	84	5,20	194	-	1,27

(Sumber: Terzaghi & B.Peck, 1993)

Tabel 2.9 Pedoman Memperkirakan Harga ϕ Dari Harga N_{SPT} untuk Tanah Dominan Pasir

Kondisi Kepadatan	**Kepadatan Relatif, R_d (%)**	**Perkiraan Harga N_{SPT}**	**Perkiraan Harga, ϕ ($^\circ$)**	**Perkiraan Berat Vol. Jenuh, γ_{sat} (ton/m^3)**
Very loose (sangat renggang)	0 – 15	0 – 4	0 – 28	< 1,60
Loose (renggang)	15 – 35	4 – 10	28 – 30	1,50 – 2,0
Medium (Menengah)	35 – 65	10 – 30	30 – 36	1,75 – 2,1
Dense (rapat)	65 – 85	30 – 50	36 – 41	1,75 – 2,25
Very Dense (sangat rapat)	85 – 100	> 50	41*	

(sumber: Mocthar, 2009)

2.1.6. Getaran Kopel

Mesin memiliki tiga arah gaya. Arah gaya horizontal dan rocking bekerja bersamaan . Karena itu perlu dihitung getaran kopel. Getaran kopel ini akan menghasilkan amplitudo kopel. Persamaan sebagai berikut:

Rasio momen inersia massa, $\gamma = \frac{Mm}{Mm_o}$

Frekuensi natural kopel,

$$\Delta(\omega)^2 = \left[\left(\omega^4 - \omega^2\left\{\frac{\omega_{n\emptyset}^2 + \omega_{nx}^2}{\gamma} - \frac{4.D_x.D_\emptyset.\omega_{nx}.\omega_{n\emptyset}}{\gamma}\right\} + \frac{\omega_{nx}^2.\omega_{n\emptyset}^2}{\gamma}\right)^2 + 4\left\{D_x\frac{\omega_{nx}.\omega}{\gamma}\left(\omega_{n\emptyset}^2 - \omega^2\right) + \frac{D_\emptyset.\omega_{n\emptyset}.\omega}{\gamma}\left(\omega_{nx}^2 - \omega^2\right)\right\}^2\right]^{1/2} \quad \text{..... 2.41}$$

Amplitudo lateral pada titik berat total (sumbu x)

$$A_{x1} = \frac{My\,.\,z}{Mm}\,\frac{\left[\left(\omega_{nx}^2\right)^2 + (2\,.\,D_x\,.\,\omega_{nx})^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega)^2} \quad \text{..... 2.42}$$

$$A_{x2} = \frac{Qo}{m\,.\,Mm}\,\frac{\left[\begin{matrix}\left(-Mm\,.\,\omega^2 + k_\emptyset + z^2\,.\,k_x\right)^2 + 4\,\omega^2 \\ \left(D_\emptyset\,.\,\sqrt{k_\emptyset\,.\,M_{mo}} + \right)^2 \\ z^2\,.\,D_x\,.\sqrt{k_x\,.\,m}\end{matrix}\right]^{1/2}}{\Delta(\omega)^2} \quad \text{..... 2.43}$$

Amplitudo rocking (rotasi terhadap sumbu y)

$$A_{\emptyset 1} = \frac{M_y}{M_m}\,\frac{\left[\left(\omega_{nx}^2 - \omega^2\right)^2 + (2\,.D_x\,.\omega_{nx}\,.\omega)^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega)^2} \quad \text{..... 2.44}$$

$$A_{\emptyset 2} = \frac{Q_o\,.\,z}{M_m}\,\frac{\omega_{nx}\,.\,\left[\omega_{nx}^2 + 4\,.\,D_x\,.\omega^2\right]^{1/2}}{\Delta(\omega)^2} \quad \text{..... 2.45}$$

Amplitudo total

A_z total = $A_z + A_{z\,max}$ 2.46

= $A_z + (0{,}5\,.\,L\,.\,(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})$ 2.47

A_x total = $A_{x\,max}$

= $(A_{x1} + A_{x2}) + [(h_{tot} + \text{pusat berat mesin} - z)\,.\,(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})]$ 2.48

Dengan:

$$M_{mo} = \left[\frac{W_{mesin}}{g} . \ (h_{tot} + \text{pusat berat mesin})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{W_{pondasi}}{g}\right)}{12} . \ (L^2 + h_{tot}^2)\right] + \left[\frac{W_{pondasi}}{g} . \ (0{,}5 . \ h_{tot})^2\right] \quad \text{..... 2.49}$$

$$M_m = M_{mo} - (m . z^2) \quad \text{..... 2.50}$$

$$My = Q_o . (h_{tot} + \text{pusat berat mesin} - z) \quad \text{..... 2.51}$$

$$z = \frac{\left[\begin{matrix}W_{mesin} . \ (h_{tot} + \text{pusat berat mesin}) + \\ (W_{pondasi} . \ 0{,}5 . \ h_{tot})\end{matrix}\right]}{\text{Total W}} \quad \text{..... 2.52}$$

$$m = \frac{\Sigma W_{mesin} + W_{pondasi}}{g} \quad \text{..... 2.53}$$

Keterangan:

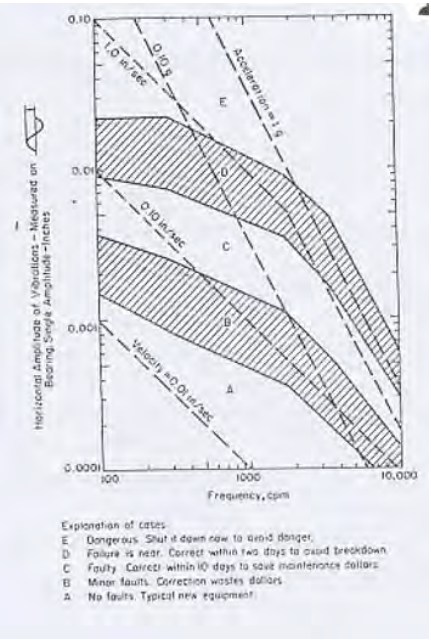
L = lebar pondasi

ω = Resonansi untuk *rotating* (rad/dt^2) tertera pada rumus 2.7

ω_n = frekuensi natural kopel tertera pada rumus 2.13 dan 2.14

Setelah mengetahui nilai Amplitudo total, perencanaan pondasi harus dikontrol memenuhi syarat sebagi berikut:

1. Amplitudo vertikal
   A_z = A_z total (inch) < *troublesome to persons*
   Cara mengkontrolnya dengan nilai frequensi mesin dibandingkan dengan nilai A_z total menggunakan gambar 2.6.
2. Amplitudo horizontal
   A_x = A_x total (inch)
   Cara mengkontrolnya dengan nilai frequensi mesin dibandingkan dengan nilai A_x total menggunakan gambar 2.9, harus termasuk kategori A atau B.



Gambar 2.11 Kriteria untuk Getaran Mesin Berputar (After Blake, 1964)

3. Kecepatan amplitudo horizontal
   $v = 2 \cdot \pi \cdot f\,(cps) \cdot A_{x\,total}$ 2.54
   Kecepatan amplitudo horizontal maksimal termasuk kategori *good*.

Tabel 2.10 Kategoti Kecepatan Amplitudo Horizontal

Kecepatan Maksimum Amplitudo Horizontal	*Machine Operation*
< 0,005	*Extremely Smooth*
0,005 – 0,010	*Very Smooth*
0,010 – 0,020	*Smooth*

(Sumber: After Baxter and Bernard, 1967)

Tabel 2.10 Kategoti Kecepatan Amplitudo Horizontal (Lanjutan)

Kecepatan Maksimum Amplitudo Horizontal	*Machine Operation*
0,020 – 0,040	*Very Good*
0,040 – 0,080	*Good*
0,080 – 0,160	*Fair*
0,160 – 0,315	*Slightly Rough*
0,315 – 0,630	*Rough*
> 0,630	*Very Rough*

(Sumber: After Baxter and Bernard, 1967)

4. Gaya pegas

Tabel 2.11 Persamaan Reaksi Gaya Pegas

Gaya Vertikal		Gaya Horizontal	
< 5 Hz	$K = 0{,}001 . A . f^2$	< 5 Hz	$K = 0{,}002 . A . f^2$
5-40 Hz	$K = 0{,}001 . A . f$	2-25 Hz	$K = 0{,}004 . A . f^2$
> 40 Hz	$K = 0{,}2 . A$	> 25 Hz	$K = 0{,}1 . A$

(Sumber: After Dieckmann)

Keterangan: A dengan satuan micro

Tabel 2.12 Efek Reaksi Gaya Pegas

Nilai K	Diskripsi
0,1	*Lower limit of human perception*
1	*Allowable in industry for any period of time*
10	*Allowable only for a short time*
100	*Upper limit of strain or endurance for the average man*

(Sumber: After Dieckmann)

2.1.7. Grafik Rasio redaman

Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran

dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Persamaan sebagai berikut:

1. Terhadap gaya vertikal

$$M_z = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m/K_z/\gamma/r_0^2\right)^2+ \\ 4 \,.\, D_z^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m/ \\ K_z \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}} \quad \text{.....2.55}$$

2. Terhadap gaya rocking

$$M_\phi = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_{mo}/K_\phi/\gamma/r_0^2\right)^2+ \\ 4 \,.\, D_\phi^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_{mo}/ \\ K_\phi \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}} \quad \text{.....2.56}$$

3. Terhadap gaya horizontal

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m/K_x/\gamma/r_0^2\right)^2+ \\ 4 \,.\, D_x^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m/ \\ K_x \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}} \quad \text{.....2.57}$$

Maka dengan menghitung pembesaran dinamis tersebut, dihasilkan grafik untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap sesuai perencanaan. Dengan grafik rasio redaman cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya vertikal, rocking, dan horizontal.

2.2. Daya Dukung Pondasi Dangkal

Sebelum menghitung daya dukung pondasi dangkal, sebelumnya harus di cek dahulu pondasi yang telah direncanakan termasuk pondasi dangkal atau tidak. Pondasi dangkal mempunyai perbandingan antara kedalaman dengan lebar sekitar kurang dari empat. Apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi lebih besar dari empat, pondasi tersebut diklasifikasikan sebagai pondasi dalam (Das, 1985).Jika pondasi yang telah dihitung termasuk pondasi dangkal,

maka perhitungan kemampuan pondasi dangkal untuk memikul beban menurut Terzaghi sebagai berikut:

1. Apabila c = 0 dan beban luar q = 0 ($D_f = 0$) maka:

$$q_u = q_\gamma$$

$$= \frac{1}{2} . \gamma . B \left[\frac{1}{2} . \tan\emptyset \left(K_\gamma . \tan_\gamma . -1\right)\right] \text{..... 2.58}$$

$$= \frac{1}{2} . B . \gamma . N_\gamma \text{ ..... 2.59}$$

2. Apabila γ = 0 (yaitu tanah tidak memiliki berat) dan q = 0 maka:

$$q_u = q_c = c . [\tan \emptyset (K_c + 1)] \text{ ..... 2.60}$$

$$= c . N_c \text{ ..... 2.61}$$

3. Apabila γ = 0 (tanah tidak mempunyai berat) dan c = 0 maka:

$$q_u = q_\gamma$$

$$= \frac{1}{2} . \gamma . B \left[\frac{1}{2} . \tan\emptyset \left(K_\gamma . \tan_\gamma . -1\right)\right] \text{..... 2.62}$$

$$= N_q \text{ ..... 2.63}$$

Dengan cara superposisi, apabila pengaruh berat volume tanah, kohesi, dan beban luar diperhitungkan, maka diperleh persamaan sebagai berikut:

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma \text{ ..... 2.64}$$

$$= c . N_c + q . N_q + \frac{1}{2} . \gamma . B . N_\gamma \text{ ..... 2.65}$$

Untuk pondasi berbentuk lingkaran dan bujur sangkar, persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh Terzaghi sebagai berikut:

1. Pondasi berbentuk bujur sangkar (L = B)

$$q_u = 1{,}3 . c . N_c + q . N_q + 0{,}4 . \gamma . B . N_\gamma \text{ ..... 2.66}$$

2. Pondasi berbentuk lingkaran

$$q_u = 1{,}3 . c . N_c + q . N_q + 0{,}3 . \gamma . B . N_\gamma \text{ ..... 2.67}$$

Keterangan:

B = diameter pondasi

Parameter-parameter N_c , N_q , dan N_γ disebut faktor daya dukung tertera pada tabel 2.13. Persamaan pada 2.64 dan 2.65 diturunkan dengan anggapan bahwa jenis

keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser menyeluruh *(general shear failure).* Tetapi untuk kondisi keruntuhan geser setempat *(local shear failure)* kita dapat menganggap bahwa:

$$c' = \frac{2}{3} . c \quad \text{..... 2.68}$$

Tabel 2.13 Faktor Daya Dukung untuk Keruntuhan Geser Menyeluruh

ϕ	N_c	N_q	N_γ (H)	N_γ (M)	N_γ (V)
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	72.25	64.1	79.4	93.6	109.4
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.50	567.4	871.7	762.84

Note: N_c and N_q are the same for all the three methods. Subscripts identify the author for N_γ.

$$\tan \emptyset' = \frac{2}{3} \tan \emptyset \quad \text{..... 2.69}$$

1. Pondasi lajur (B ≠ L)

   $$q_u' = c' . N_c' + q . N_q' + \frac{1}{2} . \gamma . B . N_\gamma' \quad \text{..... 2.70}$$

2. Pondasi bentuk bujur sangkar (B = L)

   $$q_u' = 1{,}3 . c' . N_c' + q . N_q' + 0{,}3 . \gamma . B . N_\gamma' \quad \text{..... 2.71}$$

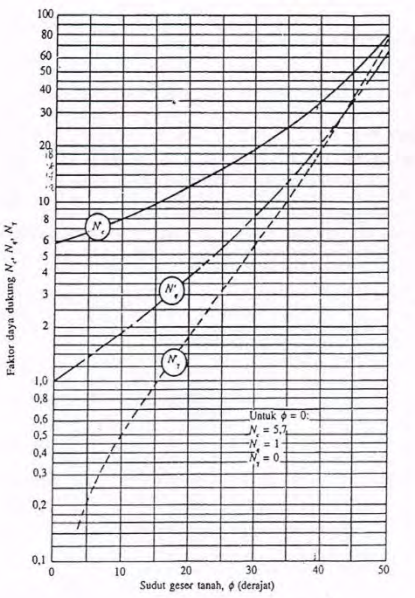
3. Pondasi bentuk lingkaran

   $$q_u' = 1{,}3 . c' . N_c' + q . N_q' + 0{,}4 . \gamma . B . N_\gamma' \quad \text{..... 2.72}$$

   Keterangan:

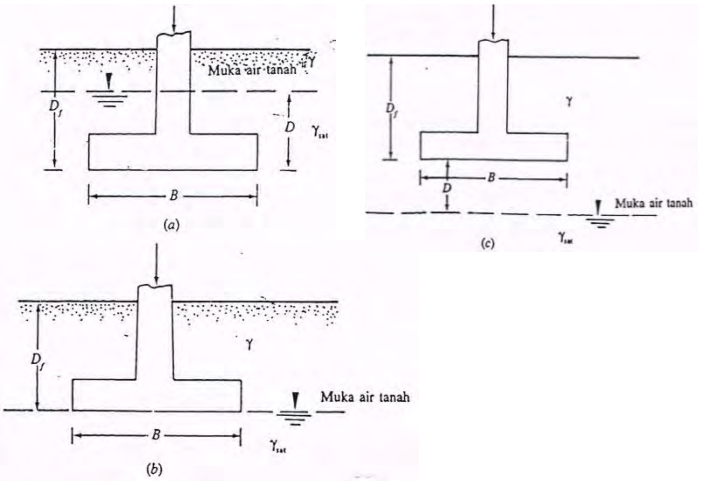
   B = diameter pondasi

Parameter-parameter N_c' , N_q' , dan N_γ' disebut faktor daya dukung tertera pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Faktor Daya Dukung untuk Keruntuhan Geser setempat menurut Terzaghi (Das, 1985)

Penjelasan persamaan 2.64 hingga 2.67 dan persamaan 2.70 hingga 2.72 mengasumsikan bahwa permukaan air tanah berada pada kedalaman lebih besar dari lebar pondasi (B). Bila permukaan air tanah berada dekat dengan dasar pondasi, terdapat perubahan pada suku kedua dan ketiga pada persamaan 2.65 hingga 2.67 dan persamaan 2.70 hingga 2.72. Ada tiga keadaan yang berbeda mengenai lokasi permukaan air tanah terhadap dasar pondasi, tertera pada gambar 2.12. Maka perhitungan kemampuan pondasi dangkal untuk memikul beban sebagai berikut:



Gambar 2.13 Pengaruh Lokasi Permukaan Air Tanah terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal. (a) Keadaan I, (b) Keadaan II, (c) Keadaan III
(Das, 1985)

1. Keadaan I (tertera pada gambar 2.13)
   Apabila permukaan air tanah terletak sejarak D di atas dasar pondasi, nilai q dalam suku kedua dari persamaan daya dukung sebagai berikut:
   $q = \gamma \,.\, (D_f - D) + \gamma' \,.\, D$ 2.73
   Berat volume tanah (γ) pada suku ketiga persamaan daya dukung diganti dengan γ'.
   γ' = berat volume efektif dari tanah
   $= \gamma_{sat} - \gamma_w$ 2.74

2. Keadaan II (tertera pada gambar 2.13)
   Apabila permukaan air tanah bearada tepat di dasar pondasi, maka nilai q dalam suku kedua dari persamaan daya dukung sebagai berikut:
   $q = \gamma \, . \, D_f$ 2.75
   Berat volume tanah (γ) pada suku ketiga persamaan daya dukung diganti dengan γ' sesuai dengan persamaan 2.71.
3. Keadaan III (tertera pada gambar 2.13)
   Apabila permukaan air tanah berada pada kedalaman D di bawah dasar pondasi, maka nilai q dalam suku kedua dari persamaan daya dukung sesuai dengan persamaan 2.75. Berat volume tanah (γ) pada suku ketiga persamaan daya dukung diganti dengan $\gamma_{rata\text{-}rata}$ sebagai berikut:
   - Untuk $D \leq B$
     $\gamma_{rata-rata} = \frac{1}{B}[\gamma \, . \, D + \gamma'(B - D)]$ 2.76
   - Untuk $D > B$
     $\gamma_{rata-rata} = \gamma$..... 2.77

   Pada pondasi dangkal terdapat tiga definisi yang berbeda mengenai daya dukung yang diijinkan yaitu sebagai berikut:

1. Daya dukung ijin gross
   $q_{ijin} = \frac{q_u}{F_s}$ 2.78
   $= \left[\frac{W_{(D+L)} + W_F + W_s}{A}\right] . \frac{1}{F_s}$..... 2.79
   Dengan :
   A = luas dasar pondasi
   F_s = 3-4
   Persamaan 2.78 dan 2.79 adalah beban persatuan luas yang diijinkan untuk dibebankan pada tanah dibawah pondasi, agar kemungkinan terjadinya keruntuhan dapat dihindarkan.

Keterangan:

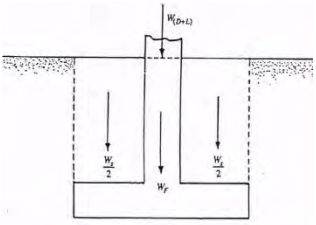
$W_{(D+L)}$ = beban mati dan beban hidup di atas permukaan tanah

W_F = berat pondasi itu sendiri

W_s = berat tanah yang terletak tepat diatas pondasi

Untuk memperjelas yang dimaksud dengan $W_{(D+L)}$, W_F , dan W_s tertera pada gambar 2.14.

Diakarenakan perencanaan pondasi ini tanpa adanya kolom maka tidak ada W_s, maka hasil daya dukung ijin gross sama dengan daya dukung ijin netto.



Gambar 2.14 Penjelasan Beban yang ditopang Pondasi
(Das, 1985)

2. Daya dukung ijin netto

Daya dukung ijin netto dari pondasi adalah beban per satuan luas yang diijinkan untuk suatu pondasi tanpa memasukan berat tanah di sebelah kanan kiri pondasi dari permukaan tanah sampai kedalaman dasar pondasi (tertera pada gambar 2.14), maka beban batas netto sebagai berikut:

$q_{u(net)} = q_u - q$ 2.80

$= q_u - \gamma . D_f$ 2.81

Maka :

$$q_{ijin\ (net)} = \frac{q_{u\ (net)}}{F_s} \quad \text{..... 2.82}$$

$$= \frac{q_u - q}{F_s} \quad \text{..... 2.83}$$

Apabila beban luar adalah hamper sama dengan berat pondasi dan tanah di atasnya maka:

$q = \gamma \, . \, D_f$ 2.84

$= \frac{W_s + W_F}{A}$ 2.85

$q_{ijin\ (net)} = \frac{W_{(D+L)}}{A}$ 2.86

$= \frac{q_u - q}{F_s}$ 2.87

Dengan :

F_s= 3-4

3. Daya dukung ijin gross dengan memberikan angka keamanan terhadap keruntuhan geser

   Daya dukung ijin gross in dapat dihitung dengan meggunakan angka keamanan (F_s) pada kekuatan geser tanah, perhitungan sebagai berikut:

   - Kohesi yang timbul (C_d)

     $c_d = \frac{c}{F_s}$ 2.88

     Dengan :

     F_s = 2-3

   - Sudut geser tanah yang timbul (ϕ_d)

     $\tan \emptyset_d = \frac{\tan \emptyset}{F_s}$ 2.89

     Dengan :

     F_s = 2-3

   - Daya dukung pondasi

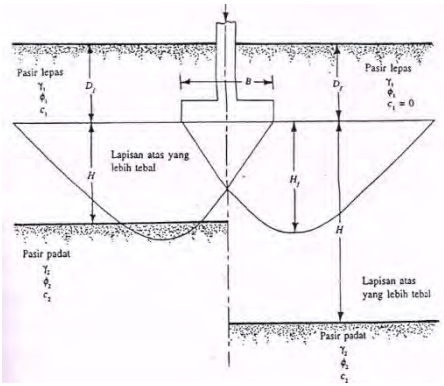
     Menghitung daya dukung ijin pondasi menggunakan persamaan 2.86 hingga 2.88 dengan parameter $c_d$dan ϕ_d sebagai kekuatan geser tanah. Sebagai contoh persamaan 2.86 menjadi sebagai berikut:

     $q_{ijin} = c_d \, . \, N_c + q \, . \, N_q + \frac{1}{2} \, . \, \gamma \, . \, B \, . \, N_\gamma$ 2.90

     Dengan :

     N_c , N_d , dan N_γ = faktor daya dukung untuk sudut geser tanah ϕ_d

Perhitungan daya dukung pondasi yang berada di tanah pasir berlapis berbeda dengan tanah yang tidak berlapis. Persamaan 2.79 hingga 2.90 diperuntukan untuk tanah yang tidak berlapis. Gambar 2.15 menunjukan suatu pondasi lajur yang terletak di atas lapisan pasir lepas yang dibawahnya terdapat lapisan pasir padat. Mengacu pada nilai H/B, dua tipe bidang keruntuhan dapat diseldiki dalam tanah yang di atasnya didirikan suatu pondasi lajur. Dua tipe tersebut sebagai berikut:



Gambar 2.15 Daya Dukung Tanah Pasir yang Berlapis (Lapisan Pasir Lepas Berada di Atas Lapisan Pasir Padat)
(Das, 1985)

1. Apabila ketebalan lapisan pasir lepas dibawah pondasi (H) lebih besar dibandingkan dengan lebar pondasi (B), maka permukaan bidang longsor dalam tanah akan berada seluruhnya di dalam lapisan tanah lepas (tertera pada gambar 2.15). Persamaan sebagai berikut:
   - Untuk pondasi lajur (B ≠ L)
     $q_u = q_{u\,(l')}$

$$= \gamma_1 . D_f . N_{q\,(l)} + \frac{1}{2} . \gamma_1 . B . N_{\gamma(l)} \text{ ..... } 2.91$$

- Untuk pondasi berbentuk lingkaran

  $q_u = q_{u\,(l')}$

  $$= \gamma_1 . D_f . N_{q\,(l)} + 0{,}3 . \gamma_1 . B . N_{\gamma(l)} \text{ ..... } 2.92$$

- Untuk pondasi berbentuk persegi

  $q_u = q_{u\,(l')}$

  $$= \gamma_1 . D_f . N_{q\,(l)} + \frac{1}{2} . \left[1 - 0{,}4 . \left(\frac{B}{L}\right)\right] \gamma_1 . B . N_{\gamma(l)} \text{ ..... } 2.93$$

Dengan:

γ_1 = berat volume dari lapisan tanah di atasnya

$N_{q(l)}$ dan $N_{\gamma(l)}$ = faktor daya dukung dari lapisan tanah yang atas yang merupakan sudut geser ϕ_1

2. Apabila tebal (H) adalah kecil jika dibandingkan dengan lebar pondasi (B), maka bidang longsor yang ada dalam tanah akan melalui lapisan atas dan lapisan bawah tanah di bawah pondasi yang bersangkutan. Persamaan untuk keadaan ini sebagai berikut: (Meyerhaf dan Hanna, 1978)

   $$q_u = q_{u\,(l')} + \left(q_{u\,(b')} - q_{u\,(l')}\right) . \left[1 - \frac{H}{H_f}\right]^2 \text{ ..... } 2.94$$

   Dengan:

   - Pondasi lajur

     $$q_{u\,(b')} = \gamma_2 . D_f . N_{q\,(2)} + \frac{1}{2} . \gamma_2 . B . N_{\gamma(2)} \text{ .. } 2.95$$

   - Pondasi bentuk lingkaran

     $$q_{u\,(b')} = \gamma_2 . D_f . N_{q\,(2)} + 0{,}3 . \gamma_2 . B . N_{\gamma(2)} \text{ ..... } 2.96$$

   - Pondasi bentuk persegi

     $$q_{u\,(b')} = \gamma_2 . D_f . N_{q\,(2)} + \frac{1}{2} . \left[1 - 0{,}4 . \left(\frac{B}{L}\right)\right] \gamma_2 . B . N_{\gamma(2)} \text{ ..... } 2.97$$

Keterangan:

γ_2 = berat volume lapisantanah yang bawah

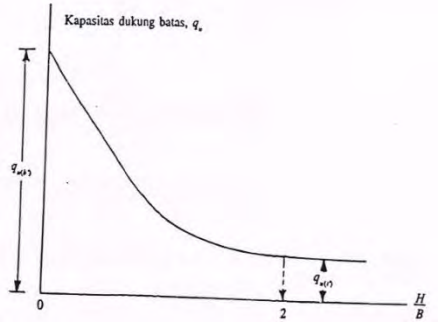
$N_{q(2)}$, $N_{\gamma(2)}$ = faktor daya dukung untuk tanah dengan sudut geser ϕ_2

H_f = kedalaman bidang longsor di bawah pondasi apabila pondasi tersebut diletakkan di atas lapisan tanah pasir lepas yang tebal

Agar lebih praktis, nilai H_f dapat diasumsikan 2B. Maka persamaan 2.94 memiliki batas-batas sebagai berikut:

$q_{u(l')} \leq q_u \leq q_{u(b')}$..... 2.98

variasi q_u dengan H/B tertera pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Variasi daya dukung batas dengan H/B untuk tanah pasir berlapis (lapisan yang lepas berada di atas lapisan padat) (Das, 1985)

2.3. Penurunan Tanah

Pondasi adalah konstruksi paling bawah suatu struktur, yang meneruskan beban dari atas ke lapisan tanah. Perencanaan pondasi dapat dikatakan benar jika beban yang diteruskan oleh pondasi ke lapisan tanah tidak melampau batas kemampuan tanah. Jika melampaui batas kemampuan tanah, maka konstruksi

diatasnya akan mengalami penurunan yang berlebih hingga keruntuhan struktur. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lainnya. Penurunan *(settlement)* pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dibagi dalam dua kelompok, yaitu:

1. Penurunan konsolidasi *(consolidation settlement)* :
   Merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air akibat dari keluarnya air akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Perhitungan amplitudo peurunan tanah akibat konsolidasi primer (S_{cp}) dari tanah lempung tergantung dari sejarah tanahnya, disebut *normally consolidated* (NC) sebagai berikut:

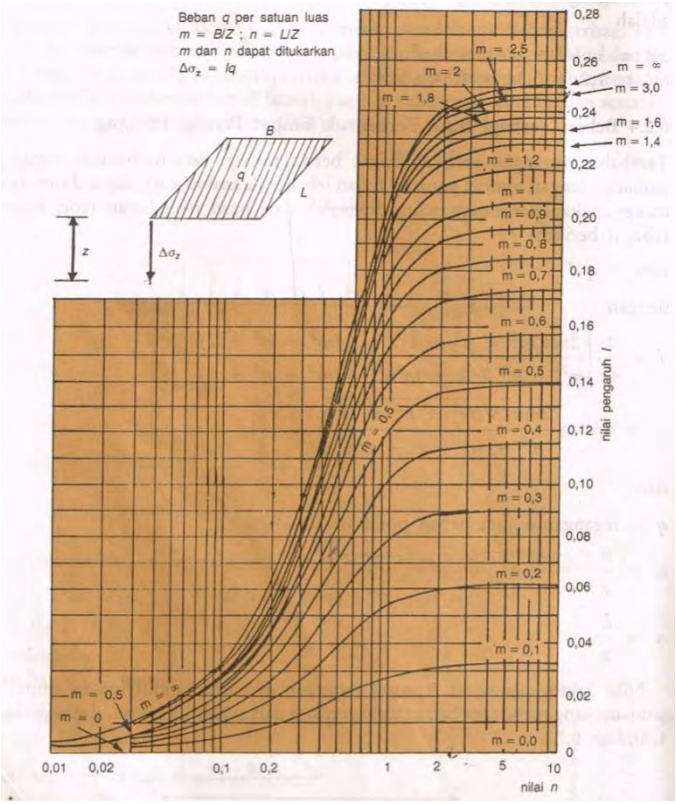
   $$S_{cp} = \frac{C_c \,.H}{1+ e_0} \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_0}\right) \quad \text{..... 2.99}$$

   Keterangan:
   Cc = *compression index*
   H = tebal lapisan tanah *compressible* (m)
   e_0 = angka pori awal *(initial void ratio)*
   Δ_σ = *surcharge load* (kN/m^2)
   σ'_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 sebagai berikut:

   $$\Delta\sigma = I \,.q_o \quad \text{..... 2.100}$$

   $$q_o = \gamma_t \,.\, h_{tanah} \quad \text{..... 2.101}$$

   Keterangan:
   $\Delta\sigma$ = beban *surcharge* yang terjadi
   I = faktor pengaruh bentuk beban, ditentukan dari grafik 2.17
   γ_t = berat volume tanah
   H_{tanah} = tinggi timbunan



Gambar 2.17 Faktor Pengaruh Untuk Beban Bentuk Segi Empat
(NAVFAC DM-7, 1970)

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

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{c_v} \quad \text{..... 2.102}$$

Keterangan:

T_v = faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi (U) tertera pada tabel 2.14

c_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/sec atau m^2/sec)
H_{dr} = *double drainage*
= ½ H
H_{dr} = *single drainage*
= H
H = tebal lapisan tanah di lapangan yang memampat

Tabel 2.14 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat Konsolidasi (U %)	Faktor waktu (T_v)
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	∞

Keterangan: U_v tetap untuk seluruh kedalaman lapisan
(Sumber: Das, 1998)

2. Penurunan segera *(immediate settlement)* :
Merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan segera untuk pondasi yang berada di atas material yang elastis (dengan ketebalan yang tak terbatas) dapat dihitung dari prinsip dasar elastis sebagai berikut:

$\rho_i = p \,.\, B \,.\, \frac{1-\mu^2}{E} I_p$ 2.103

Keterangan:

ρ_i = penurunan elastis

p = tekanan bersih yang dibebankan

B = lebar pondasi (jika lingkaran dapat menggunakan nilai diameter pondasi)

μ = angka poisson tertera pada tabel 2.15

E = modulus elastisitas tanah (modulus young)

Ip = faktor pengaruh *(influence factor)* yang tidak mempunyai dimensi tertera pada tabel 2.16

Tabel 2.15 Harga-harga angka poisson

Jenis Tanah	Angka poisson (μ)
Pasir lepas	0,2 - 0,4
Pasir agak padat	0,25 - 0,4
Pasir padat	0,3 - 0,45
Pasir berbutiran	0,2 - 0,4
Lempung lembek	0,15 - 0,25
Lempung agak kaku	0,2 - 0,5

(Sumber: Das, 1998)

Tabel 2.16 Faktor- faktor pengaruh untuk pondasi

Bentuk	m_i	Ip		
		Lentur		Kaku
		Tengah – Tengah	Pojok	
Bundar	-	1,00	0,64	0,79
Persegi	1	1,12	0,56	088
	1,5	1,36	0,68	1,07
	2	1,53	0,77	1,21
	3	1,78	0,89	1,42
	5	2,10	1,05	1,70
	10	2,54	1,27	2,10
	20	2,99	1,49	2,46

	50	3,57	1,8	3,0
	100	4,01	2,0	3,43

(Sumber: Das, 1998)

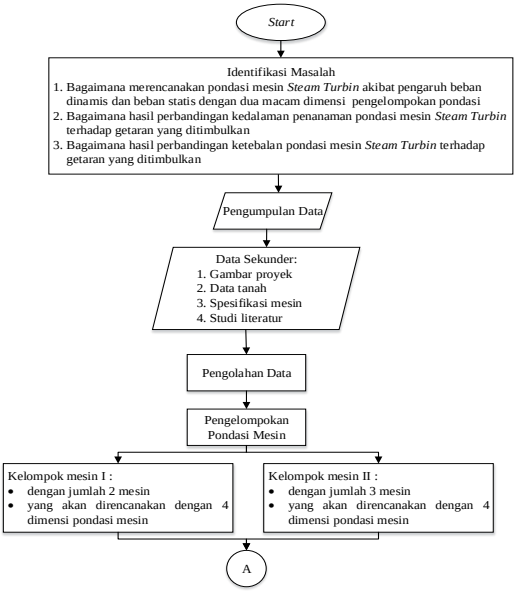
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI

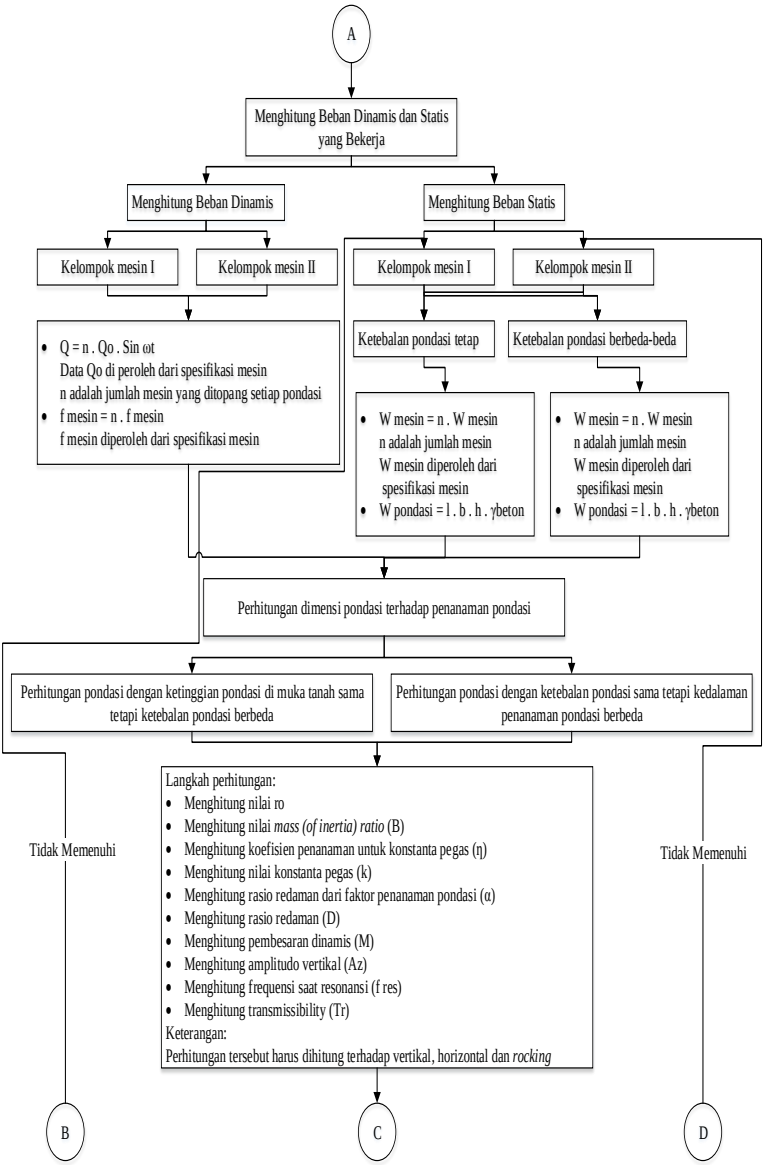
3.1. Diagram Alir *(Flow Chart)*

Pada perencanaan suatu pekerjaan diperlukan tahapan-tahapan atau metodologi yang jelas untuk menetukan hasil yang ingin dicapai sesuai dengan tujuan. Data-data yang diperoleh kemudian diolah, dan setelah itu dilakukan analisa untuk menyelesaikan masalah- maslah yang ada.

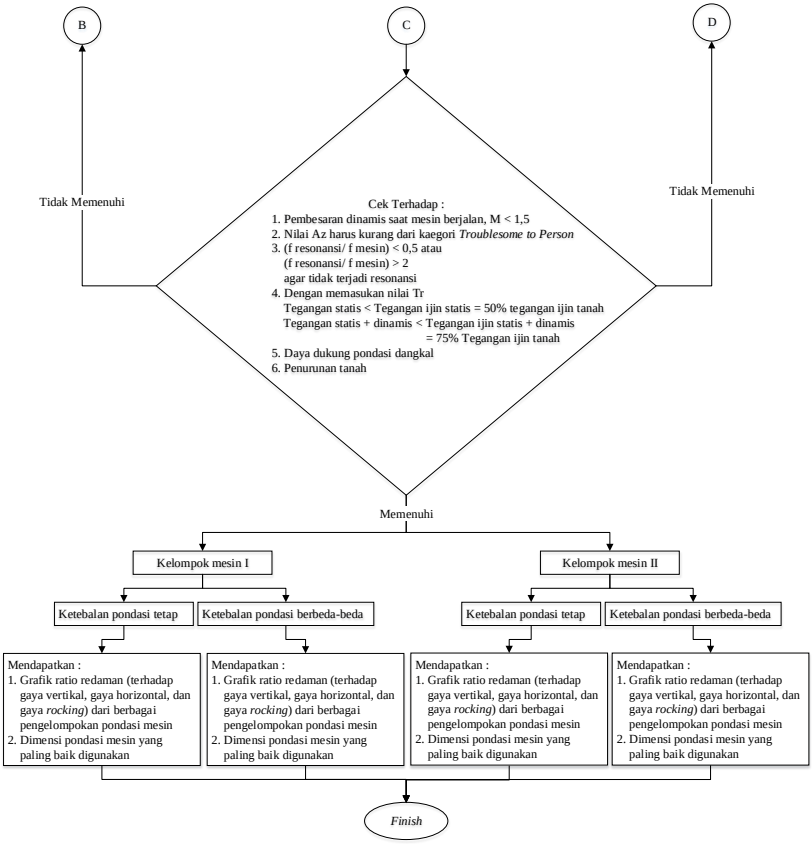
Metodologi ini dimulai dari indentifikasi masalah yang ada sesuai dengan latar belakang. Dilanjutkan dengan pengumpulan data-data dalam menunjang pekerjaan. Selanjutnya melakukan studi dan pengolahan data untuk menyelesaikan masalah yang ada. Kemudian dapat disimpulkan sesuai dengan permasalahan yang ada.



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Lanjutan



Gambar 3.3 Diagram Alir Lanjutan

3.2. Uraian Metodologi

Uraian metodologi yang digunakan dalam pembahasan permasalahan Proyek Akhir ini sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

   Sebelum mengerjakan Proyek Akhir ini, harus memahami permasalahan yang akan dibahas dalam

Proyek Akhir ini. Hal ini berguna agar, hasil dari Proyek Akhir ini tidak menyimpang dengan permasalahan yang ingin dibahas.Persamaanan masalah tertera pada sub bab 1.2.

2. Pengumpulan data

   Untuk menghasilkan sesuai dengan tujuan yang dibahas pada Proyek Akhir ini, maka diperlukan data penunjang. Data penunjang sebagai berikut:

   - Data Sekunder

     Data sekunder ini meliputi :

     - gambar proyek (terlampir),
     - data tanah hasil tes SPT dan laboratorium yang mengetahui sifat fisik tanah pada lokasi proyek (terlampir),
     - spesifikasi mesin yang akan digunakan adalah siemens STT 200 (terlampir),
     - Dan studi literatur berupa buku penunjang untuk menghitung perencanaan pondasi mesin ini.

3. Pengolahan data

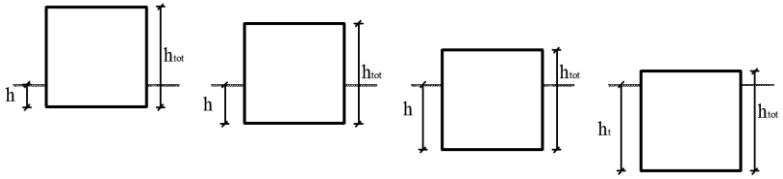
   Pengolahan data ini sesuai dengan persamaanan masalah yang dibahas pada proyek akhir ini. Tahapan pengolahan data sebagai berikut:

   - Pengelompokan pondasi mesin

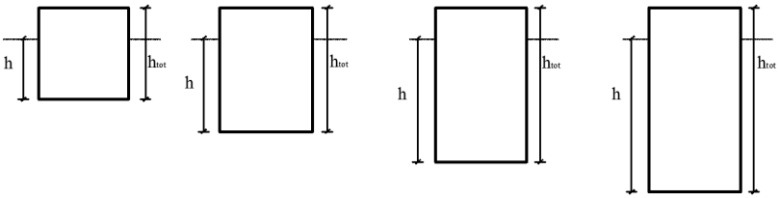
     Pengelompokan pondasi mesin ini dua macam pengelompokan mesin. Setiap pengelompokan mesin direncanakan menjadi dua yaitu ketebalan pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (dengan empat perbedaan penanaman, tertera pada gambar 3.4), dan ketebalan pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi muka tanah sama (dengan empat perbedaan ketebalan pondasi, tertera pada gambar 3.5). Pengelompokan sebagai berikut:

     - Pengelompokan I menopang 2 mesin

- Pengelompokan II menopang 3 mesin



Gambar 3.4 Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda



Gambar 3.5 Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

- Menghitung beban dinamis dan statis yang bekerja
  Perhitungan ini dibedakan antara beban dinamis dan statis, perhitungan sebagai berikut:
  - Beban dinamis
    Setiap kelompok mesin persamaan untuk menghitung beban dinamis menggunakan persamaan 2.5, yang hanya membedakan jumlah mesin.
    $Q_o = \frac{m}{g} . e . \omega^2 . n$..... 3.1
    Keterangan:
    n = jumlah mesin yang ditopang setiap pondasi
  - Beban statis
    Setiap kelompok mesin menghitung beban statis terhadap ketebalan podasi tetap dan

ketebalan pondasi berbeda-beda. Persamaan yang digunakan untuk menghitung beban statis sesuai dengan persamaan 2.18 hingga 2.20.

$W_{mesin} = n \, . \, W_{mesin}$ 3.2

$W_{pondasi} = l \, . b \, . h \, . \gamma_{beton}$ 3.3

$W_{total} = W_{mesin} + W_{pondasi}$ 3.4

Keterangan:

W_{mesin} = diperoleh dari spesifikasi mesin

n = jumlah mesin yang ditopang setiap pondasi

Yang dimaksud dengan ketebalan pondasi tetap maka nilai h konstan sedangan ketebalan pondasi berbeda-beda maka nilai h tidak konstan. Hal ini terjadi pada setiap kelompok mesin.

- Menghitung dimensi pondasi terhadap penanaman pondasi

  Pada tahap ini adalah dimensi pondasi yang sudah direncanakan pada tahap perhitungan beban statis di hitung hingga memenuhi persyaratan pada cek kontrol. Dimensi pada tahap perhitungan beban statis adalah dimensi *trial error*. Perhitungan ini diperuntukkan untuk kelompok mesin I dan II, juga untuk pondasi dengan ketebalan yang sama tetapi kedalaman penanaman berbeda dan pondasi dengan ketebalan yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muaka tanah sama. Hal ini dikarenakan persamaan yang digunakan adalah sama. Tahapan perhitungan sebagai berikut:

  - Menghitung nilai r_o

    Persamaan yang digunakan untuk menghitung r_o sesuai pada tabel 2.1. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.

  - Menghitung nilai *mass (of inertia) ratio* (B)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung B sesuai pada tabel 2.2. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.

- Menghitung nilai koefisien penanaman untuk konstanta pegas (η)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung η sesuai pada tabel 2.1. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.
- Menghitung nilai konstanta pegas (k)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai k sesuai pada tabel 2.3. Dikarenakan perhitungan ini didekatkan dengan bentuk pondasi lingkaran, maka untuk menghitung nilai konstanta pegas menggunakan persamaan nilai konstanta pegas untuk pondasi lingkaran. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.
- Menghitung rasio redaman dari faktor penanaman pondasi (α)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai α sesuai pada tabel 2.4. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.
- Menghitung rasio redaman (D)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai D sesuai pada tabel 2.2. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.
- Menghitung pembesaran dinamis (M)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai M sesuai pada persamaan 2.17. Bentuk getaran yang diperhitugkan hanya vertikal, horizontal, dan *rocking*.

- Menghitung amplitudo vertikal (A_z)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai A_z sesuai pada persamaan 2.16.
- Menghitung frekuensi saat resonansi (f_{res})
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai f_{res} sesuai pada persamaan 2.7.
- Menghitung *transmissibility* (T_r)
  Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai T_r sesuai pada persamaan 2.9 hingga 2.11.

4. Kontrol pengolahan data
   Dari pengolahan data pada tahap menghitung dimensi pondasi adalah dimensi *trial error*. Hasil dari perhitungan pondasi terhadap penaman pondasi jika memenuhi persyaratan dibawah ini, maka dimensi tersebut dapat diplotkan pada grafik rasio redaman. Tetapi jika hasil perhitungan pondasi terhadap penaman pondasi tidak memenuhi persyaratan di bawah ini walaupun hanya tidak terpenuhi satu syarat, maka harus direncanakan ulang dimensi pondasi dan dihitung ulang beban statis pondasi. Dari hasil dimensi pondasi tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
   - Pembesaran dinamis saat mesin berjalan harus M < 1,5
   - Nilai A_z maksimal termasuk kategori *troublesome to persons* sesuai dengan gambar 2.6.
   - A_x total menggunakan gambar 2.9, harus termasuk kategori A atau B
   - Kecepatan amplitudo horizontal maksimal termasuk kategori *good.*
   - Cek frekuensi resonansi terhadap frekuensi mesin
     $\frac{f_{res}}{f_{mesin}} < 0{,}5$ atau 3.5
     $\frac{f_{res}}{f_{mesin}} > 2$ 3.6
     Hal ini agar tidak terjadi resonansi

- Daya dukung pondasi dangkal:
  $\sigma_{statis} < \overline{\sigma}_{statis} = 50\% \,.\, \overline{\sigma}_{tanah}$ 3.7
  dan
  $\sigma_{statis} + \sigma_{dinamis} < \overline{\sigma}_{statis} + \overline{\sigma}_{dinamis} = 70\% \,.\, \overline{\sigma}_{tanah}$ 3.8
  Perhitungan daya dukung pondasi dangkal disesuaikan dengan kondisi tanah dan kondisi muka air tanah. Dari mengetahui kondisi terseburt dapat menentukan penggunaan persamaan yang sesuai untuk perhitungan daya dukung pondasi dangkal. Persamaan yang digunakan tertera pada sub bab 2.2.
- Penurunan tanah
  Untuk mengetahui penurunan tanah, persamaan yang digunakan tertera pada sub bab 2.3.

5. Hasil

   Dikarenakan terdapat 2 pengelompokan mesin maka hasil yang diperoleh dari tiap pengelompokan sebagai berikut:

   - Kelompok mesin I
     - Pondasi dengan ketebalan yang sama tetapi kedalaman penanaman berbeda
       Dari perhitungan di atas diperoleh empat perbedaan ketebalan penanaman dengan ketebalan pondasi yang sama dan telah memenuhi syarat cek kontrol. Dari empat hasil tersebut diplotkan pada grafik rasio redaman pada gaya vertikal, horizontal, dan *rocking*. Dari grafik tersebut dapat dilih satu dimensi penanaman yang baik untuk diaplikasikan.
     - Pondasi dengan ketebalan berbeda tetapi ketinggian pondasi muka tanah sama
       Dari perhitungan di atas diperoleh empat perbedaan ketebalan pondasi dengan ketebalan penanaman yang sama dan telah memenuhi

syarat cek kontrol. Dari empat hasil tersebut diplotkan pada grafik rasio redaman pada gaya vertikal, horizontal, dan *rocking*. Dari grafik tersebut dapat dilih satu dimensi penanaman yang baik untuk diaplikasikan.

- Kelompok mesin II
  - Pondasi dengan ketebalan yang sama tetapi kedalaman penanaman berbeda
    Dari perhitungan di atas diperoleh empat perbedaan ketebalan penanaman dengan ketebalan pondasi yang sama dan telah memenuhi syarat cek kontrol. Dari empat hasil tersebut diplotkan pada grafik rasio redaman pada gaya vertikal, horizontal, dan *rocking*. Dari grafik tersebut dapat dilih satu dimensi penanaman yang baik untuk diaplikasikan.
  - Pondasi dengan ketebalan berbeda tetapi ketinggian pondasi muka tanah sama
    Dari perhitungan di atas diperoleh empat perbedaan ketebalan pondasi dengan ketebalan penanaman yang sama dan telah memenuhi syarat cek kontrol. Dari empat hasil tersebut diplotkan pada grafik rasio redaman pada gaya vertikal, horizontal, dan *rocking*. Dari grafik tersebut dapat dilih satu dimensi penanaman yang baik untuk diaplikasikan.

Setelah dapat menentukan dimensi pondasi yang digunakan, dapat dilanjutkanpada tahap penggambaran teknik.

Maka dari hasil semua perhitungan pada proyek akhir ini dapat disimpulkan sesuai dengan tujuan proyek akhir ini, dan juga diperoleh saran untuk merencanakan pondasi mesin yang baik digunakan.

BAB IV
ANALISA DATA

4.1. Data Perencanaan

Perencanaan pondasi mesin ini akan menompang mesin *steam turbin*. Mesin *steam turbin* yang dibutuhkan sebesar 50 MW. Maka pada perencanaan kali ini akan dibedakan dua kelompok pondasi. Untuk kelompok I pondasi akan menopang mesin *steam turbin* sebesar 20 MW dengan sebanyak 2 mesin dan setiap mesin berkapasitas 10 MW. Untuk kelompok II pondasi akan menopang mesin *steam turbin* sebesar 30 MW dengan sebanyak 3 mesin dan setiap mesin berkapasitas 10 MW. Data mesin sebagai berikut:

Model mesin	: Siemens Steam Turbin 200 (SST 200)
Frekuensi mesin	: 3000 rpm
Dimensi mesin	: b = 3,6 m
	l = 5,5 m
	h = 3,6 m
Pusat berat mesin	: 0,75 m
Berat mesin (W_{mesin})	: 58000 Kg
Massa rotor	: 7560 Kg

Data selengkapnya tertera pada lampiran.

4.2. Beban Dinamis dan Beban Statis

4.2.1. Kelompok I

Pada perencanaan pondasi kelompok I menopang dua mesin pada satu pondasi mesin. Rotor mesin berputar terhadap sumbu y, sehingga memberikan gaya dinamis terhadap sumbu x dan z. Perhitungan beban dinamis sebagai berikut:

$$e = 1 \times \sqrt{\frac{12000}{f_{mesin}}} < 1 \text{ mil}$$

$= 1 \text{ x } \sqrt{\frac{12000}{3000 \text{ rpm}}}$

$= 2 \text{ mil} > 1 \text{ mil (maka diambil 1 mil)}$

$= 1 \text{ x } 0{,}001 \text{ x } 0{,}0254$

$= 2{,}54 \text{ . } 10^{-5} \text{ m}$

$\omega = f_{\text{mesin}} \text{ . } \frac{2 \text{ . } \pi}{60}$

$= 3000 \text{ rpm . } \frac{2 \text{ . } \pi}{60}$

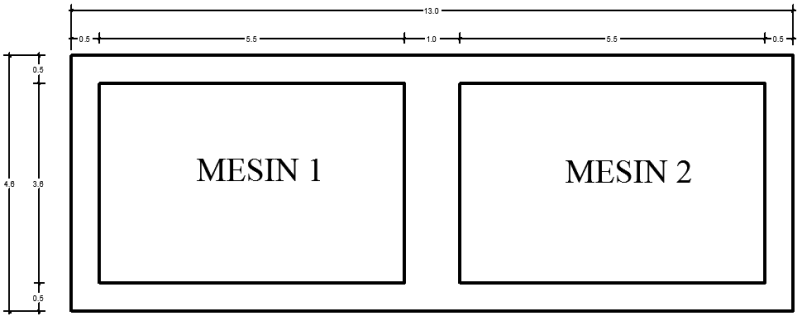
$= 314{,}16 \text{ rad/det}$

Maka gaya dinamis:

$Q_o = \left(\frac{\text{mass rotor}}{g} \text{ . e . } \omega^2\right) \text{ . jumlah mesin}$

$= \left(\frac{7{,}56 \text{ ton}}{9{,}81 \text{ m/det}^2} \text{ . } 2{,}54 \text{ . } 10^{-5} \text{ . } (314{,}16 \text{ rad/det})^2\right) \text{ . } 2$

$= 3{,}864 \text{ t}$

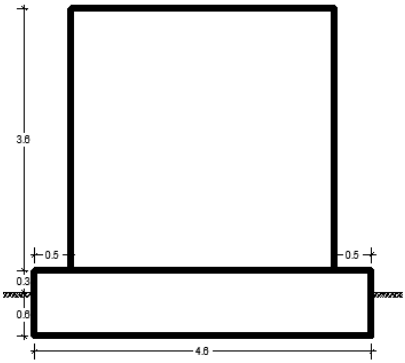


Gambar 4.1 Denah Pondasi Kelompok I

Selain menghitung beban dimanis, dihitung pula beban statis. Pada perencanaan kali ini terdapat dua penggolongan yaitu: ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda dan ketabalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda. Perhitungan sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda

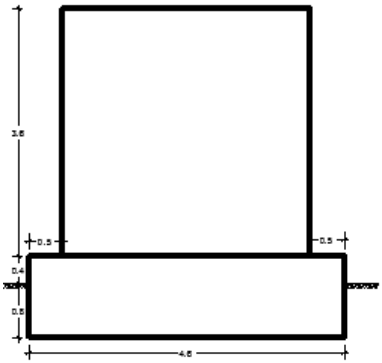
Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan ketebalan pondasi. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran.



Gambar 4.2 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,3m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 13 m
h = 0,6 m
h_{tot} = 0,9 m

$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 13 m x 0,9 m x 2400 Kg/m^3
= 129168 Kg



Gambar 4.3 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,4m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 13 m
h = 0,8 m
h_{tot} = 1,2 m

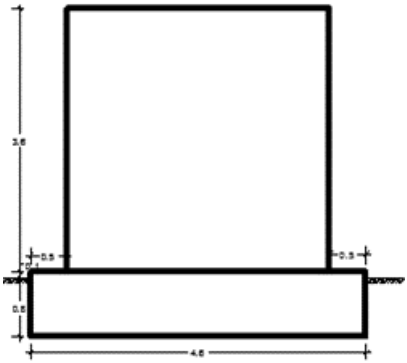
$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 13 m x 1,2 m x 2400 Kg/m^3
= 172224 Kg

- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Walaupun terdapat perbedaan penanaman tetapi menghitung berat pondasi tetap memakai ketebalan pondasi.

  Direncanakan : b = 4,6 m
  l = 13 m
  h = 0,8 m
  h_{tot} = 0,9 m

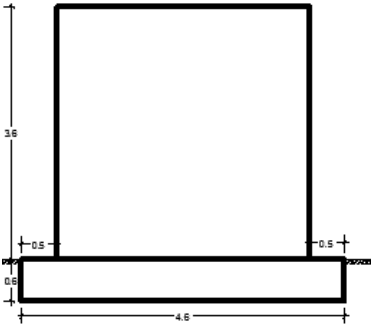
  $W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
  = 4,6 m x 13 m x 0,9 m x 2400 Kg/m^3
  = 129168 Kg



Gambar 4.4 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,9m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 13 m
h = 0,6 m
h_{tot} = 0,6 m

$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 13 m x 0,6 m x 2400 Kg/m^3
= 86112 Kg



Gambar 4.5 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,6 m

Beban stasis bukan hanya dari berat pondasi, melainkan juga dari berat mesin. Perhitungan sebagai berikut:

W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin

Setelah berat pondasi dan berat mesin diketahui dapat dihitung berat total dan massa sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda

  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan ketebalan pondasi. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran.

  Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,3m.

  W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin
  = 2 . 58000 Kg
  = 116000 Kg

  $W_{total} = W_{pondasi} + W_{mesin}$
  = 129168 Kg + 116000 Kg
  = 245168 Kg

  $m = \frac{W\ total}{g}$
  $= \frac{245168\ Kg}{9{,}81\ m/det^2}$
  = 24991,6412 Kg dt^2/m

  Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,4m dengan empat tipe pondasi tertera pada lampiran.

- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Walapun terdapat perbedaan penanaman tetapi menghitung beban pondasi tetap memakai ketebalan pondasi.

  Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,9m.

  W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin
  = 2 . 58000 Kg
  = 116000 Kg

  $W_{total} = W_{pondasi} + W_{mesin}$

= 129168 Kg + 116000 Kg

= 245168 Kg

$$m = \frac{W\ total}{g}$$

$$= \frac{245168\ Kg}{9{,}81\ m/det^2}$$

= 24991,6412 Kg dt^2/m

Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,6m dengan empat tipe pondasi tertera pada lampiran.

Setelah mengetahui nilai beban dinamis dan statis, dapat dihitung momen arah Y. Momen arah Y adalah akibat gaya dinamis yang bekerja terhadap sumbu Y. Perhitungan sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda

  Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,3m.

$$z = \frac{\left[\begin{matrix} W_{mesin} \cdot (h_{tot} + pusat\ berat\ mesin) + \\ (W_{pondasi} \cdot 0{,}5 \cdot h_{tot}) \end{matrix}\right]}{Total\ W}$$

$$= \frac{\left[\begin{matrix} 116000\ Kg \cdot (0{,}9\ m + 0{,}75m) + \\ (129168\ Kg \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}9m) \end{matrix}\right]}{245168\ Kg}$$

= 1,018 m

My = Q_o . (h_{tot} + pusat berat mesin – z)

= 3,864 T . (0,9 m + 0,75 m – 1,018 m)

= 2,4428 Tm

= 2442,804 Kgm

Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,4m dengan empat tipe pondasi tertera pada lampiran.

- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

  Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,9m.

$$z = \frac{\left[\begin{matrix} W_{mesin} \cdot (h_{tot} + pusat\ berat\ mesin) + \\ (W_{pondasi} \cdot 0{,}5 \cdot h_{tot}) \end{matrix}\right]}{Total\ W}$$

$$= \frac{\left[\begin{matrix} 116000\ Kg \cdot (0{,}9\ m + 0{,}75m) + \\ (129168\ Kg \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}9m) \end{matrix}\right]}{245168\ Kg}$$

= 1,018 m

My = Q_o . (h_{tot} + pusat berat mesin – z)

= 3,864 T . (0,9 m + 0,75 m – 1,018 m)

= 2,4428 Tm

= 2442,804 Kgm

Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,6m dengan empat tipe pondasi tertera pada lampiran.

4.2.2. Kelompok II

Pada perencanaan pondasi kelompok II menopang tiga mesin pada satu pondasi mesin. Rotor mesin berputar terhadap sumbu y, sehingga memberikan gaya dinamis terhadap sumbu x dan z. Perhitungan beban dinamis sebagai berikut:

e = 1 x $\sqrt{\frac{12000}{f_{mesin}}}$ < 1 mil

= 1 x $\sqrt{\frac{12000}{3000\ rpm}}$

= 2 mil > 1 mil (maka diambil 1 mil)

= 1 x 0,001 x 0,0254

= 2,54 . 10^{-5} m

ω = f_{mesin} . $\frac{2\ .\ \pi}{60}$

= 3000 rpm . $\frac{2\ .\ \pi}{60}$

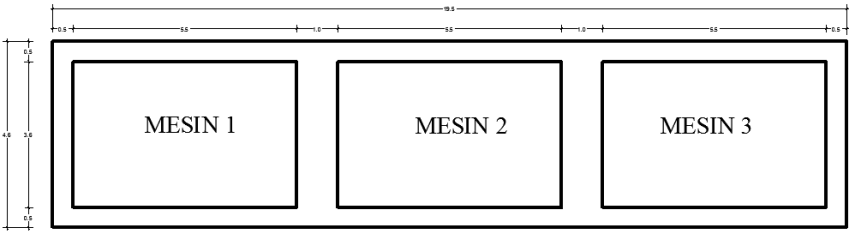
= 314,16 rad/det

Maka gaya dinamis:

$Q_o = \left(\frac{\text{mass rotor}}{g}\ .\ e\ .\ \omega^2\right)$. jumlah mesin

$= \left(\frac{7{,}56\ \text{ton}}{9{,}81\ \text{m/det}^2}\ .\ 2{,}54\ .\ 10^{-5}\ .\ (314{,}16\ \text{rad/det})^2\right)$. 3

= 5,796 t

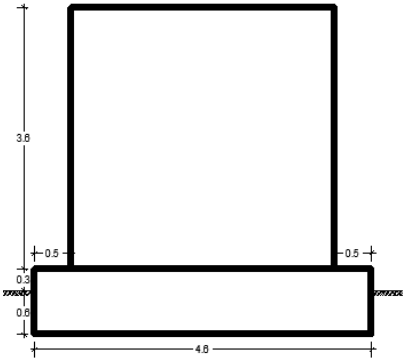


Gambar 4.6 Denah Pondasi Kelompok II

Selain menghitung beban dimanis, dihitung pula beban statis. Pada perencanaan kali ini terdapat dua penggolongan yaitu: ketabalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda dan ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda. Perhitungan sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda

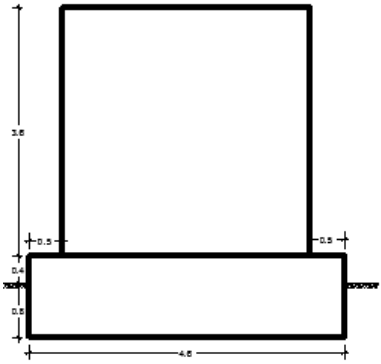
  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan ketebalan pondasi. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran.



Gambar 4.7 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,3m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 19,5 m
h = 0,6 m
h_{tot} = 0,9 m

$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 19,5 m x 0,9 m x 2400 Kg/m^3
= 193752 Kg



Gambar 4.8 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketinggian Pondasi di Muka Tanah 0,4m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 19,5 m
h = 0,8 m
h_{tot} = 1,2 m

$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 19,5 m x 1,2 m x 2400 Kg/m^3
= 258336 Kg

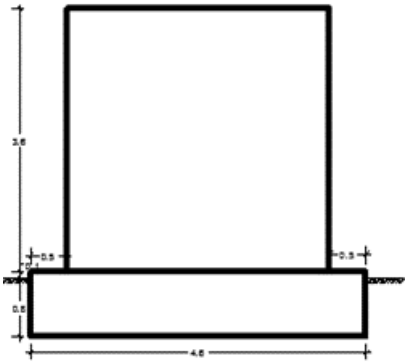
- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Walapun terdapat

perbedaan penanaman tetapi menghitung beban pondasi tetap memakai ketebalan pondasi.

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 19,5 m
h = 0,8 m
h_{tot} = 0,9 m

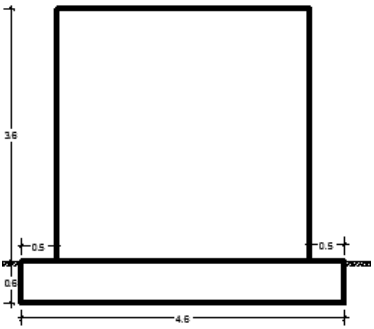
$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 19,5 m x 0,9 m x 2400 Kg/m^3
= 193752 Kg



Gambar 4.9 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,9m

Direncanakan : b = 4,6 m
l = 19,5 m
h = 0,6 m
h_{tot} = 0,6 m

$W_{pondasi}$ = b . l . h_{tot} . BJ
= 4,6 m x 19,5 m x 0,6 m x 2400 Kg/m^3
= 129168 Kg



Gambar 4.10 Pot. Melintang Tipe 4 untuk Ketebalan Pondasi 0,6 m

Beban stasis bukan hanya dari berat pondasi, melainkan juga dari berat mesin. Perhitungan sebagai berikut:
W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin
Setelah berat pondasi dan berat mesin diketahui dapat dihitung berat total dan massa sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda
  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan ketebalan pondasi. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran.
  Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,3m.
  W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin
  = 3 . 58000 Kg
  = 174000 Kg
  $W_{total} = W_{pondasi} + W_{mesin}$
  = 193752 Kg + 174000 Kg
  = 367752 Kg
  $m = \frac{W\ total}{g}$
  $= \frac{367752\ Kg}{9{,}81\ m/det^2}$

$= 37487{,}462 \text{ Kg dt}^2/\text{m}$

Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,4m tertera pada lampiran.

- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

  Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Walaupun terdapat perbedaan penanaman tetapi menghitung beban pondasi tetap memakai ketebalan pondasi.

  Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,9m .

  W_{mesin} = jumlah mesin . berat mesin

  $= 3 \text{ . } 58000 \text{ Kg}$

  $= 174000 \text{ Kg}$

  $W_{total} = W_{pondasi} + W_{mesin}$

  $= 193752 \text{ Kg} + 174000 \text{ Kg}$

  $= 367752 \text{ Kg}$

  $$m = \frac{W \text{ total}}{g}$$

  $$= \frac{367752 \text{ Kg}}{9{,}81 \text{ m/det}^2}$$

  $= 37487{,}462 \text{ Kg dt}^2/\text{m}$

  Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,6m tertera pada lampiran.

Setelah mengetahui nilai beban dinamis dan statis, dapat dihitung momen arah Y. Momen arah Y adalah akibat gaya dinamis yang bekerja terhadap sumbu Y. Perhitungan sebagai berikut:

- Ketinggian pondasi di muka tanah sama ketebalan pondasi berbeda

  Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,3m.

  $$z = \frac{\left[\begin{matrix} W_{mesin} \text{ . } (h_{tot} + \text{pusat berat mesin}) + \\ (W_{pondasi} \text{ . } 0{,}5 \text{ . } h_{tot}) \end{matrix}\right]}{\text{Total W}}$$

  $$= \frac{\left[\begin{matrix} 174000 \text{ Kg . } (0{,}9 \text{ m} + 0{,}75\text{m}) + \\ (193752 \text{ Kg . } 0{,}5 \text{ . } 0{,}9\text{m}) \end{matrix}\right]}{367752 \text{ Kg}}$$

  $= 1{,}018 \text{ m}$

My = Q_o . (h_{tot} + pusat berat mesin – z)
= 5,796 T . (0,9 m + 0,75 m – 1,018 m)
= 3,6642 Tm
= 3664,206 Kgm

Untuk ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,4m tertera pada lampiran.

- Ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda

Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,9m .

$$z = \frac{\left[\begin{matrix}W_{mesin} \cdot (h_{tot} + \text{pusat berat mesin}) + \\ (W_{pondasi} \cdot 0{,}5 \cdot h_{tot})\end{matrix}\right]}{\text{Total W}}$$

$$= \frac{\left[\begin{matrix}174000\ \text{Kg} \cdot (0{,}9\ \text{m} + 0{,}75\text{m}) + \\ (129168\ \text{Kg} \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}9\text{m})\end{matrix}\right]}{367752\ \text{Kg}}$$

= 1,018 m

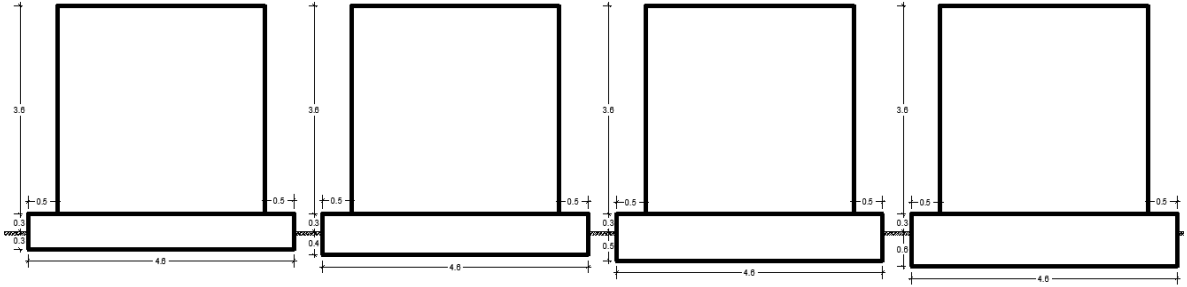
My = Q_o . (h_{tot} + pusat berat mesin – z)
= 5,796 T . (0,9 m + 0,75 m – 1,018 m)
= 3,6642 Tm
= 3664,206 Kgm

Untuk ketebalan pondasi sebesar 0,6m tertera pada lampiran.

4.3. Pengaruh kedalaman Penanaman Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin

4.3.1. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok I

Pada perencanaan ini adalah ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda. Penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan empat pondasi yang lainnya tertera pada lampiran. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut (dimensi yang dihitung sesuai pada sub bab 4.2.1 dengan ketinggian pondasi di muka tanah sebesar 0,3m):



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.11 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m

a. Nilai modulus geser

Data tanah yang diperoleh dari hasil tes sondir sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Tanah

Depth (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Tabel 4.2 Perhitungan Modulus Geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m³)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m²)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m²)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m²)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	0,084	0,430	0,000	0,500	2049,900	3456,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	0,098	0,430	0,023	0,497	2035,805	3676,987
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	0,112	0,430	0,046	0,493	2021,709	3897,347
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	0,126	0,430	0,069	0,490	2007,614	4117,706
1	3,51	0,4	2345	2344,546	0,141	0,430	0,092	0,486	1993,519	4338,066
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	0,155	0,430	0,115	0,483	1979,424	4558,425
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	0,169	0,430	0,138	0,479	1965,329	4778,785
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	0,183	0,430	0,160	0,476	1951,234	4999,144
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	0,197	0,430	0,183	0,472	1937,139	5219,504
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	0,211	0,430	0,206	0,469	1923,044	5439,863

$\overline{\sigma_v}$ = 3456,627 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1382,651 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2071,903 Kg/m^2
G = 14.375.206,601 Kg/m^2

b. Terhadap gaya vertikal

Ekuivalen radius, $r_{o\,z} = \sqrt{\frac{B\,.\,L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\text{m}\ .\ 13\text{m}}{\pi}}$

= 4,363 m

Rasio massa, $B_z = \frac{(1-v)}{4}\frac{W}{\gamma\,.r_o^3}$

$= \frac{(1-0{,}4)}{4}\frac{245168\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\ .\ (4{,}363\ \text{m})^3}$

= 0,189

Koefisien penanaman, $\eta_z = 1 + 0{,}6\,(1-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}6\,(1 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{4{,}363\text{m}}\right)$

= 1,050

Konstanta pegas, $k_z = \frac{G}{1-v}\,\beta_z\,\sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$

$= \frac{14375206{,}601\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ 2{,}2\,\sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,13\text{m}}\ 1{,}050$

= 427981913,976 Kg/m

Faktor daping rasio penanaman, $\alpha_z = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}6\ \text{m}}{4{,}363\ \text{m}}}{\sqrt{1{,}050}}$

= 1,129

Damping rasio, $D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}\,\alpha_z$

$= \frac{0{,}425}{\sqrt{0{,}189}}\ 1{,}129$

= 1,104

$D_z > 0{,}5\sqrt{2}$ maka $\omega_{res\ z}$ khayal

$1{,}104 > 0{,}7011\ \omega_{res\ z}$ khayal

Frekuensi natural, $\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}}$

$= \sqrt{\frac{427981913{,}976\ \text{Kg/m}}{24991{,}641\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 130{,}863$ rad/det

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nz}}}$

$= \frac{2\ .\ \pi\ .\ 3000\ \text{rpm}}{\frac{60}{130{,}863\ \text{rad/det}}}$

$= 2{,}401$

Pembesaran dinamis, $M_z = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_z\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{(2\ .1{,}104\ .\ 2{,}401)^2 + \left[(1-2{,}401^2)\right]^2}}$

$= 0{,}140$

Amplitudo, $A_z = \frac{Q_o}{K_z\sqrt{(1-r^2)^2+(2\ .\ D_z\ .\ r)^2}}$

$= \frac{3864\ \text{Kg}}{427981913{,}976\ \text{Kg/m}\ .\ \sqrt{(1-2{,}401^2)^2+(2\ .\ 1{,}104\ .\ 2{,}401)^2}}$

$= 1{,}267\ .\ 10^{-6}$ m

$= 0{,}001$ mm

c. Terhadap gaya rocking

$$M_{mo} = \left[\frac{W_{mesin}}{g}\ .\ (h_{tot} + \text{pusat berat mesin})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{W_{pondasi}}{g}\right)}{12}\ .\ (L^2 + h_{tot}^2)\right] + \left[\frac{W_{pondasi}}{g}\ .\ (0{,}5\ .\ h_{tot})^2\right]$$

$$= \left[\frac{116000\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}.\ (0{,}9\text{m} + 0{,}75\ \text{m})^2\right] +$$
$$\left[\frac{\left(\frac{129168\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\right)}{12}.\ ((13\text{m})^2 + (0{,}9\text{m})^2)\right] +$$
$$\left[\frac{129168\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}.\ (0{,}5\ .\ 0{,}9\text{m})^2\right]$$
$$= 221182{,}606\ \text{Kg dt}^2$$

$M_m = M_{mo} - (m\ .\ z^2)$
$= 221182{,}606\ \text{Kg dt}^2 - (24991{,}641\ \text{Kg dt}^2/\text{m} - (1{,}018\ \text{m})^2)$
$= 195294{,}670\ \text{Kg m dt}^2$

Ekuivalen radius, $r_o = \sqrt[4]{\frac{B\ .\ L^3}{3\ .\ \pi}}$
$= \sqrt[4]{\frac{4{,}6m\ .\ (13m)^3}{3\ .\ \pi}}$
$= 5{,}722\ \text{m}$

Inersia rasio, $B_\phi = \frac{3\ (1-\text{v})}{8}\frac{M_m}{\rho\ .r_o^5}$
$= \frac{3\ (1-0{,}4)}{8}\frac{195294{,}67\ \text{Kg m dt}^2}{\frac{2345\ \text{Kg/m}^3}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\ 5{,}722^5\ \text{m}}$
$= 0{,}0299$

Koefisien penanaman,

$$\eta_\phi = 1 + 1{,}2\ .\ (1-\text{v})\ .\left(\frac{\text{h}}{r_o}\right) + 0{,}2\ .\ (2-v)\ .\left(\frac{h}{r_o}\right)^3$$
$$= 1 + 1{,}2\ .\ (1-0{,}4)\ .\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{5{,}722\ \text{m}}\right) +$$
$$0{,}2\ .\ (2-0{,}4)\ .\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{5{,}722\ \text{m}}\right)^3$$
$$= 1{,}076$$

Konstanta pegas, $K_\phi = \frac{G}{1-\text{v}}\beta_\phi B\ .\ L^2\eta_\phi$
$= \frac{14375206{,}601\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}0{,}4\ .$
$4{,}6\ \text{m}\ .\ 13^2\ \text{m}\ .1{,}0759$
$= 8015414162{,}691\ \text{Kg/m}$

Faktor damping rasio, $\alpha_{\phi} = \frac{1+0{,}7(1-\nu)\frac{h}{r_o}+0{,}6\,(2-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_{\phi}}}$

$= \frac{1+0{,}7(1-0{,}4)\frac{0{,}6\text{ m}}{5{,}722\text{ m}}+0{,}6\,(2-0{,}4)\left(\frac{0{,}6\text{m}}{5{,}722\text{ m}}\right)^3}{\sqrt{1{,}076}}$

$= 1{,}008$

Damping rasio, $D_{\phi} = \frac{0{,}15}{(1+n_{\phi}\,.\,B_{\phi})\sqrt{n_{\phi}\,.\,B_{\phi}}}\alpha_{\phi}$

$= \frac{0{,}15}{(1+1{,}6\,.\,0{,}029)\sqrt{1{,}6\,.\,0{,}029}}\ 1{,}008$

$= 0{,}659$

Frekuensi natural, $\omega_{n\emptyset} = \sqrt{\frac{K_{\emptyset}}{m}}$

$= \sqrt{\frac{8015414162{,}691\ Kg/m}{24991{,}641\text{ Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 202{,}589$ rad/dt

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\,.\,\pi\,.\,f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{n\emptyset}}}$

$= \frac{2\,.\,\pi\,.\,3000\text{ rpm}}{\frac{60}{202{,}589\text{ rad/dt}}}$

$= 1{,}551$

Pembesaran dinamis, $M_{\emptyset} = \frac{1}{\sqrt{(2\,.\,D_z\,.\,r)^2+[(1-r^2)]^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0{,}659\,.\ 1{,}551)^2+[(1-1{,}551^2)]^2}}$

$= 0{,}403$

Amplitudo, $A_{\emptyset} = \frac{Q_o\,.\,(e_z+h_{tot})\,.\,M_{\emptyset}}{K_{\emptyset}}$

$= \frac{3{,}864\text{ t}\,.\,(0{,}75\text{m}+0{,}9\text{m})\,.\,0{,}403}{\frac{8015414162{,}691\text{ Kg/m}}{1000}}$

$= 3{,}205.\ 10^{-7}$ radial

$= 0{,}00000208$ m

d. Terhadap gaya horizontal

Ekuivalen radius, $r_{ox} = \sqrt{\frac{B \,.\, L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\ \text{m} \,.\, 13\ \text{m}}{\pi}}$

$= 4{,}363$ m

Rasio massa, $B_x = \frac{(7-8\,.v)}{32\,.\,(1-v)} \frac{W}{\gamma\,.r_o^3}$

$= \frac{(7-8\,.0{,}4)}{32\,.\,(1-0{,}4)} \frac{245168\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\,.\,4{,}363^3\text{m}}$

$= 0{,}249$

Koefisien penanaman, $\eta_x = 1 + 0{,}55\,(2 - v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}55\,(2 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{4{,}363}\right)$

$= 1{,}121$

Kostanta pegas, $K_x = 2\,.\,(1 + v)\,.\,G\,.\,\beta_x\sqrt{B \,.\, L}\,\eta_z$

$= 2\,.\,(1 + 0{,}4)\,.\,14375206{,}601\ \text{Kg/m}^2\,.\,1\,.\sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,13\text{m}}\ 1{,}121$

$= 348921982{,}231$ Kg/m

Faktor damping rasio penanaman, $\alpha_x = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_x}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}6\ \text{m}}{4{,}363}}{\sqrt{1{,}121}}$

$= 1{,}339$

Damping rasio, $D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}}\alpha_x$

$= \frac{0{,}288}{\sqrt{0{,}249}}1{,}339$

$= 0{,}773$

Frekuensi natural, $\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m}}$

$$= \sqrt{\frac{348921982{,}231\ \text{Kg/m}}{24991{,}641\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$$

$$= 118{,}159\ \text{rad/dt}$$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nx}}}$

$$= \frac{2\ .\ \pi\ .3000\ \text{rpm}}{\frac{60}{118{,}159\ \text{rad/dt}}}$$

$$= 2{,}659$$

Pembesaran dinamis, $M_x = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_z\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{\begin{matrix}(2.\ 0{,}773\ .\ 2{,}659)^2 + \\ [(1-2{,}659^2)]^2\end{matrix}}}$$

$$= 0{,}136$$

Amplitudo, $A_x = \frac{Q_o}{K_x \sqrt{(1-r^2)^2 + (2\ .\ D_x\ .\ r)^2}}$

$$= \frac{3{,}863\ \text{t}}{\frac{348921982{,}231\ \text{Kg/m}}{1000}\sqrt{\begin{matrix}(1-2{,}659^2)^2 \\ +(2.\ 0{,}773\ .\ 2{,}659)^2\end{matrix}}}$$

$$= 1{,}511\ .\ 10^{-6}\ \text{m}$$

$$= 0{,}002\ \text{mm}$$

e. Kombinasi rocking dan lateral

Rasio momen inersia massa, $\gamma = \frac{Mm}{Mm_o}$

$$= \frac{195294{,}67\ \text{Kgm det}^2}{221182{,}606\ \text{Kgm det}^2}$$

$$= 0{,}883$$

Frekuensi natural kopel,

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

$$= \left[\left((314{,}16\ \text{rad/dt})^4 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2 \left\{\frac{(202{,}589\ rad/dt)^2 + (118{,}159\ rad/dt)^2}{0{,}883} - \frac{4.\ 0{,}773\ .\ 0{,}659\ .\ 118{,}159\ rad/dt.\ 202{,}589\ rad/dt}{0{,}883}\right\} + \frac{(118{,}159\ rad/dt)^2.(202{,}589\ rad/dt)^2}{0{,}883}\right)^2 + 4\left\{0{,}773\frac{118{,}159\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}883}((202{,}589\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2) + \frac{0{,}659\ .\ 202{,}589\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}883}((118{,}159\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2)\right\}^2\right]^{1/2}$$

$$= 15.263.096.269{,}482$$

Amplitudo lateral pada titik berat total (sumbu x)

$$A_{x1} = \frac{My\ .\ L}{Mm}\ \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2\ .\ D_x\ .\ \omega_{nx})^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{2442{,}804\ Kgm\ .\ 1{,}018\ m}{195294{,}67\ Kg\ det^2}\ \frac{\left[\begin{matrix}((118{,}159\ \text{rad/dt})^2)^2 + \\ (2\ .\ 0{,}773\ .\ 118{,}159\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15263096269{,}482}$$

$$= 4{,}926\ .\ 10^{-8}\ \text{m}$$

$$A_{x2} = \frac{Qo}{m\ .\ Mm}\ \frac{\left[\begin{matrix}(-Mm\ .\ \omega^2 + k_\emptyset + L^2\ .\ k_x)^2 + 4\ \omega^2 \\ (D_\emptyset\ .\ \sqrt{k_\emptyset\ .\ M_{mo}} + L^2\ .\ D_x\ .\sqrt{k_x\ .\ m})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3{,}863\ t\ .\ 1000}{\frac{24991{,}641\ Kg\ dt^2}{m}.\ 195294{,}67\ Kgm\ dt^2}$$

$$\frac{\left[\begin{array}{c}\left(\begin{array}{c}-195294{,}67\ \text{Kgm dt}^2\ .\\(314{,}16\ \text{rad/dt})^2\\+\ 8015414162{,}691\ \text{Kg/m}\\+(1{,}018\ \text{m})^2\ .\\348921982{,}231\ \text{Kg/m}\\+\ 4\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{array}\right)^2\\\left(\begin{array}{c}0{,}659\ .\\\sqrt{\begin{array}{c}8015414162{,}691\text{Kg/m.}\\221182{,}61\text{Kgm dt}^2\end{array}}\end{array}+\right.\\\left.\begin{array}{c}(1{,}018\text{m})^2\ .\\0{,}773\ .\\\sqrt{\begin{array}{c}348921982{,}231\text{Kg/m.}\\24991{,}641\text{Kg dt}^2\text{/m}\end{array}}\end{array}\right)^2\end{array}\right]^{1/2}}{15263096269{,}482}$$

$= 1{,}132\ .\ 10^{-6}$ m

Amplitudo rocking (rotasi terhadap sumbu y)

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

$$= \frac{2442{,}804\ \text{Kgm}}{195294{,}67\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{array}{c}\left(\begin{array}{c}(118{,}159\ \text{rad/dt})^2 -\\(314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{array}\right)^2 +\\\left(\begin{array}{c}2\ .\ 0{,}773\ .\ 118{,}159\ \text{rad/dt.}\\314{,}16\ \text{rad/dt}\end{array}\right)^2\end{array}\right]^{1/2}}{15263096269{,}482}$$

$= 8{,}387\ .\ 10^{-8}$ m

$$A_{\emptyset 2} = \frac{Q_o\ .\ L}{M_m}\ \frac{\omega_{nx}\ .\ [\omega_{nx}^2 + 4\ .\ D_x\ .\omega^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3{,}863\ \text{t} \,.\, 1000 \,.\, 1{,}018}{195294{,}67\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{118{,}159\ \text{rad/dt} \,.\, \left[\begin{matrix}(118{,}159\ \text{rad/dt})^2 \\ +\ 4 \,.\, 0{,}773 \,. \\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15263096269{,}482}$$

$= 8{,}806 \,.\, 10^{-8}$ m

f. Besaran amplitudo total

A_z total = $A_z + A_{z\,max}$

$= A_z + (0{,}5 \,.\, L \,.\, (A_{\phi 1} + A_{\phi 2})$

$= 1{,}267 \,.\, 10^{-6}$ m + [0,5 . 13 . (8,387 . 10^{-8} m + 8,806 . 10^{-8} m)]

$= 2{,}384 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,0001 inch

A_x total = $A_{x\,max}$

$= (A_{x1} + A_{x2}) + [(h_{tot}$ + pusat berat mesin – z) . $(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})]$

$= (4{,}926 \,.\, 10^{-8}$ m + $1{,}132 \,.\, 10^{-6}$ m) + [(0,9 + 0,75 –1,018) . (8,387.10^{-8} m + 8,806.10^{-8} m)]

$= 1{,}289 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,000051 inch

A_y total = 0 m

g. Analisa persyaratan keamanan desain pondasi mesin

Pondasi mesin tipe blok yang direncanakan ini untuk menopang dua mesin tipe *rotary* dengan frekuensi 3000 rpm. Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang berkerja pada sumbu x dan z. Akibat gaya dinamis, maka timbul amplitudo sebesar:

- Arah z sebesar = $2{,}384 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,00009386
- Arah x sebesar = $1{,}289 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,000051 inch
- Arah y sebesar = 0 m

Karena tidak ada gaya tau momen yang bekerja pada arah ini.

Nilai masing-masing amplitude tersebut harus dicek memenuhi persyaratan *design*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kontrol amplitudo arah vertikal (A_z)
   Pengecekan menggunakan grafik pada gambar 2.6. Dengan memasukan nilai frequensi mesin dengan nilai $A_{z\ total}$, maka termasuk kategori *"Barely Noticeable to Person"*. Maka amplitude vertikal yang terjadi termasuk kategori yang hampir tidak terasa pada lingkungan sekitar mesin. Batas maksimum amplitudo termasuk pada kategori "*Easily Noticable to Person"*, dan yang terjadi masih dibawah batas maksimum. Sehingga kondisi aplitudo vertikal memenuhi syarat.
2. Kontrol amplitudo arah horizontal (A_x)
   Pengecekan menggunakan tabel 2.10, dengan kecepatan amplitudo sebagai berikut:
   $v = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{mesin}}{60} \cdot A_{x\ total}$
   $= 2 \cdot \pi \cdot \frac{3000\ rpm}{60} \cdot 0{,}000051$ inch
   $= 0{,}01595$ in/dt
   Dari hasil kecepatan amplitudo dikontrol menggunakan tabel 2.10 termasuk kategori *"smooth"*. Persyaratan maksimal kecepatan amplitudo pada batasan *"good"*, dikarenakan kecepatan amplitudo yang terjadi dibawah batasan maksimum, maka kecepatan amplitudo memenuhi syarat.
3. Kontrol gaya pegas (K_{value})
   Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah vertikal sebagai berikut:
   $K = 0{,}2 \cdot A_{z\ tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)
   $= 0{,}2 \cdot 2{,}284$ micro

= 0,477

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah horizontal sebagai berikut:

$K = 0{,}2 \cdot A_{x\,tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)

= 0,1 . 1,290 micro

= 0,129

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

h. Kontrol daya dukung tanah

1. Daya dukung tanah (q_{ult}) dibawah pondasi mesin

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (qult) sebagai berikut:

Dari data tanah diperoleh data sebagai berikut:

Sudut geser tanah (ϕ) = 32°,

γ_t = 2345 Kg/m^3

c = 0,027

Dengan menggunakan tabel 2.13 maka nilai N_c, N_γ, N_q sebesar:

N_c = 35,47

N_γ = 30,2

N_q = 23,2

Letak dasar pondasi mesin jauh dari muka air tanah, maka:

$q = \gamma_t \cdot Df$

= 2345 Kg/m^3 . 0,6 m

= 1406,728 Kg/m^2

$q_{ult} = 1{,}3 \cdot c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0{,}4 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma$

= 1,3 . 0,027 . 35,47 + 1406,728 Kg/m^2 . 23,2 + 0,4 . 2345 Kg/m^3 . 4,6 m . 30,2

= 162919,084 Kg/m^2

2. Besar daya dukung tanah yang diijinkan (q_{ijin})

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{SF}$$
$$= \frac{162919{,}084\ Kg/m^2}{3}$$
$$= 54306{,}361\ Kg/m^2$$

3. Besar tegangan tanah yang terjadi

Akibat beban statis (σ_{statis})

$$\sigma_{statis} = \frac{W_{tot}}{B\ .\ L} - \gamma_t\ .\ D_f$$
$$= \frac{245168\ Kg}{4{,}6\ m\ .\ 13\ m} - 2345\ Kg/m^3\ .\ 0{,}6\ m$$
$$= 2693{,}072\ Kg/m^2$$

Akibat beban statis + beban dinamis ($\sigma_{statis+dinamis}$)

Persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah kurang dari 50% daya dukung tanah dn untuk daya dukung statis dinamis adalah 75% daya dukung ijin tanah. Hasil kontrol sebagai berikut:

$\sigma_{statis} < 50\% \ .\ q_{ijin}$

$2693{,}072\ Kg/m^2 < 50\% \ .\ 54306{,}361\ Kg/m^2$

$2693{,}072\ Kg/m^2 < 20710{,}341\ Kg/m^2$ (memenuhi)

Dan

$$\sigma_{statis+dinamis} < 75\% \ .\ q_{ijin}$$
$$\frac{W_{tot} + P_z\ .\ n}{B\ .\ L} \pm \frac{\begin{bmatrix} -P_{z1}\ .\ x_1 + \\ P_{z2}\ .\ x_2 \\ +\ 2\ .\ P_x\ . \\ (Pusat\ berat\ mesin + h_{tot}) \end{bmatrix} + M_y}{\frac{1}{6}\ .\ B\ .\ L^2} < 75\% \ .\ q_{ijin}$$
$$\frac{245168\ Kg + 1462{,}185\ .\ 2}{13\ m\ .\ 4{,}6m} \pm$$
$$\frac{\begin{bmatrix} -1462{,}185\ Kg\ .\ \left(\frac{5{,}5m}{2} + \frac{1m}{2}\right) + \\ 1462{,}185\ Kg\ .\ \left(\frac{5{,}5m}{2} + \frac{1m}{2}\right) \\ +\ 2\ .\ 1114{,}861\ Kg\ . \\ (0{,}75\ m + 0{,}9\ m) \end{bmatrix} + 2442{,}804\ Kgm}{\frac{1}{6}\ .\ 4{,}6m\ .\ (13m)^2} < 75\%.54306{,}361 Kg/m^2$$

Untuk yang positif:

$4195{,}950\ Kg/m^2 < 40729{,}771\ Kg/m^2$ (memenuhi)

Untuk yang negatif:

4101,453 Kg/m^2 < 40729,771 Kg/m^2 (memenuhi)

4.3.1.1. Grafik Rasio Redaman

Perencanaan pondasi mesin untuk kelompok I dengan ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.3). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.12-4.15.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,00010433	0,01961	0,530	0,159
2	0,4	0,7	0,00010047	0,01812	0,510	0,146
3	0,5	0,8	0,00009700	0,01693	0,493	0,137
4	0,6	0,9	0,00009386	0,01595	0,477	0,129

Tabel 4.4 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,3	0,6	*Barely Noticable to Person*	*Very good*	aman
2	0,4	0,7	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.3.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
3	0,5	0,8	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
4	0,6	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.3.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

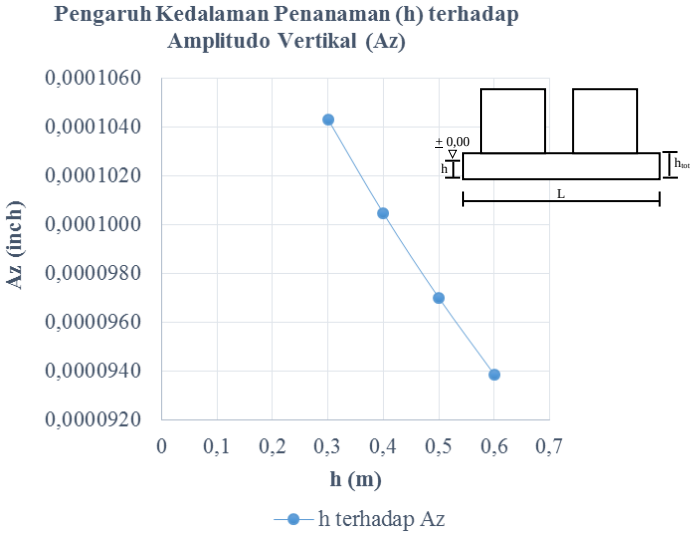
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,3	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,4	0,7	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.3.

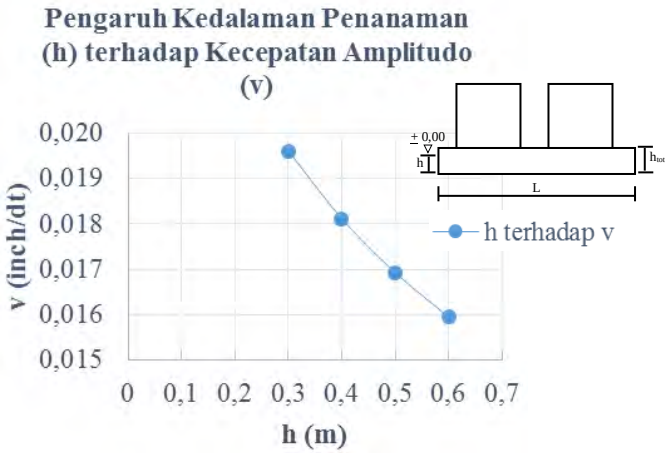
Tabel 4.5 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
3	0,5	0,8	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
4	0,6	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

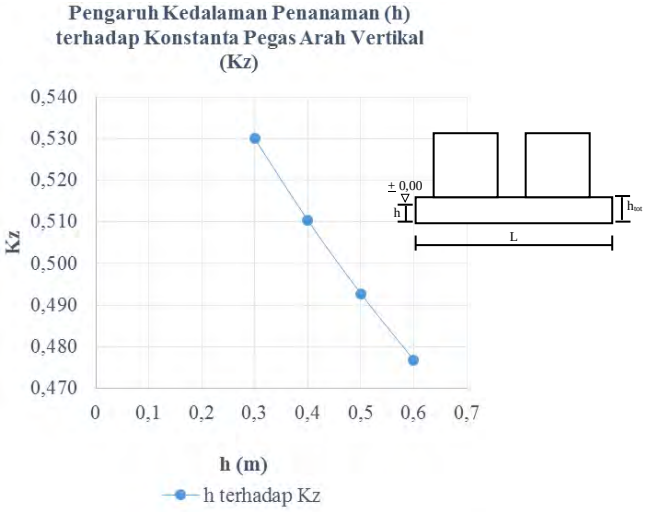
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.3.



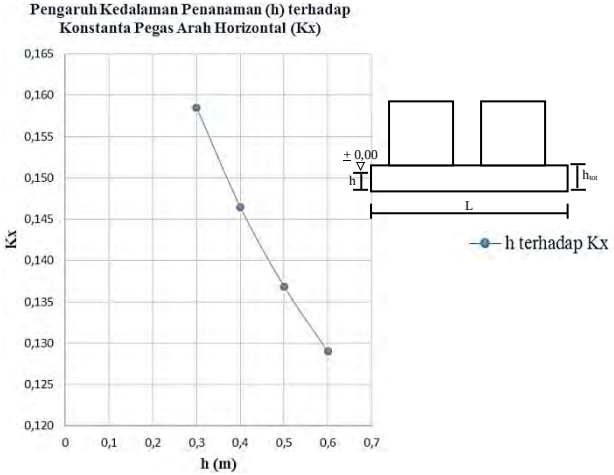
Gambar 4.12 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.13 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v)



Gambar 4.14 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)



Gambar 4.15 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)

Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.3 dan grafik pada gambar 4.12-4.15 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding lurus amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

Grafik pada gambar 4.12-4.15 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking

dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6m , L=13m dan h_{tot} sesuai tabel 4.3. Perhitungan ini hanya untuk tipe 1, untuk tipe yang lain rumus yang digunakan sama. Perhitungan sebagai berikut:

a. Terhadap gaya vertikal

$$M_z = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_z \,/\, \gamma \,/ r_0^2\right)^2 + 4 \,.\, D_z^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_z \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right.^2 + \\ 427981913{,}976 \,/\, 2345 \,/ 4{,}363^2 \\ 4 \,.\, 1{,}104^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 427981913{,}976 \,/\, 2345 \,/\, 4{,}363^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= 0{,}99736$$

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99747	0,99744	0,99740	0,99736
0,2	0,98999	0,98984	0,98969	0,98953
0,3	0,97785	0,97751	0,97717	0,97682
0,4	0,96148	0,96090	0,96031	0,95970
0,5	0,94145	0,94057	0,93967	0,93875
0,6	0,91838	0,91716	0,91591	0,91463
0,7	0,89292	0,89132	0,88968	0,88801

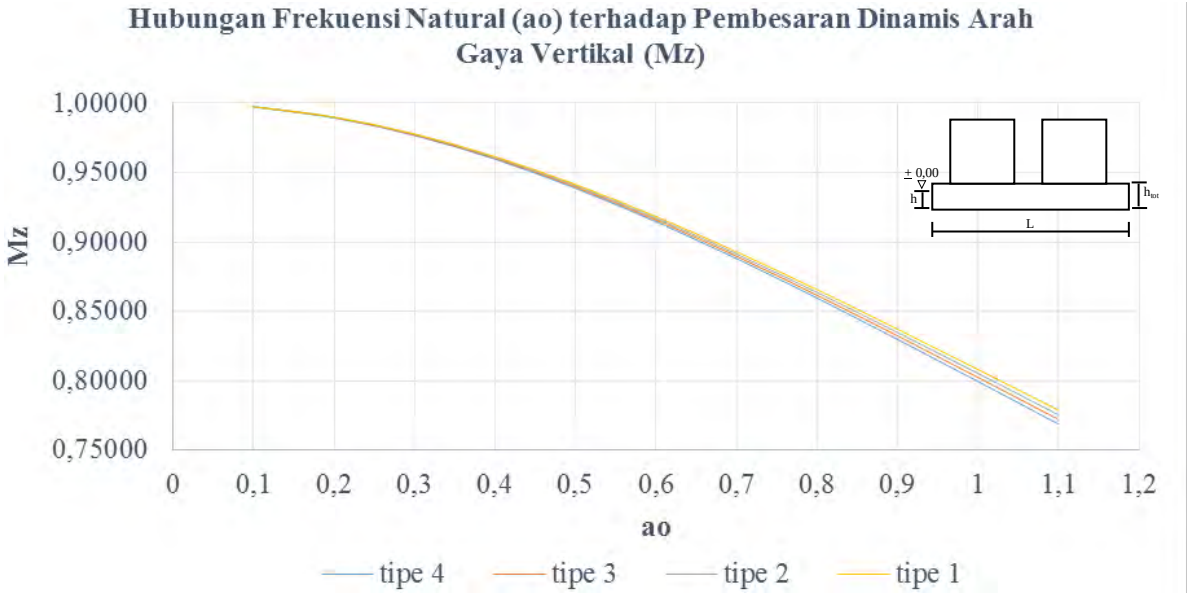
Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.3.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o) (Lanjutan)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,8	0,86569	0,86369	0,86164	0,85956
0,9	0,83726	0,83484	0,83237	0,82987
1	0,80814	0,80530	0,80240	0,79947
1,1	0,77875	0,77550	0,77218	0,76883

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.3.

Dari hasil pada tabel 4.6, menghasilkan grafik pada gambar 4.16. Grafik pada gambar 4.16 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13m dan h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.3. Maka dengan grafik pada gambar 4.16 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya vertikal didapatkan nilai M_z tiap-tiap tipe pondasi mesin.



Gambar 4.16 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6m; tipe 2 : h_{tot} = 0,7 m; tipe 3 : h_{tot} = 0,8m; tipe 4 : h_{tot} = 0,9 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_z = 0,2.

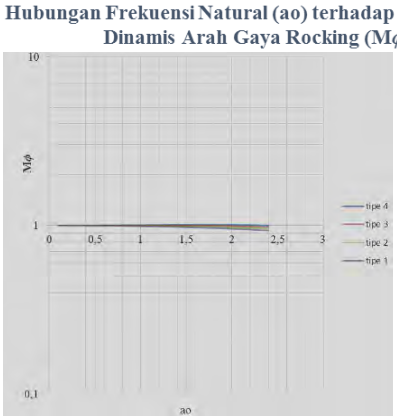
b. Terhadap gaya rocking

$$M_\phi = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{array}{c}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_{mo} / K_\phi / \gamma / r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_\phi^2 \,.\, a_o^2 \,.\, G \,.\, g \,. \\ M_{mo} / K_\phi / \gamma / r_o^2\end{array}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{array}{c}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right)^2 + \\ 348921982{,}231 / 2345 / 4{,}363^2 \\ 4 \,.\, 0{,}773^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 348921982{,}231 / 2345 / 4{,}363^2\end{array}\right]}}$$

= 1,00006

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.7



Gambar 4.17 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking ($M\phi$)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6 m
tipe 2 : h_{tot} = 0,7 m
tipe 3 : h_{tot} = 0,8 m
tipe 4 : h_{tot} = 0,9 m.
Tipe 1-4: B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_ϕ = 0,03.

Dari hasil pada tabel 4.7, menghasilkan grafik pada gambar 4.17. Grafik pada gambar 4.17 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.3, dan nilai B_ϕ = 0,03. Maka dengan grafik pada gambar 4.17 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya rocking didapatkan nilai M_ϕ tiap-tiap tipe pondasi mesin.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking ($M\phi$) terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao tipe 1	**M tipe 1**	**ao tipe 2**	**M tipe 2**	**ao tipe 3**	**M tipe 3**	**ao tipe 4**	**M tipe 4**
0,1	0,99990	0,1	0,99995	0,1	1,00001	0,1	1,00006
0,2	0,99958	0,2	0,99981	0,2	1,00002	0,2	1,00024
0,3	0,99906	0,3	0,99956	0,3	1,00005	0,3	1,00053
0,4	0,99832	0,4	0,99921	0,4	1,00008	0,4	1,00092
0,5	0,99738	0,5	0,99875	0,5	1,00010	0,5	1,00142
0,6	0,99621	0,6	0,99818	0,6	1,00011	0,6	1,00201
0,7	0,99482	0,7	0,99748	0,61	1,00011	0,7	1,00268
0,8	0,99321	0,8	0,99665	0,7	1,00010	0,8	1,00340
0,9	0,99136	0,9	0,99569	0,8	1,00005	0,9	1,00417
1	0,98928	1	0,99456	0,9	0,99996	1	1,00497
1,1	0,98696	1,1	0,99328	1	0,99979	1,1	1,00576
1,2	0,98439	1,2	0,99181	1,1	0,99954	1,2	1,00653
1,3	0,98156	1,3	0,99015	1,2	0,99919	1,3	1,00724
1,4	0,97848	1,4	0,98828	1,3	0,99871	1,4	1,00787
1,5	0,97512	1,5	0,98619	1,4	0,99808	1,5	1,00838

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6 m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.3.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ) terhadap Frekuensi Natural (a_o) (Lanjutan)

ao tipe 1	**M tipe 1**	**ao tipe 2**	**M tipe 2**	**ao tipe 3**	**M tipe 3**	**ao tipe 4**	**M tipe 4**
1,6	0,97149	1,6	0,98385	1,5	0,99727	1,6	1,00873
1,7	0,96758	1,7	0,98126	1,6	0,99626	1,72	1,00890
1,8	0,96339	1,8	0,97839	1,7	0,99503	1,8	1,00882
1,9	0,95890	1,9	0,97523	1,8	0,99353	1,9	1,00847
2	0,95412	2	0,97175	1,9	0,99175	2	1,00779
2,1	0,94903	2,1	0,96796	2	0,98964	2,1	1,00675
2,2	0,94364	2,2	0,96382	2,1	0,98719	2,2	1,00529
2,3	0,93794	2,3	0,95932	2,2	0,98436	2,3	1,00336
2,4	0,93193	2,4	0,95445	2,3	0,98113	2,4	1,00093
				2,4	0,97745		

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.3.

c. Terhadap gaya horizontal

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / K_x / \gamma / r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_x^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_x / \gamma / r_o^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right)^2 + \\ 348921982{,}231 / 2345 / 4{,}363^2 \\ 4 \,.\, 0{,}773^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 348921982{,}231 / 2345 / 4{,}363^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= 0{,}99956$$

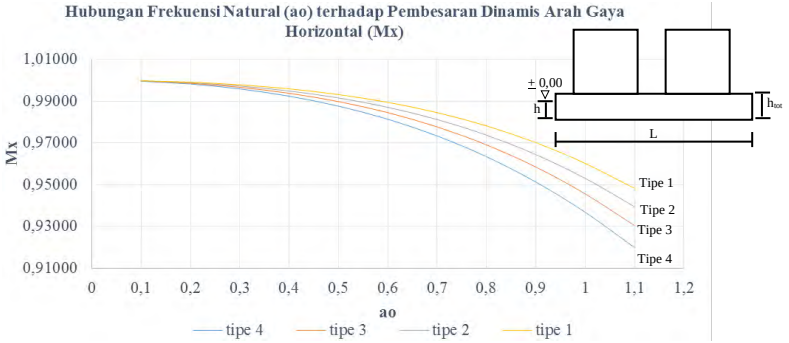
Perhitungan M_x lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99977	0,99971	0,99964	0,99956
0,2	0,99906	0,99881	0,99854	0,99820
0,3	0,99779	0,99723	0,99662	0,99585
0,4	0,99587	0,99485	0,99375	0,99237
0,5	0,99314	0,99151	0,98977	0,98760
0,6	0,98942	0,98703	0,98448	0,98132
0,7	0,98450	0,98117	0,97765	0,97332
0,8	0,97814	0,97371	0,96904	0,96337
0,9	0,97012	0,96440	0,95842	0,95125
1	0,96021	0,95304	0,94560	0,93678
1,1	0,94820	0,93943	0,93041	0,91986

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.3.

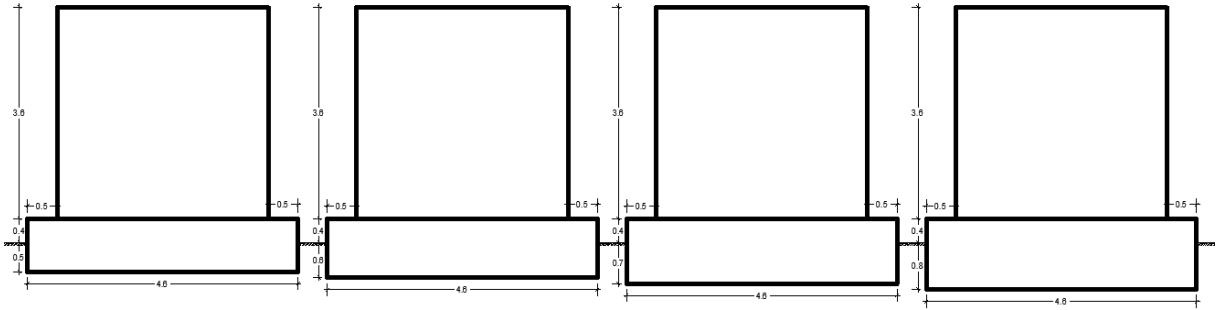
Dari hasil pada tabel 4.8, menghasilkan grafik pada gambar 4.18. Grafik pada gambar 4.18 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13m ,h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.3, dan B_x = 0,3. Maka dengan grafik pada gambar 4.18 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya horizontal didapatkan nilai M_x tiap-tiap tipe pondasi mesin.



Gambar 4.18 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6 m
tipe 2 : h_{tot} = 0,7 m
tipe 3 : h_{tot} = 0,8 m
tipe 4 : h_{tot} = 0,9 m.
Tipe 1-4: B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_x = 0,3.

Pada kelompok I ini selain dengan ketinggian muka tanah sama (sebesar 0,3m) juga direncanakan sebesar 0,4m. Seperti perencanaan sebelumnya, perencanaan pondasi mesin untuk kelompok I ini dengan ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.9). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.20-4.22.



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.19 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	0,00009447	0,01609	0,480	0,130
2	0,6	1	0,00009156	0,01530	0,465	0,124
3	0,7	1,1	0,00008890	0,01463	0,452	0,118

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
4	0,8	1,2	0,00008648	0,01408	0,439	0,114

Tabel 4.10 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

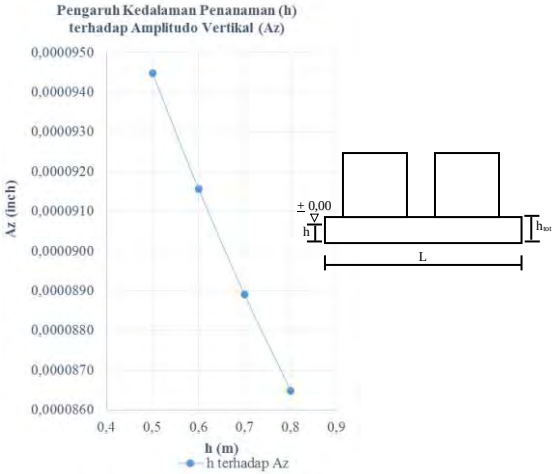
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,5	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
2	0,6	1	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
3	0,7	1,1	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
4	0,8	1,2	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.9.

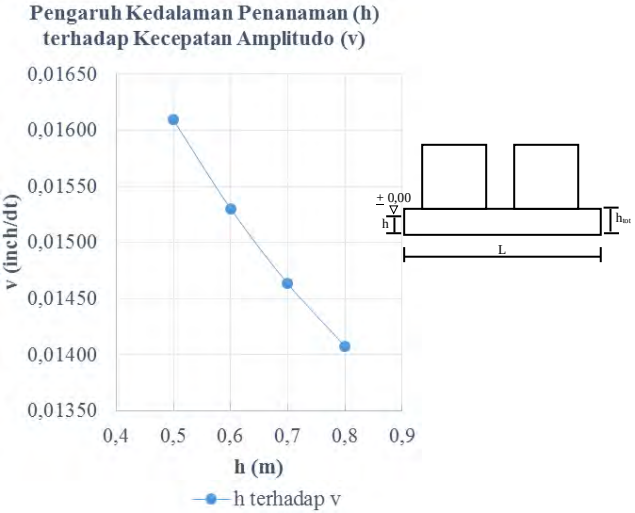
Tabel 4.11 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,5	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,6	1	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,7	1,1	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
4	0,8	1,2	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

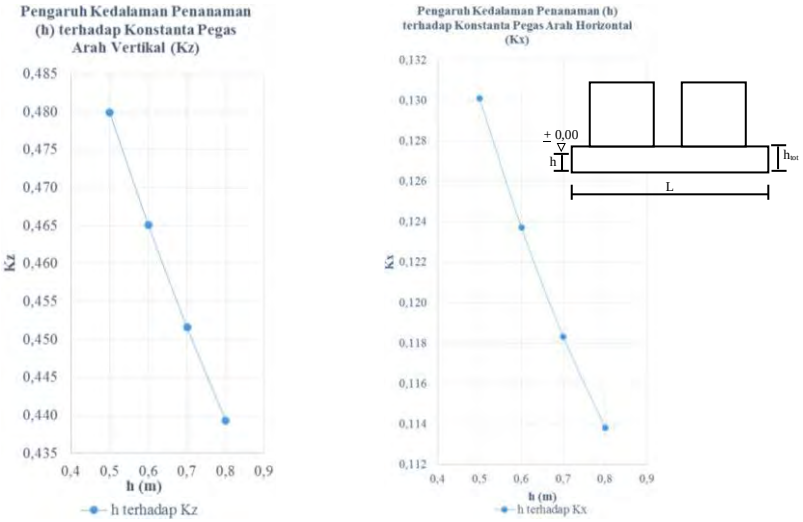
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.9.



Gambar 4.20 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.21 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v)



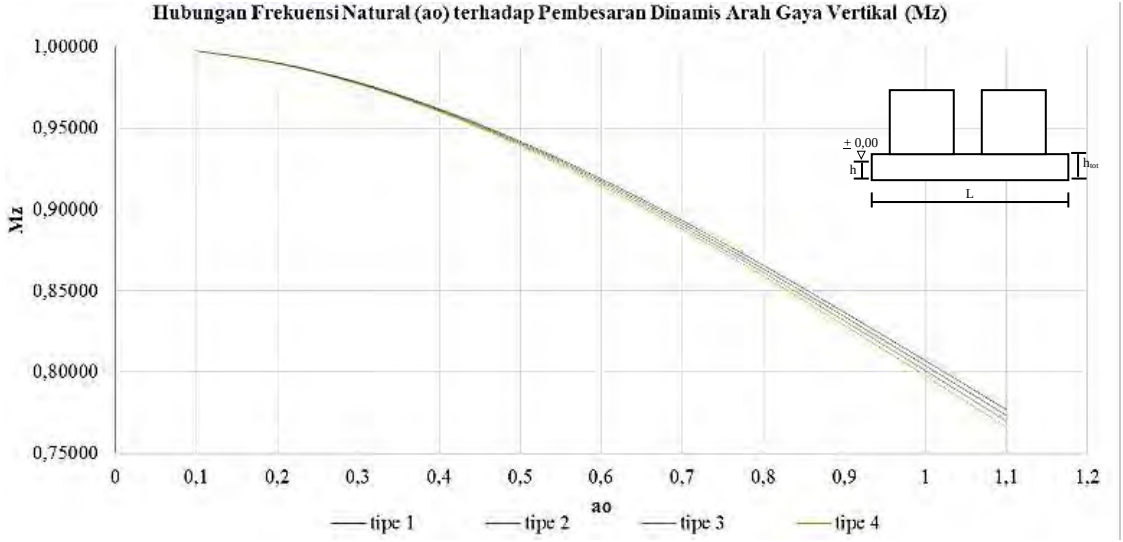
(a) (b)

Gambar 4.22 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas
(a) Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)
(b) Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.9 dan grafik pada gambar 4.20-4.22 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total

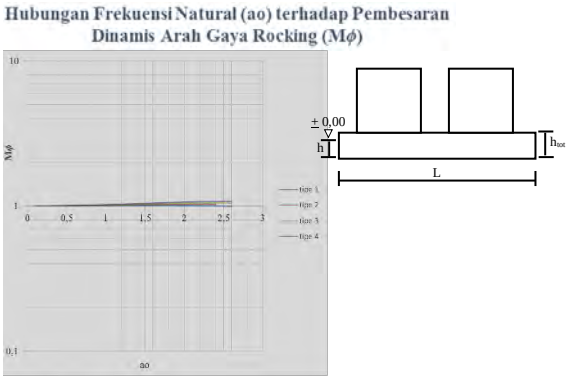
pondasi (h_{tot}) berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

Grafik pada gambar 4.20-4.22 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6m , L=13m dan h_{tot} sesuai tabel 4.9. Pada kali ini, tidak diperjelaskan salah satu contoh perhitungan, dikarenakan cara perhitungannya sama halnya ketika tinggi muka tanah 0,3 m. Dibawah ini grafik untuk semua jenis mesin.



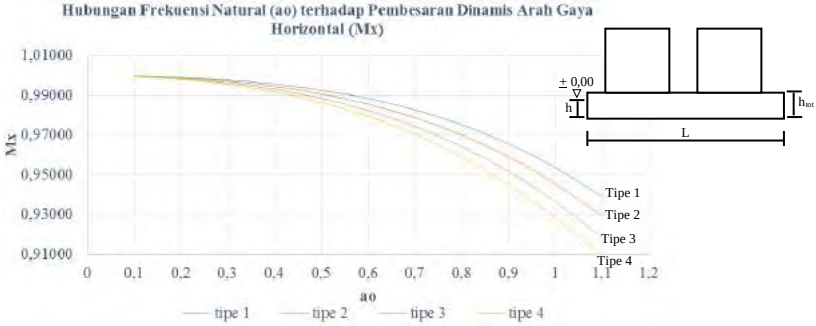
Gambar 4.23 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1 m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_z = 0,2.



Gambar 4.24 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1 m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_ϕ = 0,03.

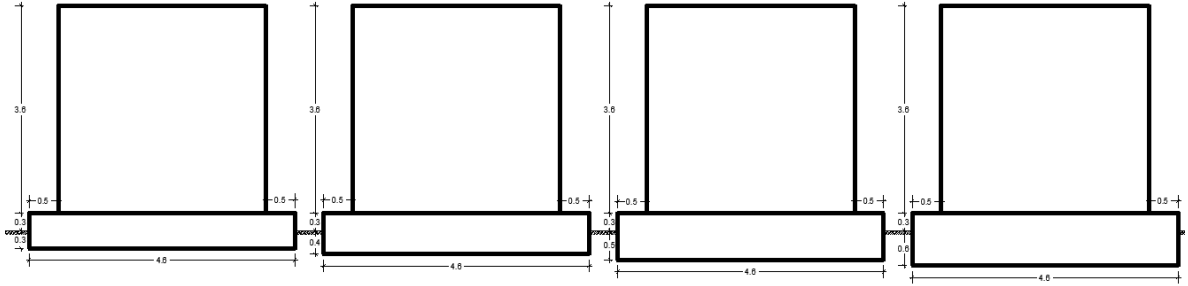


Gambar 4.25 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1 m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_x = 0,3.

4.3.2. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok II

Pada perencanaan ini adalah ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda. Penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.26 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m (Pot. Melintang)

a. Nilai modulus geser

Data tanah yang diperoleh dari hasil tes sondir sebagai berikut:

Tabel 4.12 Data Tanah

Depth (m)	**SPT**	**PI**	ϕ	**c (Kg/cm²)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Tabel 4.13 Perhitungan Modulus Geser (Gs)

h (m)	**PI**	**Ko**	**γt (Kg/m³)**	$\overline{\sigma_v}$ **(Kg/m²)**	$\overline{\sigma_H}$ **(Kg/m²)**	$\overline{\sigma_o}$ **(Kg/m²)**	**e**	**Z/ro**	**Δσv / qo**	**P/a (Kg/m²)**	$\overline{\sigma_v}$ **+ P/a (Kg/m²)**
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,000	0,500	2049,900	3456,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,019	0,497	2038,390	3679,572

Tabel 4.13 Perhitungan Modulus Geser (Gs) (Lanjutan)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m³)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m²)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m²)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m²)
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,037	0,494	2026,880	3902,517
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,056	0,492	2015,370	4125,462
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,075	0,489	2003,860	4348,407
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,094	0,486	1992,351	4571,352
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,112	0,483	1980,841	4794,296
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,131	0,480	1969,331	5017,241
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,150	0,478	1957,821	5240,186
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,168	0,475	1946,311	5463,131
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,187	0,472	1934,801	5686,076

$\overline{\sigma_v}$ = 3456,267 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1382,651 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2071,903 Kg/m^2
G = 14.375.206,601 Kg/m^2

b. Terhadap gaya vertikal

Ekuivalen radius, $r_{o\,z} = \sqrt{\frac{B\,.\,L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\text{m}\ .\ 19{,}5\ \text{m}}{\pi}}$

$= 5{,}343$ m

Rasio massa, $B_z = \frac{(1-v)}{4}\frac{W}{\gamma\,.r_o^3}$

$= \frac{(1-0{,}4)}{4}\frac{367752\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\,.\,(5{,}343\ \text{m})^3}$

$= 0{,}154$

Koefisien penanaman, $\eta_z = 1 + 0{,}6\,(1-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}6\,(1 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{5{,}343\text{m}}\right)$

$= 1{,}040$

Konstanta pegas, $k_z = \frac{G}{1-v}\,\beta_z\,\sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$

$= \frac{14375206{,}601\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ 2{,}2\ \sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,19{,}5\text{m}}\ 1{,}040$

$= 519176571{,}770$ Kg/m

Faktor daping rasio penanaman, $\alpha_z = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}6\ \text{m}}{5{,}343\ \text{m}}}{\sqrt{1{,}040}}$

$= 1{,}106$

Damping rasio, $D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}\,\alpha_z$

$= \frac{0{,}425}{\sqrt{0{,}154}}\ 1{,}106$

$= 1{,}198$

$D_z > 0{,}5\sqrt{2}$ maka $\omega_{res\,z}$ khayal

$1{,}198 > 0{,}7011$ $\omega_{res\,z}$ khayal

Frekuensi natural, $\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}}$

$$= \sqrt{\frac{519176571{,}770\ \text{Kg/m}}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$$

$$= 117{,}683\ \text{rad/det}$$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nz}}}$

$$= \frac{2\ .\ \pi\ .\ 3000\ \text{rpm}}{\frac{60}{117{,}683\ \text{rad/det}}}$$

$$= 2{,}670$$

Pembesaran dinamis, $M_z = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_z\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2\ .1{,}198\ .\ 2{,}670)^2 + [\ (1-2{,}670^2)]^2}}$$

$$= 0{,}113$$

Amplitudo, $A_z = \frac{Q_o}{K_z \sqrt{(1-r^2)^2 + (2\ .\ D_z\ .\ r)^2}}$

$$= \frac{5{,}796\ \text{t}}{\frac{519176571{,}770}{1000}\ \text{Kg/m}\ \sqrt{(1-2{,}670^2)^2 + (2\ .\ 0{,}984\ .\ 2{,}670)^2}}$$

$$= 1{,}260\ .\ 10^{-6}\ \text{m}$$

$$= 0{,}001\ \text{mm}$$

c. Terhadap gaya rocking

$$M_{mo} = \left[\frac{W_{mesin}}{g}\ .\ (h_{tot} + \text{pusat berat mesin})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{W_{pondasi}}{g}\right)}{12}\ .\ (L^2 + h_{tot}^2)\right] + \left[\frac{W_{pondasi}}{g}\ .\ (0{,}5\ .\ h_{tot})^2\right]$$

$$= \left[\frac{174000\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\ .\ (0{,}9\text{m} + 0{,}75\ \text{m})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{193752\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\right)}{12}\ .\ ((19{,}5\text{m})^2 + (0{,}9\text{m})^2)\right] + \left[\frac{193752\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\ .\ (0{,}5\ .\ 0{,}9\text{m})^2\right]$$

$$= 679464{,}275\ \text{Kg dt}^2$$

$$M_m = M_{mo} - (m\ .\ z^2)$$

$= 679464{,}275\ \text{Kg dt}^2 - (37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m} - (1{,}018\ \text{m})^2)$

$= 640632{,}371\ \text{Kg m dt}^2$

Ekuivalen radius, $r_o = \sqrt[4]{\frac{B\ .\ L^3}{3\ .\ \pi}}$

$= \sqrt[4]{\frac{4{,}6m\ .\ (19{,}5m)^3}{3\ .\ \pi}}$

$= 7{,}756\ \text{m}$

Inersia rasio, $B_\phi = \frac{3\ (1-\text{v})}{8}\frac{M_m}{\rho\ .r_o^5}$

$= \frac{3\ (1-0{,}4)}{8}\frac{640632{,}371\ \text{Kg m dt}^2}{\frac{2345\ \text{Kg/m}^3}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\ 7{,}756^5\ \text{m}}$

$= 0{,}022$

Koefisien penanaman,

$\eta_\phi = 1 + 1{,}2\ .\ (1-\text{v})\ .\left(\frac{h}{r_o}\right) + 0{,}2\ .\ (2-v)\ .\left(\frac{h}{r_o}\right)^3$

$= 1 + 1{,}2\ .\ (1-0{,}4)\ .\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{7{,}756\ \text{m}}\right) + 0{,}2\ .\ (2-0{,}4)\ .\left(\frac{0{,}6\ \text{m}}{7{,}756\ \text{m}}\right)^3$

$= 1{,}056$

Konstanta pegas, $K_\phi = \frac{G}{1-\text{v}}\beta_\phi B\ .\ L^2\eta_\phi$

$= \frac{14375206{,}601\text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ .\ 0{,}4\ .\ 4{,}6\ \text{m}\ .\ 19{,}5^2\ \text{m}\ .1{,}056$

$= 17699087010\ \text{Kg/m}$

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

$= \frac{1+0{,}7(1-0{,}4)\frac{0{,}6\ \text{m}}{7{,}756\ \text{m}}+0{,}6\ (2-0{,}4)\left(\frac{0{,}6\text{m}}{7{,}756\ \text{m}}\right)^3}{\sqrt{1{,}056}}$

$= 1{,}005$

Damping rasio, $D_\phi = \frac{0{,}15}{(1+n_\phi\ .\ B_\phi)\sqrt{n_\phi\ .\ B_\phi}}\alpha_\phi$

$$= \frac{0{,}15}{(1+1{,}6\ .\ 0{,}022)\sqrt{1{,}6\ .\ 0{,}022}}\ 1{,}005$$
$$= 0{,}786$$

Frekuensi natural, $\omega_{n\emptyset} = \sqrt{\frac{K_\emptyset}{m}}$

$$= \sqrt{\frac{17699087010\ Kg/m}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$$
$$= 166{,}215\ \text{rad/dt}$$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{n\emptyset}}}$

$$= \frac{2\ .\ \pi\ .\ 3000\ \text{rpm}}{\frac{60}{166{,}215\ \text{rad/dt}}}$$
$$= 1{,}890$$

Pembesaran dinamis, $M_\emptyset = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_\emptyset\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0{,}786\ .\ 1{,}890)^2 + ^2\ [(1-1{,}890^2)]}}$$
$$= 0{,}254$$

Amplitudo, $A_\emptyset = \frac{Q_o\ .\ (e_z + h_{tot})\ .\ M_\emptyset}{K_\emptyset}$

$$= \frac{5{,}796\ \text{t}\ .\ (0{,}75\text{m} + 0{,}9\text{m})\ .\ 0{,}254}{\frac{17699087010\ \text{Kg/m}}{1000}}$$
$$= 1{,}372\ .\ 10^{-7}\ \text{radial}$$
$$= 0{,}0000013\ \text{m}$$

d. Terhadap gaya horizontal

Ekuivalen radius, $r_{ox} = \sqrt{\frac{B\ .\ L}{\pi}}$

$$= \sqrt{\frac{4{,}6\ \text{m}\ .\ 19{,}5\ \text{m}}{\pi}}$$
$$= 5{,}343\ \text{m}$$

Rasio massa, $B_x = \frac{(7-8\ .v)}{32\ .\ (1-v)} \frac{W}{\gamma\ .r_o^3}$

$$= \frac{(7-8\ .0{,}4)}{32\ .\ (1-0{,}4)} \frac{367752\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\ .\ 5{,}343^3\text{m}}$$
$$= 0{,}203$$

Koefisien penanaman, $\eta_x = 1 + 0{,}55\,(2 - v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}55\,(2 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}6\text{ m}}{5{,}343}\right)$

$= 1{,}099$

Kostanta pegas, $K_x = 2\,.\,(1 + v)\,.\,G\,.\,\beta_x\sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$

$= 2\,.\,(1 + 0{,}4)\,.\,14375206{,}601\text{ Kg/m}^2\,.\,1\,.\sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,19{,}5\text{m}}\;1{,}099$

$= 418953709{,}786\text{ Kg/m}$

Faktor damping rasio penanaman, $\alpha_x = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_x}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}6\text{ m}}{5{,}343}}{\sqrt{1{,}099}}$

$= 1{,}280$

Damping rasio, $D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}}\alpha_x$

$= \frac{0{,}288}{\sqrt{0{,}203}}1{,}280$

$= 0{,}818$

Frekuensi natural, $\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m}}$

$= \sqrt{\frac{418953709{,}786\ \text{Kg/m}}{37487{,}462\text{ Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 105{,}716\text{ rad/dt}$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\,.\,\pi\,.\,f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nx}}}$

$= \frac{2\,.\,\pi\,.3000\text{ rpm}}{\frac{60}{105{,}716\text{ rad/dt}}}$

$= 2{,}972$

Pembesaran dinamis, $M_x = \frac{1}{\sqrt{(2\,.\,D_x\,.\,r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0{,}818\ .\ 2{,}972)^2 + \left[(1-2{,}972^2)\right]^2}}$$

$$= 0{,}108$$

Amplitudo, $A_x = \frac{Q_o}{K_x \sqrt{(1-r^2)^2+(2\ .\ D_x\ .\ r)^2}}$

$$= \frac{5{,}796\ t}{\frac{418953709{,}786\ Kg/m}{1000}\sqrt{\frac{(1-2{,}972^2)^2}{+(2.\ 0{,}818\ .\ 2{,}972)^2}}}$$

$= 1{,}501\ .\ 10^{-6}$ m

$= 0{,}002$ mm

e. Kombinasi rocking dan lateral

Rasio momen inersia massa, $\gamma = \frac{Mm}{Mm_o}$

$$= \frac{640632{,}371\ Kgm\ det^2}{679464{,}275\ Kgm\ det^2}$$

$$= 0{,}943$$

Frekuensi natural kopel,

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

$$= \left[\left((314{,}16\ \text{rad/dt})^4 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\left\{\frac{(166{,}215\ rad/dt)^2+(105{,}716\ rad/dt)^2}{0{,}943} - \frac{4.\ 0{,}818\ .\ 0{,}786\ .\ 105{,}716\ rad/dt\ .\ 166{,}215\ rad/dt}{0{,}943}\right\} + \frac{(105{,}716\ rad/dt)^2.(166{,}215\ rad/dt)^2}{0{,}943}\right)^2 + 4\left\{0{,}818\frac{105{,}716\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}943}((166{,}215\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2) +\right.$$

$$\frac{0{,}818\ .\ 166{,}215\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}943}((105{,}716\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2)\Big\}^2\Big]^{1/2}$$

$$= 15.893.094.672{,}058$$

Amplitudo lateral pada titik berat total (sumbu x)

$$A_{x1} = \frac{\text{My . L}}{\text{Mm}} \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2\ .\ D_x\ .\ \omega_{nx})^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3664{,}206\ Kgm\ .\ 1{,}018\ m}{640632{,}371\ Kg\ det^2} \frac{\left[\begin{matrix}((105{,}716\ \text{rad/dt})^2)^2 + \\ (2\ .\ 0{,}818\ .\ 105{,}716\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15893094672{,}058}$$

$$= 2{,}032\ .\ 10^{-8}\ \text{m}$$

$$A_{x2} = \frac{Qo}{m\ .\ Mm} \frac{\left[\begin{matrix}(-Mm\ .\ \omega^2 + k_\emptyset + L^2\ .\ k_x)^2 + 4\ \omega^2 \\ (D_\emptyset\ .\ \sqrt{k_\emptyset\ .\ M_{mo}} + L^2\ .\ D_x\ .\sqrt{k_x\ .\ m}\ )^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{5{,}796\ \text{t}\ .\ 1000}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}\ .\ 640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{pmatrix}-640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2\ .\\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\\ +\ 17699087010\ \text{Kg/m}\\ +(1{,}018\ \text{m})^2\ .\\ 418953709{,}786\ \text{Kg/m}\end{pmatrix}^2 + 4\,(314{,}16\ \text{rad/dt})^2 \begin{pmatrix}0{,}786\ .\\ \sqrt{\dfrac{17699087010\ \text{Kg/m}.}{679464{,}275\ \text{Kgm dt}^2}} +\\ (1{,}018\text{m})^2\ .\\ 0{,}818\ .\\ \sqrt{\dfrac{418953709{,}786\ \text{Kg/m}.}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}\end{pmatrix}^2\right]^{1/2}}{15893094672{,}058}$$

$= 1{,}095\ .\ 10^{-6}$ m

Amplitudo rocking (rotasi terhadap sumbu y)

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

$$= \frac{3664{,}206\ \text{Kgm}}{640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[((105{,}716\ \text{rad/dt})^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2)^2 + \begin{pmatrix}2\ .\ 0{,}818\ .\ 105{,}716\ \text{rad/dt}.\\ 314{,}16\ \text{rad/dt}\end{pmatrix}^2\right]^{1/2}}{15893094672{,}058}$$

$= 3{,}707\ .\ 10^{-8}$ m

$$A_{\emptyset 2} = \frac{\frac{Q_o\ .\ L}{M_m}\ \frac{\omega_{nx}\ .\ [\omega_{nx}^2 + 4\ .\ D_x\ .\omega^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}}{}$$

$$= \frac{3{,}863\ \text{t}\ .\ 1000\ .\ 1{,}018}{640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{105{,}716\ \text{rad/dt} \cdot \left[\begin{matrix}(105{,}716\ \text{rad/dt})^2 \\ +\ 4 \cdot\ 0{,}818 \cdot \\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15893094672{,}058}$$

$= 3{,}540 \cdot 10^{-8}$ m

f. Besaran amplitudo total

A_z total $= A_z + A_{z\,max}$

$= A_z + (0{,}5 \cdot L \cdot (A_{\phi 1} + A_{\phi 2})$

$= 1{,}260 \cdot 10^{-6}$ m + [0,5 . 19,5 . ($3{,}707 \cdot 10^{-8}$ m + $3{,}540 \cdot 10^{-8}$ m)]

$= 1{,}967 \cdot 10^{-6}$ m

= 0,0000774 inch

A_x total $= A_{x\,max}$

$= (A_{x1} + A_{x2}) + [(h_{tot}$ + pusat berat mesin – z) . $(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})]$

$= (2{,}032 \cdot 10^{-8}$ m + $1{,}095 \cdot 10^{-6}$ m) + [(0,9 + 0,75 – 1,018).($3{,}707.10^{-8}$m + $3{,}540 \cdot 10^{-8}$m)]

$= 1{,}161 \cdot 10^{-6}$ m

= 0,000046 inch

A_y total = 0 m

g. Analisa persyaratan keamanan desain pondasi mesin

Pondasi mesin tipe blok yang direncanakan ini untuk menopang dua mesin tipe *rotary* dengan frekuensi 3000 rpm. Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang berkerja pada sumbu x dan z. Akibat gaya dinamis, maka timbul amplitudo sebesar:

- Arah z sebesar = $2{,}179 \cdot 10^{-6}$ m
  = 0,0000774 inch
- Arah x sebesar = $1{,}248 \cdot 10^{-6}$ m
  = 0,000046 inch
- Arah y sebesar = 0 m

  Karena tidak ada gaya tau momen yang bekerja pada arah ini.

Nilai masing-masing amplitude tersebut harus dicek memenuhi persyaratan *design*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kontrol amplitudo arah vertikal (A_z)
   Pengecekan menggunakan grafik pada gambar 2.6. Dengan memasukan nilai frequensi mesin dengan nilai $A_{z\ total}$, maka termasuk kategori *"Barely Noticeable to Person"*. Maka amplitude vertikal yang terjadi termasuk kategori yang hampir tidak terasa pada lingkungan sekitar mesin. Batas maksimum amplitudo termasuk pada kategori "*Easily Noticable to Person"*, dan yang terjadi masih dibawah batas maksimum. Sehingga kondisi aplitudo vertikal memenuhi syarat.
2. Kontrol amplitudo arah horizontal (A_x)
   Pengecekan menggunakan tabel 2.10, dengan kecepatan amplitudo sebagai berikut:
   $v = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{mesin}}{60} \cdot A_{x\ total}$
   $= 2 \cdot \pi \cdot \frac{3000\ rpm}{60} \cdot 0{,}000046$ inch
   $= 0{,}01436$ in/dt
   Dari hasil kecepatan amplitudo dikontrol menggunakan tabel 2.10 termasuk kategori *"smooth"*. Persyaratan maksimal kecepatan amplitudo pada batasan *"good"*, dikarenakan kecepatan amplitudo yang terjadi dibawah batasan maksimum, maka kecepatan amplitudo memenuhi syarat.
3. Kontrol gaya pegas (K_{value})
   Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah vertikal sebagai berikut:
   $K_z = 0{,}2 \cdot A_{z\ tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)
   $= 0{,}2 \cdot 1{,}967$ micro
   $= 0{,}393$

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah horizontal sebagai berikut:

$K_x = 0{,}2 \,.\, A_{x\,tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)

$= 0{,}1 \,.\, 1{,}161$ micro

$= 0{,}116$

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

h. Kontrol daya dukung tanah

1. Daya dukung tanah (q_{ult}) dibawah pondasi mesin

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (qult) sebagai berikut:

Dari data tanah diperoleh data sebagai berikut:

Sudut geser tanah (ϕ) = 32°,

γ_t = 2345 Kg/m^3

c = 0,027

Dengan menggunakan tabel 2.13 maka nilai N_c, N_γ, N_q sebesar:

N_c = 35,47

N_γ = 30,2

N_q = 23,2

Letak dasar pondasi mesin jauh dari muka air tanah, maka:

$q = \gamma_t \,.\, Df$

$= 2345$ Kg/m^3 . 0,6 m

$= 1406{,}728$ Kg/m^2

$q_{ult} = 1{,}3 \,.\, c \,.\, Nc + q \,.\, Nq + 0{,}4 \,.\, \gamma_t \,.\, B \,.\, N_\gamma$

$= 1{,}3 \,.\, 0{,}027 \,.\, 35{,}47 + 1406{,}728$ Kg/m^2 . 23,2 $+ 0{,}4 \,.\, 2345$ Kg/m^3 . 4,6 m . 30,2

$= 162919{,}084$ Kg/m^2

2. Besar daya dukung tanah yang diijinkan (q_{ijin})

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

$$= \frac{162919{,}084\ \text{Kg/m}^2}{3}$$

$$= 54306{,}361\ \text{Kg/m}^2$$

3. Besar tegangan tanah yang terjadi

Akibat beban statis (σ_{statis})

$$\sigma_{statis} = \frac{W_{tot}}{B\ .\ L} - \gamma_t\ .\ D_f$$

$$= \frac{367752\ \text{Kg}}{4{,}6\ \text{m}\ .\ 19{,}5\ \text{m}} - 2345\text{Kg/m}^3\ .\ 0{,}6\ \text{m}$$

$$= 2693{,}072\ \text{Kg/m}^2$$

Akibat beban statis + beban dinamis ($\sigma_{statis+dinamis}$)

Persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah kurang dari 50% daya dukung tanah dn untuk daya dukung statis dinamis adalah 75% daya dukung ijin tanah. Hasil control sebagai berikut:

$\sigma_{statis} < 50\%\ .\ q_{ijin}$

$2693{,}072\ \text{Kg/m}^2 < 50\%\ .\ 54306{,}361\ \text{Kg/m}^2$

$2693{,}072\ \text{Kg/m}^2 < 27153{,}181\ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Dan

$$\sigma_{statis+dinamis} < 75\%\ .\ q_{ijin}$$

$$\frac{W_{tot} + P_z\ .\ n}{B\ .\ L} \pm \frac{\begin{bmatrix} -P_{z1}\ .\ x_1 + \\ P_{z2}\ .\ x_2 \\ +\ 3\ .\ P_x\ . \\ (\text{Pusat berat mesin} + h_{tot}) \end{bmatrix} + M_y}{\frac{1}{6}\ .\ B\ .\ L^2} < 75\%\ .\ q_{ijin}$$

$$\frac{37487{,}462\ \text{Kg} + 1411{,}958\ \text{Kg}\ .\ 2}{4{,}6\ \text{m}\ .\ 19{,}5\text{m}} \pm$$

$$\frac{\begin{bmatrix} -1411{,}958\ \text{Kg}\ .\ (5{,}5\text{m}+1\text{m}) + \\ 1411{,}958\ \text{Kg}\ .\ (5{,}5\text{m}+1\text{m}) \\ +\ 3\ .\ 1040{,}212\ \text{Kg}\ . \\ (0{,}75\ \text{m} + 0{,}9\ \text{m}) \end{bmatrix} + 5149{,}051\ \text{Kgm}}{\frac{1}{6}\ .\ 4{,}6\text{m}\ .\ (19{,}5\text{m})^2} < 75\%.54306{,}361\text{Kg/m}^2$$

Untuk yang positif:

$4177{,}254\ \text{Kg/m}^2 < 40729{,}771\ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Untuk yang negatif:

$4116{,}790\ \text{Kg/m}^2 < 40729{,}771\ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

4.3.2.1. Grafik Rasio Redaman

Perencanaan pondasi mesin untuk kelompok II dengan ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.14). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.27-4.30.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,0000872	0,01772	0,443	0,143
2	0,4	0,7	0,0000836	0,01637	0,425	0,132
3	0,5	0,8	0,0000803	0,01527	0,408	0,123
4	0,6	0,9	0,0000774	0,01436	0,393	0,116

Tabel 4.15 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,3	0,6	*Barely Noticable to Person*	*Very good*	aman
2	0,4	0,7	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
3	0,5	0,8	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.14

Tabel 4.15 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
4	0,6	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.14

Tabel 4.16 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

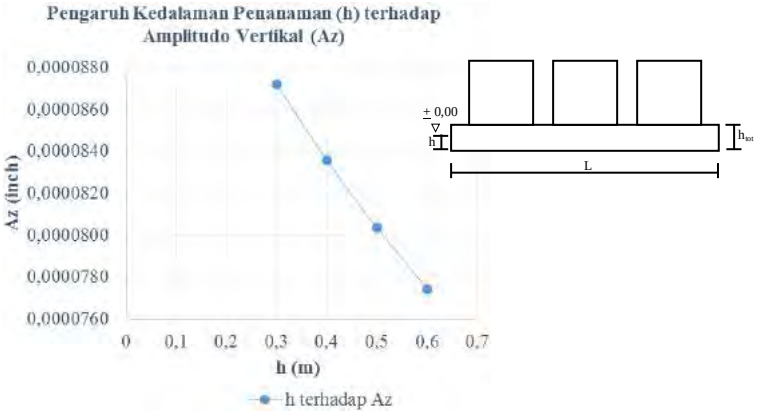
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,3	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,4	0,7	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,5	0,8	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.14

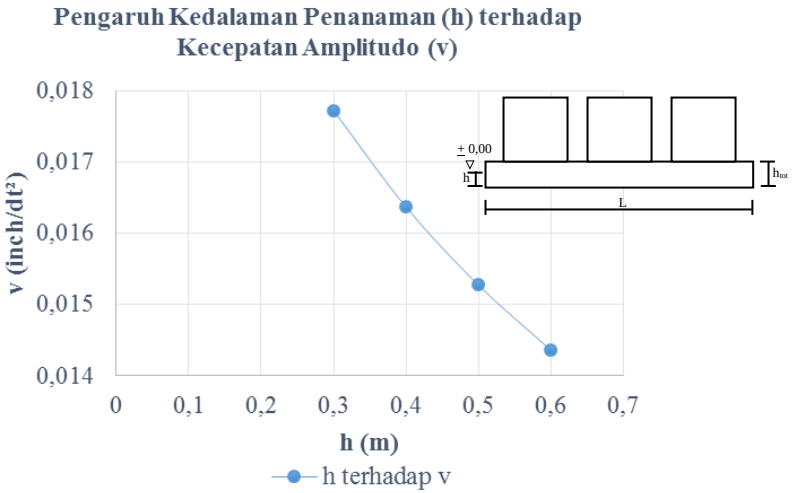
Tabel 4.17 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
4	0,6	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

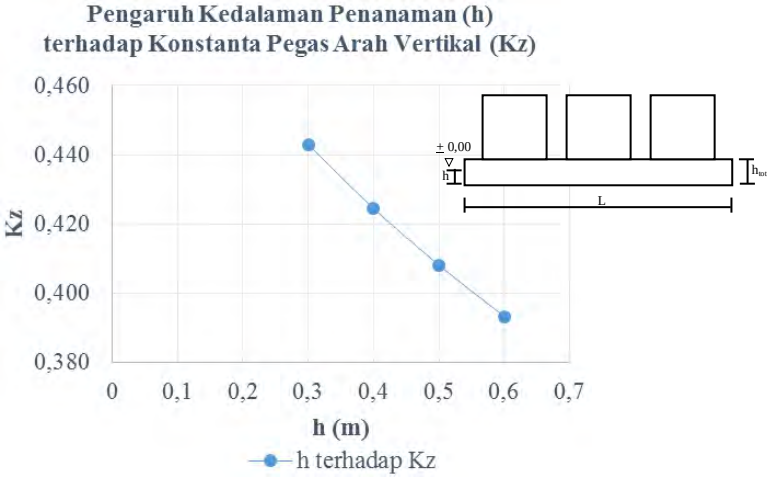
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.14



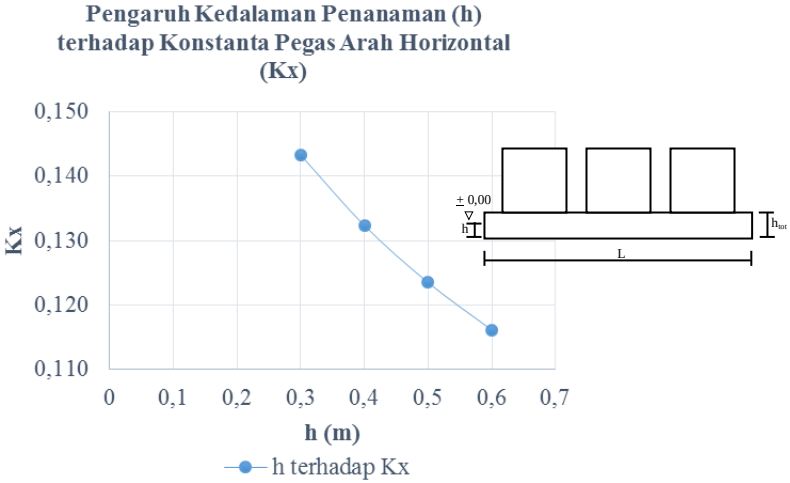
Gambar 4.27 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.28 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v)



Gambar 4.29 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)



Gambar 4.30 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.14 dan grafik pada gambar 4.27-4.30 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding lurus amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

Grafik pada gambar 4.27-4.30 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi

dimensi pondasi tetap B=4,6 m , L=13 m dan h_{tot} sesuai tabel 4.14. Perhitungan ini hanya untuk tipe 1, untuk tipe yang lain rumus yang digunakan sama. Perhitungan sebagai berikut:

a. Terhadap gaya vertikal

$$M_z = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / K_z / \gamma / r_0^2\right)^2 + 4 \,.\, D_z^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_z / \gamma / r_0^2\end{matrix}\right]}}$$

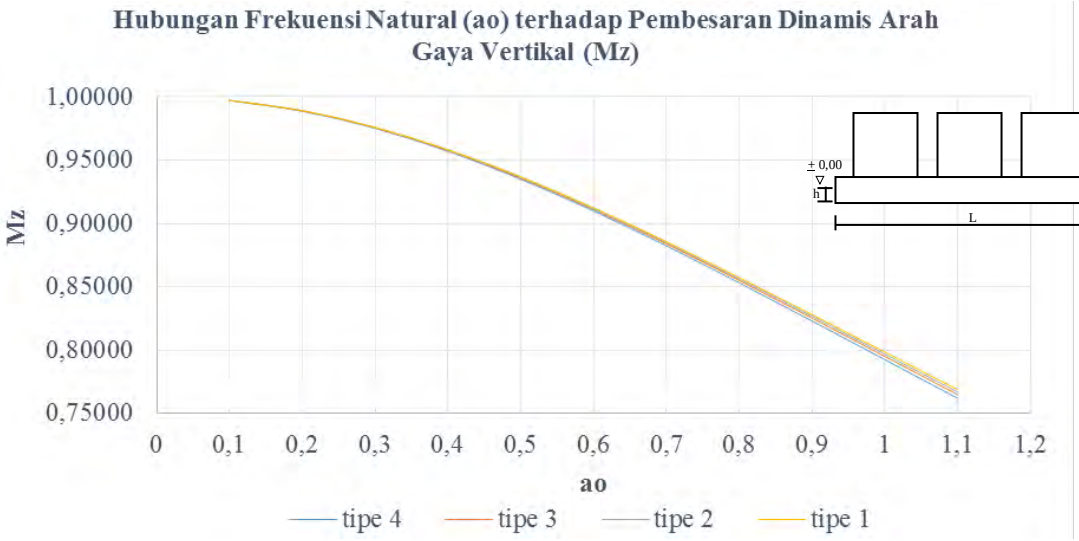
$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(\begin{matrix}1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462 / \\ 519176571{,}770 / 2345 / 5{,}343^2\end{matrix}\right)^2 + \\ 4 \,.\, 1{,}198^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462 / \\ 519176571{,}770 / 2345 / 5{,}343^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= 0{,}99717$$

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99725	0,99723	0,99721	0,99717
0,2	0,98912	0,98904	0,98895	0,98879
0,3	0,97597	0,97579	0,97559	0,97525
0,4	0,95835	0,95804	0,95769	0,95710
0,5	0,93694	0,93647	0,93594	0,93506
0,6	0,91249	0,91184	0,91109	0,90989
0,7	0,88575	0,88488	0,88390	0,88236
0,8	0,85741	0,85632	0,85510	0,85320
0,9	0,82811	0,82679	0,82531	0,82306
1	0,79839	0,79683	0,79508	0,79249
1,1	0,76868	0,76687	0,76486	0,76194



Gambar 4.31 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6m; tipe 2 : h_{tot} = 0,7m; tipe 3 : h_{tot} = 0,8m; tipe 4 : h_{tot} = 0,9m. Tipe 1-4 : B = 4,6m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_z = 0,2.

Dari hasil pada tabel 4.17, menghasilkan grafik pada gambar 4.31. Grafik pada gambar 4.31 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 19,5 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.14, dan B_z = 0,2. Maka dengan grafik pada gambar 4.31 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya vertikal didapatkan nilai M_z tiap-tiap tipe pondasi mesin.

b. Terhadap gaya rocking

$$M_\phi = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_m / K_\phi / \gamma / r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_\phi^2 \,.\, a_o^2 \,.\, G \,.\, g \,. \\ M_m / K_\phi / \gamma / r_o^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 640632{,}371 / \right.^2 + \\ 17699087009{,}928 / 2345 / 7{,}756^2 \\ 4 \,.\, 0{,}786^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 640632{,}371 / \\ 17699087009{,}928 / 2345 / 4{,}363^2\end{matrix}\right]}}$$

= 0,99991

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99978	0,99983	0,99987	0,99991
0,2	0,99912	0,99930	0,99948	0,99966
0,3	0,99802	0,99843	0,99883	0,99923
0,4	0,99649	0,99721	0,99792	0,99862

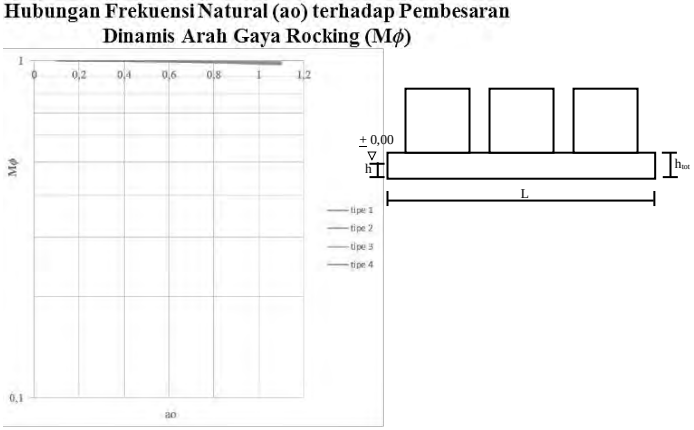
Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.14.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o) (Lanjutan)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,5	0,99452	0,99564	0,99674	0,99783
0,6	0,99213	0,99373	0,99530	0,99685
0,7	0,98931	0,99146	0,99359	0,99568
0,8	0,98608	0,98886	0,99160	0,99431
0,9	0,98244	0,98590	0,98933	0,99273
1	0,97840	0,98261	0,98678	0,99092
1,1	0,97397	0,97897	0,98395	0,98889

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.14.

Dari hasil pada tabel 4.18, menghasilkan grafik pada gambar 4.32. Grafik pada gambar 4.32 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 19,5 m dan h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.14. Maka dengan grafik pada gambar 4.32 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya rocking didapatkan nilai M_ϕ tiap-tiap tipe pondasi mesin.



Gambar 4.32 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (Mϕ)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6m; tipe 2 : h_{tot} = 0,7m; tipe 3 : h_{tot} = 0,8m; tipe 4 : h_{tot} = 0,9m. Tipe 1-4 : B = 4,6m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_ϕ = 0,02.

d. Terhadap gaya horizontal

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_x \,/\, \gamma \,/ r_0^2\right)^2 + 4 \,.\, D_x^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_x \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462 / \right)^2 + \\ 418953709{,}786 \,/\, 2345 \,/ 5{,}343^2 \\ 4 \,.\, 0{,}818^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 14375206{,}601 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462 / \\ 418953709{,}786 \,/\, 2345 \,/\, 5{,}343^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= 0{,}99936$$

Perhitungan M_x lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.19.

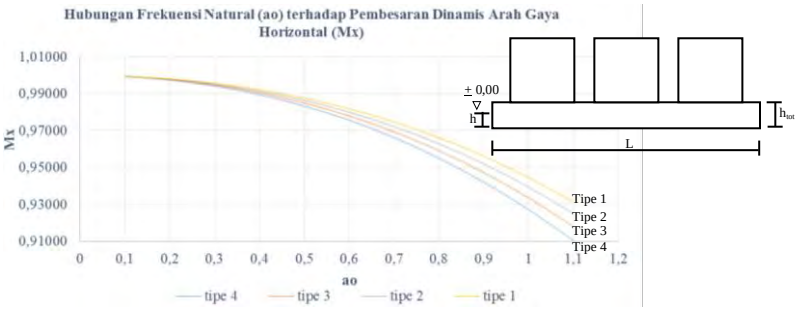
Tabel 4.19 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99953	0,99948	0,99942	0,99936
0,2	0,99810	0,99791	0,99768	0,99743
0,3	0,99568	0,99524	0,99474	0,99417
0,4	0,99221	0,99143	0,99053	0,98951
0,5	0,98762	0,98639	0,98497	0,98337
0,6	0,98182	0,98002	0,97797	0,97566
0,7	0,97471	0,97223	0,96941	0,96628
0,8	0,96619	0,96292	0,95922	0,95513
0,9	0,95617	0,95199	0,94729	0,94214
1	0,94457	0,93937	0,93357	0,92726
1,1	0,93133	0,92501	0,91802	0,91048

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.14.

Dari hasil pada tabel 4.19, menghasilkan grafik pada gambar 4.33. Grafik pada gambar 4.33 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 19,5 m dan h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.14. Maka dengan grafik pada gambar 4.33 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya horizontal didapatkan nilai M_x tiap-tiap tipe pondasi mesin.

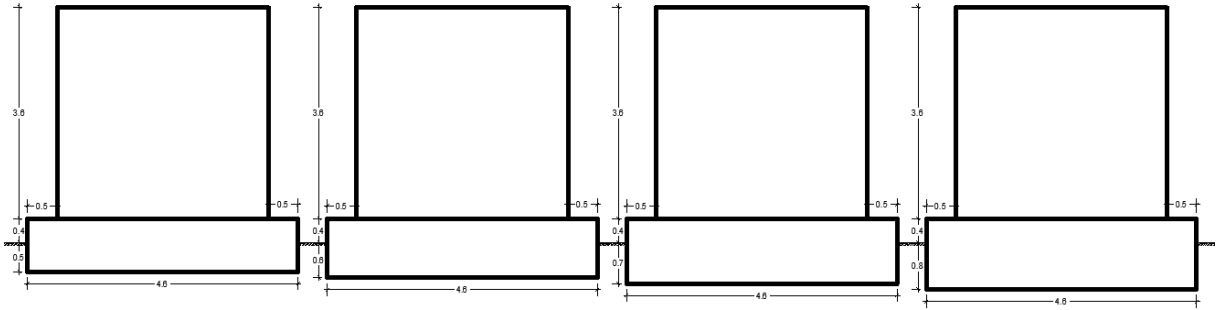
Tipe 2



Gambar 4.33 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6m; tipe 2 : h_{tot} = 0,7m; tipe 3 : h_{tot} = 0,8m; tipe 4 : h_{tot} = 0,9m. Tipe 1-4 : B = 4,6m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_x = 0,2.

Pada kelompok II ini selain dengan ketinggian muka tanah sama (sebesar 0,3m) juga direncanakan sebesar 0,4m. Seerti perencanaan sebelumnya, perencanaan pondasi mesin untuk kelompok II ini dengan ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.20). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.35-4.38.



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.34 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	0,0000781	0,01458	0,397	0,118
2	0,6	1	0,0000755	0,01381	0,383	0,112
3	0,7	1,1	0,0000730	0,01315	0,371	0,106

Tabel 4.20 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
4	0,8	1,2	0,0000708	0,01258	0,360	0,102

Tabel 4.21 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,5	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
2	0,6	1	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
3	0,7	1,1	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
4	0,8	1,2	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

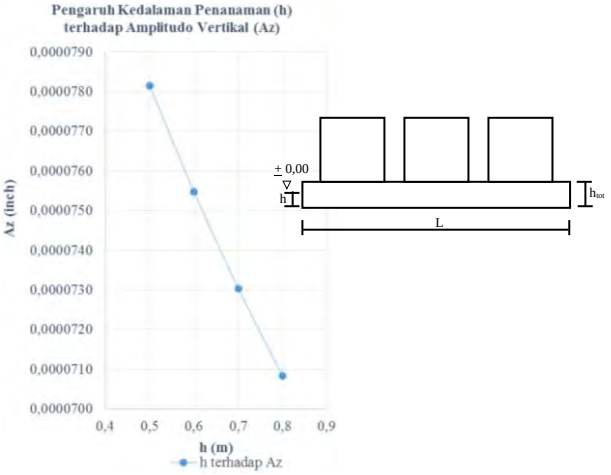
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.20.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

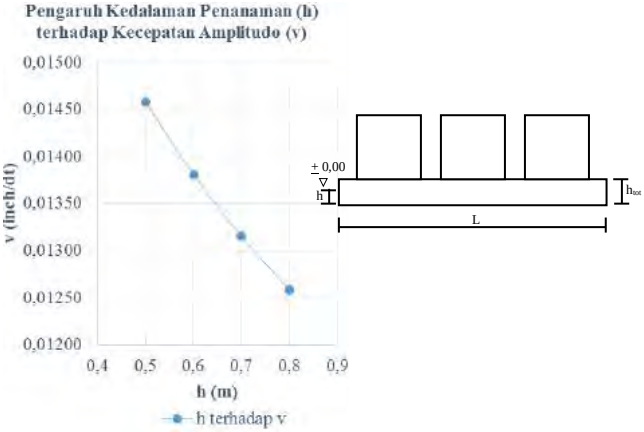
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,5	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,6	1	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,7	1,1	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
4	0,8	1,2	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.20.

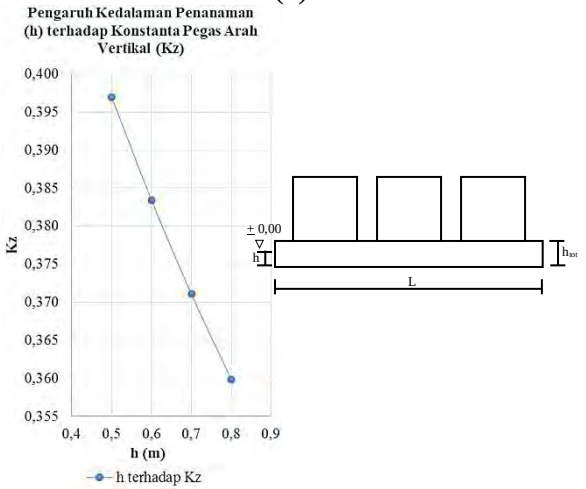
Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.20 dan grafik pada gambar 4.35-4.38 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.



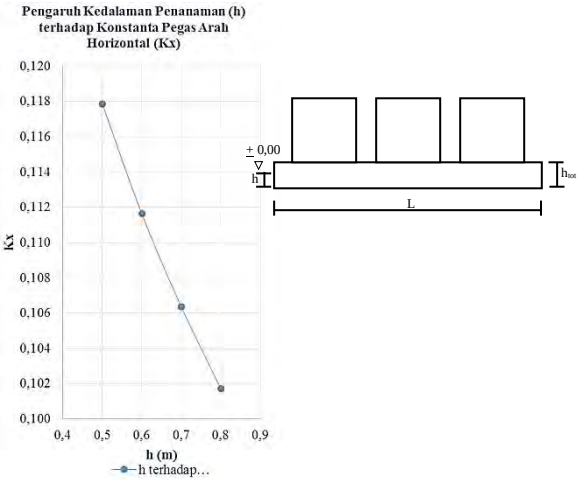
Gambar 4.35 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.36 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v)

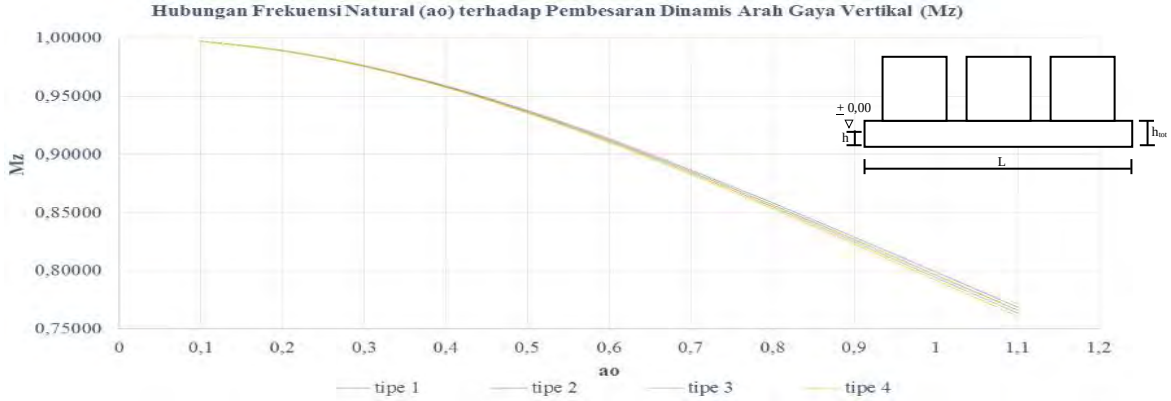


Gambar 4.37 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)



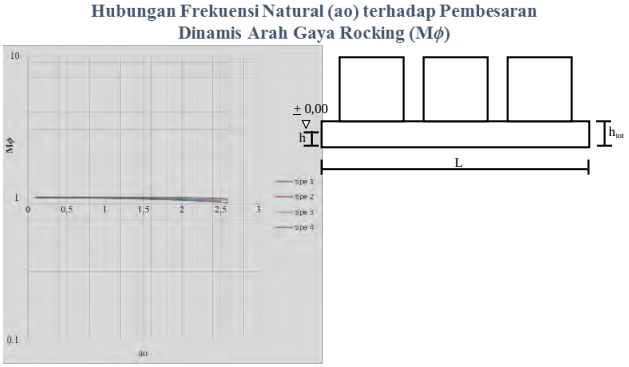
Gambar 4.38 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

Grafik pada gambar 4.35-4.38 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6m , L=19,5 m dan h_{tot} sesuai tabel 4.20. Pada kali ini, tidak diperjelaskan salah satu contoh perhitungan, dikarenakan cara perhitungannya sama halnya ketika tinggi muka tanah 0,3 m. Dibawah ini grafik untuk semua jenis mesin.



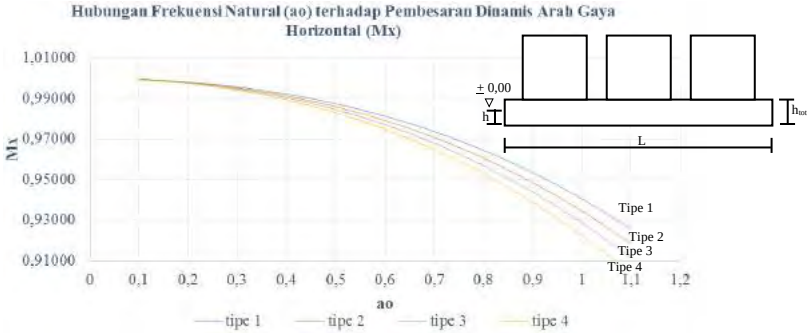
Gambar 4.39 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_z = 0,2.



Gambar 4.40 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking ($M\phi$)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_ϕ = 0,02.



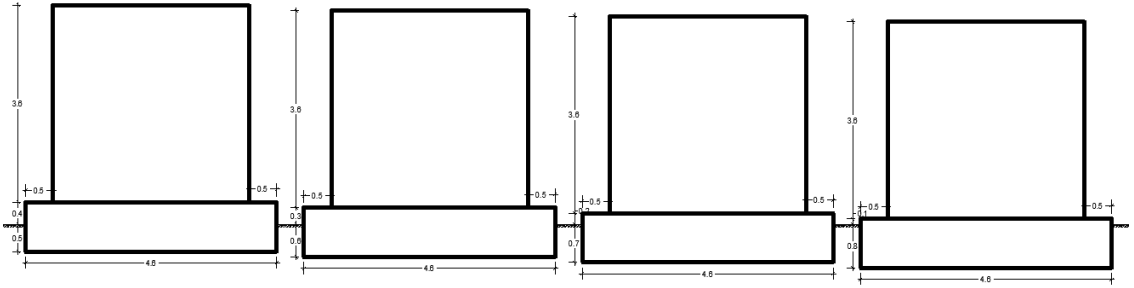
Gambar 4.41 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_x = 0,2.

4.4. Pengaruh Ketebalan Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin

4.4.1. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok I

Pada perencanaan ini adalah ketebalan pondasi sama tetapi ketinggian pondasi di muka tanah berbeda. Penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut (dimensi pondasi yang dihitung dibawah ini sesuai pada sub bab 4.2.1 untuk ketebalan 0,9m):



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.42 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m

a. Nilai modulus geser

Data tanah yang diperoleh dari hasil tes sondir sebagai berikut:

Tabel 4.23 Data Tanah

Depth (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Tabel 4.24 Perhitungan Modulus Geser (Gs)

h (m)	**PI**	**Ko**	**γt (Kg/m^3)**	**$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)**	**$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)**	**$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)**	**e**	**Z/ro**	**Δσv / qo**	**P/a (Kg/m^2)**	**$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)**
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430			0	1641,182

Tabel 4.24 Perhitungan Modulus Geser (Gs) (Lanjutan)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,000	0,500	2049,900	3925,537
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,023	0,497	2035,805	4145,896
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,046	0,493	2021,709	4366,256
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,069	0,490	2007,614	4586,615
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,092	0,486	1993,519	4806,975
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,115	0,483	1979,424	5027,334
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,138	0,479	1965,329	5247,694
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,160	0,476	1951,234	5468,053
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,183	0,472	1937,139	5688,413

$\overline{\sigma_v}$ = 3925,537 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1570,215 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2352,967 Kg/m^2
G = 15.319.243,875 Kg/m^2

b. Terhadap gaya vertikal

Ekuivalen radius, $r_{o\,z} = \sqrt{\frac{B\,.\,L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\text{m}\ .\ 13\text{m}}{\pi}}$

$= 4{,}363$ m

Rasio massa, $B_z = \frac{(1-v)}{4}\frac{W}{\gamma\,.r_o^3}$

$= \frac{(1-0{,}4)}{4}\frac{245168\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\ .\ (4{,}363\ \text{m})^3}$

$= 0{,}189$

Koefisien penanaman, $\eta_z = 1 + 0{,}6\,(1-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}6\,(1 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}8\ \text{m}}{4{,}363\text{m}}\right)$

$= 1{,}066$

Konstanta pegas, $k_z = \frac{G}{1-v}\,\beta_z\,\sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$

$= \frac{15319243{,}875\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ 2{,}2\ \sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,13\text{m}}\ 1{,}066$

$= 463037918{,}437$ Kg/m

Faktor daping rasio penanaman, $\alpha_z = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}8\ \text{m}}{4{,}363\ \text{m}}}{\sqrt{1{,}066}}$

$= 1{,}171$

Damping rasio, $D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}\,\alpha_z$

$= \frac{0{,}425}{\sqrt{0{,}189}}\ 1{,}171$

$= 1{,}145$

$D_z > 0{,}5\sqrt{2}$ maka $\omega_{res\,z}$ khayal

$1{,}145 > 0{,}7011$ $\omega_{res\,z}$ khayal

Frekuensi natural, $\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}}$

$$= \sqrt{\frac{463037918{,}437 \ \text{Kg/m}}{24991{,}641 \ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$$

$$= 136{,}117 \ \text{rad/det}$$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2 \,.\, \pi \,.\, f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nz}}}$

$$= \frac{2 \,.\, \pi \,.\, 3000 \ \text{rpm}}{\frac{60}{136{,}117 \ \text{rad/det}}}$$

$$= 2{,}308$$

Pembesaran dinamis, $M_z = \frac{1}{\sqrt{(2 \,.\, D_z \,.\, r)^2 + [(1 - r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2 \,.\, 1{,}145 \,.\, 2{,}308)^2 + \left[(1 - 2{,}308^2)\right]^2}}$$

$$= 0{,}146$$

Amplitudo, $A_z = \frac{Q_o}{K_z \sqrt{(1 - r^2)^2 + (2 \,.\, D_z \,.\, r)^2}}$

$$= \frac{3{,}863 \ \text{T}}{\frac{463037918{,}437}{1000} \ \text{Kg/m} \sqrt{\frac{(1 - 2{,}308^2)^2}{+(2 \,.\, 1{,}145 \,.\, 2{,}308)^2}}}$$

$$= 1{,}222 \,.\, 10^{-6} \ \text{m}$$

$$= 0{,}001 \ \text{mm}$$

c. Terhadap gaya rocking

$$M_{mo} = \left[\frac{W_{mesin}}{g} \,.\, (h_{tot} + \text{pusat berat mesin})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{W_{pondasi}}{g}\right)}{12} \,.\, (L^2 + h_{tot}^2)\right] + \left[\frac{W_{pondasi}}{g} \,.\, (0{,}5 \,.\, h_{tot})^2\right]$$

$$= \left[\frac{116000 \ \text{Kg}}{9{,}81 \ \text{m/dt}^2} \,.\, (0{,}9\text{m} + 0{,}75 \ \text{m})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{129168 \ \text{Kg}}{9{,}81 \ \text{m/dt}^2}\right)}{12} \,.\, ((13 \ \text{m})^2 + (0{,}9\text{m})^2)\right] + \left[\frac{129168 \ \text{Kg}}{9{,}81 \ \text{m/dt}^2} \,.\, (0{,}5 \,.\, 0{,}9\text{m})^2\right]$$

$$= 221182{,}606 \ \text{Kg dt}^2$$

$M_m = M_{mo} - (m \,.\, z^2)$

$= 221182{,}606 \text{ Kg dt}^2 - (24991{,}641 \text{ Kg dt}^2/\text{m} - (1{,}018 \text{ m})^2)$

$= 195294{,}670 \text{ Kg m dt}^2$

Ekuivalen radius, $r_o = \sqrt[4]{\frac{B \,.\, L^3}{3 \,.\, \pi}}$

$= \sqrt[4]{\frac{4{,}6m \,.\, (13m)^3}{3 \,.\, \pi}}$

$= 5{,}722 \text{ m}$

Inersia rasio, $B_\phi = \frac{3\,(1-\nu)}{8} \frac{M_{mo}}{\rho \,.r_o^5}$

$= \frac{3\,(1-0{,}4)}{8} \frac{195294{,}67 \text{ Kg m dt}^2}{\frac{2345 \text{ Kg/m}^3}{9{,}81 \text{ m/dt}^2}\ 5{,}722^5 \text{ m}}$

$= 0{,}0299$

Koefisien penanaman,

$\eta_\phi = 1 + 1{,}2 \,.\, (1-\nu) \,.\left(\frac{h}{r_o}\right) + 0{,}2 \,.\, (2-\nu) \,.\left(\frac{h}{r_o}\right)^3$

$= 1 + 1{,}2 \,.\, (1-0{,}4) \,.\left(\frac{0{,}8 \text{ m}}{5{,}722 \text{ m}}\right) + 0{,}2 \,.\, (2 - 0{,}4) \,.\left(\frac{0{,}8 \text{ m}}{5{,}722 \text{ m}}\right)^3$

$= 1{,}102$

Konstanta pegas, $K_\phi = \frac{G}{1-\nu} \beta_\phi B \,.\, L^2 \eta_\phi$

$= \frac{15319243{,}875 \frac{\text{Kg}^2}{\text{m}}}{1-0{,}4} 0{,}4 \,.\ 4{,}6 \text{ m} \,.\, 13^2 \text{ m} \,.\, 1{,}102$

$= 8745614740{,}035 \text{ Kg/m}$

Faktor damping rasio, $\alpha_\phi = \frac{1+0{,}7(1-\nu)\frac{h}{r_o}+0{,}6\,(2-\nu)\left(\frac{h}{r_o}\right)^3}{\sqrt{\eta_\phi}}$

$1+0{,}7(1-0{,}4)\frac{0{,}5 \text{ m}}{5{,}722 \text{ m}}+0{,}6$

$= \frac{(2-0{,}4)\left(\frac{0{,}5 \text{ m}}{5{,}722 \text{ m}}\right)^3}{\sqrt{1{,}102}}$

$= 1{,}011$

Damping rasio, $D_\phi = \frac{0{,}15}{(1+n_\phi \,.\, B_\phi)\sqrt{n_\phi \,.\, B_\phi}} \alpha_\phi$

$$= \frac{0,15}{(1+1,6\ .\ 0,0299)\sqrt{1,6\ .\ 0,0299}}\ 1,011$$
$$= 0,661$$

Frekuensi natural, $\omega_{n\emptyset} = \sqrt{\frac{K_\emptyset}{Mm}}$

$$= \sqrt{\frac{8745614740,035\ Kg/m}{195294,670\ Kg\ dt^2/m}}$$
$$= 211,617\ rad/dt$$

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{n\emptyset}}}$

$$= \frac{2\ .\ \pi\ .\ 3000\ rpm}{\frac{60}{211,617\ rad/dt}}$$
$$= 1,485$$

Pembesaran dinamis, $M_\emptyset = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_\emptyset\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0,661\ .\ 1,485)^2 + [(1-1,485^2)]^2}}$$
$$= 0,434$$

Amplitudo, $A_\emptyset = \frac{Q_o\ .\ (e_z + h_{tot})\ .\ M_\emptyset}{K_\emptyset}$

$$= \frac{3,864\ t\ .\ (0,75m + 0,9m)\ .\ 0,434}{\frac{8745614740,035\ Kg/m}{1000}}$$
$$= 3,164\ .\ 10^{-7}\ radial$$
$$= 0,00000205\ m$$

d. Terhadap gaya horizontal

Ekuivalen radius, $r_{ox} = \sqrt{\frac{B\ .\ L}{\pi}}$

$$= \sqrt{\frac{4,6\ m\ .\ 13\ m}{\pi}}$$
$$= 4,363\ m$$

Rasio massa, $B_x = \frac{(7-8\ .v)}{32\ .\ (1-v)} \frac{W}{\gamma\ .r_o^3}$

$$= \frac{(7-8\ .0,4)}{32\ .\ (1-0,4)} \frac{245168\ Kg}{2345\ Kg/m^3\ .\ 4,363^3 m}$$
$$= 0,249$$

Koefisien penanaman, $\eta_x = 1 + 0{,}55\ (2 - v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}55\ (2 - 0{,}4)\left(\frac{0{,}8\ m}{4{,}363}\right)$

$= 1{,}161$

Kostanta pegas, $K_x = 2\ .\ (1 + v)\ .\ G\ .\ \beta_x\sqrt{B\ .\ L}\ \eta_z$

$= 2\ .\ (1 + 0{,}4)\ .\ 15319243{,}875\ Kgm^2\ .\ 1\ .\sqrt{4{,}6m\ .\ 13m}\ 1{,}161$

$= 385104127{,}219\ Kg/m$

Faktor damping rasio penanaman, $\alpha_x = \frac{1+1{,}9\ (1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_x}}$

$= \frac{1+1{,}9\ (1-0{,}4)\frac{0{,}8\ m}{4{,}363}}{\sqrt{1{,}161}}$

$= 1{,}445$

Damping rasio, $D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}}\alpha_x$

$= \frac{0{,}288}{\sqrt{0{,}249}}1{,}445$

$= 0{,}834$

Frekuensi natural, $\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m}}$

$= \sqrt{\frac{385104127{,}219\ Kg/m}{24991{,}641\ Kg\ dt^2/m}}$

$= 124{,}134\ rad/dt$

Frekuensi rasio, $r = \frac{\frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{60}}{\omega_{nx}}$

$= \frac{\frac{2\ .\ \pi\ .3000\ rpm}{60}}{124{,}134\ rad/dt}$

$= 2{,}531$

Pembesaran dinamis, $M_x = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_x\ .\ r)^2+[(1-r^2)]^2}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0{,}834\ .\ 2{,}531)^2 + [(1-2{,}531^2)]^2}}$$

$$= 0{,}146$$

Amplitudo, $A_x = \frac{Q_o}{K_x \sqrt{(1-r^2)^2+(2\ .\ D_x\ .\ r)^2}}$

$$= \frac{3{,}863\ \text{t}}{\frac{385104127{,}219\ \text{Kg/m}}{1000} \sqrt{\frac{(1-2{,}531^2)^2}{+(2.\ 0{,}834\ .\ 2{,}531)^2}}}$$

$$= 1{,}463\ .\ 10^{-6}\ \text{m}$$

$$= 0{,}001\ \text{mm}$$

e. Kombinasi rocking dan lateral

Rasio momen inersia massa, $\gamma = \frac{Mm}{Mm_o}$

$$= \frac{195294{,}670\ \text{Kgm det}^2}{221182{,}606\ \text{Kgm det}^2}$$

$$= 0{,}883$$

Frekuensi natural kopel,

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

$$= \left[\left((314{,}16\ \text{rad/dt})^4 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\left\{\frac{(211{,}617\ \text{rad/dt})^2 + (124{,}134\ \text{rad/dt})^2}{0{,}883} - \frac{4.\ 0{,}834\ .\ 0{,}661\ .\ 124{,}134\ \text{rad/dt}\ .\ 211{,}617\ \text{rad/dt}}{0{,}883}\right\} + \frac{(124{,}134\ rad/dt)^2.(211{,}617\ rad/dt)^2}{0{,}883}\right)^2 + 4\left\{0{,}834\frac{124{,}134\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}883}((211{,}617\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2) +\right.$$

$$\frac{0{,}661\ .\ 211{,}617\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}883}((124{,}134\ rad/dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2)\Big\}^2\Big]^{1/2}$$

$$= 15.993.579.418{,}29$$

Amplitudo lateral pada titik berat total (sumbu x)

$$A_{x1} = \frac{\text{My}\ .\ \text{L}}{\text{Mm}}\ \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 + (2\ .\ D_x\ .\ \omega_{nx})^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{2442{,}804\ \text{Kgm}\ .\ 1{,}018\ m}{195294{,}670\ \text{Kg det}^2}\ \frac{\left[\begin{matrix}((124{,}134\ \text{rad/dt})^2)^2 + \\ (2\ .\ 0{,}834\ .\ 124{,}134\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15993579418{,}29}$$

$$= 5{,}321\ .\ 10^{-8}\ \text{m}$$

$$A_{x2} = \frac{Qo}{m\ .\ Mm}\ \frac{\left[\begin{matrix}(-Mm\ .\ \omega^2 + k_\emptyset + L^2\ .\ k_x)^2 + 4\ \omega^2 \\ (D_\emptyset\ .\ \sqrt{k_\emptyset\ .\ M_{mo}} + L^2\ .\ D_x\ .\sqrt{k_x\ .\ m})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3{,}864\ \text{t}\ .\ 1000}{24991{,}641\ \text{Kg dt}^2/\text{m}\ .\ 195294{,}670\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{array}{c}\left(\begin{array}{c}-195294{,}670\ \text{Kgm dt}^2\ .\\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\\ +\ 8745614740{,}035\ \text{Kg/m}\\ +(1{,}018\ \text{m})^2\ .\\ 385104127{,}219\ \text{Kg/m}\\ +\ 4\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{array}\right)^2\\ \left(\begin{array}{c}0{,}661\ .\\ \sqrt{\begin{array}{c}8745614740{,}035\ \text{Kg/m}\ .\\ 195294{,}670\ \text{Kgm dt}^2\end{array}}\end{array}+\begin{array}{c}(1{,}018\text{m})^2\ .\\ \left(\begin{array}{c}0{,}834\ .\\ \sqrt{\begin{array}{c}385104127{,}219\ \text{Kg/m.}\\ 24991{,}641\ \text{Kg dt}^2\text{/m}\end{array}}\end{array}\right)\end{array}\right)^2\end{array}\right]^{1/2}}{15993579418{,}29}$$

$= 1{,}108\ .\ 10^{-6}$ m

Amplitudo rocking (rotasi terhadap sumbu y)

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

$$= \frac{2442{,}804\ \text{Kgm}}{195294{,}670\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{array}{c}\left(\begin{array}{c}\left(124{,}134\ \frac{\text{rad}}{\text{dt}}\right)^2 -\\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{array}\right)^2 +\\ \left(\begin{array}{c}2\ .\ 0{,}834\ .\ 124{,}134\ \text{rad/dt.}\\ 314{,}16\ \text{rad/dt}\end{array}\right)^2\end{array}\right]^{1/2}}{15993579418{,}29}$$

$= 8{,}265\ .\ 10^{-8}$ m

$$A_{\emptyset 2} = \frac{Q_o\ .\ L}{M_m}\ \frac{\omega_{nx}\ .\ [\omega_{nx}^2 + 4\ .\ D_x\ .\omega^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3{,}863\ \text{t} \,.\ 1000 \,.\ 1{,}018}{195294{,}670\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{124{,}134\ \text{rad/dt} \,.\ \left[\begin{matrix}(124{,}134\ \text{rad/dt})^2 \\ +\ 4\ .\ 0{,}834\ . \\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{15993579418{,}29}$$

$= 9{,}175 \,.\, 10^{-8}$ m

f. Besaran amplitudo total

A_z total = $A_z + A_{z\,max}$

$= A_z + (0{,}5 \,.\, L \,.\, (A_{\phi 1} + A_{\phi 2})$

$= 1{,}222 \,.\, 10^{-6}$ m + [0,5 . 13m . ($8{,}265 \,.\, 10^{-8}$ m + $9{,}175 \,.\, 10^{-8}$ m)]

$= 2{,}355 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,0000927 inch

A_x total = $A_{x\,max}$

$= (A_{x1} + A_{x2}) + [(h_{tot}$ + pusat berat mesin – z) . $(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})]$

$= (5{,}321 \,.\, 10^{-8}$ m + $1{,}108 \,.\, 10^{-6}$ m) + [(0,9 + 0,75 – 1,018).($8{,}265.10^{-8}$ m + $9{,}175.10^{-8}$ m)]

$= 1{,}271 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,00005 inch

A_y total = 0 m

g. Analisa persyaratan keamanan desain pondasi mesin

Pondasi mesin tipe blok yang direncanakan ini untuk menopang dua mesin tipe *rotary* dengan frekuensi 3000 rpm. Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang berkerja pada sumbu x dan z. Akibat gaya dinamis, maka timbul amplitudo sebesar:

- Arah z sebesar = $2{,}355 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,0000927 inch
- Arah x sebesar = $1{,}271 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,00005 inch
- Arah y sebesar = 0 m

Karena tidak ada gaya tau momen yang bekerja pada arah ini.

Nilai masing-masing amplitude tersebut harus dicek memenuhi persyaratan *design*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kontrol amplitudo arah vertikal (A_z)
   Pengecekan menggunakan grafik pada gambar 2.6. Dengan memasukan nilai frequensi mesin dengan nilai $A_{z\ total}$, maka termasuk kategori *"Barely Noticeable to Person"*. Maka amplitude vertikal yang terjadi termasuk kategori yang hampir tidak terasa pada lingkungan sekitar mesin. Batas maksimum amplitudo termasuk pada kategori "*Easily Noticable to Person"*, dan yang terjadi masih dibawah batas maksimum. Sehingga kondisi aplitudo vertikal memenuhi syarat.
2. Kontrol amplitudo arah horizontal (A_x)
   Pengecekan menggunakan tabel 2.10, dengan kecepatan amplitudo sebagai berikut:
   $v = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{mesin}}{60} \cdot A_{x\ total}$
   $= 2 \cdot \pi \cdot \frac{3000\ rpm}{60} \cdot 0{,}00005$ inch
   $= 0{,}0157$ in/dt
   Dari hasil kecepatan amplitudo dikontrol menggunakan tabel 2.10 termasuk kategori *"smooth"*. Persyaratan maksimal kecepatan amplitudo pada batasan *"good"*, dikarenakan kecepatan amplitudo yang terjadi dibawah batasan maksimum, maka kecepatan amplitudo memenuhi syarat.
3. Kontrol gaya pegas (K_{value})
   Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah vertikal sebagai berikut:
   $K_z = 0{,}2 \cdot A_{z\ tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)
   $= 0{,}2 \cdot 2{,}355$ micro

= 0,471

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah horizontal sebagai berikut:

$K_x = 0,2 \cdot A_{x\,tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)

= 0,1 . 1,271 micro

= 0,127

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

h. Kontrol daya dukung tanah

1. Daya dukung tanah (q_{ult}) dibawah pondasi mesin

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (qult) sebagai berikut:

Dari data tanah diperoleh data sebagai berikut:

Sudut geser tanah (ϕ) = 32°,

γ_t = 2345 Kg/m^3

c = 0,027

Dengan menggunakan tabel 2.13 maka nilai N_c, N_γ, N_q sebesar:

N_c = 35,47

N_γ = 30,2

N_q = 23,2

Letak dasar pondasi mesin jauh dari muka air tanah, maka:

$q = \gamma_t \cdot Df$

= 2345 Kg/m^3 . 0,8 m

= 1875,637 Kg/m^2

$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,4 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma$

= 1,3 . 0,027 . 35,47 + 1875,637 Kg/m^2 . 23,2 + 0,4 . 2345 Kg/m^3 . 4,6 m . 30,2

= 173797,779 Kg/m^2

2. Besar daya dukung tanah yang diijinkan (q_{ijin})

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{SF}$$
$$= \frac{173797{,}779\ \text{Kg/m}^2}{3}$$
$$= 57932{,}593\ \text{Kg/m}^2$$

3. Besar tegangan tanah yang terjadi

Akibat beban statis (σ_{statis})

$$\sigma_{statis} = \frac{W_{tot}}{B\,.\,L} - \gamma_t\,.\,D_f$$
$$= \frac{245168\ \text{Kg}}{4{,}6\ \text{m}\,.\,13\ \text{m}} - 2345\text{Kg/m}^3\,.\,0{,}8\ \text{m}$$
$$= 2224{,}162\ \text{Kg/m}^2$$

Akibat beban statis + beban dinamis ($\sigma_{statis+dinamis}$)

Persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah kurang dari 50% daya dukung tanah dn untuk daya dukung statis dinamis adalah 75% daya dukung ijin tanah. Hasil control sebagai berikut:

$\sigma_{statis} < 50\%\,.\,q_{ijin}$

$2693{,}072\ \text{Kg/m}^2 < 50\%\,.\,57932{,}593\ \text{Kg/m}^2$

$2693{,}072\ \text{Kg/m}^2 < 28966{,}297\ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Dan

$$\sigma_{statis+dinamis} < 75\%\,.\,q_{ijin}$$

$$\frac{W_{tot} + P_z\,.\,n}{B\,.\,L} \pm \frac{\begin{bmatrix} -P_{z1}\,.\,x_1 + \\ P_{z2}\,.\,x_2 \\ +\,2\,.\,P_x\,. \\ (\text{Pusat berat mesin} + h_{tot}) \end{bmatrix} + M_y}{\frac{1}{6}\,.\,B\,.\,L^2} < 75\%\,.\,q_{ijin}$$

$$\frac{245168\ \text{Kg} + 1521{,}387\ \text{Kg}\,.\,2}{13\ \text{m}\,.\,4{,}6\text{m}} \pm$$

$$\frac{\begin{bmatrix} -1521{,}387\ \text{Kg}\,.\left(\frac{5{,}5m}{2}+\frac{1m}{2}\right) + \\ 1521{,}387\ \text{Kg}\,.\left(\frac{5{,}5m}{2}+\frac{1m}{2}\right) \\ +\,2\,.\,1221{,}973\ \text{Kg}\,. \\ (0{,}75\ \text{m} + 0{,}9\ \text{m}) \end{bmatrix} + 2442{,}804\ \text{Kgm}}{\frac{1}{6}\,.\,4{,}6\text{m}\,.\,(13\ \text{m})^2} < 75\%.57932{,}593\text{Kg/m}^2$$

Untuk yang positif:

$4200{,}659\ \text{Kg/m}^2 < 43449{,}445\ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Untuk yang negatif:
4100,705 Kg/m^2 < 43449,445 Kg/m^2 (memenuhi)

4.4.1.1. Grafik Rasio Redaman

Perencanaan pondasi mesin untuk kelompok I dengan ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penaman berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.25). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.43-4.46.

Tabel 4.25 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	0,0000945	0,01609	0,47991	0,13011
2	0,6	0,9	0,0000939	0,01595	0,47682	0,12899
3	0,7	0,9	0,0000933	0,01583	0,47395	0,12798
4	0,8	0,9	0,0000927	0,01572	0,47105	0,12709

Tabel 4.26 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,5	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
2	0,6	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.25

Tabel 4.26 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
3	0,7	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
4	0,8	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.25

Tabel 4.27 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

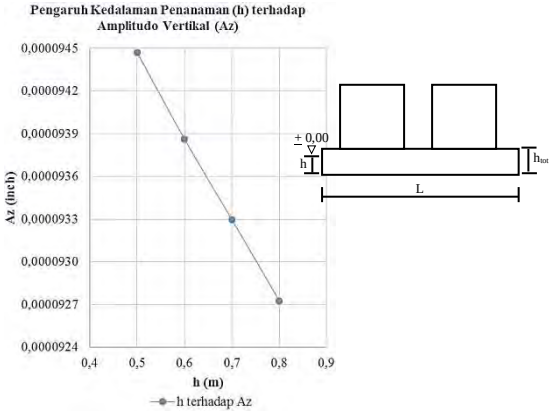
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,5	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,6	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,7	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.25

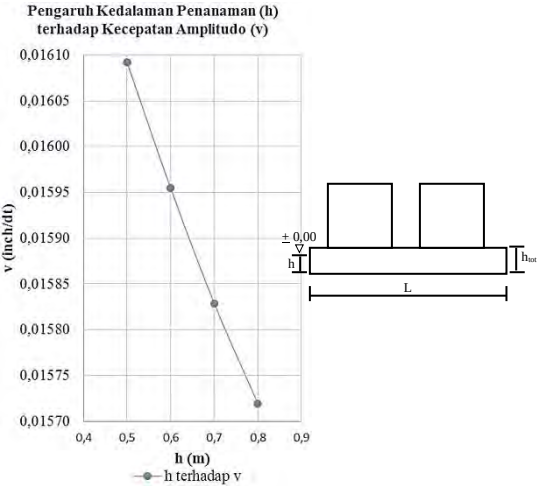
Tabel 4.27 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
4	0,8	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

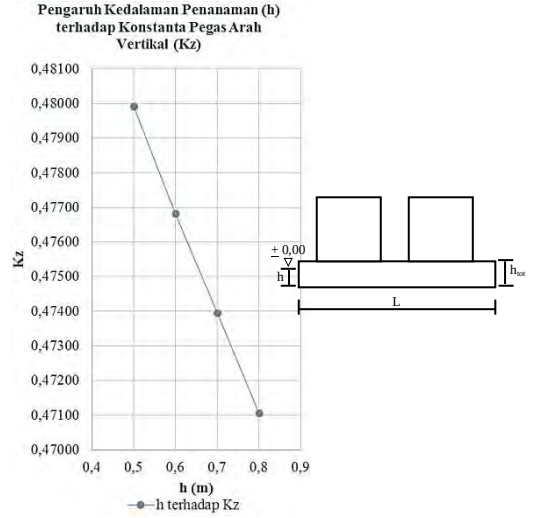
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.25



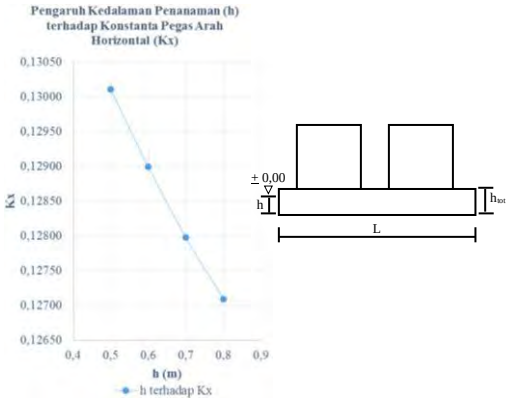
Gambar 4.43 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.44 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo (v)



Gambar 4.45 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)



Gambar 4.46 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.25 dan grafik pada gambar 4.43-4.46 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding lurus amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

Grafik pada gambar 4.43-4.46 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6 m , L=13 m dan h_{tot} sesuai tabel 4.25. Perhitungan ini hanya untuk tipe 1, untuk tipe

yang lain rumus yang digunakan sama. Perhitungan sebagai berikut:

a. Terhadap gaya vertikal

$$M_z = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_z \,/\, \gamma \,/ r_0^2\right)^2 + 4 \,.\, D_z^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_z \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right)^2 + \\ 463037918{,}437 \,/\, 2345 \,/ 4{,}363^2 \\ 4 \,.\, 1{,}145^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 463037918{,}437 \,/\, 2345 \,/\, 4{,}363^2\end{matrix}\right]}}$$

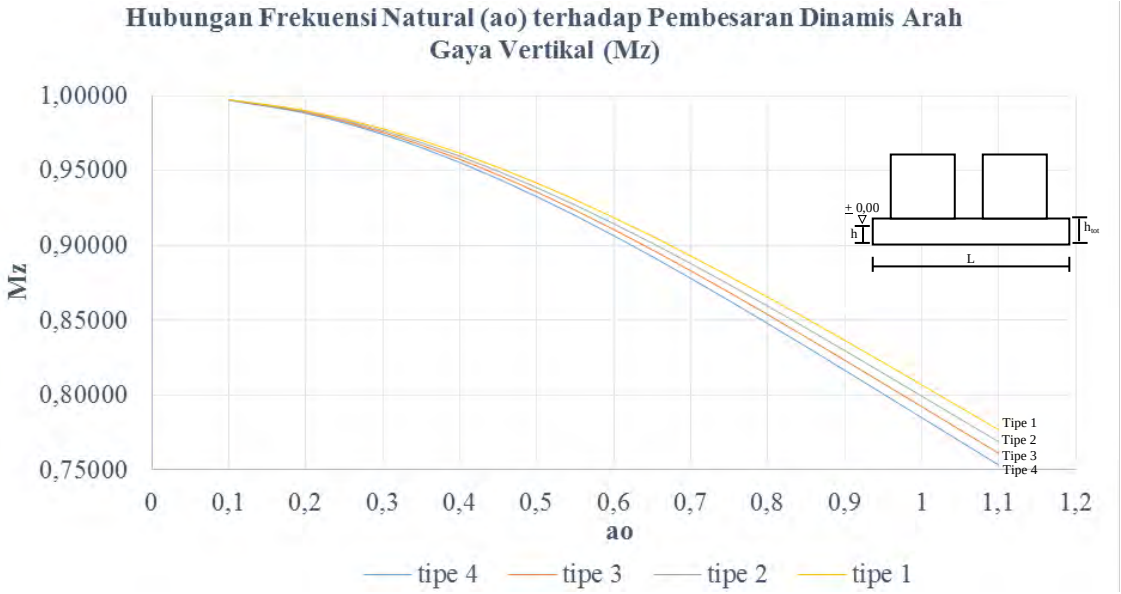
$$= 0{,}99706$$

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.28.

Tabel 4.28 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99750	0,99736	0,99721	0,99706
0,2	0,99010	0,98953	0,98898	0,98839
0,3	0,97806	0,97682	0,97562	0,97436
0,4	0,96179	0,95970	0,95768	0,95556
0,5	0,94181	0,93875	0,93581	0,93272
0,6	0,91870	0,91463	0,91073	0,90665
0,7	0,89308	0,88801	0,88318	0,87813
0,8	0,86556	0,85956	0,85386	0,84792
0,9	0,83669	0,82987	0,82341	0,81670
1	0,80699	0,79947	0,79238	0,78504
1,1	0,77690	0,76883	0,76124	0,75340

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.25.



Gambar 4.47 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,9m; B_z = 0,2.

Dari hasil pada tabel 4.28, menghasilkan grafik pada gambar 4.47. Grafik pada gambar 4.47 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.29, dan B_z = 0,2. Maka dengan grafik pada gambar 4.47 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya vertikal didapatkan nilai M_z tiap-tiap tipe pondasi mesin.

b. Terhadap gaya rocking

$$M_\phi = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_{mo} / K_\phi / \gamma / r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_\phi^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\\ M_{mo} / K_\phi / \gamma / r_o^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 195294{,}670 / \right.\\ \left. 8745614740{,}035 / 2345 / 5{,}722^2\right)^2 + \\ 4 \,.\, 0{,}6610^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 195294{,}670 / \\ 8745614740{,}035 / 2345 / 5{,}722^2\end{matrix}\right]}}$$

= 1,00006

Perhitungan M_ϕ lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**
tipe 1		**tipe 2**		**tipe 3**		**tipe 4**	
0,1	1,00006	0,1	1,00006	0,1	1,00006	0,1	1,00006
0,2	1,00024	0,2	1,00024	0,2	1,00023	0,2	1,00022
0,3	1,00054	0,3	1,00053	0,3	1,00051	0,3	1,00049
0,4	1,00095	0,4	1,00092	0,4	1,00089	0,4	1,00086
0,5	1,00147	0,5	1,00142	0,5	1,00137	0,5	1,00132

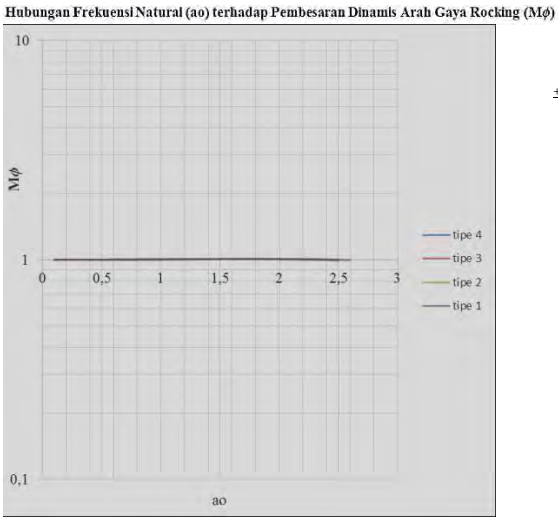
Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.25.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**	**ao**	**Mϕ**
tipe 1		**tipe 2**		**tipe 3**		**tipe 4**	
0,6	1,00208	0,6	1,00201	0,6	1,00194	0,6	1,00187
0,7	1,00277	0,7	1,00268	0,7	1,00258	0,7	1,00248
0,8	1,00352	0,8	1,00340	0,8	1,00328	0,8	1,00316
0,9	1,00432	0,9	1,00417	0,9	1,00402	0,9	1,00387
1	1,00514	1	1,00497	1	1,00479	1	1,00460
1,1	1,00596	1,1	1,00576	1,1	1,00555	1,1	1,00532
1,2	1,00676	1,2	1,00653	1,2	1,00628	1,2	1,00602
1,3	1,00750	1,3	1,00724	1,3	1,00696	1,3	1,00667
1,4	1,00816	1,4	1,00787	1,4	1,00756	1,4	1,00723
1,5	1,00870	1,5	1,00838	1,5	1,00804	1,5	1,00767
1,6	1,00908	1,6	1,00873	1,6	1,00836	1,6	1,00796

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.25.

Dari hasil pada tabel 4.29, menghasilkan grafik pada gambar 4.48. Grafik pada gambar 4.48 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.25, dan B_z = 0,03. Maka dengan grafik pada gambar 4.48 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya rocking didapatkan nilai M_ϕ tiap-tiap tipe pondasi mesin.



Gambar 4.48 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,9m; B_z = 0,03.

c. Terhadap gaya horizontal

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_x \,/\, \gamma \,/ r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_x^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_x \,/\, \gamma \,/\, r_o^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right)^2 + \\ 385104127{,}219 \,/\, 2345 \,/ 4{,}363^2 \\ 4 \,.\, 0{,}834^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 385104127{,}219 \,/\, 2345 \,/\, 4{,}363^2\end{matrix}\right]}}$$

= 0,99914

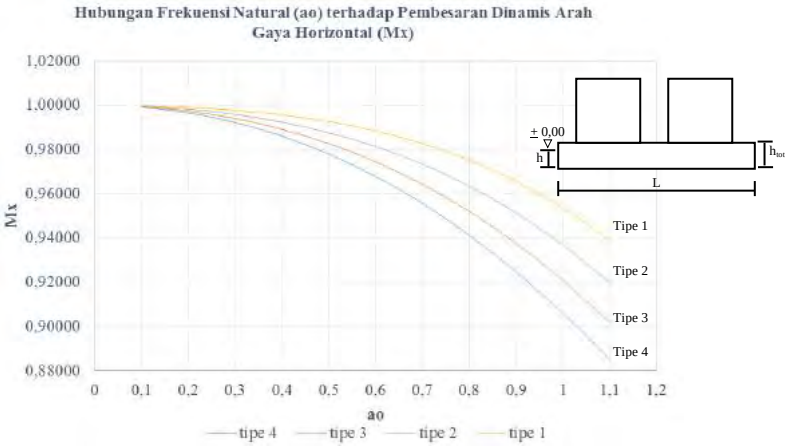
Perhitungan M_x lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99976	0,99956	0,99935	0,99914
0,2	0,99903	0,99820	0,99737	0,99656
0,3	0,99770	0,99585	0,99399	0,99221
0,4	0,99562	0,99237	0,98913	0,98601
0,5	0,99260	0,98760	0,98264	0,97790
0,6	0,98838	0,98132	0,97437	0,96776
0,7	0,98267	0,97332	0,96418	0,95554
0,8	0,97517	0,96337	0,95191	0,94115
0,9	0,96557	0,95125	0,93744	0,92458
1	0,95359	0,93678	0,92070	0,90584
1,1	0,93900	0,91986	0,90168	0,88501

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.25.

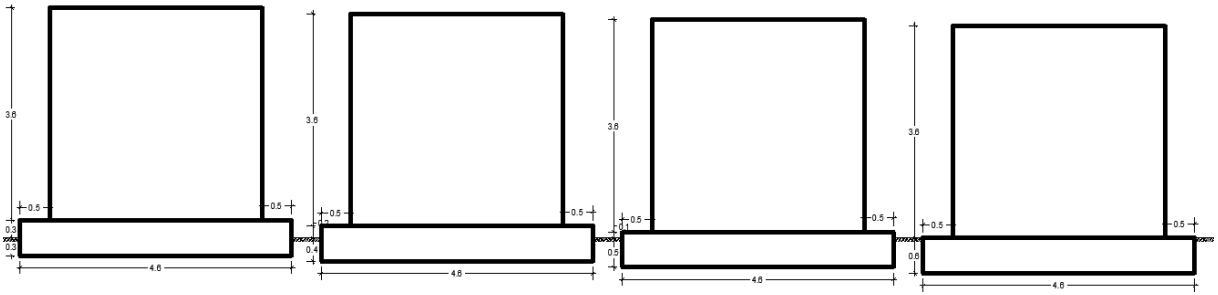
Dari hasil pada tabel 4.30, menghasilkan grafik pada gambar 4.49. Grafik pada gambar 4.49 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 13 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.26, dan B_x = 0,3. Maka dengan grafik pada gambar 4.49 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya horizontal didapatkan nilai M_x tiap-tiap tipe pondasi mesin.



Gambar 4.49 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,9m; B_x = 0,3.

Pada kelompok I ini selain dengan ketebalan pondasi sama (sebesar 0,9 m) juga direncanakan sebesar 0,6 m. Seperti perencanaan sebelumnya, perencanaan pondasi mesin untuk kelompok I ini dengan ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.31). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.51-4.53.



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.50 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,0001043	0,01961	0,530	0,159
2	0,4	0,6	0,0001035	0,01954	0,526	0,158
3	0,5	0,6	0,0001027	0,01947	0,522	0,157
4	0,6	0,6	0,0001019	0,01941	0,518	0,157

Tabel 4.32 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,3	0,6	*Easily Noticable to Person*	*very good*	aman
2	0,4	0,6	*Easily Noticable to Person*	*very good*	aman
3	0,5	0,6	*Easily Noticable to Person*	*very good*	aman
4	0,6	0,6	*Easily Noticable to Person*	*very good*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.31.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,3	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

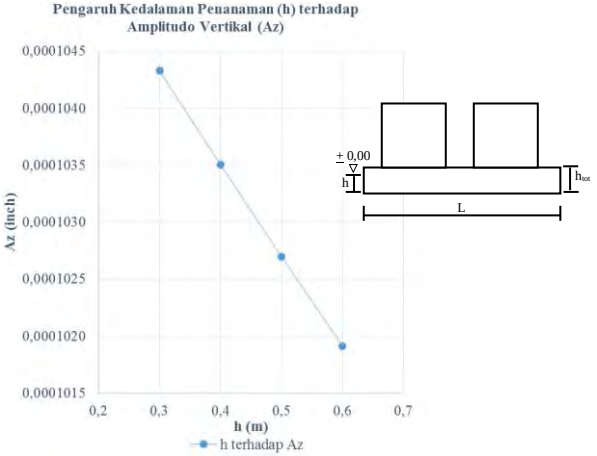
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.31.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda (Lanjutan)

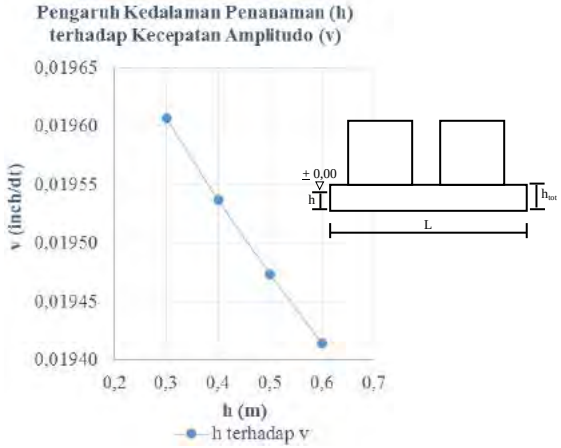
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
2	0,4	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,5	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
4	0,6	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.31.

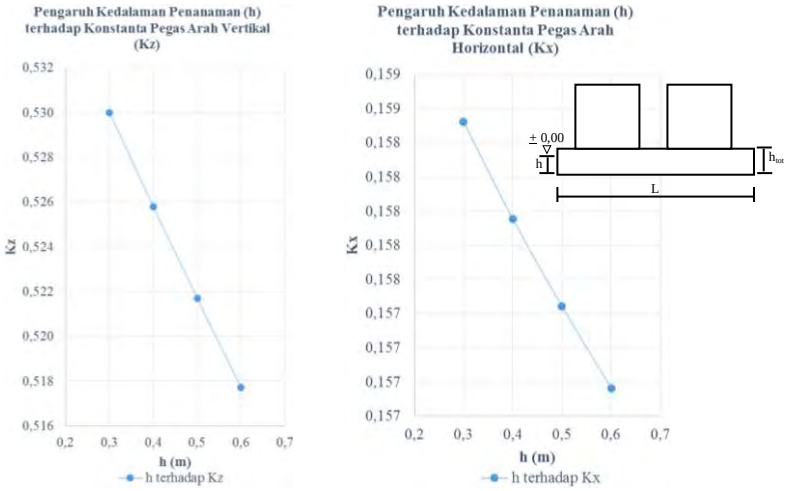
Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.31 dan grafik pada gambar 4.51-4.53 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.



Gambar 4.51 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



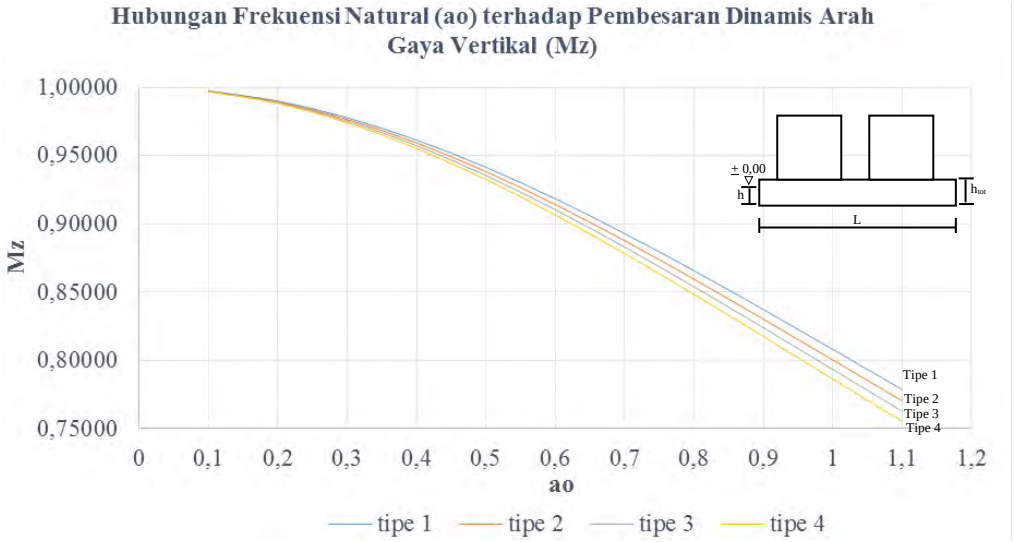
Gambar 4.52 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v)



(a) (b)

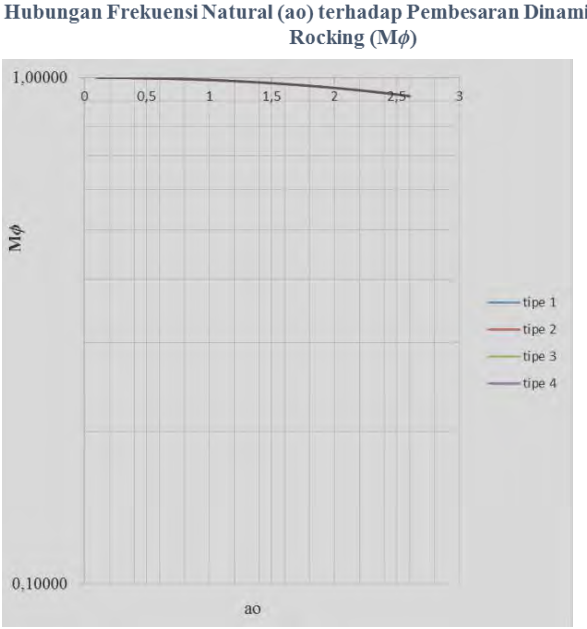
Gambar 4.53 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas
(a) Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)
(b) Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

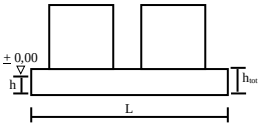
Grafik pada gambar 4.51-4.53 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6m , L=13m dan h_{tot} sesuai tabel 4.31. Pada kali ini, tidak diperjelaskan salah satu contoh perhitungan, dikarenakan cara perhitungannya sama halnya ketika h_{tot} = 0,9m. Dibawah ini grafik untuk semua jenis mesin.



Gambar 4.54 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

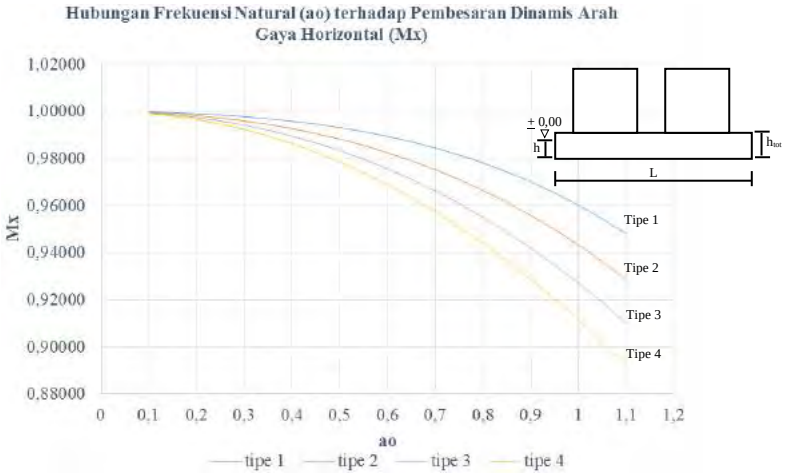
Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,6m; B_z = 0,1.





Gambar 4.55 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,6m; B_ϕ = 0,01.

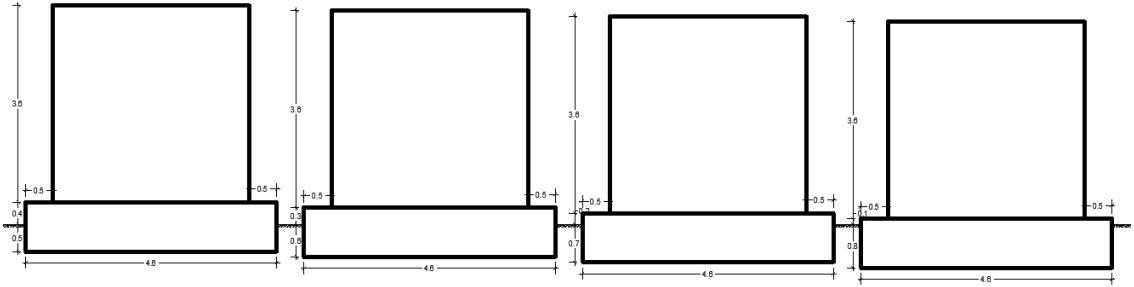


Gambar 4.56 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 13 m; h_{tot} = 0,6m; B_x = 0,2.

4.4.2. Perencanaan Pondasi Mesin untuk Kelompok II

Pada perencanaan ini adalah ketebalan pondasi sama tetapi ketinggian pondasi di muka tanah berbeda. Penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada satu pondasi, dan tiga pondasi yang lainnya tertera pada lampiran. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut (dimensi pondasi yang dihitung dibawah ini sesuai pada sub bab 4.2.2 untuk ketebalan 0,9m):



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.57 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m

a. Nilai modulus geser

Data tanah yang diperoleh dari hasil tes sondir sebagai berikut:

Tabel 4.34 Data tanah

Depth (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Tabel 4.35 Perhitungan Modulus Geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m³)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m²)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m²)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m²)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430			0	1641,182
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,000	0,500	2049,900	3925,537
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,019	0,497	2038,390	4148,482
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,037	0,494	2026,880	4371,426
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,056	0,492	2015,370	4594,371
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,075	0,489	2003,860	4817,316
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,094	0,486	1992,351	5040,261
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,112	0,483	1980,841	5263,206
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,131	0,480	1969,331	5486,150

$\overline{\sigma_v}$ = 3925,537 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1570,215 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2352,967 Kg/m^2
G = 15.319.243,875 Kg/m^2

b. Terhadap gaya vertikal

Ekuivalen radius, $r_{o\,z} = \sqrt{\frac{B\,.\,L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\text{m}\ .\ 19{,}5\ \text{m}}{\pi}}$

$= 5{,}343$ m

Rasio massa, $B_z = \frac{(1-v)}{4}\frac{W}{\gamma\,.r_o^3}$

$= \frac{(1-0{,}4)}{4}\frac{367752\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\ .\ (5{,}343\ \text{m})^3}$

$= 0{,}154$

Koefisien penanaman, $\eta_z = 1 + 0{,}6\,(1-v)\left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}6\,(1-0{,}4)\left(\frac{0{,}8\ \text{m}}{5{,}343\text{m}}\right)$

$= 1{,}054$

Konstanta pegas, $k_z = \frac{G}{1-v}\,\beta_z\,\sqrt{B\,.\,L}\,\eta_z$

$= \frac{15319243{,}875\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ 2{,}2\ \sqrt{4{,}6\text{m}\,.\,19{,}5\text{m}}\ 1{,}054$

$= 560719413{,}623$ Kg/m

Faktor daping rasio penanaman, $\alpha_z = \frac{1+1{,}9\,(1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_z}}$

$= \frac{1+1{,}9\,(1-0{,}4)\frac{0{,}8\ \text{m}}{5{,}343\ \text{m}}}{\sqrt{1{,}054}}$

$= 1{,}140$

Damping rasio, $D_z = \frac{0{,}425}{\sqrt{B_z}}\,\alpha_z$

$= \frac{0{,}425}{\sqrt{0{,}154}}\ 1{,}140$

$= 1{,}235$

$D_z > 0{,}5\sqrt{2}$ maka $\omega_{res\ z}$ khayal

$1{,}235 > 0{,}7011\ \omega_{res\ z}$ khayal

Frekuensi natural, $\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}}$

$= \sqrt{\frac{560719413{,}623\ \text{Kg/m}}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 122{,}301$ rad/det

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\ .\ \pi\ .\ f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nz}}}$

$= \frac{2\ .\ \pi\ .\ 3000\ \text{rpm}}{\frac{60}{122{,}301\ \text{rad/det}}}$

$= 2{,}569$

Pembesaran dinamis, $M_z = \frac{1}{\sqrt{(2\ .\ D_z\ .\ r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{(2\ .1{,}235.\ 2{,}569)^2 + \left[(1-2{,}569^2)\right]^2}}$

$= 0{,}118$

Amplitudo, $A_z = \frac{Q_o}{K_z\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\ .\ D_z\ .\ r)^2}}$

$= \frac{5{,}796\ \text{t}}{\frac{560719413{,}623}{1000}\ \text{Kg/m}\sqrt{\frac{(1-2{,}569^2)^2}{+(2\ .\ 1{,}235\ .\ 2{,}569)^2}}}$

$= 1{,}221\ .\ 10^{-6}$ m

$= 0{,}001$ mm

c. Terhadap gaya rocking

$$M_{mo} = \left[\frac{W_{mesin}}{g}\ .\ (h_{tot} + \text{pusat berat mesin})^2\right] + \left[\frac{\left(\frac{W_{pondasi}}{g}\right)}{12}\ .\ (L^2 + h_{tot}^2)\right] + \left[\frac{W_{pondasi}}{g}\ .\ (0{,}5\ .\ h_{tot})^2\right]$$

$$= \left[\frac{174000\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2} .\ (0{,}9\text{m} + 0{,}75\ \text{m})^2\right] +$$
$$\left[\frac{\left(\frac{193752\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\right)}{12} .\ ((19{,}5\text{m})^2 +\ (0{,}9\text{m})^2)\right] +$$
$$\left[\frac{193752\ \text{Kg}}{9{,}81\ \text{m/dt}^2} .\ (0{,}5 .\ 0{,}9\text{m})^2\right]$$
$$= 679464{,}275\ \text{Kg dt}^2$$

$M_m = M_{mo} - (m . z^2)$
$= 679464{,}275\ \text{Kg dt}^2 - (37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m} - (1{,}018\ \text{m})^2)$
$= 640632{,}371\ \text{Kg m dt}^2$

Ekuivalen radius, $r_o = \sqrt[4]{\frac{B .\ L^3}{3 .\ \pi}}$
$= \sqrt[4]{\frac{4{,}6\text{m} .\ (19{,}5\text{m})^3}{3 .\ \pi}}$
$= 7{,}756\ \text{m}$

Inersia rasio, $B_\phi = \frac{3\ (1-\text{v})}{8}\frac{M_m}{\rho .r_o^5}$
$= \frac{3\ (1-0{,}4)}{8}\frac{640632{,}371\ \text{Kg m dt}^2}{\frac{2345\ \text{Kg/m}^3}{9{,}81\ \text{m/dt}^2}\ 7{,}756^{\,5}\ \text{m}}$
$= 0{,}022$

Koefisien penanaman,

$\eta_\phi = 1 + 1{,}2 .\ (1-\text{v}) .\left(\frac{\text{h}}{r_o}\right) + 0{,}2 .\ (2-v) .\left(\frac{h}{r_o}\right)^3$
$= 1 + 1{,}2 .\ (1-0{,}4) .\left(\frac{0{,}8\ \text{m}}{7{,}756\ \text{m}}\right) + 0{,}2 .\ (2 - 0{,}4) .\left(\frac{0{,}8\ \text{m}}{7{,}756\ \text{m}}\right)^3$
$= 1{,}075$

Konstanta pegas, $K_\phi = \frac{G}{1-\text{v}}\beta_\phi B .\ L^2\eta_\phi$
$= \frac{15319243{,}875\ \text{Kg/m}^2}{1-0{,}4}\ 0{,}4 .\ 4{,}6\ \text{m} .\ 19{,}5^2\ \text{m} .\ 1{,}075$
$= 19196697765{,}557\ \text{Kg/m}$

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

$= \frac{1+0{,}7(1-0{,}4)\frac{0{,}8\text{ m}}{7{,}756\text{ m}}+0{,}6}{\sqrt{1{,}075}}$

$= \frac{(2-0{,}4)\left(\frac{0{,}8\text{m}}{7{,}756\text{ m}}\right)^3}{\sqrt{1{,}075}}$

$= 1{,}008$

Damping rasio, $D_{\phi} = \frac{0{,}15}{(1+n_{\phi}\,.\,B_{\phi})\sqrt{n_{\phi}\,.\,B_{\phi}}}\alpha_{\phi}$

$= \frac{0{,}15}{(1+1{,}6\,.\,0{,}022)\sqrt{1{,}6\,.\,0{,}022}}\ 1{,}008$

$= 0{,}788$

Frekuensi natural, $\omega_{n\emptyset} = \sqrt{\frac{K_{\emptyset}}{M_m}}$

$= \sqrt{\frac{19196697765{,}557\text{ Kg/m}}{640632{,}371\text{ Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 173{,}105$ rad/dt

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\,.\,\pi\,.\,f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{n\emptyset}}}$

$= \frac{2\,.\,\pi\,.\,3000\text{ rpm}}{\frac{60}{173{,}105\text{ rad/dt}}}$

$= 1{,}815$

Pembesaran dinamis, $M_{\emptyset} = \frac{1}{\sqrt{(2\,.\,D_{\emptyset}\,.\,r)^2+[(1-r^2)]^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{(2.\ 0{,}788\ .\ 1{,}815)^2+[(1-1{,}815^2)]^2}}$

$= 0{,}273$

Amplitudo, $A_{\emptyset} = \frac{Q_o\,.\,(e_z+h_{tot})\,.\,M_{\emptyset}}{K_{\emptyset}}$

$= \frac{5{,}796\text{ t}\,.\,(0{,}75\text{m}+0{,}9\text{m})\,.\,0{,}273}{\frac{19196697765{,}557\text{ Kg/m}}{1000}}$

$= 1{,}359\,.\,10^{-7}$ radial

$= 0{,}0000013$ m

d. Terhadap gaya horizontal

Ekuivalen radius, $r_{ox} = \sqrt{\frac{B\ .\ L}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{4{,}6\ \text{m}\ .\ 19{,}5\ \text{m}}{\pi}}$

$= 5{,}343\ \text{m}$

Rasio massa, $B_x = \frac{(7-8\ .v)}{32\ .\ (1-v)} \frac{W}{\gamma\ .r_o^3}$

$= \frac{(7-8\ .0{,}4)}{32\ .\ (1-0{,}4)} \frac{367752\ \text{Kg}}{2345\ \text{Kg/m}^3\ .\ 5{,}343^3\text{m}}$

$= 0{,}203$

Koefisien penanaman, $\eta_x = 1 + 0{,}55\ (2 - v) \left(\frac{h}{r_o}\right)$

$= 1 + 0{,}55\ (2 - 0{,}4) \left(\frac{0{,}8\ \text{m}}{5{,}343}\right)$

$= 1{,}132$

Kostanta pegas, $K_x = 2\ .\ (1 + v)\ .\ G\ .\ \beta_x \sqrt{B\ .\ L}\ \eta_z$

$= 2\ .\ (1 + 0{,}4)$

$.\ 15319243{,}875\ \text{Kg/m}^2\ .$

$1\ .\sqrt{4{,}6\text{m}\ .\ 19{,}5\text{m}}\ \ 1{,}132$

$= 459873103{,}352\ \text{Kg/m}$

Faktor damping rasio penanaman, $\alpha_x = \frac{1+1{,}9\ (1-v)\frac{h}{r_o}}{\sqrt{\eta_x}}$

$= \frac{1+1{,}9\ (1-0{,}4)\ \frac{0{,}8\ \text{m}}{5{,}343}}{\sqrt{1{,}132}}$

$= 1{,}368$

Damping rasio, $D_x = \frac{0{,}288}{\sqrt{B_x}} \alpha_x$

$= \frac{0{,}288}{\sqrt{0{,}203}} 1{,}368$

$= 0{,}874$

Frekuensi natural, $\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m}}$

$= \sqrt{\frac{459873103{,}352\ \ \text{Kg/m}}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}}}$

$= 110{,}758$ rad/dt

Frekuensi rasio, $r = \frac{2\,.\,\pi\,.\,f_{mesin}}{\frac{60}{\omega_{nx}}}$

$= \frac{2\,.\,\pi\,.3000\text{ rpm}}{\frac{60}{110{,}758\text{ rad/dt}}}$

$= 2{,}836$

Pembesaran dinamis, $M_x = \frac{1}{\sqrt{(2\,.\,D_x\,.\,r)^2 + [(1-r^2)]^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{\begin{matrix}(2.\ 0{,}874\ .\ 2{,}836)^2 \\ +[(1-2{,}836^2)]^2\end{matrix}}}$

$= 0{,}116$

Amplitudo, $A_x = \frac{Q_o}{K_x\sqrt{(1-r^2)^2+(2\,.\,D_x\,.\,r)^2}}$

$= \frac{5{,}796\text{ t}}{\frac{459873103{,}352\ \text{Kg/m}}{1000}\sqrt{\begin{matrix}(1-2{,}836^2)^2 \\ +(2.\ 0{,}874\ .\ 2{,}836)^2\end{matrix}}}$

$= 1{,}463\ .\ 10^{-6}$ m

$= 0{,}001$ mm

e. Kombinasi rocking dan lateral

Rasio momen inersia massa, $\gamma = \frac{Mm}{Mm_o}$

$= \frac{640632{,}371\text{ Kgm det}^2}{679464{,}275\text{ Kgm det}^2}$

$= 0{,}943$

Frekuensi natural kopel,

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

$$= \left[\left((314{,}16\text{ rad/dt})^4 - (314{,}16\text{ rad/dt})^2\left\{\frac{(173{,}105\text{ rad/dt})^2+(110{,}758\text{ rad/dt})^2}{0{,}943} -\right.\right.$$

$$\frac{4.\ 0{,}874\ .\ 0{,}788\ .\ 110{,}758\ \text{rad/dt}\ .\ 173{,}105\ \text{rad/dt}}{0{,}943}\Big\} +$$

$$\frac{(110{,}758\ rad/dt)^2.\ (173{,}105\ rad/dt)^2}{0{,}943}\Big)^2 +$$

$$4\Big\{0{,}874\ \frac{110{,}758\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}943}((173{,}105\ rad/$$

$$dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2) +$$

$$\frac{0{,}788\ .\ 173{,}105\ rad/dt\ .\ 314{,}16\ \text{rad/dt}}{0{,}943}((110{,}758\ rad/$$

$$dt)^2 - (314{,}16\ \text{rad/dt})^2)\Big\}^2\Big]^{1/2}$$

$$= 16.653.087.358{,}70$$

Amplitudo lateral pada titik berat total (sumbu x)

$$A_{x1} = \frac{My\ .\ L}{Mm}\ \frac{[(\omega_{nx}^2)^2 +\ (2\ .\ D_x\ .\ \omega_{nx})^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{3664{,}206\ \text{Kgm}\ .\ 1{,}018\ m}{640632{,}371\ \text{Kg det}^2}$$

$$\frac{\begin{bmatrix}((110{,}758\ \text{rad/dt})^2)^2 + \\ (2\ .\ 0{,}874\ .\ 110{,}758\ \text{rad/dt})^2\end{bmatrix}^{1/2}}{16.653.087.358{,}70}$$

$$= 2{,}169\ .\ 10^{-8}\ \text{m}$$

$$A_{x2} = \frac{Qo}{m\ .\ Mm}$$

$$\frac{\begin{bmatrix}(-Mm\ .\ \omega^2 + k_\emptyset + L^2\ .\ k_x)^2 + 4\ \omega^2 \\ (D_\emptyset\ .\ \sqrt{k_\emptyset\ .\ M_{mo}} + L^2\ .\ D_x\ .\sqrt{k_x\ .\ m})^2\end{bmatrix}^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{5{,}796\ \text{t}\ .\ 1000}{37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}\ .\ 640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{pmatrix}-640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2 . \\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2 \\ +\ 19196697765{,}557\ \text{Kg/m} \\ +(1{,}018\ \text{m})^2 . \\ 459873103{,}352\ \text{Kg/m} \\ +\ 4\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{pmatrix}^2 + \left(\begin{matrix}0{,}788\ . \\ \sqrt{\begin{matrix}19196697765{,}557\ \text{Kg/m}\ . \\ 679464{,}275\ \text{Kgm dt}^2\end{matrix}}\end{matrix} + \begin{matrix}(1{,}018\text{m})^2\ . \\ \left(\begin{matrix}0{,}874\ . \\ \sqrt{\begin{matrix}459873103{,}352\ \text{Kg/m.} \\ 37487{,}462\ \text{Kg dt}^2/\text{m}\end{matrix}}\end{matrix}\right)^2\end{matrix}\right)^2\right]^{1/2}}{16653087358{,}70}$$

$= 1{,}062\ .\ 10^{-6}$ m

Amplitudo rocking (rotasi terhadap sumbu y)

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

$$= \frac{3664{,}206\ \text{Kgm}}{640632{,}371\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{\left[\begin{matrix}\left(\left(110{,}758\frac{\text{rad}}{\text{dt}}\right)^2 - \right)^2 + \\ \left(\begin{matrix}2\ .\ 0{,}874\ .\ 110{,}758\ \text{rad/dt.} \\ 110{,}758\ \text{rad/dt}\end{matrix}\right)^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{16653087358{,}70}$$

$= 3{,}630\ .\ 10^{-8}$ m

$$A_{\emptyset 2} = \frac{Q_o\ .\ L}{M_m}\ \frac{\omega_{nx}\ .\ [\omega_{nx}^2 + 4\ .\ D_x\ .\omega^2]^{1/2}}{\Delta\ (\omega)^2}$$

$$= \frac{5{,}796\ \text{t} \,.\, 1000 \,.\, 1{,}018}{640632{,}37\ \text{Kgm dt}^2}$$

$$\frac{110{,}758\ \text{rad/dt} \,.\, \left[\begin{matrix}(110{,}758\ \text{rad/dt})^2 \\ +\ 4 \,.\, 0{,}874 \,. \\ (314{,}16\ \text{rad/dt})^2\end{matrix}\right]^{1/2}}{16653087358{,}70}$$

$= 3{,}661 \,.\, 10^{-8}$ m

f. Besaran amplitudo total

A_z total = $A_z + A_{z\,max}$

$= A_z + (0{,}5 \,.\, L \,.\, (A_{\phi 1} + A_{\phi 2})$

$= 1{,}221 \,.\, 10^{-6}$ m + [0,5 . 19,5m . ($3{,}630 \,.\, 10^{-8}$ m + $3{,}661 \,.\, 10^{-8}$ m)]

$= 1{,}932 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,0000761 inch

A_x total = $A_{x\,max}$

$= (A_{x1} + A_{x2}) + [(h_{tot}$ + pusat berat mesin – z) . $(A_{\phi 1} + A_{\phi 2})]$

$= (2{,}169 \,.\, 10^{-8}$ m + $1{,}062 \,.\, 10^{-6}$ m) + [(0,9 + 0,75 – 1,018).($3{,}630 \,.\, 10^{-8}$m + $3{,}661.10^{-8}$m)]

$= 1{,}129 \,.\, 10^{-6}$ m

= 0,00004 inch

A_y total = 0 m

g. Analisa persyaratan keamanan desain pondasi mesin

Pondasi mesin tipe blok yang direncanakan ini untuk menopang dua mesin tipe *rotary* dengan frekuensi 3000 rpm. Eksentrisitas yang terjadi menimbulkan gaya dinamis yang berkerja pada sumbu x dan z. Akibat gaya dinamis, maka timbul amplitudo sebesar:

- Arah z sebesar = $1{,}932 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,0000761 inch
- Arah x sebesar = $1{,}129 \,.\, 10^{-6}$ m
  = 0,00004 inch
- Arah y sebesar = 0 m

Karena tidak ada gaya tau momen yang bekerja pada arah ini.

Nilai masing-masing amplitudo tersebut harus dicek memenuhi persyaratan *design*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kontrol amplitudo arah vertikal (A_z)
   Pengecekan menggunakan grafik pada gambar 2.6. Dengan memasukan nilai frequensi mesin dengan nilai $A_{z\ total}$, maka termasuk kategori *"Barely Noticeable to Person"*. Maka amplitude vertikal yang terjadi termasuk kategori yang hampir tidak terasa pada lingkungan sekitar mesin. Batas maksimum amplitudo termasuk pada kategori "*Easily Noticable to Person"*, dan yang terjadi masih dibawah batas maksimum. Sehingga kondisi aplitudo vertikal memenuhi syarat.
2. Kontrol amplitudo arah horizontal (A_x)
   Pengecekan menggunakan tabel 2.10, dengan kecepatan amplitudo sebagai berikut:
   $v = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{mesin}}{60} \cdot A_{x\ total}$
   $= 2 \cdot \pi \cdot \frac{3000\ rpm}{60} \cdot 0{,}00004$ inch
   $= 0{,}01397$ in/dt
   Dari hasil kecepatan amplitudo dikontrol menggunakan tabel 2.10 termasuk kategori *"smooth"*. Persyaratan maksimal kecepatan amplitudo pada batasan *"good"*, dikarenakan kecepatan amplitudo yang terjadi dibawah batasan maksimum, maka kecepatan amplitudo memenuhi syarat.
3. Kontrol gaya pegas (K_{value})
   Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah vertikal sebagai berikut:
   $K_z = 0{,}2 \cdot A_{z\ tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)
   $= 0{,}2 \cdot 1{,}932$ micro

= 0,386

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

Pengecekan menggunakan rumus yang tertera pada tabel 2.11, untuk arah horizontal sebagai berikut:

$K_x = 0,2 . A_{x\ tot}$ (dikarenakan f_{mesin} dibawah 40 Hz)

= 0,1 . 1,129 micro

= 0,113

Dari hasil tersebut dikontrol menggunakan tabel 2.12, maka termasuk kategori *"Allowable in Industry for Any Period of Time"*.

h. Kontrol daya dukung tanah

1. Daya dukung tanah (q_{ult}) dibawah pondasi mesin

Besar daya dukung tanah dibawah pondasi mesin (qult) sebagai berikut:

Dari data tanah diperoleh data sebagai berikut:

Sudut geser tanah (ϕ) = 32°,

γ_t = 2345 Kg/m^3

c = 0,027

Dengan menggunakan tabel 2.13 maka nilai N_c, N_γ, N_q sebesar:

N_c = 35,47

N_γ = 30,2

N_q = 23,2

Letak dasar pondasi mesin jauh dari muka air tanah, maka:

$q = \gamma_t . Df$

= 2345 Kg/m^3 . 0,8 m

= 1875,637 Kg/m^2

$q_{ult} = 1,3 . c . Nc + q . Nq + 0,4 . \gamma_t . B . N_\gamma$

= 1,3 . 0,027 . 35,47 + 1875,637 Kg/m^2 . 23,2 + 0,4 . 2345 Kg/m^3 . 4,6 m . 30,2

= 173797,779 Kg/m^2

2. Besar daya dukung tanah yang diijinkan (q_{ijin})

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{SF}$$
$$= \frac{173797{,}779 \ \text{Kg/m}^2}{3}$$
$$= 57932{,}593 \ \text{Kg/m}^2$$

3. Besar tegangan tanah yang terjadi

Akibat beban statis (σ_{statis})

$$\sigma_{statis} = \frac{W_{tot}}{B \,.\, L} - \gamma_t \,.\, D_f$$
$$= \frac{367752 \ \text{Kg}}{4{,}6 \ \text{m} \,.\, 13 \ \text{m}} - 2345 \text{Kg/m}^3 \,.\, 0{,}8 \ \text{m}$$
$$= 2224{,}162 \ \text{Kg/m}^2$$

Akibat beban statis + beban dinamis ($\sigma_{statis+dinamis}$)

Persyaratan daya dukung statis untuk keruntuhan geser tanah adalah kurang dari 50% daya dukung tanah dn untuk daya dukung statis dinamis adalah 75% daya dukung ijin tanah. Hasil control sebagai berikut:

$\sigma_{statis} < 50\% \,.\, q_{ijin}$

$2693{,}072 \ \text{Kg/m}^2 < 50\% \,.\, 57932{,}593 \ \text{Kg/m}^2$

$2693{,}072 \ \text{Kg/m}^2 < 28966{,}297 \ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Dan

$$\sigma_{statis+dinamis} < 75\% \,.\, q_{ijin}$$

$$\frac{W_{tot} + P_z \,.\, n}{B \,.\, L} \pm \frac{\begin{bmatrix} -P_{z1} \,.\, x_1 + \\ P_{z2} \,.\, x_2 \\ + 3 \,.\, P_x \,. \\ (\text{Pusat berat mesin} + h_{tot}) \end{bmatrix} + M_y}{\frac{1}{6} \,.\, B \,.\, L^2} < 75\% \,.\, q_{ijin}$$

$$\frac{367752 \ \text{Kg} + 1466{,}398 \ \text{Kg} \,.\, 3}{13 \ \text{m} \,.\, 4{,}6\text{m}} \pm$$

$$\frac{\begin{bmatrix} -1466{,}398 \ \text{Kg} \,.\, (5{,}5 \ \text{m} + 1\text{m}) + \\ 1466{,}398 \ \text{Kg} \,.\, (5{,}5\text{m} + 1\text{m}) \\ + 3 \,.\, 1134{,}381 \ \text{Kg} \,. \\ (0{,}75 \ \text{m} + 0{,}9 \ \text{m}) \end{bmatrix} + 5615{,}185 \ \text{Kgm}}{\frac{1}{6} \,.\, 4{,}6\text{m} \,.\, (19{,}5\text{m})^2} < 75\% . 57932{,}593 \text{Kg/m}^2$$

Untuk yang positif:

$4180{,}843 \ \text{Kg/m}^2 < 43449{,}445 \ \text{Kg/m}^2$ (memenuhi)

Untuk yang negatif:

4117,012 Kg/m^2 < 43449,445 Kg/m^2 (memenuhi)

4.4.2.1. Grafik Rasio Redaman

Perencanaan pondasi mesin untuk kelompok II dengan ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penaman berbeda telah direncanakan 4 perbedaan (tertera pada tabel 4.36). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.58-4.61.

Tabel 4.36 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	0,0000781	0,01458	0,3970	0,1179
2	0,6	0,9	0,0000774	0,01436	0,3933	0,1161
3	0,7	0,9	0,0000768	0,01416	0,3900	0,1145
4	0,8	0,9	0,0000761	0,01397	0,3864	0,1129

Tabel 4.37 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,5	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
2	0,6	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.36.

Tabel 4.37 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
3	0,7	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman
4	0,8	0,9	*Barely Noticable to Person*	*smooth*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.36.

Tabel 4.38 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

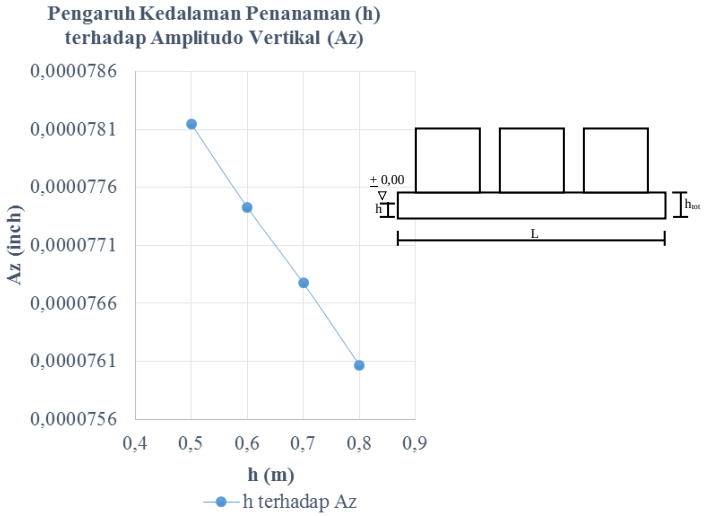
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,5	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,6	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,7	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.36.

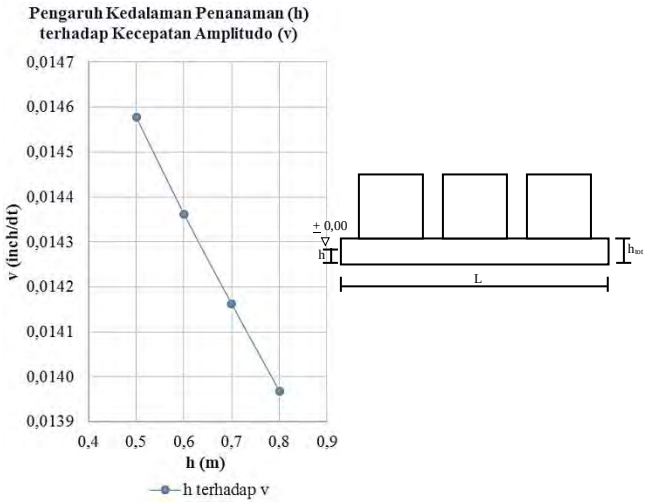
Tabel 4.38 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
4	0,8	0,9	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

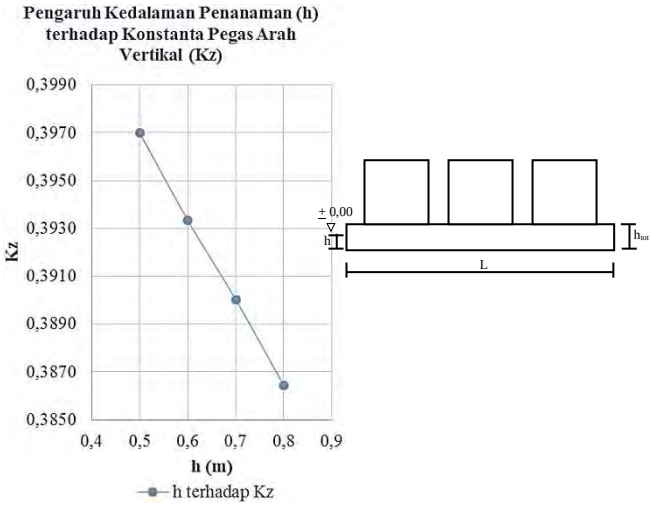
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.36.



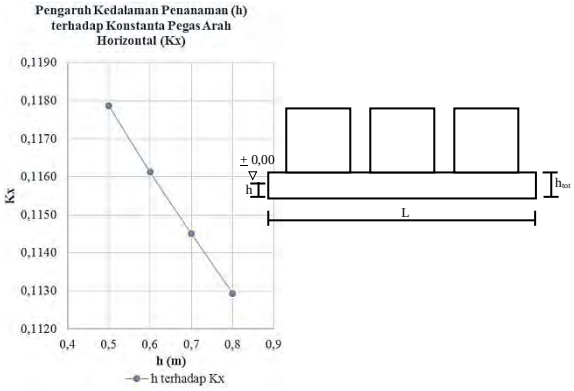
Gambar 4.58 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.59 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (A_z)



Gambar 4.60 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_z)



Gambar 4.61 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)

Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.36 dan grafik pada gambar 4.58-4.61 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

Grafik pada gambar 4.58-4.61 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6 m , L=19,5 m dan h_{tot} sesuai tabel 4.36. Perhitungan ini hanya untuk tipe 1, untuk tipe yang lain rumus yang digunakan sama. Perhitungan sebagai berikut:

a. Terhadap gaya vertikal

$$M_z = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_z \,/\, \gamma \,/ r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_z^2 \,.\, a_o^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m / \\ K_z \,/\, \gamma \,/\, r_o^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \right)^2 + \\ 560719413{,}623 \,/\, 2345 \,/ 5{,}343^2 \\ 4 \,.\, 1{,}235^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24991{,}641 / \\ 560719413{,}623 \,/\, 2345 \,/\, 5{,}343^2\end{matrix}\right]}}$$

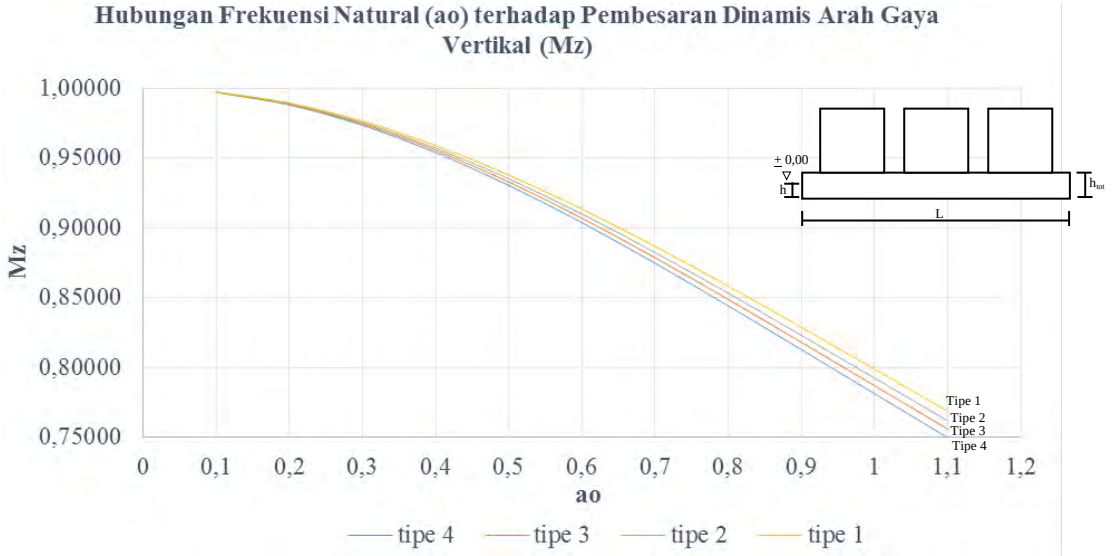
= 0,99694

Perhitungan M_z lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.39.

Tabel 4.39 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99729	0,99717	0,99705	0,99694
0,2	0,98929	0,98879	0,98836	0,98789
0,3	0,97632	0,97525	0,97431	0,97331
0,4	0,95891	0,95710	0,95553	0,95386
0,5	0,93770	0,93506	0,93278	0,93036
0,6	0,91339	0,90989	0,90687	0,90368
0,7	0,88671	0,88236	0,87863	0,87469
0,8	0,85834	0,85320	0,84881	0,84419
0,9	0,82890	0,82306	0,81809	0,81287
1	0,79892	0,79249	0,78704	0,78131
1,1	0,76884	0,76194	0,75610	0,74998

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.36.



Gambar 4.62 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (Mz)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,9m; B_z = 0,2.

Dari hasil pada tabel 4.39, menghasilkan grafik pada gambar 4.62. Grafik pada gambar 4.62 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B = 4,6 m, L = 19,5 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.36, dan B_z = 0,2. Maka dengan grafik pada gambar 4.62 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya vertikal didapatkan nilai M_z tiap-tiap tipe pondasi mesin.

b. Terhadap gaya rocking

$$M_\phi = \frac{1}{\sqrt{\left[\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_m / K_\phi / \gamma / r_o^2\right)^2 + 4 \,.\, D_\phi^2 \,.\, a_o^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, M_m / K_\phi / \gamma / r_o^2\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 640632{,}371 / 19196697765{,}557 / 2345 / 7{,}756^2\right)^2 + 4 \,.\, 0{,}788^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 640632{,}371 / 19196697765{,}557 / 2345 / 7{,}756^2\right]}}$$

= 0,9999140

Perhitungan M_ϕ lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.40.

Tabel 4.40 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,9999146	0,9999145	0,9999143	0,9999140
0,2	0,9996578	0,9996573	0,9996565	0,9996555
0,3	0,9992276	0,9992265	0,9992248	0,9992226
0,4	0,9986206	0,9986188	0,9986160	0,9986122
0,5	0,9978323	0,9978297	0,9978256	0,9978200

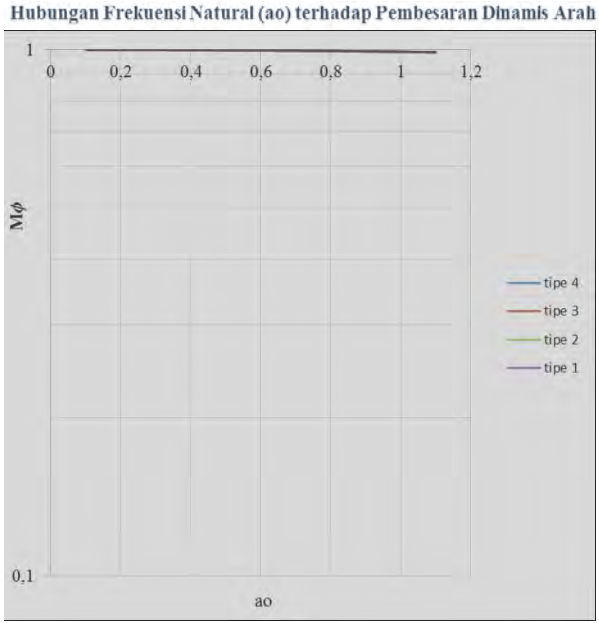
Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.36.

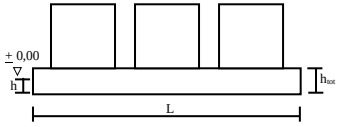
Tabel 4.40 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o) (Lanjutan)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,6	0,9968568	0,9968535	0,9968482	0,9968404
0,7	0,9956870	0,9956834	0,9956769	0,9956671
0,8	0,9943149	0,9943113	0,9943039	0,9942922
0,9	0,9927313	0,9927283	0,9927205	0,9927073
1	0,9909258	0,9909243	0,9909168	0,9909027
1,1	0,9888876	0,9888887	0,9888825	0,9888683

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.36.

Dari hasil pada tabel 4.40, menghasilkan grafik pada gambar 4.63. Grafik pada gambar 4.63 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 19,5 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.36, dan B_ϕ = 0,02. Maka dengan grafik pada gambar 4.63 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya rocking didapatkan nilai M_ϕ tiap-tiap tipe pondasi mesin.





Gambar 4.63 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,9m; B_ϕ = 0,02.

c. Terhadap gaya horizontal

$$M_x = \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m \,/\, K_x \,/\, \gamma \,/ r_0^2\right)^2 + 4 \,.\, D_x^2 \,.\, a_0^2 \,.\, G \,.\, g \,.\, m/ \\ K_x \,/\, \gamma \,/\, r_0^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[\begin{matrix}\left(1-0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462/ \\ 459873103{,}352 \,/\, 2345 \,/ 5{,}343^2\end{matrix}\right)^2 + \left[\begin{matrix}4 \,.\, 0{,}874^2 \,.\, 0{,}1^2 \,.\, 15319243{,}875 \,.\, 9{,}81 \,.\, 37487{,}462/ \\ 459873103{,}352 \,/\, 2345 \,/\, 5{,}343^2\end{matrix}\right]}}$$

$$= 0{,}99903$$

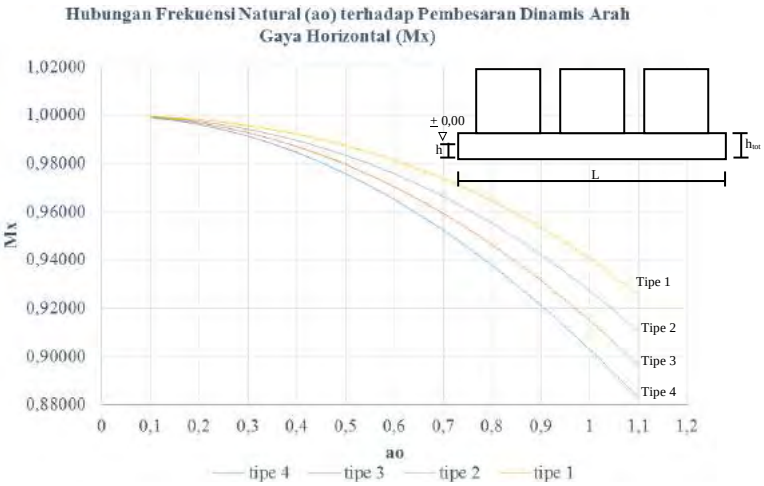
Perhitungan M_x lebih lengkapnya tertera pada tabel 4.41.

Tabel 4.41 Rekapitulasi Pembesaran Dinamis terhadap Frekuensi Natural (a_o)

ao	M tipe 1	M tipe 2	M tipe 3	M tipe 4
0,1	0,99953	0,99936	0,99920	0,99903
0,2	0,99810	0,99743	0,99678	0,99613
0,3	0,99566	0,99417	0,99273	0,99129
0,4	0,99212	0,98951	0,98699	0,98449
0,5	0,98737	0,98337	0,97953	0,97572
0,6	0,98127	0,97566	0,97029	0,96499
0,7	0,97369	0,96628	0,95922	0,95230
0,8	0,96446	0,95513	0,94629	0,93768
0,9	0,95344	0,94214	0,93149	0,92119
1	0,94052	0,92726	0,91484	0,90290
1,1	0,92561	0,91048	0,89640	0,88293

Keterangan: tipe 1 hingga 4 dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5 m, tetapi h_{tot} sesuai no. urut pada tabel 4.36.

Dari hasil pada tabel 4.41, menghasilkan grafik pada gambar 4.64. Grafik pada gambar 4.64 dapat digunakan untuk segala frekuensi mesin tetapi dimensi pondasi mesin tetap B=4,6 m, L = 19,5 m, h_{tot} sesuai pada no. urut pada tabel 4.36, dan B_x = 0,2. Maka dengan grafik pada gambar 4.64 cukup menghitung hingga a_o untuk arah gaya horizontal didapatkan nilai M_x tiap-tiap tipe pondasi mesin.

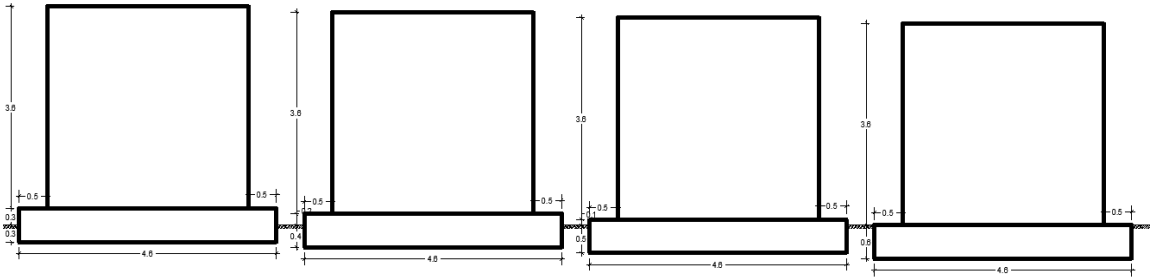


Gambar 4.64 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,5m; tipe 2 : h = 0,6m; tipe 3 : h = 0,7m; tipe 4 : h = 0,8m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,9m; B_x = 0,2.

Pada kelompok II ini selain dengan ketebalan pondasi sama (sebesar 0,9 m) juga direncanakan sebesar 0,6 m. Seperti perencanaan sebelumnya, perencanaan pondasi mesin untuk kelompok II ini dengan ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi

berbeda telah direncanakan empat perbedaan (tertera pada tabel 4.42). Dari hasil perbedaan tersebut, menghasilkan grafik rasio redaman pada gambar 4.66-4.69.



(a) tipe 1 (b) tipe 2 (c) tipe 3 (d) tipe 4

Gambar 4.65 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m

Tabel 4.42 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,0000872	0,01772	0,443	0,143
2	0,4	0,6	0,0000862	0,01750	0,438	0,142

Tabel 4.42 Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
3	0,5	0,6	0,0000852	0,01729	0,433	0,140
4	0,6	0,6	0,0000842	0,01710	0,428	0,138

Tabel 4.43 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda

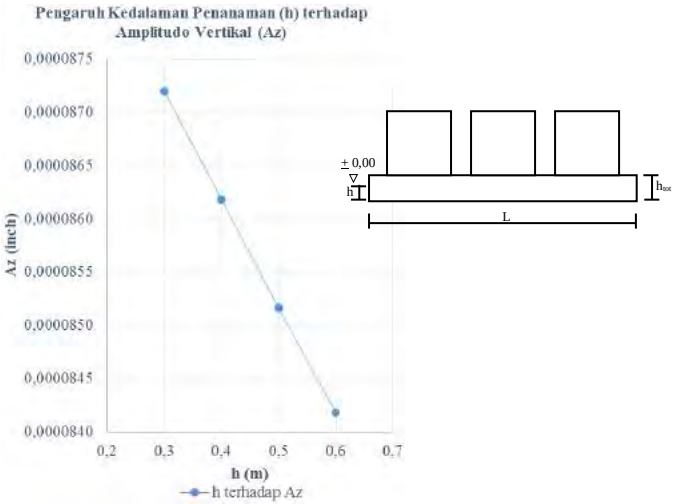
No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Az (inch)	v (inch/dt)	
1	0,3	0,6	*Barely Noticable to Person*	*very good*	aman
2	0,4	0,6	*Barely Noticable to Person*	*very good*	aman
3	0,5	0,6	*Barely Noticable to Person*	*very good*	aman
4	0,6	0,6	*Barely Noticable to Person*	*very good*	aman

Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.42.

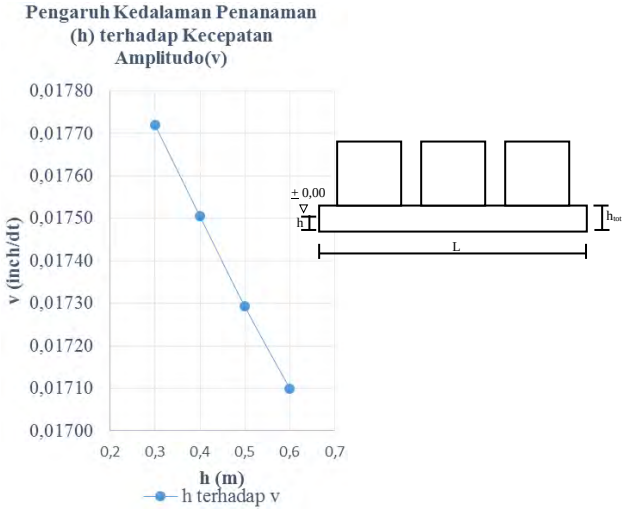
Tabel 4.44 Rekapitulasi Kategori Keamanan Perencanaan Pondasi Mesin dengan Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Ketebalan Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	Kategori Keamanan		Cek
			Kz	Kx	
1	0,3	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
2	0,4	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
3	0,5	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman
4	0,6	0,6	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	*Allowable in Industry for Any Period of Time*	aman

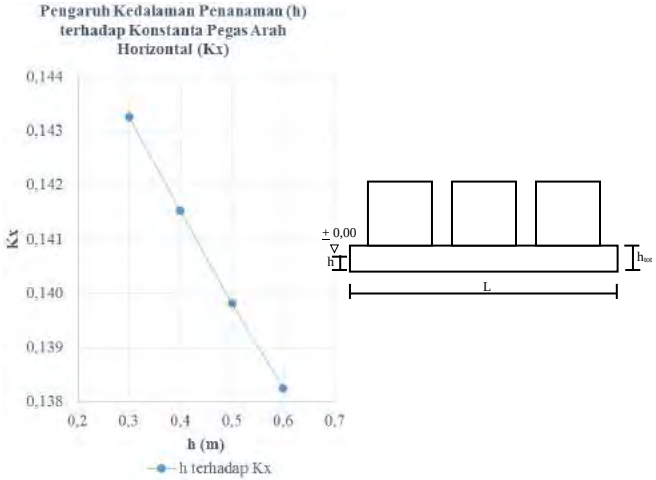
Keterangan: cek keamanan sesuai dengan hasil pada tabel 4.42.



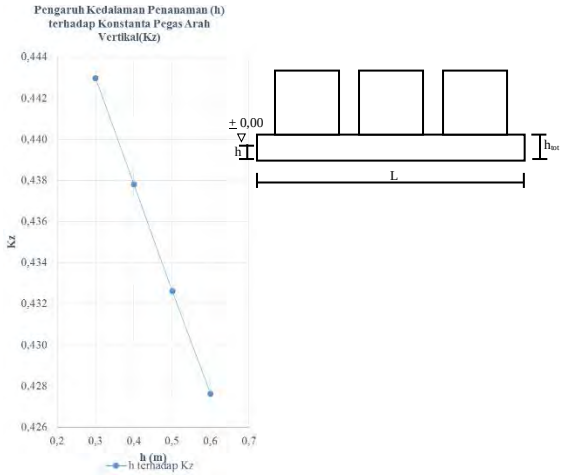
Gambar 4.66 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)



Gambar 4.67 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) terhadap Kecepatan Amplitudo Horizontal (v)



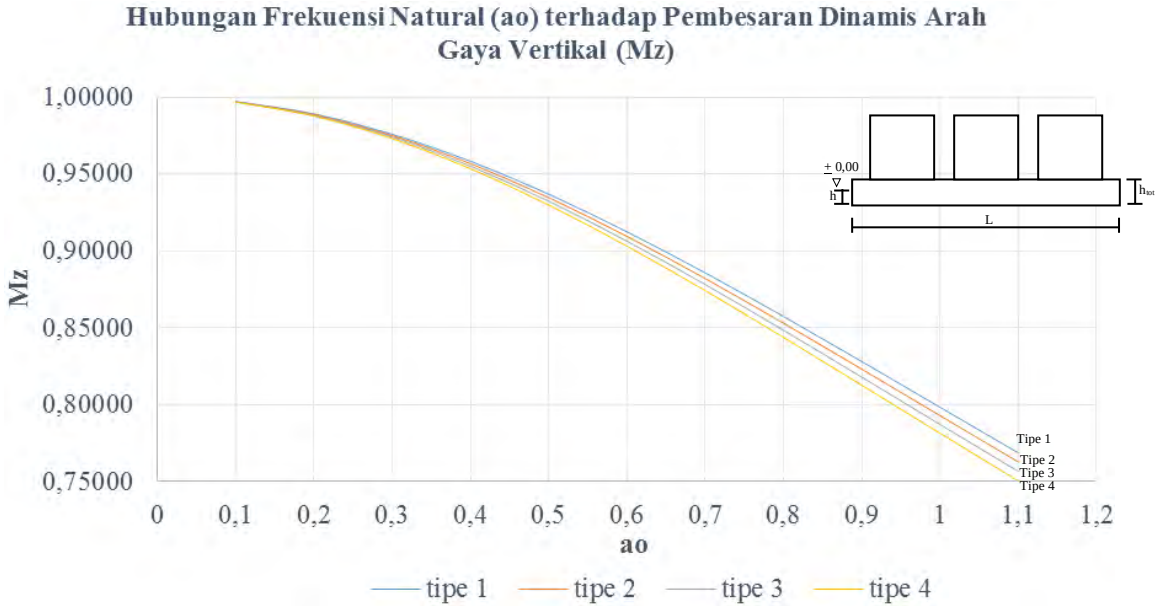
Gambar 4.68 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Horizontal (K_x)



Gambar 4.69 Pengaruh Kedalaman Penanaman (h) Konstanta Pegas Arah Vertikal (K_Z)

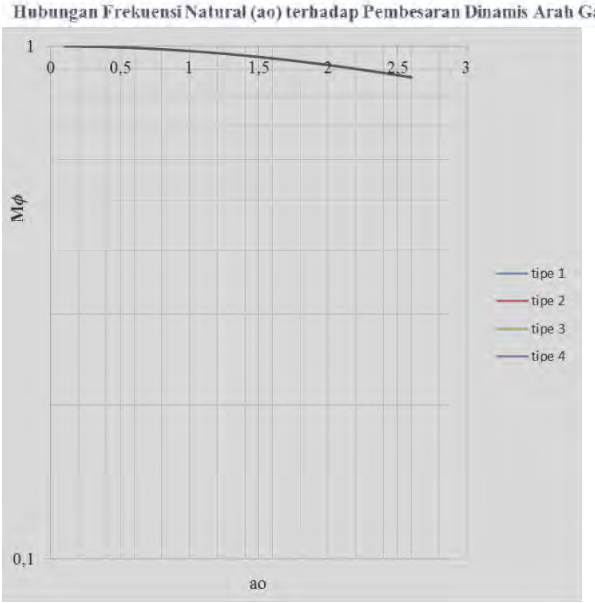
Dari hasil rekapitulasi pada tabel 4.42 dan grafik pada gambar 4.66-4.69 menunjukkan hasil penambahan amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal secara linier. Semakin berkurangnya kedalaman penanaman maka semakin besar pula amplitudo arah vertikal, kecepatan amplitudo horizontal, koefisien pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah juga berpengaruh terhadap meredam getaran. Bukan hanya itu saja, jika ditelaah dari rumus perhitungan, tinggi total pondasi (h_{tot}) berbanding terbalik dengan amplitudo vertikal, rocking, dan horizontal.

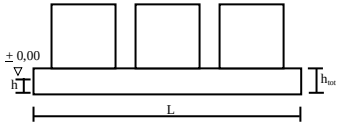
Grafik pada gambar 4.66-4.69 hanya dapat digunakan pada mesin SST-200. Agar grafik yang dihasilkan bermanfaat untuk semua jenis mesin, maka dihitunglah pembesaran dinamis arah vertikal, rocking dan horizontal untuk semua frekuensi mesin. Tetapi dimensi pondasi tetap B=4,6 m , L=19,5 m dan h_{tot} sesuai tabel 4.42. Pada kali ini, tidak diperjelaskan salah satu contoh perhitungan, dikarenakan cara perhitungannya sama halnya ketika h_{tot} = 0,9m. Dibawah ini grafik untuk semua jenis mesin.



Gambar 4.70 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Vertikal (M_z)

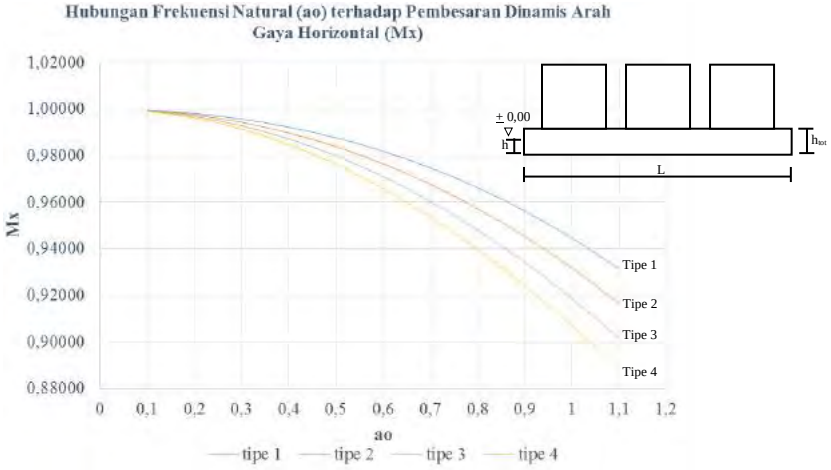
Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,6m; B_z = 0,1.





Gambar 4.71 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Rocking (M_ϕ)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,6m; B_z = 0,01.



Gambar 4.72 Hubungan Frekuensi Natural (a_o) terhadap Pembesaran Dinamis Arah Gaya Horizontal (M_x)

Keterangan: tipe 1 : h = 0,3m; tipe 2 : h = 0,4m; tipe 3 : h = 0,5m; tipe 4 : h = 0,6m. Tipe 1-4 : B = 4,6m; L 19,5 m; h_{tot} = 0,6m; B_z = 0,2.

4.5. Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman Terhadap Ketebalan Pondasi

4.5.1. Kelompok I

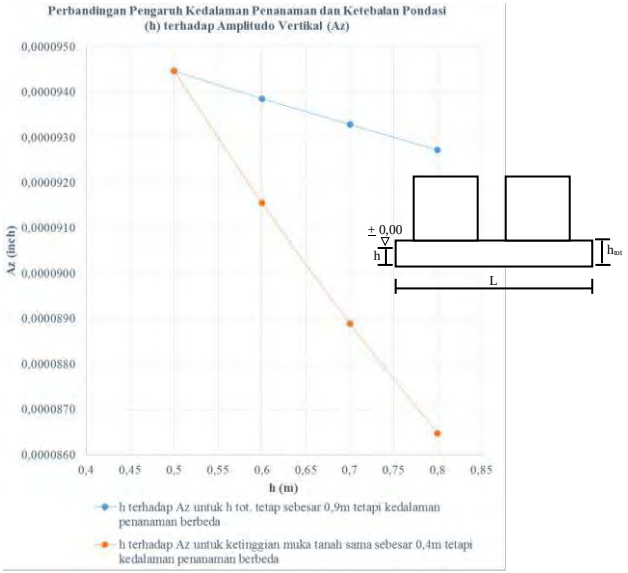
Selama ini banyak perencana hanya mengubah nilai kedalaman penanaman pondasi tetapi ketinggian pondasi di muka tanah tetap atau sebaliknya ketebalan pondasi tetap tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda. Pembahasan kali ini membandingkan pengaruh kedalaman penanaman terhadap ketebalan pondasi. Hasil perbandingan tertera pada tabel 4.45-4.46.

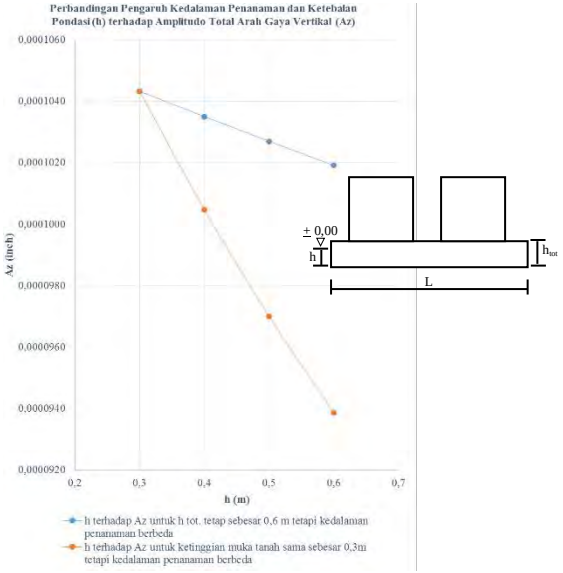
Tabel 4.45 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama					Ketebalan Podasi Sama				
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih A_z (inch)	Selisih A_z (%)	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch)	Selisih Az (%)
1	0,5	0,9	0,00009447			0,5	0,9	0,0000945		
2	0,6	1	0,00009156	0,00000291	3,18	0,6	0,9	0,0000939	0,0000006	1%
3	0,7	1,1	0,00008890	0,00000266	2,99	0,7	0,9	0,0000933	0,0000006	1%
4	0,8	1,2	0,00008648	0,00000242	2,80	0,8	0,9	0,0000927	0,0000006	1%

Tabel 4.46 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama					Ketebalan Podasi Sama				
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih A_z (inch)	Selisih A_z (%)	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch)	Selisih Az (%)
1	0,3	0,6	0,00010433			0,3	0,6	0,0001043		
2	0,4	0,7	0,00010047	0,00000386	3,84	0,4	0,6	0,0001035	0,0000008	1
3	0,5	0,8	0,00009700	0,00000347	3,57	0,5	0,6	0,0001027	0,0000008	1
4	0,6	0,9	0,00009386	0,00000314	3,35	0,6	0,6	0,0001019	0,0000008	1





Gambar 4.73 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

4.5.2. Kelompok II

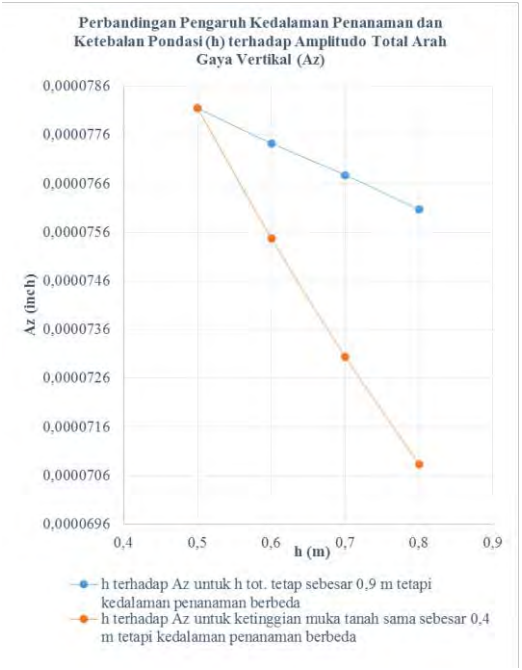
Selama ini banyak perencana hanya mengubah nilai kedalaman penanaman pondasi tetapi ketinggian pondasi di muka tanah tetap atau sebaliknya ketebalan pondasi tetap tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda. Pembahasan kali ini membandingkan pengaruh kedalaman penanaman terhadap ketebalan pondasi. Hasil perbandingan tertera pada tabel 4.47-4.48.

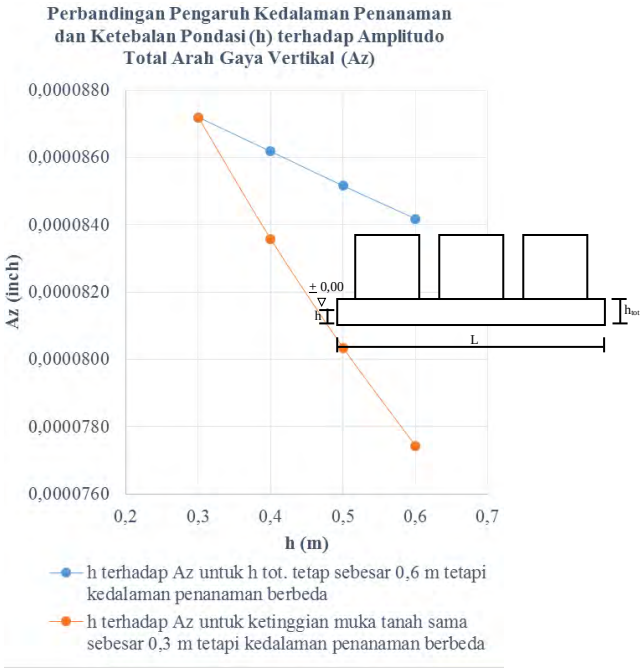
Tabel 4.47 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama					Ketebalan Podasi Sama				
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih A_z		h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az	
				(inch)	(%)				(inch)	(%)
1	0,5	0,9	0,0000781			0,5	0,9	0,0000781		
2	0,6	1	0,0000755	0,0000027	3,54	0,6	0,9	0,0000774	0,0000007	1
3	0,7	1,1	0,0000730	0,0000024	3,33	0,7	0,9	0,0000768	0,0000007	1
4	0,8	1,2	0,0000708	0,0000022	3,12	0,8	0,9	0,0000761	0,0000007	1

Tabel 4.48 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

No.	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama					Ketebalan Podasi Sama				
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih A_z (inch)	Selisih A_z (%)	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	Selisih Az (inch)	Selisih Az (%)
1	0,3	0,6	0,0000872			0,3	0,6	0,0000872		
2	0,4	0,7	0,0000836	0,0000036	4,33	0,4	0,6	0,0000862	0,0000010	1
3	0,5	0,8	0,0000803	0,0000032	4,02	0,5	0,6	0,0000852	0,0000010	1
4	0,6	0,9	0,0000774	0,0000029	3,77	0,6	0,6	0,0000842	0,0000010	1





Gambar 4.74 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Ketebalan Pondasi Terhadap Amplitudo Vertikal (A_z)

4.5.3. Kelompok I dengan Kelompok II

Sebenarnya kelompok I dan kelompok II tidak dapat dibandingkan. Dikarenakan jumlah mesin yang ditopang sudah berbeda. Tetapi hal ini tetap dibandingkan hanya untuk mengetahui ada pengaruh besar dimensi pondasi terhadap amplitudo arah gaya vertikal.

Dari hasil rekapitulasi tabel 4.49-4.52, saat kondisi ketebalan pondasi sama tetapi kedalaman penanaman pondasi berbeda dan saat kondisi ketinggian pondasi di muka tanah sama tetapi ketebalan pondasi berbeda, hasilnya sama saja. Yang dimaksud dengan hasil sama saja adalah nilai amplitudo vertikal kelompok I lebih kecil dari nilai amplitudo vertikal kelompok II. Hal ini membuktikan semakin besar dimensi pondasi semakin kecil pula nilai amplitudo. Maka nilai dimensi pondasi mesin berpengaruh terhadap nilai amplitudo.

Tabel 4.49 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	A_z (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,5	0,9	0,0000945	0,0000781
2.	0,6	0,9	0,0000939	0,0000774
3.	0,7	0,9	0,0000933	0,0000768
4.	0,8	0,9	0,0000927	0,0000761

Tabel 4.50 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	A_z (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,3	0,6	0,0001043	0,0000872
2.	0,4	0,6	0,0001035	0,0000862
3.	0,5	0,6	0,0001027	0,0000852

Tabel 4.50 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketebalan Pondasi Sama Tetapi Kedalaman Penanaman Pondasi Berbeda (Lanjutan)

No.	h (m)	h tot (m)	A_z (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
4.	0,6	0,6	0,0001019	0,0000842

Tabel 4.51 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

No.	h (m)	h tot (m)	A_z (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,5	0,9	0,0000945	0,0000781
2.	0,6	1	0,0000916	0,0000755
3.	0,7	1,1	0,0000889	0,0000730
4.	0,8	1,2	0,0000865	0,0000708

Tabel 4.52 Perbandingan Amplitudo kelompok I dengan II Ketika Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Tetapi Ketebalan Pondasi Berbeda

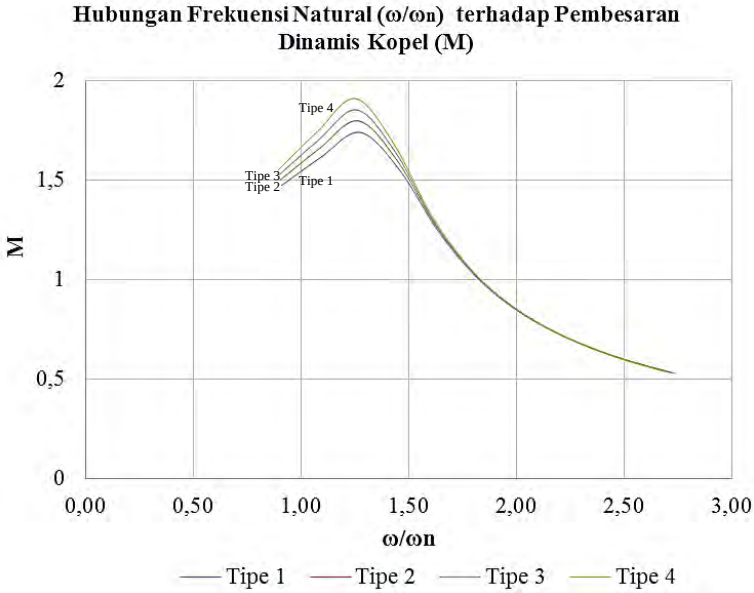
No.	h (m)	h tot (m)	A_z (inch)	
			Kelompok I	Kelompok II
1.	0,3	0,6	0,0001043	0,0000872
2.	0,4	0,7	0,0001005	0,0000836
3.	0,5	0,8	0,0000970	0,0000803
4.	0,6	0,9	0,0000939	0,0000774

4.6. Grafik Non Dimensi

Grafik dibawah ini dapat digunakan untuk segala jenis mesin, tetapi dimensi pondasi dan keadaan tanah sesuai dengan studi ini. Dengan adanya grafik ini, perencana dapat mengkontrol amplitudo terhadap lingkungkan.

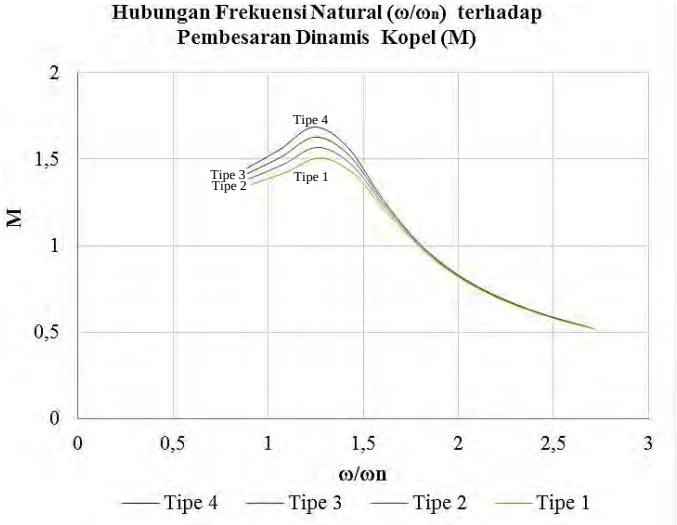
4.6.1 Kelompok I

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa amplitudo cepat berkurang saat ketinggian pondasi di atas muka tanah telah ditetapkan. Maka grafik di bawah ini hanya disajikan ketika ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m dan 0,3m.



Gambar 4.75 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1 m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_z = 0,2; B_ϕ = 0,03; B_x =0,3.

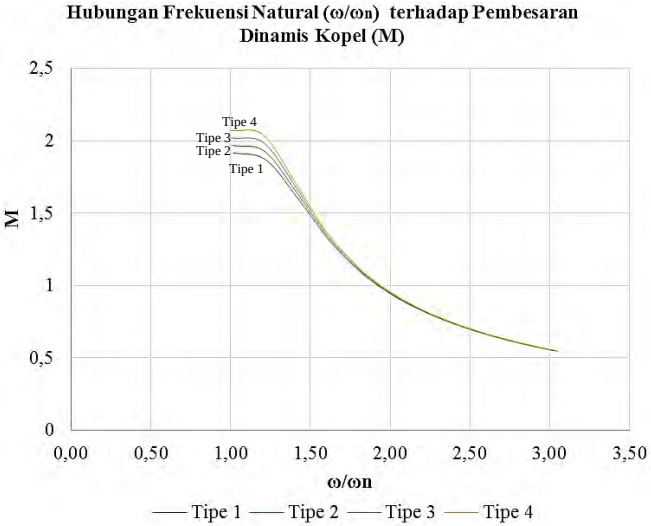


Gambar 4.76 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,6m; tipe 2 : h_{tot} = 0,7 m; tipe 3 : h_{tot} = 0,8m; tipe 4 : h_{tot} = 0,9 m. Tipe 1-4 B = 4,6 m; L 13 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3 m; B_z = 0,2; B_ϕ = 0,03; B_x =0,3.

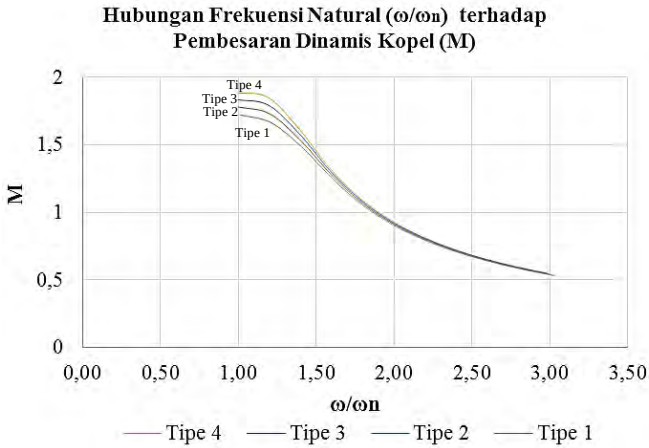
4.6.2 Kelompok II

Pada kelompok II juga sama hal nya dengan kelompok I. bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa amplitudo cepat berkurang saat ketinggian pondasi di atas muka tanah telah ditetapkan. Maka grafik di bawah ini hanya disajikan ketika ketinggian pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4m dan 0,3m.



Gambar 4.77 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M)

Keterangan: tipe 1 : h_{tot} = 0,9m; tipe 2 : h_{tot} = 1m; tipe 3 : h_{tot} = 1,1m; tipe 4 : h_{tot} = 1,2m. Tipe 1-4 : B = 4,6 m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,4 m; B_z = 0,2; B_ϕ = 0,02; B_x =0,2.



Gambar 4.78 Hubungan Frekuensi Natural (ω/ωn) terhadap Pembesaran Dinamis Kopel (M)

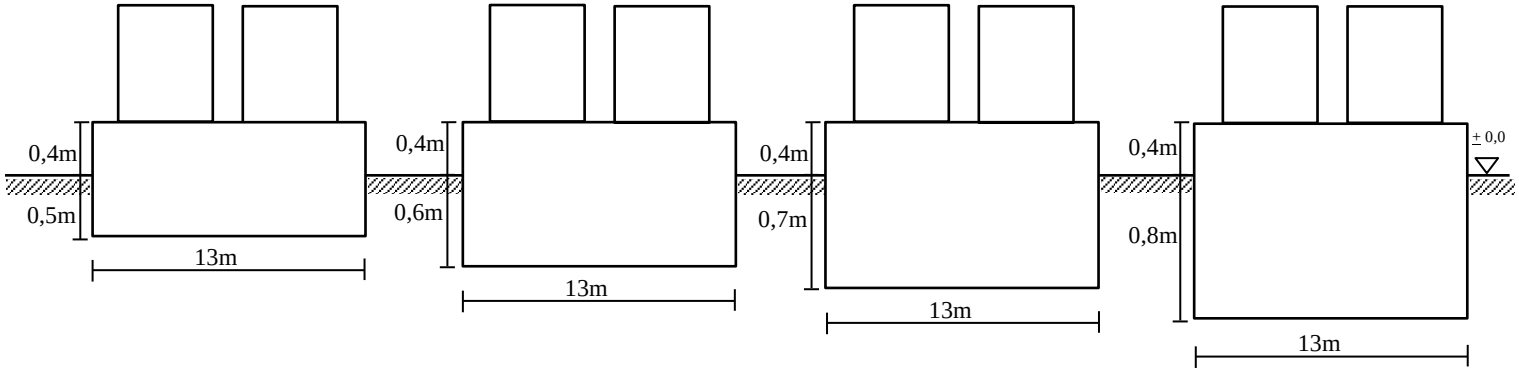
Keterangan: tipe 1 : htot = 0,6m; tipe 2 : htot = 0,7m; tipe 3 : htot = 0,8m; tipe 4 : htot = 0,9m. Tipe 1-4 : B = 4,6m; L 19,5 m; ketinggian pondasi di atas tanah = 0,3m; B_z = 0,2; B_ϕ = 0,02; B_x =0,2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
REKAPITULASI

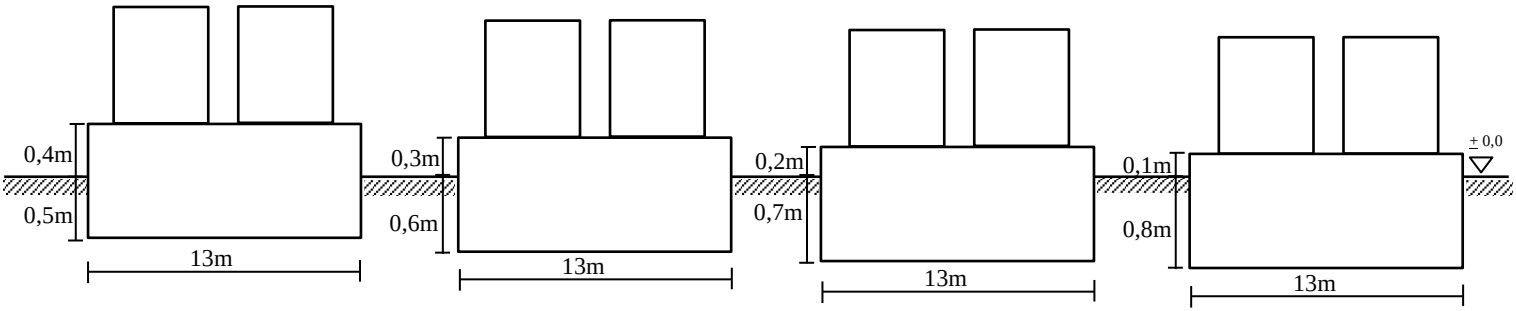
5.1. Kelompok I

Studi pada kelompok I ini dibedakan menjadi dua yaitu ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap dan ketebalan pondasi tetap. Tetapi untuk dimensi pondasi B x L tetap sebesar 4,6m x 13 m. Hasil rekapitulasi tertera dibawah ini.



a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.1 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m



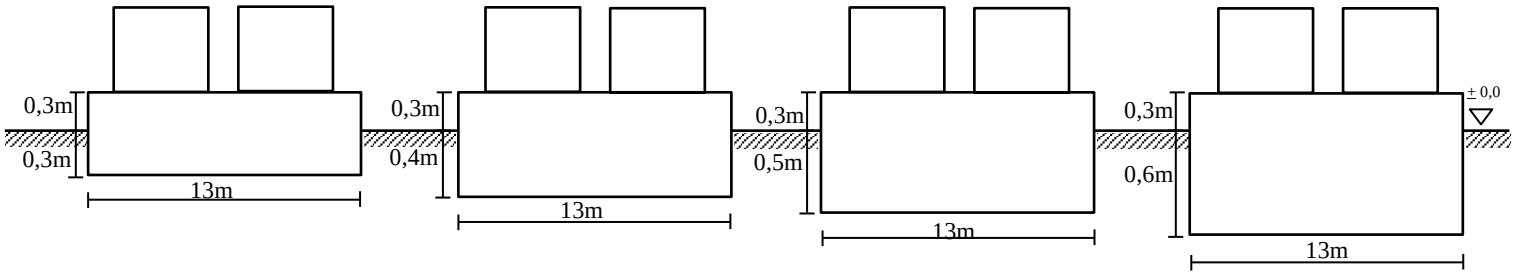
a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.2 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m

Tabel 5.1. Rekapitulasi

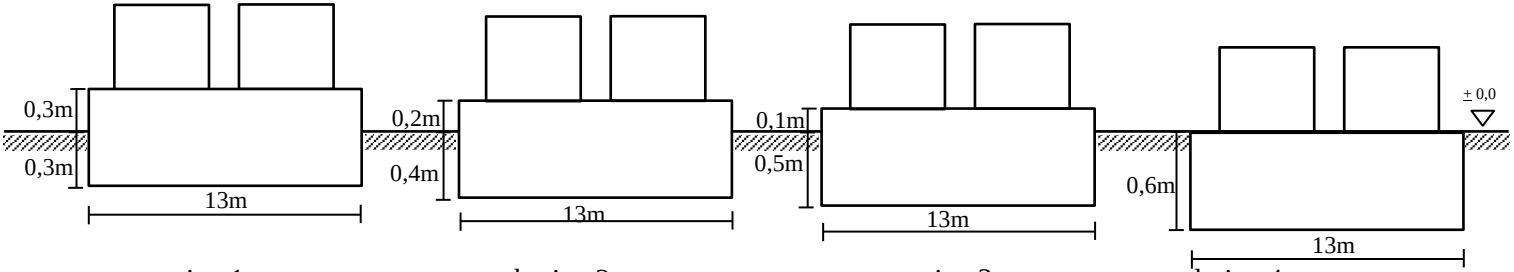
No	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama						Ketebalan Podasi Sama					
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	$9{,}447.10^{-5}$	0,01609	0,480	0,130	0,5	0,9	$9{,}45.10^{-5}$	0,01609	0,480	0,130
2	0,6	1	$9{,}156.10^{-5}$	0,01530	0,465	0,124	0,6	0,9	$9{,}39.10^{-5}$	0,01595	0,476	0,129
3	0,7	1,1	$8{,}890.10^{-5}$	0,01463	0,452	0,118	0,7	0,9	$9{,}33.10^{-5}$	0,01583	0,474	0,128
4	0,8	1,2	$8{,}648.10^{-5}$	0,01408	0,439	0,114	0,8	0,9	$9{,}27.10^{-5}$	0,01572	0,471	0,127

Keterangan: dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13m.



a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.3 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m



a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.4 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m

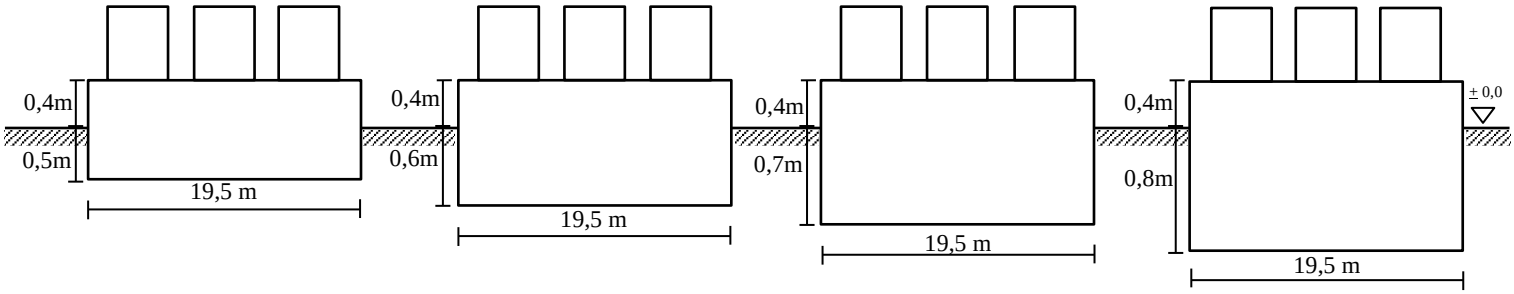
Tabel 5.2. Rekapitulasi

No	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama						Ketebalan Podasi Sama					
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,00010433	0,01961	0,530	0,159	0,3	0,6	0,0001043	0,01961	0,530	0,159
2	0,4	0,7	0,00010047	0,01812	0,510	0,146	0,4	0,6	0,0001035	0,01954	0,526	0,158
3	0,5	0,8	0,00009700	0,01693	0,493	0,137	0,5	0,6	0,0001027	0,01947	0,522	0,157
4	0,6	0,9	0,00009386	0,01595	0,477	0,129	0,6	0,6	0,0001019	0,01941	0,518	0,157

Keterangan: dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 13m.

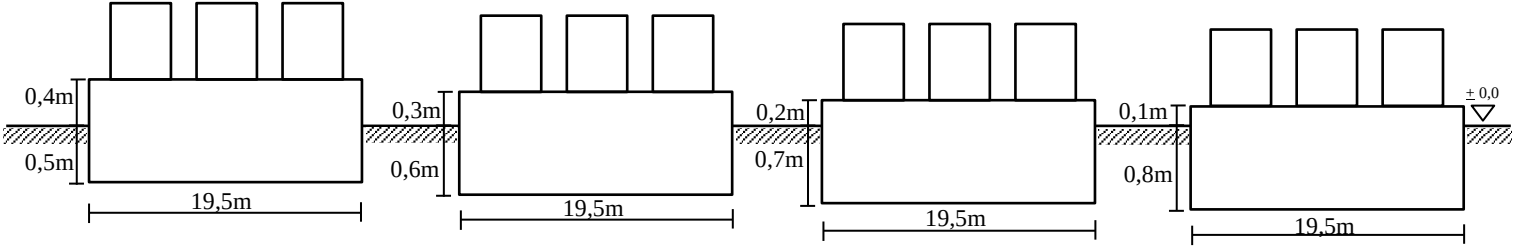
5.2. Kelompok II

Studi pada kelompok II ini dibedakan menjadi dua pula yaitu ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap dan ketebalan pondasi tetap. Tetapi untuk dimensi pondasi B x L tetap sebesar 4,6 m x 19,5 m. Hasil rekapitulasi tertera dibawah ini.



a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.5 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,4 m



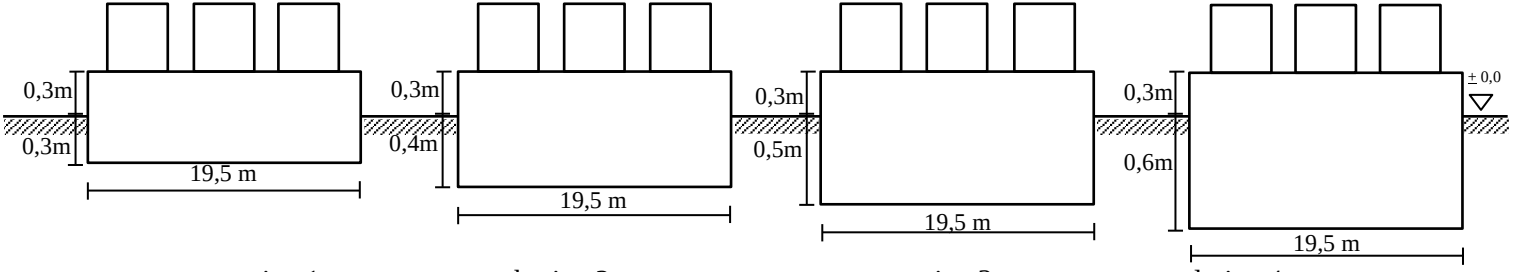
a. tipe 1 b. tipe c. tipe 3 d.tipe 4

Gambar 5.6 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,9 m

Tabel 5.3. Rekapitulasi

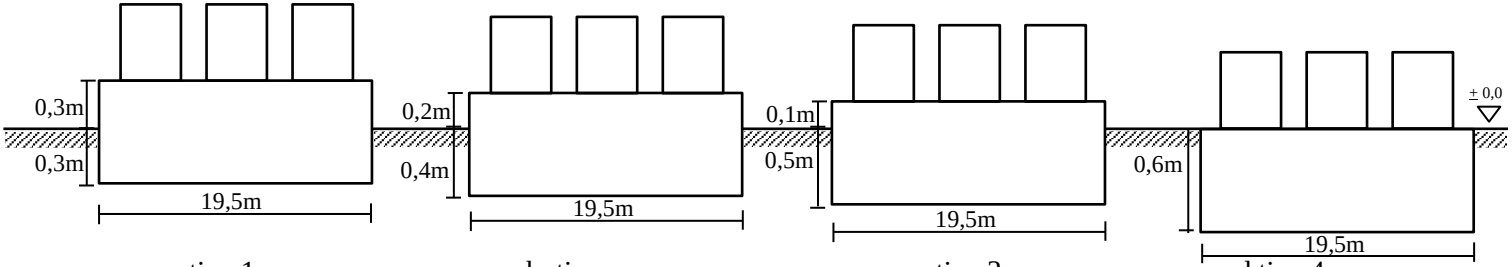
No	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama						Ketebalan Podasi Sama					
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,5	0,9	0,0000781	0,01458	0,397	0,118	0,5	0,9	0,0000781	0,01458	0,3970	0,1179
2	0,6	1	0,0000755	0,01381	0,383	0,112	0,6	0,9	0,0000774	0,01436	0,3933	0,1161
3	0,7	1,1	0,0000730	0,01315	0,371	0,106	0,7	0,9	0,0000768	0,01416	0,3900	0,1145
4	0,8	1,2	0,0000708	0,01258	0,360	0,102	0,8	0,9	0,0000761	0,01397	0,3864	0,1129

Keterangan: dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5m.



a. tipe 1 b. tipe 2 c. tipe 3 d. tipe 4

Gambar 5.7 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman dengan Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama Sebesar 0,3 m



a. tipe 1 b. tipe c. tipe 3 d.tipe 4

Gambar 5.8 Tipe-Tipe Perbedaan Kedalaman Penanaman Pondasi dengan Ketebalan Pondasi Tetap 0,6 m

Tabel 5.4. Rekapitulasi

No	Ketinggian Pondasi di Muka Tanah Sama						Ketebalan Podasi Sama					
	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx	h (m)	h tot (m)	Az (inch)	v (inch/dt)	Kz	Kx
1	0,3	0,6	0,0000872	0,01772	0,443	0,143	0,3	0,6	0,0000872	0,01729	0,433	0,140
2	0,4	0,7	0,0000836	0,01637	0,425	0,132	0,4	0,6	0,0000862	0,01710	0,428	0,138
3	0,5	0,8	0,0000803	0,01527	0,408	0,123	0,5	0,6	0,0000852	0,01729	0,433	0,140
4	0,6	0,9	0,0000774	0,01436	0,393	0,116	0,6	0,6	0,0000842	0,01710	0,428	0,138

Keterangan: dimensi pondasi B = 4,6m dan L = 19,5m.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

A. Pengaruh Kedalaman Penanaman Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin

A.1. Kelompok I (Menopang Dua Mesin)

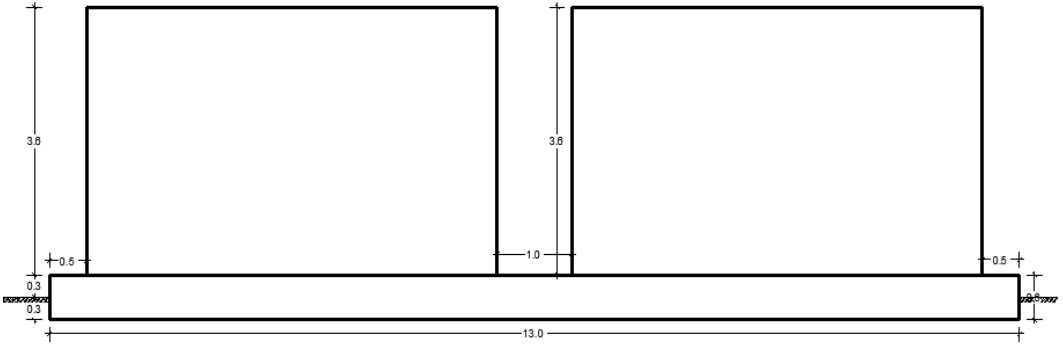
Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada tiga dimensi pondasi, dan satu dimensi pondasi yang tertera pada sub bab 4.1.1 dan 4.2.1. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:

1. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,3 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430	0,000	0,500	1689,9	2393,264
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,023	0,497	1678,28	2616,098
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,046	0,493	1666,66	2838,933
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,069	0,490	1655,04	3061,768
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,092	0,486	1643,421	3284,603
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,115	0,483	1631,801	3507,438

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,138	0,479	1620,181	3730,273
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,160	0,476	1608,561	3953,108
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,183	0,472	1596,942	4175,943
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,206	0,469	1585,322	4398,778
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,229	0,466	1573,702	4621,612
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,252	0,462	1562,082	4844,447
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,275	0,459	1550,463	5067,282

$\overline{\sigma_v}$ = 2393,264 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 957,305 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1434,522 Kg/m^2
G = 11.961.429,118 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,156	B_ϕ = 0,020	B_x = 0,205
η_z = 1,025	η_ϕ = 1,038	η_x = 1,061
k_z = 347639373,717 Kg/m	k_ϕ = 6433510111,162 Kg/m	k_x = 274793893,953 Kg/m
α_z = 1,065	α_ϕ = 1,003	α_x = 1,174
D_z = 1,146	D_ϕ = 0,818	D_x = 0,747
ω_{nz} = 129,898 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 222,940 rad/dt	ω_{nx} = 115,489
r = 2,419	r = 1,409	r = 2,720
M_z = 0,136	M_ϕ = 0,399	M_x = 0,132
A_z = 1,509. 10^{-6} m	A_ϕ = 3,235 . 10^{-7} radial	A_x = 1,855 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 17.528.563.259,851		
A_{x1} = 3,839 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,468 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 7,703 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 9,856 . 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,141 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,585 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total					
$A_{z\ total}$	=	$2{,}650 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,00010433 inch			
	=	2,650 micro			
$A_{x\ total}$	=	$1{,}585 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,000062 inch			
	=	1,585 micro			
$A_{y\ total}$	=	0 m			
Kontrol					
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00010433 inch			
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)			
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01961 inch/dt			
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,530	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
		K_x	=	0,159	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	

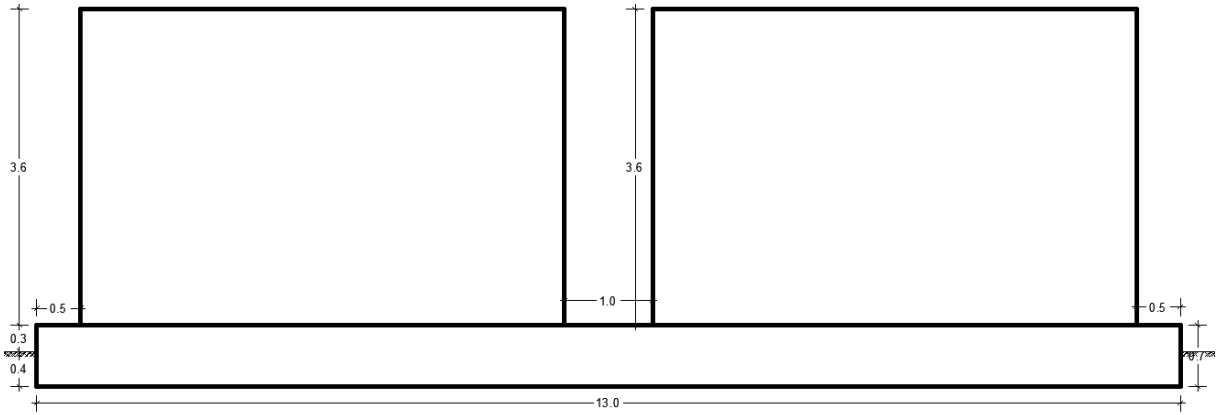
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 703,364 Kg/m^2				
q_{ult} = 146601,041 Kg/m^2				
q_{ijin} = 48867,014 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2676,435 Kg/m^2	<	24433,507 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3464,777 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3393,640 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)

2. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebsar 0,3 m

h = 0,4 m L = 13 m

h_{tot} = 0,7 m B = 4,6 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,000	0,500	1809,9	2747,718
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,023	0,497	1797,455	2969,728
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,046	0,493	1785,01	3191,738
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,069	0,490	1772,565	3413,748
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,092	0,486	1760,12	3635,757

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,115	0,483	1747,675	3857,767
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,138	0,479	1735,23	4079,777
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,160	0,476	1722,786	4301,787
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,183	0,472	1710,341	4523,796
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,206	0,469	1697,896	4745,806
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,229	0,466	1685,451	4967,816
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,252	0,462	1673,006	5189,826
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,275	0,459	1660,561	5411,835

$\overline{\sigma_v}$ = 2747,718 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1099,087 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1646,982 Kg/m^2
G = 12.816.631,616 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,178	B_ϕ = 0,023	B_x = 0,220
η_z = 1,033	η_ϕ = 1,050	η_x = 1,081
k_z = 375401709,227 Kg/m	k_ϕ = 6977486352,598 Kg/m	k_x = 299990995,377 Kg/m
α_z = 1,087	α_ϕ = 1,005	α_x = 1,230
D_z = 1,13	D_ϕ = 0,754	D_x = 0,755
ω_{nz} = 130,434 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 214,759 rad/dt	ω_{nx} = 116,599
r = 2,409	r = 1,463	r = 2,694
M_z = 0,138	M_ϕ = 0,403	M_x = 0,134
A_z = $1{,}418 \cdot 10^{-6}$ m	A_ϕ = $3{,}236 \cdot 10^{-7}$ radial	A_x = $1{,}726 \cdot 10^{-6}$ m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 16.533.313.493,371		
A_{x1} = $4{,}220 \cdot 10^{-8}$ m		
A_{x2} = $1{,}334 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{\phi 1}$ = $8{,}004 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{\phi 2}$ = $9{,}447 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{z\,max}$ = $1{,}126 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{x\,max}$ = $1{,}369 \cdot 10^{-6}$ m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}552 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,00010047 inch		
	=	2,552 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}465 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,000058 inch		
	=	1,465 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00010047 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01812 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,510
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,146
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

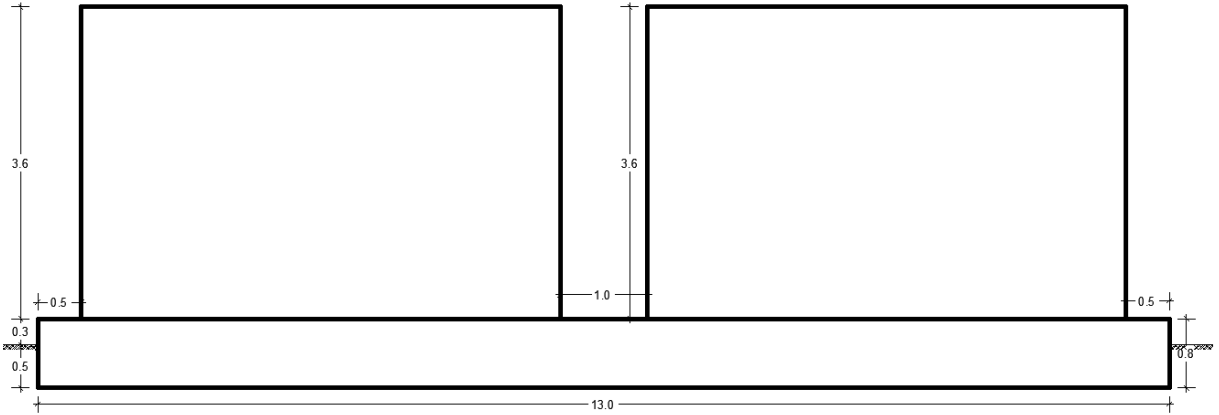
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q	=	937,819 Kg/m^2		
q_{ult}	=	152040,389 Kg/m^2		
q_{ijin}	=	50680,130 Kg/m^2		
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2681,981 Kg/m^2	<	25340,065 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3708,555 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3629,567 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)

3. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,5 m L = 13 m

h_{tot} = 0,8 m B = 4,6 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	1929,900	3102,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,023	0,497	1916,630	3323,357
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,046	0,493	1903,360	3544,542
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,069	0,490	1890,090	3765,727

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,092	0,486	1876,820	3986,911
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,115	0,483	1863,550	4208,096
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,138	0,479	1850,280	4429,281
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,160	0,476	1837,010	4650,465
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,183	0,472	1823,740	4871,650
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1810,470	5092,835
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,229	0,466	1797,200	5314,019
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,252	0,462	1783,930	5535,204

$\overline{\sigma_v}$ = 3102,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1240,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1859,442 Kg/m^2
G = 13.618.243,298 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,178	B_ϕ = 0,027	B_x = 0,235
η_z = 1,041	η_ϕ = 1,063	η_x = 1,101
k_z = 401969918,490 Kg/m	k_ϕ = 7503430597,975 Kg/m	k_x = 324650999,403 Kg/m
α_z = 1,108	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,285
D_z = 1,116	D_ϕ = 0,702	D_x = 0,763
ω_{nz} = 130,707 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 208,120 rad/dt	ω_{nx} = 117,465
r = 2,404	r = 1,51	r = 2,674
M_z = 0,139	M_ϕ = 0,404	M_x = 0,135
A_z = 1,338 . 10^{-6} m	A_ϕ = 3,225 . 10^{-7} radial	A_x = 1,613 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.802.197.791,856		
A_{x1} = 4,578 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,224 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 8,226 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 9,10 . 10^{-6} m		
$A_{z\,max}$ = 1,126 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,369 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}464 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,00009700 inch		
	=	2,464 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}369 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,000054 inch		
	=	1,369 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00009700 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01693 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,493
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,137
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

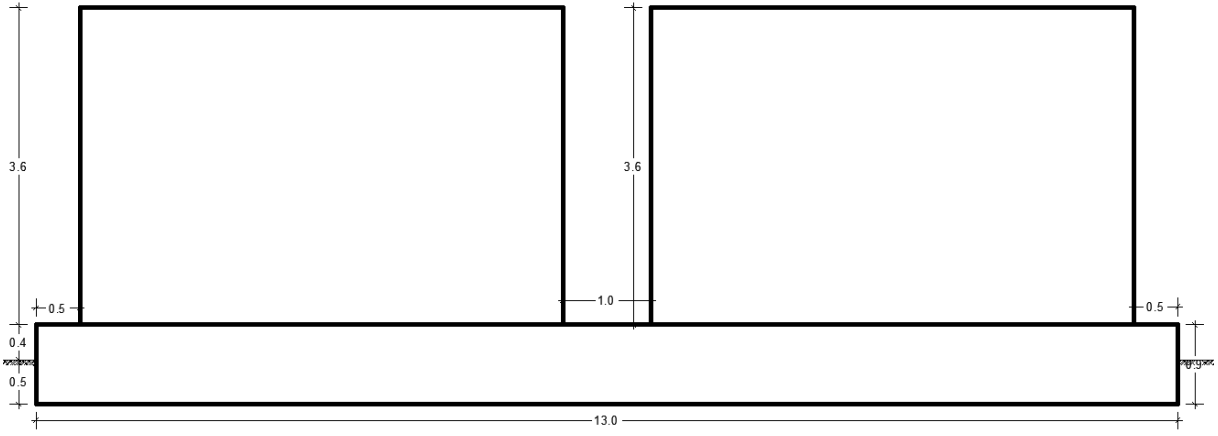
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q	=	1172,273 Kg/m^2		
q_{ult}	=	157479,736 Kg/m^2		
q_{ijin}	=	52493,245 Kg/m^2		
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2687,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3952,248 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3865,509 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)

4. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas tanah sebesar 0,4m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	2049,9	3222,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,023	0,497	2035,805	3442,532
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,046	0,493	2021,709	3662,892
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,069	0,490	2007,614	3883,251

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,092	0,486	1993,519	4103,611
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,115	0,483	1979,424	4323,970
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,138	0,479	1965,329	4544,330
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,160	0,476	1951,234	4764,690
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,183	0,472	1937,139	4985,049
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1923,044	5205,409
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,229	0,466	1908,949	5425,768
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,252	0,462	1894,853	5646,128

$\overline{\sigma_v}$ = 3222,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1288,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1931,370 Kg/m^2
G = 13.879.129,324 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,189	B_ϕ = 0,030	B_x = 0,249
η_z = 1,041	η_ϕ = 1,063	η_x = 1,101
k_z = 409670766,491 Kg/m	k_ϕ = 7647179609,692 Kg/m	k_x = 330870589,190 Kg/m
α_z = 1,108	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,285
D_z = 1,083	D_ϕ = 0,658	D_x = 0,742
ω_{nz} = 128,032 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 197,882 rad/dt	ω_{nx} = 115,062
r = 2,454	r = 1,588	r = 2,730
M_z = 0,137	M_ϕ = 0,387	M_x = 0,131
A_z = $1{,}290.\ 10^{-6}$ m	A_ϕ = $3{,}226.10^{-7}$ radial	A_x = $1{,}533\ .\ 10^{-6}$ m
Kopel		
$\Delta\ (\omega)^2$ = 14.900.567.450,803		
A_{x1} = $4{,}721\ .\ 10^{-8}$ m		
A_{x2} = $1{,}146\ .\ 10^{-6}$ m		
$A_{\phi 1}$ = $8{,}470\ .\ 10^{-8}$ m		
$A_{\phi 2}$ = $8{,}604.\ 10^{-8}$ m		
$A_{z\ max}$ = $1{,}110\ .\ 10^{-6}$ m		
$A_{x\ max}$ = $1{,}301\ .\ 10^{-6}$ m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}40 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,00009447 inch		
	=	2,40 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}301 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,0000512 inch		
	=	1,301 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00009447 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01609 inch/dt		
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,480
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,130
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

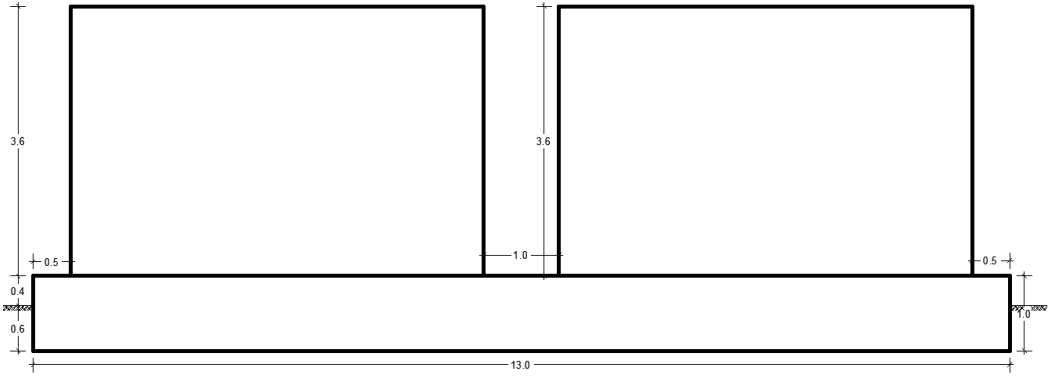
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1172,273 Kg/m^2				
q_{ult} = 157479,736 Kg/m^2				
q_{ijin} = 52493,245 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2927,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis $\pm$ dinamis	:	$\sigma_{statis \pm dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4193,390 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4101,786 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)

5. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas tanah sebesar 0,4 m

h = 0,6 m B = 4,6 m

h_{tot} = 1 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,000	0,500	2169,9	3576,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,023	0,497	2154,979	3796,162
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,046	0,493	2140,059	4015,696

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,069	0,490	2125,139	4235,231
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,092	0,486	2110,219	4454,765
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,115	0,483	2095,298	4674,300
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,138	0,479	2080,378	4893,834
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,160	0,476	2065,458	5113,368
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,183	0,472	2050,538	5332,903
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,206	0,469	2035,618	5552,437
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,229	0,466	2020,697	5771,972

$\overline{\sigma_v}$ = 3576,627 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1430,651 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2143,831 Kg/m^2
G = 14.622.602,034 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,200	B_ϕ = 0,033	B_x = 0,264
η_z = 1,050	η_ϕ = 1,076	η_x = 1,121
k_z = 435347426,940 Kg/m	k_ϕ = 815335895,843 Kg/m	k_x = 354926884,073 Kg/m
α_z = 1,129	α_ϕ = 1,008	α_x = 1,339
D_z = 1,073	D_ϕ = 0,621	D_x = 0,751
ω_{nz} = 128,282 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 193,626 rad/dt	ω_{nx} = 115,829
r = 2,449	r = 1,623	r = 2,712
M_z = 0,138	M_ϕ = 0,385	M_x = 0,132
A_z = 1,224. 10^{-6} m	A_ϕ = 3,193 . 10^{-7} radial	A_x = 1,442 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 14.493.678.239,070		
A_{x1} = 5,049 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,070 . 10^{-6} m		
$A_{\phi1}$ = 8,583 . 10^{-8} m		
$A_{\phi2}$ = 8,368. 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,102 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,237 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}326 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,00009156 inch		
	=	2,326 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1237 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,000049 inch		
	=	1,237 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00009156 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01530 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,465
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,124
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

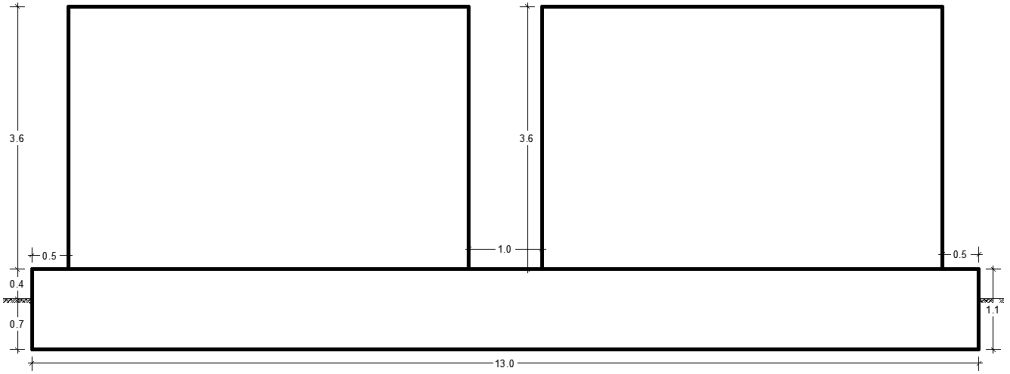
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1406,728 Kg/m^2				
q_{ult} = 162919,084 Kg/m^2				
q_{ijin} = 54306,361 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2933,072 Kg/m^2	<	27153,181 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis $\pm$ dinamis	:	$\sigma_{statis \pm dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4437,075 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4337,849 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)

6. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4 m

h = 0,7 m B = 4,6 m

h_{tot} = 1,1 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,000	0,500	2289,900	3931,082
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,023	0,497	2274,154	4149,791

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,046	0,493	2258,409	4368,501
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,069	0,490	2242,664	4587,210
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,092	0,486	2226,918	4805,919
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,115	0,483	2211,173	5024,629
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,138	0,479	2195,428	5243,338
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,160	0,476	2179,682	5462,047
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,183	0,472	2163,937	5680,756
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	2148,191	5899,466

$\overline{\sigma_v}$ = 3931,082 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1572,433 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2356,291 Kg/m^2
G = 15.330.060,328 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,211	B_ϕ = 0,037	B_x = 0,278
η_z = 1,058	η_ϕ = 1,089	η_x = 1,141
k_z = 459887445,668 Kg/m	k_ϕ = 8649523514,592 Kg/m	k_x = 378737346,130 Kg/m
α_z = 1,150	α_ϕ = 1,009	α_x = 1,393
D_z = 1,064	D_ϕ = 0,589	D_x = 0,761
ω_{nz} = 128,347 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 189,926 rad/dt	ω_{nx} = 116,474
r = 2,448	r = 1,654	r = 2,697
M_z = 0,139	M_ϕ = 0,383	M_x = 0,133
A_z = 1,164. 10^{-6} m	A_ϕ = 3,165 . 10^{-7} radial	A_x = 1,361 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 14.180.151.556,745		
A_{x1} = 5,372 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,003 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 8,663 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 8,163 . 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,094 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,183 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total					
$A_{z\ total}$	=	$2{,}258 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,00008890 inch			
	=	2,258 micro			
$A_{x\ total}$	=	$1{,}183 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,0000466 inch			
	=	1,183 micro			
$A_{y\ total}$	=	0 m			
Kontrol					
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00008890 inch			
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)			
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01463 inch/dt			
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,452	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
		K_x	=	0,118	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	

Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1641,183 Kg/m^2				
q_{ult} = 168358,432 Kg/m^2				
q_{ijin} = 56119,477 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2938,617 Kg/m^2	<	28059,739 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis $\pm$ dinamis	:	$\sigma_{statis \pm dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4680,734 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4573,863 Kg/m^2	<	42089,608Kg/m^2 (Memenuhi)

A.2. Kelompok II (Menopang Tiga Mesin)

Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada tiga dimensi pondasi, dan satu dimensi pondasi yang tertera pada sub bab 4.1.2 dan 4.2.2. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:

1. Tipe 1

   Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

   h = 0,3 m B = 4,6 m

   h_{tot} = 0,6 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	ϕ	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430	0,000	0,500	1689,900	2393,264
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,019	0,497	1680,411	2618,230
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,037	0,494	1670,923	2843,196
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,056	0,492	1661,434	3068,162
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,075	0,489	1651,946	3293,128
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,094	0,486	1642,457	3518,094
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,112	0,483	1632,969	3743,060
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,131	0,480	1623,480	3968,027
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,150	0,478	1613,992	4192,993
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,168	0,475	1604,503	4417,959
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,187	0,472	1595,015	4642,925
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1585,526	4867,891
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,225	0,466	1576,038	5092,857

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,243	0,464	1566,549	5317,824

$\overline{\sigma_v}$ = 2393,264 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 957,305 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1434,522 Kg/m^2
G = 11.961.429,118 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,127	B_ϕ = 0,014	B_x = 0,168
η_z = 1,020	η_ϕ = 1,028	η_x = 1,049
k_z = 423692615,468 Kg/m	k_ϕ = 14336930515,148 Kg/m	k_x = 332745975,977 Kg/m
α_z = 1,054	α_ϕ = 1,002	α_x = 1,143
D_z = 1,257	D_ϕ = 0,972	D_x = 0,803
ω_{nz} = 117,090 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 183,462 rad/dt	ω_{nx} = 103,765
r = 2,683	r = 1,712	r = 3,028
M_z = 0,109	M_ϕ = 0,260	M_x = 0,105

A_z = 1,493. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,419 . 10^{-7} radial	A_x = 1,832 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 18.275.635.852,069		
A_{x1} = 1,607 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,383 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,409 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,992 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,216 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,433 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,215 . 10^{-6} m		
= 0,0000872 inch		
= 2,215 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,433 . 10^{-6} m		
= 0,000056 inch		
= 1,433 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0, 0000872 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01772 inch/dt		
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,443	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,143	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 703,364 Kg/m^2				
q_{ult} = 146601,041 Kg/m^2				
q_{ijin} = 48867,014 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2676,435 Kg/m^2	<	24433,507 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	3450,804 Kg/m^2	<	36650,260 sKg/m^2 (Memenuhi)	
	3404,983 Kg/m^2	<	36650,260 sKg/m^2 (Memenuhi)	

2. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,4 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,7 m L = 13 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,000	0,500	1809,900	2747,718
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,019	0,497	1799,737	2972,011
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,037	0,494	1789,575	3196,303
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,056	0,492	1779,413	3420,595
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,075	0,489	1769,251	3644,888
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,094	0,486	1759,088	3869,180
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,112	0,483	1748,926	4093,472
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,131	0,480	1738,764	4317,765
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,150	0,478	1728,602	4542,057
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,168	0,475	1718,439	4766,350
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,187	0,472	1708,277	4990,642
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,206	0,469	1698,115	5214,934

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,225	0,466	1687,952	5439,227

$\overline{\sigma_v}$ = 2747,718 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1099,087 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1646,982 Kg/m^2
G = 12.816.631,616 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,136	B_ϕ = 0,017	B_x = 0,180
η_z = 1,027	η_ϕ = 1,037	η_x = 1,066
k_z = 457100816,724 Kg/m	k_ϕ = 15501093614,764 Kg/m	k_x = 362314203,176 Kg/m
α_z = 1,071	α_ϕ = 1,003	α_x = 1,189
D_z = 1,234	D_ϕ = 0,897	D_x = 0,807
ω_{nz} = 117,517 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 176,542 rad/dt	ω_{nx} = 104,626
r = 2,673	r = 1,780	r = 3,003
M_z = 0,111	M_ϕ = 0,259	M_x = 0,107

A_z = 1,406. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,404 . 10^{-7} radial	A_x = 1,707 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 17.248.416.871,669		
A_{x1} = 1,755 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,268. 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,537 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,812 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,165 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,323 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,123 . 10^{-6} m		
= 0,0000836 inch		
= 2,123 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,323 . 10^{-6} m		
= 0,000052 inch		
= 1,323 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000836 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01637 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,425	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,132	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 937,819 Kg/m^2				
q_{ult} = 152040,389 Kg/m^2				
q_{ijin} = 50680,130 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2681,981 Kg/m^2	<	25340,065 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	3692,995 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	3642,242 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)	

3. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,8 m L = 13 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	***ϕ***	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	1929,9	3102,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,019	0,497	1919,064	3325,791
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,037	0,494	1908,228	3549,410
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,056	0,492	1897,392	3773,029
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,075	0,489	1886,555	3996,647
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,094	0,486	1875,719	4220,266
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,112	0,483	1864,883	4443,884
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,131	0,480	1854,047	4667,503
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,150	0,478	1843,211	4891,122
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,168	0,475	1832,375	5114,740
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,187	0,472	1821,539	5338,359

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	1810,703	5561,977

$\overline{\sigma_v}$ = 3102,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1240,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1859,442 Kg/m^2
G = 13.618.234,298 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,145	B_ϕ = 0,019	B_x = 0,192
η_z = 1,034	η_ϕ = 1,047	η_x = 1,082
k_z = 489000150,233 Kg/m	k_ϕ = 16618675790,788 Kg/m	k_x = 390752995,027 Kg/m
α_z = 1,088	α_ϕ = 1,004	α_x = 1,235
D_z = 1,214	D_ϕ = 0,837	D_x = 0,812
ω_{nz} = 117,709 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 170,914 rad/dt	ω_{nx} = 105,222
r = 2,669	r = 1,838	r = 2,986
M_z = 0,112	M_ϕ = 0,257	M_x = 0,108

A_z = 1,329. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,389 . 10^{-7} radial	A_x = 1,598 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 16.481.030.441,096		
A_{x1} = 1,896 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,174 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,634 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,663 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,114 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,235 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,041 . 10^{-6} m		
= 0,0000803 inch		
= 2,041 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,235 . 10^{-6} m		
= 0,000049 inch		
= 1,235 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000803 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01527 inch/dt			
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,408		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
	K_x	=	0,124		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
Kontrol Daya Dukung Tanah					
q = 1172,273 Kg/m^2					
q_{ult} = 157479,736 Kg/m^2					
q_{ijin} = 52493,245 Kg/m^2					
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
		2687,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
		3935,125 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	
		3879,509 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	

4. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4 m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	2049,9	3222,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,019	0,497	2038,39	3445,118
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,037	0,494	2026,88	3668,062
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,056	0,492	2015,370	3891,007
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,075	0,489	2003,860	4113,952
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,094	0,486	1992,351	4336,897
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,112	0,483	1980,841	4559,842
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,131	0,480	1969,331	4782,787
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,150	0,478	1957,821	5005,731
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,168	0,475	1946,311	5228,676
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,187	0,472	1934,801	5451,621

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	1923,292	5674,566

$\overline{\sigma_v}$ = 3222,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1288,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1931,370 Kg/m^2
G = 13.879.129,324 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,145	B_ϕ = 0,022	B_x = 0,203
η_z = 1,034	η_ϕ = 1,047	η_x = 1,082
k_z = 498368303,561 Kg/m	k_ϕ = 16937052590,545 Kg/m	k_x = 398238951,767 Kg/m
α_z = 1,088	α_ϕ = 1,004	α_x = 1,235
D_z = 1,178	D_ϕ = 0,785	D_x = 0,789
ω_{nz} = 115,301 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 162,598 rad/dt	ω_{nx} = 103,069
r = 2,725	r = 1,932	r = 3,048
M_z = 0,110	M_ϕ = 0,245	M_x = 0,104

A_z = 1,280. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,383 . 10^{-7} radial	A_x = 1,518 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.511.957.222,858		
A_{x1} = 1,959 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,113 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,754 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,472 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,046 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,179 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 1,985 . 10^{-6} m		
= 0,0000781 inch		
= 1,985 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,179 . 10^{-6} m		
= 0,000046 inch		
= 1,179 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000781 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01458 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,397	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,118	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1172,273 Kg/m^2				
q_{ult} = 157479,736 Kg/m^2				
q_{ijin} = 52493,245 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2927,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	4175,401 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	4116,636 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	

5. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4 m

h = 0,6 m B = 4,6 m

h_{tot} = 1 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,000	0,500	2169,9	3576,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,019	0,497	2157,716	3798,899
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,037	0,494	2145,532	4021,170
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,056	0,492	2133,349	4243,441
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,075	0,489	2121,165	4465,712
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,094	0,486	2108,982	4687,983
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,112	0,483	2096,798	4910,254
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,131	0,480	2084,614	5132,525
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,150	0,478	2072,431	5354,796
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,168	0,475	2060,247	5577,067

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m³)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m²)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m²)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m²)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,187	0,472	2048,064	5799,338

$\overline{\sigma_v}$ = 3576,627 Kg/m²
$\overline{\sigma_H}$ = 1430,651 Kg/m²
$\overline{\sigma_o}$ = 2143,831 Kg/m²
G = 14.622.602,034 Kg/m²

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,163	B_ϕ = 0,024	B_x = 0,215
η_z = 1,040	η_ϕ = 1,056	η_x = 1,099
k_z = 528111532,910 Kg/m	k_ϕ = 18003685990,782 Kg/m	k_x = 426163848,532 Kg/m
α_z = 1,106	α_ϕ = 1,005	α_x = 1,280
D_z = 1,164	D_ϕ = 0,743	D_x = 0,795
ω_{nz} = 115,363 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 158,956 rad/dt	ω_{nx} = 103,631
r = 2,723	r = 1,976	r = 3,032
M_z = 0,111	M_ϕ = 0,242	M_x = 0,105

A_z = 1,217. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,363 . 10^{-7} radial	A_x = 1,431 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.070.095.814,792		
A_{x1} = 2,088 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,046 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,808 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,374 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,002 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,116 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 1,917 . 10^{-6} m		
= 0,0000755 inch		
= 1,917 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,116 . 10^{-6} m		
= 0,000044 inch		
= 1,116 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000755 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01381 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,383	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,112	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1406,728 Kg/m^2				
q_{ult} = 162919,084 Kg/m^2				
q_{ijin} = 54306,361 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2933,072 Kg/m^2	<	27153,181 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	4417,540 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	4354,015 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)	

6. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4 m

h = 0,7 m B = 4,6 m

h_{tot} = 1,1 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	***ϕ***	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,000	0,500	2289,900	3931,082
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,019	0,497	2277,042	4152,679
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,037	0,494	2264,185	4374,277
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,056	0,492	2251,328	4595,874
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,075	0,489	2238,470	4817,471
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,094	0,486	2225,613	5039,068
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,112	0,483	2212,755	5260,666
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,131	0,480	2199,898	5482,263
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,150	0,478	2187,041	5703,860

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,168	0,475	2174,183	5925,457

$\overline{\sigma_v}$ = 3931,082 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1572,433 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2356,291 Kg/m^2
G = 15.330.060,328 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,172	B_ϕ = 0,026	B_x = 0,227
η_z = 1,047	η_ϕ = 1,065	η_x = 1,115
k_z = 557388748,254 Kg/m	k_ϕ = 19042231017,256 Kg/m	k_x = 453286708,009 Kg/m
α_z = 1,123	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,324
D_z = 1,151	D_ϕ = 0,706	D_x = 0,800
ω_{nz} = 115,370 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 155,785 rad/dt	ω_{nx} = 104,040
r = 2,723	r = 2,017	r = 3,020
M_z = 0,111	M_ϕ = 0,239	M_x = 0,106

A_z = 1,159. 10^{-6} m	A_ϕ = 1,346 . 10^{-7} radial	A_x = 1,353 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 14.702.066.522,408		
A_{x1} = 2,213 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 9,878 . 10^{-7} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,850 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,288 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 6,960 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,063 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 1,855 . 10^{-6} m		
= 0,0000730 inch		
= 1,855 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,063 . 10^{-6} m		
= 0,0000419 inch		
= 1,063 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000730 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01315 inch/dt			
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,371		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
	K_x	=	0,106		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
Kontrol Daya Dukung Tanah					
q = 1641,183 Kg/m^2					
q_{ult} = 168358,432 Kg/m^2					
q_{ijin} = 56119,477 Kg/m^2					
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
		2938,617 Kg/m^2	<	28059,739 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
		4659,632 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)	
		4591,424 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)	

B. Pengaruh Ketebalan Pondasi Mesin terhadap Perencanaan Pondasi Mesin

B.1. Kelompok I (Menopang Dua Mesin)

Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada tiga dimensi pondasi, dan satu dimensi pondasi yang tertera pada sub bab 4.1.1 dan 4.3.1. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:

1. Tipe 1

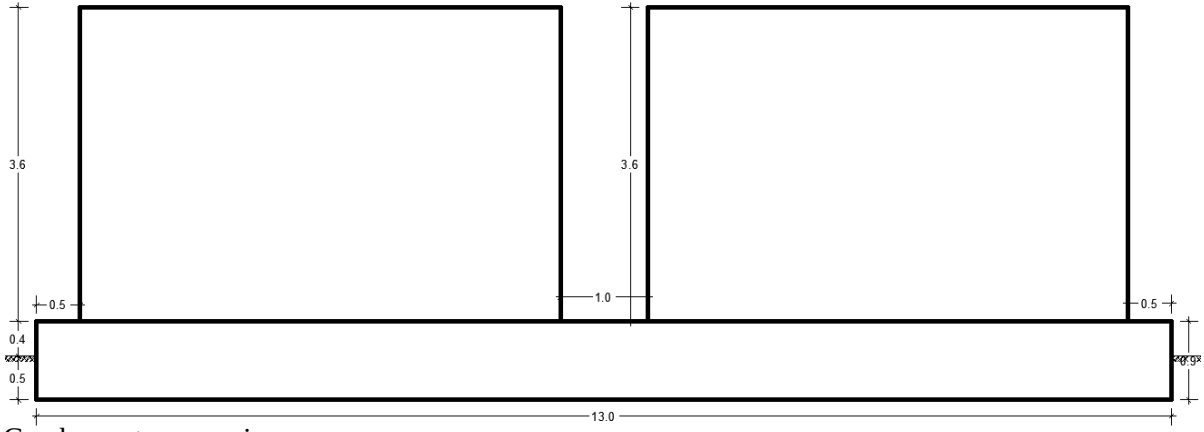
   Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas tanah sebesar 0,4 m

   h = 0,5 m B = 4,6 m

   h_{tot} = 0,9 m L = 13 m

   Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	**ϕ**	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*



Gambar pot. memanjang

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m³)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m²)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m²)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m²)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m²)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	2049,900	3222,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,023	0,497	2035,805	3442,532
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,046	0,493	2021,709	3662,892
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,069	0,490	2007,614	3883,251
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,092	0,486	1993,519	4103,611
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,115	0,483	1979,424	4323,970
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,138	0,479	1965,329	4544,330
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,160	0,476	1951,234	4764,690
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,183	0,472	1937,139	4985,049
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1923,044	5205,409
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,229	0,466	1908,949	5425,768
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,252	0,462	1894,853	5646,128

$\overline{\sigma_v}$ = 3222,173 Kg/m^2

$\overline{\sigma_H}$ = 1288,869 Kg/m^2

$\overline{\sigma_o}$ = 1931,370 Kg/m^2

G = 13.879.129,324 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,189	B_ϕ = 0,030	B_x = 0,249
η_z = 1,041	η_ϕ = 1,063	η_x = 1,101
k_z = 409670766,491 Kg/m	k_ϕ = 7647179609,692 Kg/m	k_x = 330870589,190 Kg/m
α_z = 1,108	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,285
D_z = 1,083	D_ϕ = 0,659	D_x = 0,742
ω_{nz} = 128,032 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 197,882 rad/dt	ω_{nx} = 115,062
r = 2,454	r = 1,588	r = 2,730
M_z = 0,137	M_ϕ = 0,387	M_x = 0,131
A_z = 1,290 . 10^{-6} m	A_ϕ = 3,226 . 10^{-7} radial	A_x = 1,533 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 14.900.567.450,803		
A_{x1} = 4,721 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,146 . 10^{-6} m		
$A_{\phi1}$ = 8,470 . 10^{-8} m		
$A_{\phi2}$ = 8,604 . 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,110 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,301 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total					
$A_{z\ total}$	=	$2{,}400 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,0000945 inch			
	=	2,400 micro			
$A_{x\ total}$	=	$1{,}301 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,0000512 inch			
	=	1,301 micro			
$A_{y\ total}$	=	0 m			
Kontrol					
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0, 0000945 inch			
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)			
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01609 inch/dt			
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,47991	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
		K_x	=	0,13011	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	

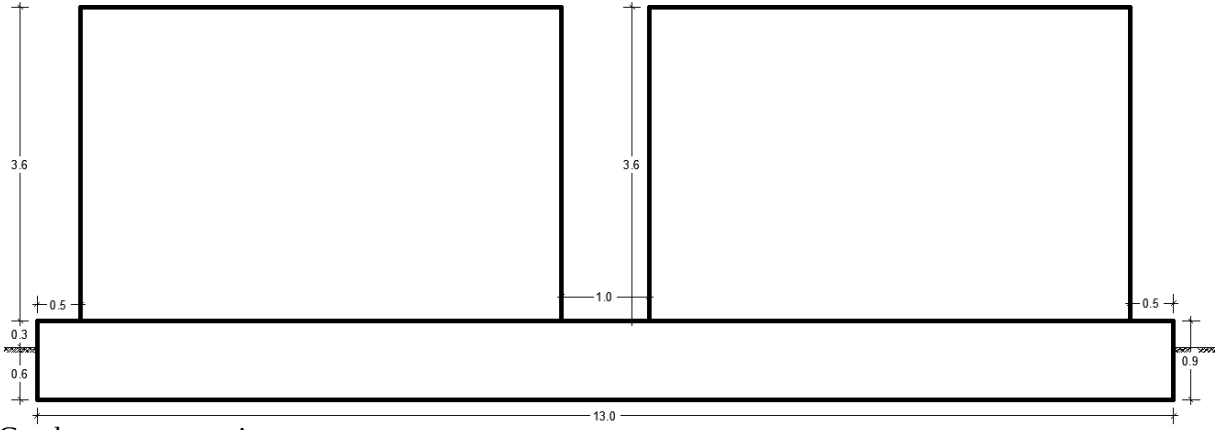
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q	=	1172,273 Kg/m^2		
q_{ult}	=	157479,736 Kg/m^2		
q_{ijin}	=	52493,245 Kg/m^2		
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2927,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4193,390 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4101,786 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)

2. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,6 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,000	0,500	2049,900	3456,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,023	0,497	2035,805	3676,987
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,046	0,493	2021,709	3897,347

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,069	0,490	2007,614	4117,706
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,092	0,486	1993,519	4338,066
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,115	0,483	1979,424	4558,425
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,138	0,479	1965,329	4778,785
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,160	0,476	1951,234	4999,144
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,183	0,472	1937,139	5219,504
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,206	0,469	1923,044	5439,863
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,229	0,466	1908,949	5660,223

$\overline{\sigma_v}$ = 3456,627 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1382,651 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2071,903 Kg/m^2
G = 14.375.206,601 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,189	B_ϕ = 0,030	B_x = 0,249
η_z = 1,050	η_ϕ = 1,076	η_x = 1,121
k_z = 427981913,976 Kg/m	k_ϕ = 8015414162,691 Kg/m	k_x = 348921982,231 Kg/m
α_z = 1,129	α_ϕ = 1,008	α_x = 1,393
D_z = 1,104	D_ϕ = 0,659	D_x = 0,773
ω_{nz} = 130,863 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 202,590 rad/dt	ω_{nx} = 118,159
r = 2,401	r = 1,551	r = 2,659
M_z = 0,140	M_ϕ = 0,403	M_x = 0,136
A_z = $1{,}267 \cdot 10^{-6}$ m	A_ϕ = $3{,}205 \cdot 10^{-7}$ radial	A_x = $1{,}511 \cdot 10^{-6}$ m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.263.096.269,482		
A_{x1} = $4{,}926 \cdot 10^{-8}$ m		
A_{x2} = $1{,}132 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{\phi 1}$ = $8{,}387 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{\phi 2}$ = $8{,}806 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{z\,max}$ = $1{,}118 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{x\,max}$ = $1{,}290 \cdot 10^{-6}$ m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}384 . 10^{-6}$ m		
	=	0,0000939 inch		
	=	2,384 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}290 . 10^{-6}$ m		
	=	0,0000508 inch		
	=	1,290 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,0000939 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01595 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,47682
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,12899
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

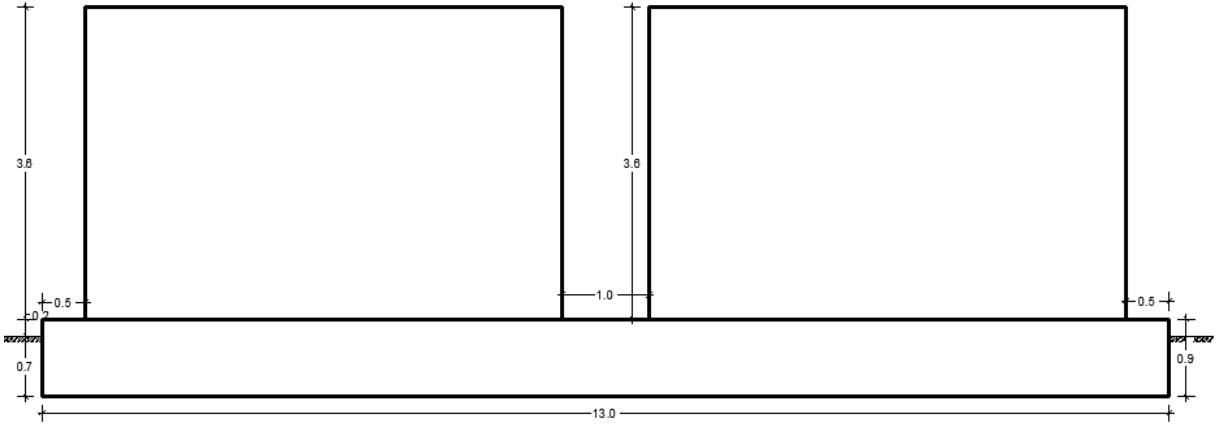
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1406,728 Kg/m^2				
q_{ult} = 162919,084 Kg/m^2				
q_{ijin} = 54306,361 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2693,072 Kg/m^2	<	27153,181 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4195,951 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4101,453 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)

3. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,2 m

h = 0,7 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,000	0,500	2049,900	3691,082
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,023	0,497	2035,805	3911,442

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,046	0,493	2021,709	4131,801
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,069	0,490	2007,614	4352,161
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,092	0,486	1993,519	4572,520
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,115	0,483	1979,424	4792,880
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,138	0,479	1965,329	5013,239
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,160	0,476	1951,234	5233,599
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,183	0,472	1937,139	5453,958
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	1923,044	5674,318

$\overline{\sigma_v}$ = 3691,082 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1476,433 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2212,435 Kg/m^2
G = 14.854.726,482 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,189	B_ϕ = 0,030	B_x = 0,249
η_z = 1,058	η_ϕ = 1,089	η_x = 1,141
k_z = 445627875,678 Kg/m	k_ϕ = 8381330748,954 Kg/m	k_x = 366993969,036 Kg/m
α_z = 1,150	α_ϕ = 1,009	α_x = 1,393
D_z = 1,124	D_ϕ = 0,660	D_x = 0,804
ω_{nz} = 133,533 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 207,163rad/dt	ω_{nx} = 121,180
r = 2,353	r = 1,516	r = 2,593
M_z = 0,144	M_ϕ = 0,419	M_x = 0,141
A_z = 1,244 . 10^{-6} m	A_ϕ = 3,187 . 10^{-7} radial	A_x = 1,487 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.630.029.274,012		
A_{x1} = 5,128 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,119 . 10^{-6} m		
$A_{\phi1}$ = 8,319 . 10^{-8} m		
$A_{\phi2}$ = 8,997 . 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,126 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,280 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}370 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,0000933 inch		
	=	2,370 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}280 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,0000504 inch		
	=	1,280 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,0000933 inch		
	=	Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01583 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,47395
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,12798
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

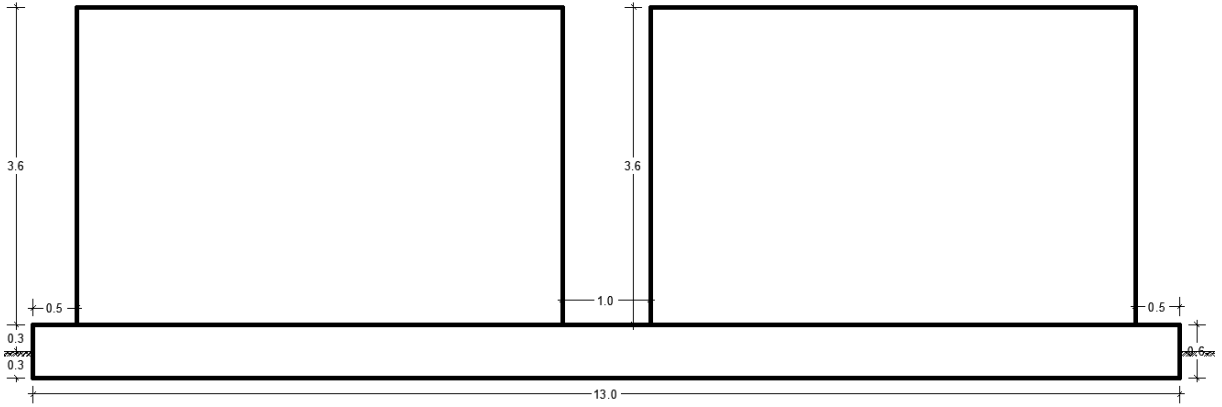
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1641,182 Kg/m^2				
q_{ult} = 168358,432 Kg/m^2				
q_{ijin} = 56119,477 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2458,617 Kg/m^2	<	28059,739 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		4198,360 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)
		4101,066 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)

4. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,3 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430	0,000	0,500	1689,9	2393,264
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,023	0,497	1678,28	2616,098
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,046	0,493	1666,660	2838,933
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,069	0,490	1655,040	3061,768
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,092	0,486	1643,421	3284,603
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,115	0,483	1631,801	3507,438

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,138	0,479	1620,181	3730,273
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,160	0,476	1608,561	3953,108
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,183	0,472	1596,942	4175,943
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,206	0,469	1585,322	4398,778
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,229	0,466	1573,702	4621,612
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,252	0,462	1562,082	4844,447
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,275	0,459	1550,463	5067,282
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,298	0,455	1538,843	5290,117

$\overline{\sigma_v}$ = 2393,264 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 957,305 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1434,522 Kg/m^2
G = 11.961.429,118 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,156	B_ϕ = 0,020	B_x = 0,205
η_z = 1,025	η_ϕ = 1,038	η_x = 1,061
k_z = 347639373,717 Kg/m	k_ϕ = 6433510111,162 Kg/m	k_x = 274793893,953 Kg/m
α_z = 1,065	α_ϕ = 1,003	α_x = 1,174
D_z = 1,146	D_ϕ = 0,818	D_x = 0,747
ω_{nz} = 129,898 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 222,940 rad/dt	ω_{nx} = 115,489
r = 2,419	r = 1,409	r = 2,720
M_z = 0,136	M_ϕ = 0,399	M_x = 0,132
A_z = 1,509 . 10^{-6} m	A_ϕ = 3,235 . 10^{-7} radial	A_x = 1,855 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 17.528.563.259,851		
A_{x1} = 3,839 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,468 . 10^{-6} m		
$A_{\phi1}$ = 7,703 . 10^{-8} m		
$A_{\phi2}$ = 9,856 . 10^{-8} m		
$A_{z\,max}$ = 1,141 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,585 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total					
$A_{z\ total}$	=	$2{,}650 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,00010433 inch			
	=	2,650 micro			
$A_{x\ total}$	=	$1{,}585 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,0000624 inch			
	=	1,585 micro			
$A_{y\ total}$	=	0 m			
Kontrol					
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,00010433 inch			
	=	Kategori *not noticeable to person* (Memenuhi)			
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01961 inch/dt			
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,530	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
		K_x	=	0,159	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	

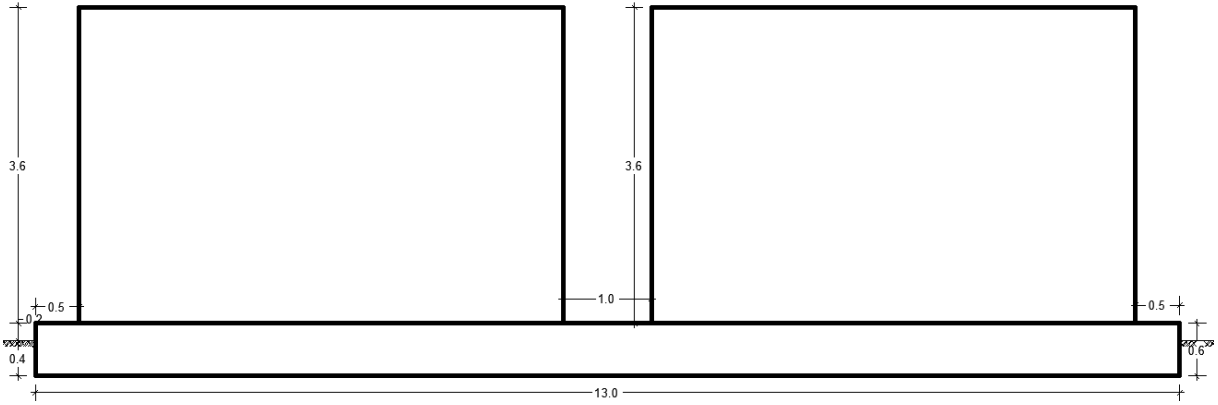
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q	=	703,364 Kg/m^2		
q_{ult}	=	146601,041 Kg/m^2		
q_{ijin}	=	48867,014 Kg/m^2		
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2676,436 Kg/m^2	<	24433,507 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3464,777 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3393,640 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)

5. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,2 m

h = 0,4 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,000	0,500	1689,9	2627,718
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,023	0,497	1678,28	2850,553
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,046	0,493	1666,660	3073,388
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,069	0,490	1655,040	3296,223
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,092	0,486	1643,421	3519,058

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,115	0,483	1631,801	3741,893
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,138	0,479	1620,181	3964,728
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,160	0,476	1608,561	4187,562
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,183	0,472	1596,942	4410,397
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,206	0,469	1585,322	4633,232
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,229	0,466	1573,702	4856,067
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,252	0,462	1562,082	5078,902
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,275	0,459	1550,463	5301,737

$\overline{\sigma_v}$ = 2627,718 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1051,087 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1575,054 Kg/m^2
G = 12.533.639,588 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,156	B_ϕ = 0,020	B_x = 0,205
η_z = 1,033	η_ϕ = 1,050	η_x = 1,081
k_z = 367112815,132 Kg/m	k_ϕ = 6823423001,246 Kg/m	k_x = 293367174,736 Kg/m
α_z = 1,087	α_ϕ = 1,005	α_x = 1,230
D_z = 1,170	D_ϕ = 0,819	D_x = 0,782
ω_{nz} = 133,487 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 229,597 rad/dt	ω_{nx} = 119,329
r = 2,353	r = 1,368	r = 2,633
M_z = 0,140	M_ϕ = 0,416	M_x = 0,138
A_z = $1{,}475 \cdot 10^{-6}$ m	A_ϕ = $3{,}180 \cdot 10^{-7}$ radial	A_x = $1{,}824 \cdot 10^{-6}$ m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 18.028.510.962,878		
A_{x1} = $4{,}034 \cdot 10^{-8}$ m		
A_{x2} = $1{,}460 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{\phi 1}$ = $7{,}615 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{\phi 2}$ = $1{,}014 \cdot 10^{-7}$ m		
$A_{z\,max}$ = $1{,}154 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{x\,max}$ = $1{,}580 \cdot 10^{-6}$ m		

Besaran Amplitudo Total					
$A_{z\ total}$	=	$2{,}629 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,0001035 inch			
	=	2,629 micro			
$A_{x\ total}$	=	$1{,}580 \cdot 10^{-6}$ m			
	=	0,000062 inch			
	=	1,580 micro			
$A_{y\ total}$	=	0 m			
Kontrol					
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,0001035 inch			
	=	Kategori *not noticeable to person* (Memenuhi)			
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01954 inch/dt			
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,526	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
		K_x	=	0,158	
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	

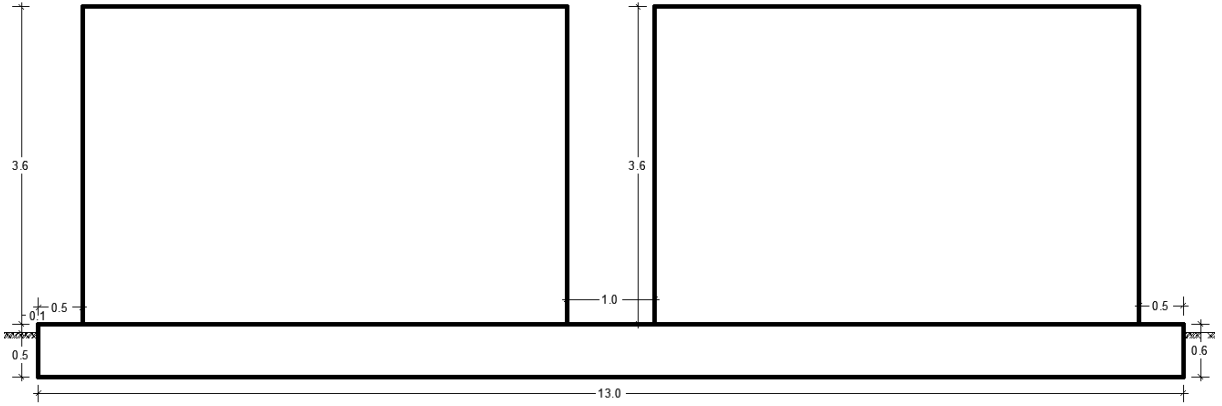
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q	=	937,819 Kg/m^2		
q_{ult}	=	152040,389 Kg/m^2		
q_{ijin}	=	50680,130 Kg/m^2		
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2441,981 Kg/m^2	<	25340,065 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3467,445 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3393,517 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)

6. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,1 m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 13 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	1689,9	2862,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,023	0,497	1678,28	3085,008
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,046	0,493	1666,660	3307,843
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,069	0,490	1655,040	3530,678

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,092	0,486	1643,421	3753,512
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,115	0,483	1631,801	3976,347
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,138	0,479	1620,181	4199,182
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,160	0,476	1608,561	4422,017
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,183	0,472	1596,942	4644,852
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1585,322	4867,687
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,229	0,466	1573,702	5090,522
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,252	0,462	1562,082	5313,357

$\overline{\sigma_v}$ = 2862,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1144,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1715,586 Kg/m^2
G = 13.080.843,039 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 4,363 m	$r_{o\phi}$ = 5,722 m	r_{ox} = 4,363 m
B_z = 0,156	B_ϕ = 0,020	B_x = 0,205
η_z = 1,041	η_ϕ = 1,063	η_x = 1,101
k_z = 386107721,080 Kg/m	k_ϕ = 7207336557,292 Kg/m	k_x = 311839895,872 Kg/m
α_z = 1,108	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,285
D_z = 1,192	D_ϕ = 0,820	D_x = 0,817
ω_{nz} = 136,897 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 235,967 rad/dt	ω_{nx} = 123,028
r = 2,295	r = 1,331	r = 2,554
M_z = 0,144	M_ϕ = 0,432	M_x = 0,144
A_z = 1,442 . 10^{-6} m	A_ϕ = 3,127 . 10^{-7} radial	A_x = 1,790 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 18.530.651.652,799		
A_{x1} = 4,224. 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,452 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 7,548 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 1,040 . 10^{-7} m		
$A_{z\,max}$ = 1,166 . 10^{-6} m		
$A_{x\,max}$ = 1,575 . 10^{-6} m		

Besaran Amplitudo Total				
$A_{z\ total}$	=	$2{,}609 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,0001027 inch		
	=	2,609 micro		
$A_{x\ total}$	=	$1{,}575 \cdot 10^{-6}$ m		
	=	0,00006199 inch		
	=	1,575 micro		
$A_{y\ total}$	=	0 m		
Kontrol				
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z	=	0,0001027 inch		
	=	Kategori *not noticeable to person* (Memenuhi)		
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01947 inch/dt		
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z	=	0,522
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x	=	0,157
			=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)

Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1172,273 Kg/m^2				
q_{ult} = 157479,736 Kg/m^2				
q_{ijin} = 52493,245 Kg/m^2				
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\bar{\sigma}$
		2207,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\bar{\sigma}$
		3469,891 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)
		3393,295 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)

B.2. Kelompok II (Menopang Tiga Mesin)

Pada penggolongan ini akan direncanakan empat perbedaan kedalaman penanaman. Perhitungan di bawah ini hanya pada tiga dimensi pondasi, dan satu dimensi pondasi yang tertera pada sub bab 4.2.2 dan 4.4.2. Perhitungan perencanaan pondasi mesin sebagai berikut:

1. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,4 m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (G)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	2049,900	3222,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,019	0,497	2038,390	3445,118
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,037	0,494	2026,880	3668,062
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,056	0,492	2015,370	3891,007
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,075	0,489	2003,860	4113,952
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,094	0,486	1992,351	4336,897
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,112	0,483	1980,841	4559,842
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,131	0,480	1969,331	4782,787
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,150	0,478	1957,821	5005,731
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,168	0,475	1946,311	5228,676
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,187	0,472	1934,801	5451,621

Perhitungan modulus geser (G) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	1923,292	5674,566

$\overline{\sigma_v}$ = 3222,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1288,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1931,370 Kg/m^2
G = 13.879.129,324 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,154	B_ϕ = 0,022	B_x = 0,203
η_z = 1,034	η_ϕ = 1,047	η_x = 1,082
k_z = 498368303,561 Kg/m	k_ϕ = 16937052590,545 Kg/m	k_x = 398238951,767 Kg/m
α_z = 1,088	α_ϕ = 1,004	α_x = 1,235
D_z = 1,178	D_ϕ = 0,785	D_x = 0,789
ω_{nz} = 115,301 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 166,560 rad/dt	ω_{nx} = 103,069
r = 2,725	r = 1,932	r = 3,048
M_z = 0,110	M_ϕ = 0,245	M_x = 0,104

A_z = 1,280 . 10^{-6} m	A_ϕ = 1,383 . 10^{-7} radial	A_x = 1,518 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.511.957.222,858		
A_{x1} = 1,959 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,113 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,754 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,472 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,046 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,179 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 1,985 . 10^{-6} m		
= 0,0000781 inch		
= 1,985 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,179 . 10^{-6} m		
= 0,0000464 inch		
= 1,179 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000781 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01458 inch/dt			
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)			
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,3970		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
	K_x	=	0,1179		
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)		
Kontrol Daya Dukung Tanah					
q = 1172,273 Kg/m^2					
q_{ult} = 157479,736 Kg/m^2					
q_{ijin} = 52493,245 Kg/m^2					
Akibat beban statis	:	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
		2927,526 Kg/m^2	<	26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
		4175,402 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	
		4116,636 Kg/m^2	<	39369,934 Kg/m^2 (Memenuhi)	

2. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,6 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	***ϕ***	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,000	0,500	2049,900	3456,627
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,019	0,497	2038,390	3679,572
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,037	0,494	2026,880	3902,517
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,056	0,492	2015,370	4125,462
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,075	0,489	2003,860	4348,407
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,094	0,486	1992,351	4571,352
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,112	0,483	1980,841	4794,296
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,131	0,480	1969,331	5017,241
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,150	0,478	1957,821	5240,186
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,168	0,475	1946,311	5463,131

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,187	0,472	1934,801	5686,076

$\overline{\sigma_v}$ = 3456,627 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1382,651 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2071,903 Kg/m^2
G = 14.375.206,601 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,154	B_ϕ = 0,022	B_x = 0,203
η_z = 1,040	η_ϕ = 1,056	η_x = 1,099
k_z = 519176571,770 Kg/m	k_ϕ = 17699087009,928 Kg/m	k_x = 418953709,786 Kg/m
α_z = 1,106	α_ϕ = 1,005	α_x = 1,280
D_z = 1,198	D_ϕ = 0,786	D_x = 0,818
ω_{nz} = 117,683 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 166,215 rad/dt	ω_{nx} = 105,716
r = 2,670	r = 1,890	r = 2,972
M_z = 0,113	M_ϕ = 0,254	M_x = 0,108

A_z = $1{,}260 \cdot 10^{-6}$ m	A_ϕ = $1{,}372 \cdot 10^{-7}$ radial	A_x = $1{,}501 \cdot 10^{-6}$ m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 15.893.094.672,058		
A_{x1} = $2{,}032 \cdot 10^{-8}$ m		
A_{x2} = $1{,}095 \cdot 10^{-6}$ m		
$A_{\phi 1}$ = $3{,}707 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{\phi 2}$ = $3{,}540 \cdot 10^{-8}$ m		
$A_{z\,max}$ = $7{,}066 \cdot 10^{-7}$ m		
$A_{x\,max}$ = $1{,}161 \cdot 10^{-6}$ m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\,total}$ = $1{,}967 \cdot 10^{-6}$ m		
= 0,0000774 inch		
= 1,967 micro		
$A_{x\,total}$ = $1{,}161 \cdot 10^{-6}$ m		
= 0,0000457 inch		
= 1,161 micro		
$A_{y\,total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000774 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01436 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,3933	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,1161	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1406,728 Kg/m^2				
q_{ult} = 162919,084 Kg/m^2				
q_{ijin} = 54306,361 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2693,072 Kg/m^2	<	27153,181 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	4177,254 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	4116,790 Kg/m^2	<	40729,771 Kg/m^2 (Memenuhi)	

3. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,2 m

h = 0,7 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,9 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	**SPT**	**PI**	***ϕ***	**c (Kg/cm^2)**
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430			0	1172,273
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430			0	1406,728
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,000	0,500	2049,900	3691,082
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,019	0,497	2038,390	3914,027
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,037	0,494	2026,880	4136,972
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,056	0,492	2015,370	4359,917
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,075	0,489	2003,860	4582,861
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,094	0,486	1992,351	4805,806
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,112	0,483	1980,841	5028,751
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,131	0,480	1969,331	5251,696
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,150	0,478	1957,821	5474,641

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,168	0,475	1946,311	5697,585

$\overline{\sigma_v}$ = 3691,082 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1476,433 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 2212,435 Kg/m^2
G = 14.854.726,482 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,154	B_ϕ = 0,022	B_x = 0,203
η_z = 1,047	η_ϕ = 1,065	η_x = 1,115
k_z = 540105989,304 Kg/m	k_ϕ = 18451795186,678 Kg/m	k_x = 439231804,795 Kg/m
α_z = 1,123	α_ϕ = 1,006	α_x = 1,324
D_z = 1,216	D_ϕ = 0,787	D_x = 0,846
ω_{nz} = 120,032 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 169,713 rad/dt	ω_{nx} = 108,244
r = 2,617	r = 1,851	r = 2,902
M_z = 0,116	M_ϕ = 0,264	M_x = 0,112

A_z = 1,241 . 10^{-6} m	A_ϕ = 1,368 . 10^{-7} radial	A_x = 1,483 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 16.269.728.30,558		
A_{x1} = 2,110 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,078 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,666 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,602 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,086 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,145 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 1,950 . 10^{-6} m		
= 0,0000768 inch		
= 1,950 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,145. 10^{-6} m		
= 0,0000451 inch		
= 1,145 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000768 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

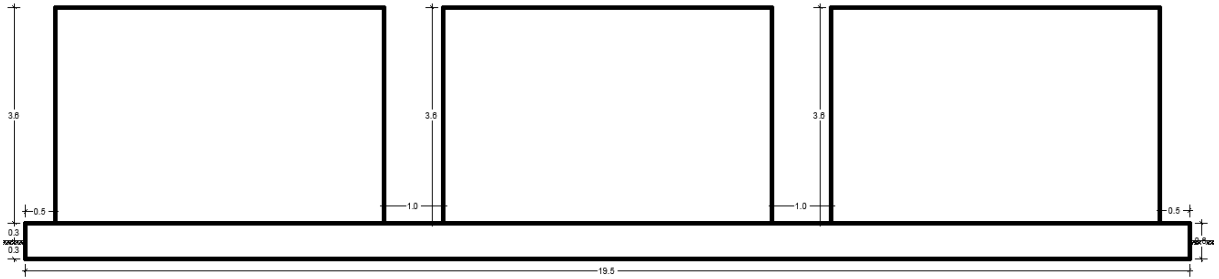
Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01416 inch/dt		
	=	Kategori *smooth* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,3900	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,1145	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 1641,182 Kg/m^2				
q_{ult} = 168358,432 Kg/m^2				
q_{ijin} = 56119,477 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2458,617 Kg/m^2	<	28059,739 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	4178,999 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	4116,918 Kg/m^2	<	42089,608 Kg/m^2 (Memenuhi)	

4. Tipe 1

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,3 m

h = 0,3 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 19,5 m



Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430	0,000	0,500	1689,9	2393,264
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,019	0,497	1680,411	2618,230
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,037	0,494	1670,923	2843,196
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,056	0,492	1661,434	3068,162
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,075	0,489	1651,946	3293,128
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,094	0,486	1642,457	3518,094
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,112	0,483	1632,969	3743,060
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,131	0,480	1623,480	3968,027
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,150	0,478	1613,992	4192,993
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,168	0,475	1604,503	4417,959
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,187	0,472	1595,015	4642,925
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,206	0,469	1585,526	4867,891
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,225	0,466	1576,038	5092,857

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,243	0,464	1566,549	5317,824

$\overline{\sigma_v}$ = 2393,264 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 957,305 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1434,522 Kg/m^2
G = 11.961.429,118 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,127	B_ϕ = 0,014	B_x = 0,168
η_z = 1,020	η_ϕ = 1,028	η_x = 1,049
k_z = 423692615,468 Kg/m	k_ϕ = 14336930515,148 Kg/m	k_x = 332745975,977 Kg/m
α_z = 1,054	α_ϕ = 1,002	α_x = 1,143
D_z = 1,257	D_ϕ = 0,972	D_x = 0,803
ω_{nz} = 117,090 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 183,462 rad/dt	ω_{nx} = 103,765
r = 2,683	r = 1,712	r = 3,028
M_z = 0,109	M_ϕ = 0,260	M_x = 0,105

A_z = 1,493 . 10^{-6} m	A_ϕ = 1,419 . 10^{-7} radial	A_x = 1,832 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 18.275.635.852,069		
A_{x1} = 1,607 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,383 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,409 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 3,992 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,216 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,433 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,215 . 10^{-6} m		
= 0,0000872 inch		
= 2,215 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,433. 10^{-6} m		
= 0,0000564 inch		
= 1,433 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000872 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01772 inch/dt		
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,443	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,143	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 703,364 Kg/m^2				
q_{ult} = 146601,041 Kg/m^2				
q_{ijin} = 48867,014 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2676,435 Kg/m^2	<	24433,507 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	3450,804 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	3404,984 Kg/m^2	<	36650,260 Kg/m^2 (Memenuhi)	

5. Tipe 2

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas muka tanah sebesar 0,2 m

h = 0,4 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430	0,000	0,500	1689,9	2627,718
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,019	0,497	1680,411	2852,684
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,037	0,494	1670,923	3077,651
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,056	0,492	1661,434	3302,617
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,075	0,489	1651,946	3527,583
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,094	0,486	1642,457	3752,549
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,112	0,483	1632,969	3977,515
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,131	0,480	1623,480	4202,481
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,150	0,478	1613,992	4427,447
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,168	0,475	1604,503	4652,414
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,187	0,472	1595,015	4877,380
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,206	0,469	1585,526	5102,346

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,225	0,466	1576,038	5327,312

$\overline{\sigma_v}$ = 2627,718 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1051,087 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1575,054 Kg/m^2
G = 12.533.639,558 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,127	B_ϕ = 0,014	B_x = 0,168
η_z = 1,027	η_ϕ = 1,037	η_x = 1,066
k_z = 447008001,035 Kg/m	k_ϕ = 15158828462,066 Kg/m	k_x = 354314282,063 Kg/m
α_z = 1,071	α_ϕ = 1,004	α_x = 1,189
D_z = 1,277	D_ϕ = 0,973	D_x = 0,835
ω_{nz} = 120,268 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 188,647 rad/dt	ω_{nx} = 107,075
r = 2,612	r = 1,665	r = 2,934
M_z = 0,113	M_ϕ = 0,271	M_x = 0,111

A_z = 1,464 . 10^{-6} m	A_ϕ = 1,399 . 10^{-7} radial	A_x = 1,808 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 18.828.446.863,491		
A_{x1} = 1,673 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,365 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,354 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 4,079 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,248 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,415 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,189 . 10^{-6} m		
= 0,0000862 inch		
= 2,189 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,415. 10^{-6} m		
= 0,000056 inch		
= 1,415 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000862 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01750 inch/dt		
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)		
Cek keamanan menggunakan k-*value* :	K_z	=	0,438	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
	K_x	=	0,142	
		=	Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)	
Kontrol Daya Dukung Tanah				
q = 937,819 Kg/m^2				
q_{ult} = 152040,389 Kg/m^2				
q_{ijin} = 50680,130 Kg/m^2				
Akibat beban statis :	σ statis	<	50% . $\overline{\sigma}$	
	2441,981 Kg/m^2	<	25340,065 Kg/m^2 (Memenuhi)	
Akibat beban statis + dinamis :	$\sigma_{statis+dinamis}$	<	75% . $\overline{\sigma}$	
	3452,747 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)	
	3405,297 Kg/m^2	<	38010,097 Kg/m^2 (Memenuhi)	

6. Tipe 3

Dimensi pondasi : tinggi pondasi di atas tanah sebesar 0,1m

h = 0,5 m B = 4,6 m

h_{tot} = 0,6 m L = 19,5 m

Gambar pot. memanjang

Data tanah:

h (m)	SPT	PI	ϕ	c (Kg/cm^2)
3	>50	3,51	33,79	0,027
6	25	3,84	36,07	0,0146
8	14	54,67	5,2	0,1455
12	>50	*No data*	*No data*	*No data*

Perhitungan modulus geser (Gs)

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
0,1	3,51	0,4	2345	234,455	93,782	0,014	0,430			0	234,455
0,2	3,51	0,4	2345	468,909	187,564	0,028	0,430			0	468,909
0,3	3,51	0,4	2345	703,364	281,346	0,042	0,430			0	703,364
0,4	3,51	0,4	2345	937,819	375,127	0,056	0,430			0	937,819
0,5	3,51	0,4	2345	1172,273	468,909	0,070	0,430	0,000	0,500	1689,9	2862,173
0,6	3,51	0,4	2345	1406,728	562,691	0,084	0,430	0,019	0,497	1680,411	3087,139
0,7	3,51	0,4	2345	1641,182	656,473	0,098	0,430	0,037	0,494	1670,923	3312,105
0,8	3,51	0,4	2345	1875,637	750,255	0,112	0,430	0,056	0,492	1661,434	3537,071
0,9	3,51	0,4	2345	2110,092	844,037	0,126	0,430	0,075	0,489	1651,946	3762,037
1	3,51	0,4	2345	2344,546	937,819	0,141	0,430	0,094	0,486	1642,457	3987,004
1,1	3,51	0,4	2345	2579,001	1031,600	0,155	0,430	0,112	0,483	1632,969	4211,970
1,2	3,51	0,4	2345	2813,456	1125,382	0,169	0,430	0,131	0,480	1623,480	4436,936
1,3	3,51	0,4	2345	3047,910	1219,164	0,183	0,430	0,150	0,478	1613,992	4661,902
1,4	3,51	0,4	2345	3282,365	1312,946	0,197	0,430	0,168	0,475	1604,503	4886,868
1,5	3,51	0,4	2345	3516,820	1406,728	0,211	0,430	0,187	0,472	1595,015	5111,834

Perhitungan modulus geser (Gs) lanjutan

h (m)	PI	Ko	γt (Kg/m^3)	$\overline{\sigma_v}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_H}$ (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_o}$ (Kg/m^2)	e	Z/ro	Δσv / qo	P/a (Kg/m^2)	$\overline{\sigma_v}$ + P/a (Kg/m^2)
1,6	3,51	0,4	2345	3751,274	1500,510	0,225	0,430	0,206	0,469	1585,526	5336,801

$\overline{\sigma_v}$ = 2862,173 Kg/m^2
$\overline{\sigma_H}$ = 1144,869 Kg/m^2
$\overline{\sigma_o}$ = 1715,586 Kg/m^2
G = 13.080.843,039 Kg/m^2

Terhadap Gaya Vertikal	Terhadap Gaya Rocking	Terhadap Gaya Horizontal
r_{oz} = 5,343 m	$r_{o\phi}$ = 7,756 m	r_{ox} = 5,343 m
B_z = 0,127	B_ϕ = 0,014	B_x = 0,168
η_z = 1,034	η_ϕ = 1,047	η_x = 1,082
k_z = 469703639,326 Kg/m	k_ϕ = 15962883643,259 Kg/m	k_x = 375333430,377 Kg/m
α_z = 1,088	α_ϕ = 1,004	α_x = 1,235
D_z = 1,298	D_ϕ = 0,974	D_x = 0,868
ω_{nz} = 123,283 rad/dt	$\omega_{n\phi}$ = 193,585 rad/dt	ω_{nx} = 110,205
r = 2,548	r = 1,623	r = 2,851
M_z = 0,116	M_ϕ = 0,281	M_x = 0,115

A_z = 1,435 . 10^{-6} m	A_ϕ = 1,377 . 10^{-7} radial	A_x = 1,779 . 10^{-6} m
Kopel		
$\Delta(\omega)^2$ = 19.390.196.423,382		
A_{x1} = 1,738 . 10^{-8} m		
A_{x2} = 1,347 . 10^{-6} m		
$A_{\phi 1}$ = 3,308 . 10^{-8} m		
$A_{\phi 2}$ = 4,158 . 10^{-8} m		
$A_{z\ max}$ = 7,279 . 10^{-7} m		
$A_{x\ max}$ = 1,398 . 10^{-6} m		
Besaran Amplitudo Total		
$A_{z\ total}$ = 2,163 . 10^{-6} m		
= 0,0000852 inch		
= 2,163 micro		
$A_{x\ total}$ = 1,398. 10^{-6} m		
= 0,0000550 inch		
= 1,398 micro		
$A_{y\ total}$ = 0 m		
Kontrol		
Cek terhadap amplitudo vertikal A_z = 0,0000852 inch		
= Kategori *barely noticeable to person* (Memenuhi)		

Cek terhadap kecepatan amplitudo v	=	0,01729 inch/dt
	=	Kategori *very good* (Memenuhi)
Cek keamanan menggunakan k-*value*	:	K_z = 0,433
		= Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
		K_x = 0,140
		= Kategori *allowable in industry for any period of time* (Memenuhi)
Kontrol Daya Dukung Tanah		
q	=	1172,273 Kg/m^2
q_{ult}	=	157479,736 Kg/m^2
q_{ijin}	=	52493,245 Kg/m^2
Akibat beban statis	:	σ statis $< 50\% . \bar{\sigma}$
		2207,526 Kg/m^2 < 26246,623 Kg/m^2 (Memenuhi)
Akibat beban statis + dinamis	:	$\sigma_{statis+dinamis} < 75\% . \bar{\sigma}$
		3454,585 Kg/m^2 < 39369,934 Kg/m^2 (Ok)
		3405,563 Kg/m^2 < 39369,934 Kg/m^2 (Ok)

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Perencanaan pondasi mesin ini di kelompokan menjadi dua kelompok. Kelompok I menopang dua mesin *Steam Turbin* (setiap mesin berkapasitas 10 MW) dan kelompok II menopang 3 mesin. Setiap pengelompokan mesin direncanakan dengan dua tipe berbeda yaitu tebal pondasi yang berbeda tetapi ketinggian pondasi di muka tanah sama (dengan empat perbedaan ketebalan pondasi) dan tebal pondasi yang sama tetapi kedalaman penanaman yang berbeda (dengan tiga perbedaan penanaman). Dari hasil studi pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi mesin *steam turbin* pada proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Loan Korea Lombok Timur sebagai berikut:

1. Perencanaan pondasi mesin dengan menopang 2 mesin dan 3 mesin sudah sangat jelas akan berbeda pada dimensi pondasi. Walaupun gaya yang diterima oleh pondasi lebih besar saat pondasi menopang 3 mesin belum tentu akan menghasilkan amplitudo yang besar. Pondasi dengan menopang 3 mesin lebih kecil nilai amplitudonya ketika ketebalan pondasi mesin tetap maupun ketebalan pondasi berbeda. Hal ini dikarenakan dimensi B x L juga mempengaruhi nilai amplitudo. Semakin besar nilai dimensi pondasi (B x L) semakin kecil pula nilai amplitudo. Hal ini dikarenakan dimensi pondasi (B x L) berbanding terbalik dengan amplitudo.
2. Perencanaan pengaruh kedalaman penanaman ini direncanakan dua tipe yaitu dengan ketinggian muka tanah sebesar 0,3m dan 0,4m. Setiap tipe juga direncanakan untuk menopang dua mesin (kelompok I) dan menopang tiga mesin (kelompok II). Dari hasil

menopang dua mesin maupun tiga mesin pengaruh kedalaman penanaman sebagai berikut:

a. Semakin dalam penanaman, semakin kecil nilai amplitudo kecepatan amplitudo, konstanta pegas arah vertikal dan horizontal. Hal ini dikarenakan jika ditelaah dari segi rumus kedalaman penanaman berbanding terbalik dengan nilai amplitudo. Nilai ampltudo kecil menghasilkan kecepatan amplitudo, kontanta pegas arah vertikal dan horizontal kecil pula dikarenakan amplitudo berbanding lurus dengan kecepatan amplitudo, konstanta pegas arah vertikal dan horizontal. (sub bab 4.3.1.1 dan 4.3.2.1)
b. Dari hasil kurva pengaruh kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) menghasilkan kurva linier (dengan sedikit terdapat kelengkungan). Dengan setiap penambahan kedalaman sebesar 0,1m nilai amplitudo berkurang secara tidak konstan. Tetapi jika dilihat dari selisih nilai amplitudo sebagai berikut: untuk ketinggian muka tanah 0,4 m selisih amplitudo konstan sebesar 0,2% sedangkan untuk ketinggian muka tanah 0,3m selisih amplitudo dengan interval 0,2% dan 0,3%. (Sub bab 4.5.3)

3. Perencanaan pengaruh ketebalan pondasi mesin ini direncanakan dua tipe yaitu dengan ketebalan 0,9m dan 0,6m dengan kedalaman penanaman pondasi berbeda. Setiap tipe juga direncanakan untuk menopang dua mesin (kelompok I) dan menopang tiga mesin (kelompok II). Dari hasil menopang dua mesin maupun tiga mesin pengaruh ketebalan pondasi mesin sebagai berikut:
   a. Seperti halnya dengan pengaruh kedalaman penanaman. Semakin dalam penanaman walaupun ketebalan pondasi tetap, nilai amplitudo, kecepatan amplitude, konstanta pegas arah vertikal dan horizontal semakin berkurang. Hal ini dikarenakan

jika ditelaah dari segi rumus kedalaman penanaman berbanding terbalik dengan nilai amplitudo. Nilai ampltudo kecil menghasilkan kecepatan amplitudo, kontanta pegas arah vertikal dan horizontal kecil pula dikarenakan amplitudo berbanding lurus dengan kecepatan amplitudo, konstanta pegas arah vertikal dan horizontal. (sub bab 4.4.1.1 dan 4.4.2.1)

b. Dari hasil kurva pengaruh kedalaman terhadap Amplitudo Vertikal (A_z) menghasilkan kurva linier. Dengan setiap penambahan kedalaman sebesar 0,1m nilai amplitudo berkurang secara konstan sebsar 1%. (sub bab 4.5.1 dan 4.5.2)

Dari hasil penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa semakin dalam penanaman pondasi, maka semakin kecil pula nilai amplitudo yang dihasilkan. Semakin kecil nilai amplitudo maka pondasi mesin sangat baik diaplikasikan. Bukan hanya itu, semakin besar dimensi pondasi B x L juga semakin kecil nilai amplitudo.

6.2. Saran

Untuk membantu seseorang perencana merencanakan pondasi mesin, dengan adanya studi ini dapat memberikan saran bagi perencana pondasi mesin sebagai berikut:

1. Dikarenakan perencanaan pondasi mesin dengan cara *trial error* dengan adanya studi ini, maka merencanakan pondasi mesin sebaiknya ketinggian pondasi di atas muka tanah tetap, tetapi kedalaman penanaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada amplitudo cepat berkurang dibandingkan dengan ketebalan pondasi tetap. (Sub bab 4.5.1 dan 4.5.2)
2. Studi ini selain untuk mengetahui pengaruh kedalaman penanaman dan ketebalan pondasi, juga dihasilkan grafik untuk segala jenis mesin dengan keadaan tanah yang sama dengan studi ini, untuk menghasilkan

dimensi pondasi mesin yang lebih baik digunakan. (Sub bab 4.6)

DAFTAR PUSTAKA

Arya, S. C., O'Neill, M. W., & Pincus, G. (1979). *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*. Texas: Gulf Publishing Company.

Bowles, J.E. & Hainim, J.K., 2004. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah).* (Edisi II). Jakarta: Penerbit Erlangga.

Das, B. M. (1985). *Mekanika Tanah*. (N. Endah & I. B. Mochtar, Eds.) (Jilid 2). Surabaya: Penerbit Erlangga.

Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah*. (N. Endah & I. B. Mochtar, Eds.) (Jilid 1). Surabaya: Penerbit Erlangga.

Kartikasari, M. D. (2012). Perencanaan Pondasi Gas Turbine Proyek Pembangunan Unit V PLTGU PT PLN Termal Muara Tawar Bekasi Jawa Barat. *Jurnal*, *3*.

Lysmer, J., Richart, F. ., & Jr. (1966). *Dynamic Response of Footing to Vertical Loading*. (Vol. 92). ASCE: Div. J. Soil Mech and Found.

Prakash, S. & Chandrasekaran, V. 1997. *Free Vibration Characteristics of Piles.* (Vol. 2). Tokyo: Proc. Ninth. Int. Conf. Soil Mech.

Sidharta, A. sigit. (2013). *Pondasi Beban Dinamis*. (Edisi VII). Surabaya: ITS.

Terzaghi, K. & B.Peck, R., 1993. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa.* (Jilid 1). Diterjemahkan oleh B. Witjaksono & B. Krisna R. Jakarta: Penerbit Erlangga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS

Penulis memiliki nama lengkap Tannia Kurnia Putri, dilahirkan di Gresik, 30 Maret 1993, merupakan anak ke pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bhakti Islam 4 Gresik, SDN Petrokimia Gresik, SMPN 1 Gresik, dan SMAN 1 Gresik. Setelah lulus Tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di Diploma III Teknik Sipil ITS, dengan mengambil konsentrasi studi di Bangunan Gedung. Penulis sempat mengikuti kegiatan magang kerja di PT. AdhiKarya (Persero) Tbk proyek pembangunan Linden Tower @ Marvel City, Surabaya. Penulis juga salah satu anggota Organisasi SKALA-ITS, dan anggota Organisasi HIMA D3TEKSI Periode 2012-2013 sebagai sekretaris Departemen Pendidikan dan Kesejahteraan Mahasiswa. Penulis juga menjadi anggota beberapa kegiatan meliputi: *Tower Constuction Competition* 2011-2012 sebagai anggota Sie. Dana, Kuliah Tamu 2012-2013 sebagai sekretaris, dan D3village 2012-2013 sebagai bendahara. Setelah lulus dari Diploma III Teknik Sipil ITS pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan pada Lintas Jalur S1 Teknik Sipil ITS tahun ajaran 2014-2016. Pada saat tugas akhir Lintas Jalur S1 Teknik Sipil mengambil konsentrasi geoteknik.