

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama¹, Muhammad Duta Rafika Dewa², Lisa Fitriyana³, Antonius⁴

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung^{1,2,3,4}

Corresponding Author: muhammaddaffakuspratama@gmail.com^{1*}, dutadewa90@gmail.com²

Info Artikel

Submitted: 19 Agustus 2026

Revised : 08 September 2026

Accepted: 29 September 2026

Published: 23 Oktober 2026

Keywords: Bearing Capacity;
Bored Pile; Foundation;
Settlement; Soil.

Kata Kunci: Bored Pile; Daya
Dukung; Penurunan; Fondasi;
Tanah.

Abstract

The installation of additional production machinery in an existing building may increase the structural loads, particularly on the foundation system that transfers loads to the supporting soil. Therefore, an evaluation is required to ensure that the existing foundation has sufficient capacity to withstand the additional machine loads. This study aims to evaluate the bearing capacity of the existing foundation of Building H at PT. Phapros Semarang following the installation of additional production machinery. This research employed a quantitative approach using Cone Penetration Test (CPT) data and secondary data from Standard Penetration Test (SPT) bore logs. Structural analysis was performed using ETABS to obtain foundation reactions. The axial bearing capacity was calculated using the Meyerhof method for SPT data and the Begemann method for CPT data, and the results were compared with the applied foundation loads. Settlement analysis confirmed that predicted deformation remained within allowable limits.

The results indicate that the axial bearing capacity calculated using the Begemann method based on CPT data was 792,6 tons, while the Meyerhof method based on SPT data yielded 424,4 tons. The lateral bearing capacity calculated using the Broms method was 8,046 tons, and the estimated pile group settlement was 1,741 cm.

Abstrak

Penambahan mesin produksi pada bangunan eksisting dapat meningkatkan beban yang diterima struktur, terutama pada sistem fondasi yang berfungsi meneruskan beban ke tanah pendukung. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi untuk memastikan bahwa fondasi eksisting masih memiliki kapasitas yang memadai terhadap penambahan beban mesin tersebut. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas daya dukung fondasi eksisting Gedung H PT. Phapros Semarang setelah adanya penambahan beban mesin produksi. Metode penelitian ini dilakukan melalui analisis kuantitatif dengan memanfaatkan data berupa hasil uji sondir (CPT) serta data sekunder berupa *bore log* (SPT). Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memperoleh reaksi fondasi. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas daya dukung aksial fondasi menggunakan metode Meyerhof untuk data SPT dan metode Begemann untuk data CPT, kemudian dibandingkan dengan beban yang diterima fondasi. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap penurunan (*settlement*) untuk mengetahui apakah deformasi yang terjadi masih dalam batas yang diizinkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai daya dukung aksial fondasi berdasarkan data CPT dengan metode *Begemann* sebesar 792,6 ton, sedangkan daya dukung aksial fondasi berdasarkan data SPT dengan metode *Meyerhof* sebesar 424,4 ton. Hasil perhitungan daya dukung lateral fondasi dengan metode *Broms* didapatkan sebesar 8,046 ton. Nilai

penurunan kelompok tiang didapatkan sebesar 1,741 cm.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Nusantara

Pendahuluan

Perkembangan industri yang semakin pesat menuntut adanya peningkatan kapasitas produksi serta efisiensi operasional pada bangunan industri. Salah satu upaya yang umum dilakukan adalah penambahan mesin produksi pada bangunan eksisting. Namun demikian, penambahan beban mesin tersebut berpotensi menimbulkan peningkatan beban kerja pada struktur, khususnya pada sistem fondasi dan tanah pendukungnya.

PT. Phapros Tbk adalah salah satu industri farmasi yang terus berkembang dan merupakan perusahaan yang menerapkan CPOB dengan baik. Gedung H PT. Phapros Tbk ini terdiri dari 4 lantai, yaitu lantai 1 untuk produksi TTSK, lantai 2 untuk produksi TSK, lantai 3 untuk produksi ISS, dan lantai 4 untuk penunjang. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pasar dan strategi Perusahaan untuk memperbesar kapasitas produksi, direncanakan adanya penambahan dan peningkatan kapasitas mesin termasuk sarana penunjang yang peruntukannya untuk kebutuhan area produksi lantai 2, 3, dan 4. Gedung ini telah beroperasi selama lebih dari 30 tahun (tahun Pembangunan 1992) dan dalam perjalanannya telah mengalami beberapa renovasi, penyesuaian fungsi ruang, serta penambahan bangunan. Penambahan tersebut secara langsung ataupun tidak langsung telah mempengaruhi integritas struktur bangunan dan kapasitas beban yang dapat ditanggung oleh komponen-komponen struktural gedung dan adanya pembaruan peraturan yang terkait dengan pembebanan dan keamanan gedung.

Tanah sebagai media pendukung fondasi memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda pada setiap lapisannya, sehingga kemampuan tanah dalam menahan beban (daya dukung tanah) menjadi faktor penting dalam menjamin kestabilan suatu bangunan. Bangunan yang telah berdiri dalam jangka waktu lama umumnya dirancang berdasarkan kondisi beban awal. Ketika terjadi perubahan beban akibat penambahan mesin, perlu dilakukan evaluasi kembali untuk memastikan bahwa daya dukung tanah dan fondasi masih berada dalam kondisi aman.

Penambahan beban mesin dengan sendirinya akan menambah berat struktur, termasuk mempengaruhi kinerja struktur atas dan juga daya dukung fondasi. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan kondisi struktur atas dan juga pemeriksaan pada struktur fondasi secara menyeluruh untuk memastikan keamanan serta kelayakan bangunan eksisting untuk menilai kondisi aktual serta menentukan kelayakan teknis gedung dalam mendukung peningkatan kapasitas produksi yang direncanakan. Dengan adanya pemeriksaan tersebut maka dapat dilakukan analisis teknis untuk mengevaluasi apakah fondasi eksisting masih mampu menahan beban tambahan atau diperlukan perkuatan struktur. Tanpa adanya kajian yang memadai, peningkatan beban tersebut dapat menyebabkan penurunan berlebihan (*settlement*), kerusakan struktur, bahkan kegagalan fondasi.

Metode Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Gedung H PT. Phapros Semarang, sebuah fasilitas industri obat-obatan yang telah beroperasi selama lebih dari 30 tahun. Fokus utama studi ini adalah mengevaluasi kelayakan dan keamanan daya dukung tanah serta struktur fondasi eksisting (*Strauss Pile* berkedalaman 10 meter) dalam menahan penambahan beban akibat instalasi mesin baru. Adapun variabel utama yang dianalisis mencakup daya dukung tanah (ultimit dan izin), tingkat penurunan bangunan (*settlement*), nilai tahanan konus dan hambatan lekat dari uji sondir, serta profil pelapisan tanah di lokasi tersebut.

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama¹, Muhammad Duta Rafika Dewa², lisa fitriyana³, Antonius⁴

Mengingat ketiadaan gambar teknis bangunan (*as-built drawing*) yang utuh, tahap persiapan dan pengumpulan data dilakukan secara komprehensif melalui perolehan data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan langsung dari lapangan melalui observasi visual, pengujian tanah, dan pengukuran penurunan struktur. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen *bore log* terdahulu, riwayat pemeliharaan, serta spesifikasi teknis dan berat mesin baru. Kumpulan data ini sangat krusial sebagai dasar untuk melakukan perhitungan beban struktur atas yang akan disalurkan ke struktur bawah.

Untuk memastikan keakuratan evaluasi struktural, serangkaian metode pemeriksaan lapangan dan permodelan perangkat lunak diterapkan. Pemeriksaan fisik mencakup inspeksi visual terhadap kerusakan (seperti retakan atau korosi), pengujian tak merusak (*Non-Destructive Test*), pengujian semi-merusak, hingga pemantauan deformasi. Data lapangan tersebut kemudian dimodelkan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk mengevaluasi kapasitas komponen struktur (kolom, balok, pelat, dan fondasi) secara menyeluruh. Proses analisis ini sepenuhnya mengacu pada standar nasional yang berlaku, termasuk SNI 1726:2019 (gempa), SNI 1727:2020 (pembebanan), dan SNI 2847:2019 (beton struktural).

Pelaksanaan investigasi di lapangan didukung oleh berbagai instrumen pengujian spesifik untuk memetakan kondisi tanah dan material bangunan. Alat Uji Sondir (CPT) digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan tanah dan kedalaman tanah keras, sementara Selang *Hydrostatic Leveling* dimanfaatkan untuk mengukur perbedaan elevasi guna mendeteksi penurunan fondasi. Untuk mengevaluasi mutu struktur beton, digunakan Rebound Hammer guna mengestimasi kuat tekan, Rebar Detector untuk melacak posisi tulangan baja, dan Uji Karbonasi (indikator *phenolphthalein*) untuk menilai risiko korosi. Selain itu, Leeb Hardness Tester diaplikasikan untuk mengukur tingkat kekerasan baja yang kemudian dikonversi menjadi nilai kuat tarik.

Tahap akhir penelitian ini bertumpu pada metode analisis kuantitatif yang menginterpretasikan parameter geoteknik dari data pengujian lapangan. Kapasitas daya dukung ultimit fondasi dalam yang mencakup tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan selimut (*skin friction*) dihitung dan dibandingkan dengan total beban eksisting beserta tambahan beban mesin baru. Hasil perbandingan ini akan menghasilkan nilai faktor keamanan (*safety factor*). Bersamaan dengan evaluasi batas penurunan (*settlement*) sesuai standar SNI 8460:2017, analisis ini menjadi penentu akhir terkait aman atau tidaknya fondasi Gedung H menerima tambahan beban operasional.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Tinjauan Umum

Bangunan yang ditinjau merupakan gedung H PT. Phapros Semarang yang mengalami penambahan mesin produksi baru. Penambahan mesin tersebut menyebabkan bertambahnya beban yang diterima oleh struktur bangunan, khususnya pada komponen fondasi yang berfungsi meneruskan beban ke tanah pendukung. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap kapasitas fondasi eksisting untuk mengetahui apakah fondasi masih mampu menahan beban tambahan tersebut dengan aman.

Pembebanan Struktur

Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat seluruh komponen konstruksi bangunan yang terpasang secara permanen, meliputi dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi, serta berbagai komponen arsitektural lainnya yang menjadi bagian tetap dari bangunan.

Beban Mati Tambahan

Tabel 4.1 Beban Mati Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Berat Satuan (kN/m ²)	Tebal (m)	Q (kN/m ²)
1	Berat sendiri pelat lantai	Dihitung otomatis dengan <i>software</i>		
2	Finishing lantai	22	0,05	1,10
3	Plafond + rangka penggantung	0,50	-	0,50
4	Instalasi mekanikal-elektrikal	0,50	-	0,50
Total Beban Mati Bangunan				2,10

Beban Mati Tambahan Mesin

Tabel 4.2 Data Penambahan Mesin pada Lantai 3

No	Nama Mesin	Total Berat (kg)	Total Berat (kN)
1	Autoclave kapasitas 1.500 - 2.000 liter	6500	63,75
2	Mesin Filling Injeksi serbuk + capping	4100	40,20
3	Mesin Washing Steriline+depirogenasi	7800	76,50
4	Mixing Sterile (CIP-SIP System), include instalasi, terdiri dari: - Tangki premix - Tangki mixing - Tangki holding	1410	13,83

Data berat mesin tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung tambahan beban yang bekerja pada struktur dan fondasi. Besarnya tambahan beban akan memengaruhi tekanan yang diteruskan ke tanah sehingga perlu dievaluasi terhadap kapasitas daya dukung fondasi eksisting.

Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada lantai dalam struktur ini diasumsikan sebagai beban terbagi merata (*uniformly distributed load*) yang besarnya disesuaikan dengan fungsi masing-masing ruangan. Nilai beban hidup yang digunakan dalam analisis diambil sebesar:

1. Beban hidup area produksi = 6 kN/m²
2. Beban Laboratorium = 3 kN/m²
3. Beban hidup atap = 1 kN/m²

Beban Gempa

Analisis beban gempa pada struktur bangunan ini dihitung berdasarkan standar dan pedoman tata cara perencanaan ketahanan gempa terbaru yang berlaku di Indonesia,

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

yaitu SNI 1726:2019. Parameter-parameter seismik yang digunakan dalam perancangan disesuaikan dengan koordinat lokasi proyek serta kondisi tanah dasar pada tapak struktur.

Sebagai ringkasan dari hasil analisis penentuan parameter beban gempa tersebut, berikut adalah rekapitulasi nilai dan parameter desain seismik yang disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Beban Gempa

ANALISIS GEMPA MENURUT SNI 1726 - 2019			
Data Parameter Gempa			Keterangan
Kategori Resiko		III	
Faktor Keutamaan Gempa	I_e	1,25	
Faktor Kuat Lebih Sistem	Ω_0	3	
Faktor Pembesaran Defleksi	C_d	5,5	
Koefisien Modifikais Respon	R	8	
Kategori Desain Seismik	K_{DS}	D	
Data Percepatan Gempa			
Spektral Percepatan Periode Pendek	S_s	0,904	
Spektral Percepatan Periode 1 detik	S_l	0,389	
koefisien situs	F_a	1,138	Interpolasi
koefisien situs	F_v	1,911	Interpolasi
percepatan desain periode pendek	$S_{DS} = 2/3 * F_a * S_s$	0,686	
percepatan desain periode 1 detik	$S_{D1} = 2/3 * F_v * S_l$	0,495	
	$T_0 = 0,2 * S_{D1} / S_{DS}$	0,144	
	$T_s = S_{D1} / S_{DS}$	0,722	

Seluruh parameter desain seismik di atas selanjutnya digunakan sebagai input data dalam pemodelan struktur menggunakan program ETABS. Hasil analisis beban gempa tersebut berfungsi sebagai dasar untuk menentukan nilai *joint reaction* (reaksi perletakan) pada dasar struktur. Nilai *joint reaction* inilah yang kemudian menjadi data parameter utama (bahan dasar) untuk mengevaluasi kapasitas, kekuatan, serta keamanan struktur fondasi dalam menahan beban kombinasi, termasuk beban lateral akibat gempa.

Analisa Kelas Situs Tanah

Tabel 4.4 Klasifikasi Situs Tanah

Kelas situs	$\bar{v}_s$	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
Kelas situs	$\bar{v}_s$	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nirair $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Tabel 4.5 Rata-Rata N-SPT pada BM1 dan BM2

BM1				
NO	Kedalaman (m)	Tebal di (m)	NSPT	(di/NSPT)
1	0,00	0,00	-	-
2	2,50	2,50	13	0,192
3	5,00	2,50	24	0,104
4	7,50	2,50	31	0,081
5	10,00	2,50	43	0,058
6	12,50	2,50	49	0,051
7	15,00	2,50	51	0,049
Total		15,00		0,535
N-SPT Rata-Rata				28,022
Kelas Situs				SD
BM2				
NO	Kedalaman (m)	Tebal di (m)	NSPT	(di/NSPT)
1	0,00	0,00	-	-
2	2,50	2,50	12	0,208
3	5,00	2,50	18	0,139

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

4	7,50	2,50	36	0,069
5	10,00	2,50	47	0,053
6	12,50	2,50	48	0,052
7	15,00	2,50	51	0,049
Total		15,00		0,571
N-SPT Rata-Rata				26,271
Kelas Situs				SD

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer berupa hasil pengujian sondir (CPT) yang digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah dan daya dukung tanah di lokasi penelitian. Adapun data sekunder meliputi gambar struktur bangunan, *bore log*, dimensi fondasi eksisting, serta data beban tambahan mesin yang diperoleh dari pihak perusahaan.

Data Tanah

Kondisi tanah pada lokasi penelitian diketahui berdasarkan hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) atau sondir. Data sondir digunakan untuk mengidentifikasi perubahan lapisan tanah terhadap kedalaman serta menentukan parameter yang diperlukan dalam analisis daya dukung fondasi. Selain data hasil uji sondir, *bore log* juga digunakan dalam penelitian ini sebagai data sekunder. Berikut hasil dari pengujian sondir dan *bore log* pada penelitian ini:

1. Data *Dutch Cone Penetration Test* pada titik S1

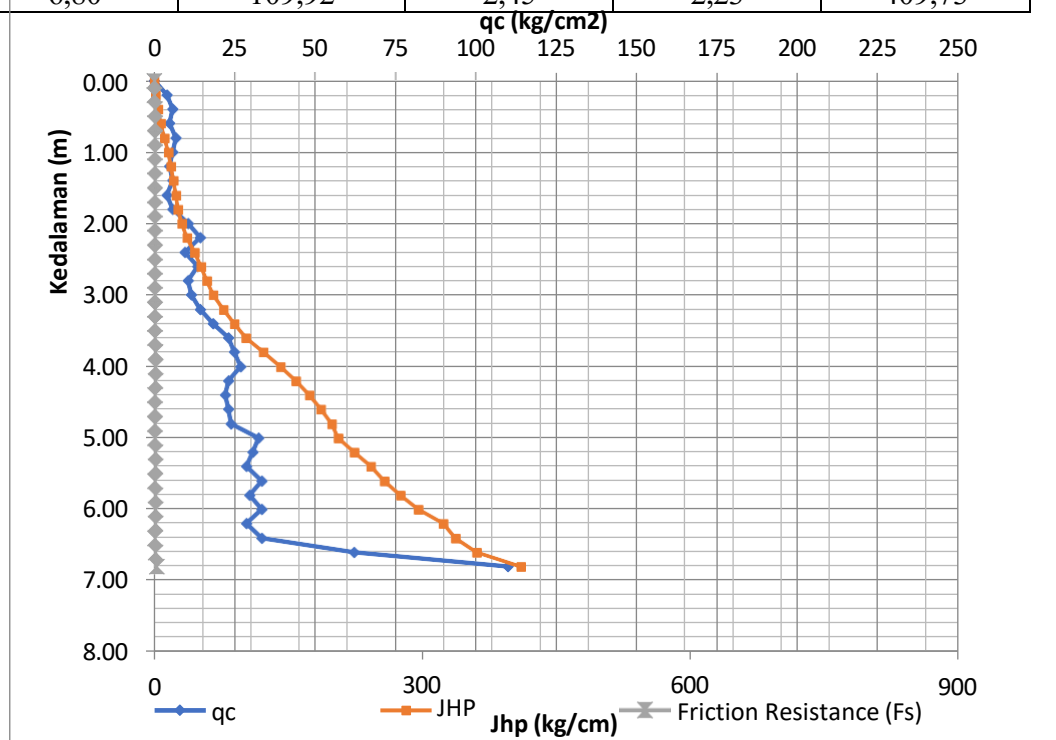
Tabel 4.6 Data *Dutch Cone Penetration Test* pada titik S1

Depth (m)	qc (kg / cm ²)	fs kg / cm ²	Fr %	JHP kg / cm
0,00	0	0	0	0
0,20	3,82	0,07	1,83	1,40
0,40	5,73	0,14	2,44	4,20
0,60	4,78	0,14	2,93	6,99
0,80	6,69	0,21	3,14	11,19
1,00	5,73	0,21	3,66	15,38
1,20	4,78	0,14	2,93	18,18
1,40	5,73	0,14	2,44	20,98
Depth (m)	qc (kg / cm ²)	fs kg / cm ²	Fr %	JHP kg / cm
1,60	3,82	0,14	3,66	23,77
1,80	5,73	0,14	2,44	26,57
2,00	10,51	0,21	2,00	30,76
2,20	14,34	0,28	1,95	36,36
2,40	9,56	0,42	4,39	44,75
2,60	13,38	0,35	2,61	51,74
2,80	10,51	0,35	3,33	58,73
3,00	11,47	0,35	3,05	65,72
3,20	14,34	0,56	3,90	76,91
3,40	18,16	0,63	3,47	89,50
3,60	22,94	0,63	2,74	102,08
3,80	24,85	0,98	3,94	121,66
4,00	26,76	0,98	3,66	141,24

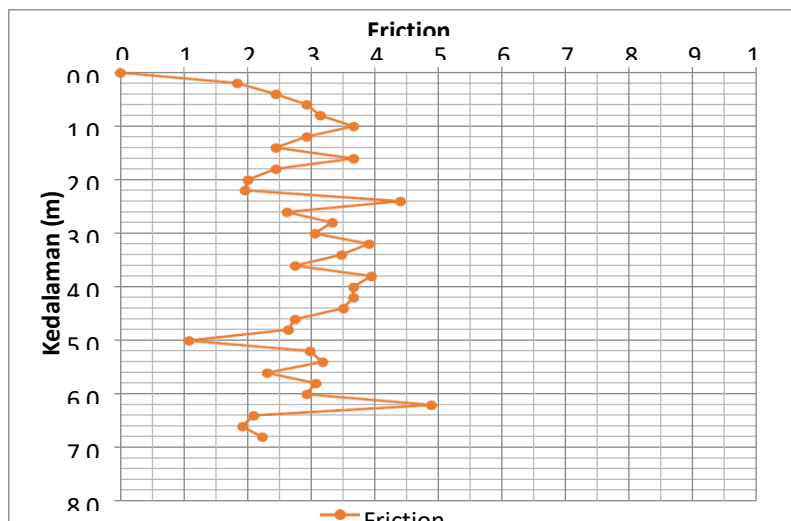
Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

4,20	22,94	0,84	3,66	158,02
4,40	21,98	0,77	3,50	173,40
4,60	22,94	0,63	2,74	185,99
4,80	23,90	0,63	2,63	198,57
5,00	32,50	0,35	1,08	205,57
5,20	30,59	0,91	2,97	223,74
5,40	28,67	0,91	3,17	241,92
5,60	33,45	0,77	2,30	257,31
5,80	29,63	0,91	3,07	275,49
6,00	33,45	0,98	2,93	295,06
6,20	28,67	1,40	4,88	323,03
6,40	33,45	0,70	2,09	337,01
6,60	62,13	1,19	1,91	360,79
6,80	109,92	2,45	2,23	409,73



Gambar 4.1 Grafik qc pada Titik Uji Sondir S1

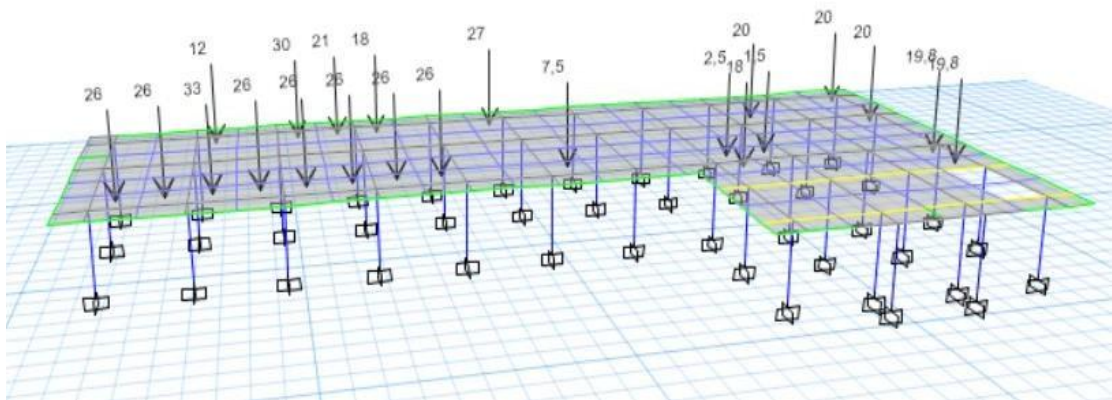


Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

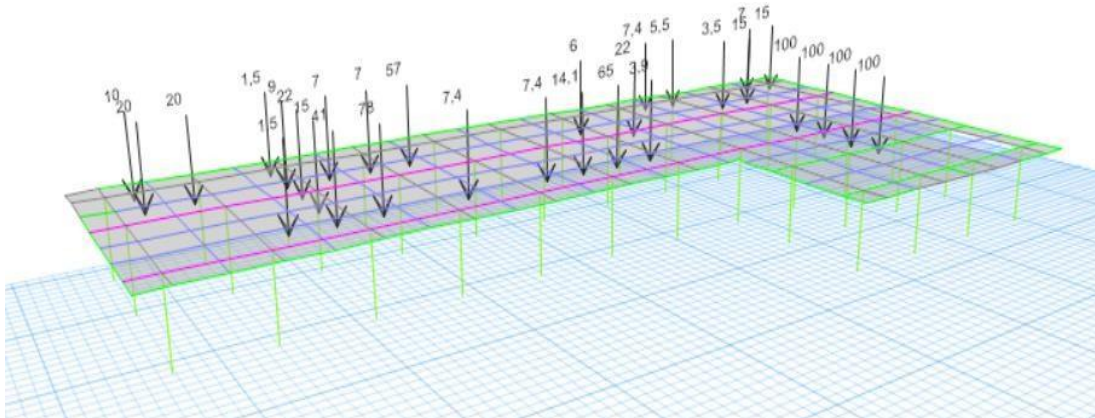
Muhammad Daffa Kuspratama¹, Muhammad Duta Rafika Dewa², lisa fitriyana³, Antonius⁴

Data Analisa Struktur

Analisa struktur pada gedung H dilakukan menggunakan *software* ETABS v2.3.1. Skema pembebanan secara 3D pada tiap lantai dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.15 Beban Mesin 3 Dimensi Lantai 2



Gambar 4.16 Beban Mesin 3 Dimensi Lantai 3

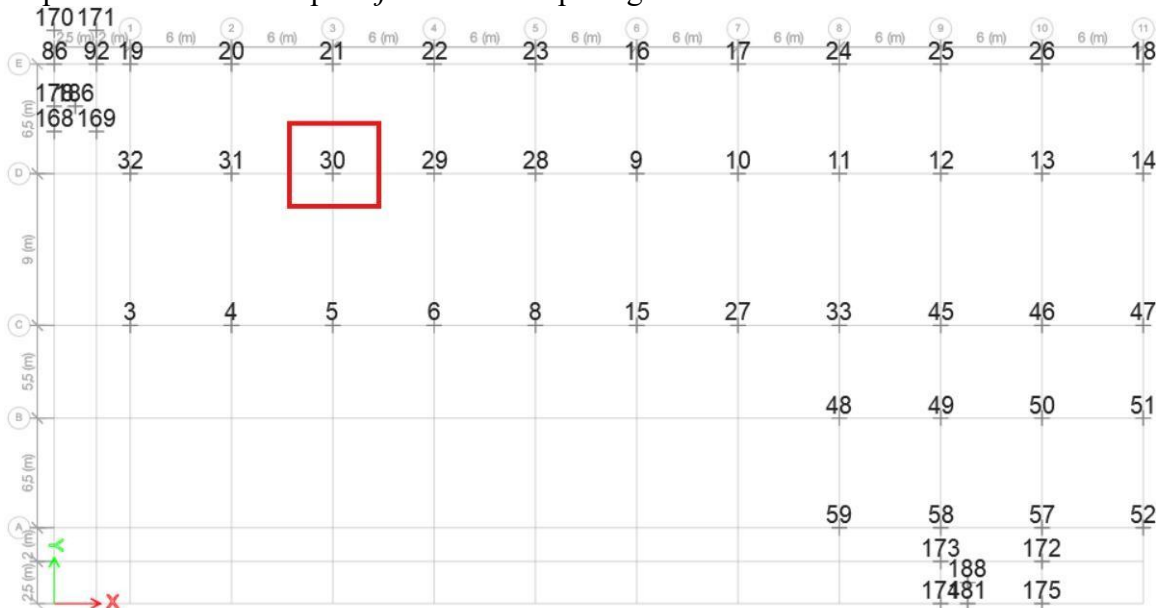
Berdasarkan hasil analisa struktur atas, diperoleh gaya-gaya yang diteruskan ke fondasi (*support reaction*) yang akan dilampirkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.

Analisis Daya Dukung Fondasi

Analisis daya dukung fondasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan fondasi dalam menahan beban yang bekerja akibat kondisi eksisting maupun setelah penambahan mesin produksi. Perhitungan kapasitas fondasi pada penelitian ini didasarkan pada data penyelidikan tanah berupa uji sondir (*cone penetration test/CPT*) dan *bore log* dengan hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT). Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kondisi lapisan tanah, menentukan parameter tanah, serta menghitung kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* yang digunakan pada gedung H PT. Phapros Semarang.

Analisis Gaya Dalam Fondasi Eksisting

Data di bawah ini menampilkan nilai gaya dalam yang bekerja pada *joint reaction* fondasi eksisting, yang dihitung berdasarkan hasil analisis gaya aksial dari ETABS. Data ini memperlihatkan bagaimana beban lateral, beban aksial, dan momen kolom yang disalurkan oleh komponen struktur diterjemahkan menjadi transfer energi dan beban dinamis pada titik-titik sambungan (*joint*). Data beban untuk analisis daya dukung fondasi eksisting didapatkan dari *output joint reaction* dengan nilai terbesar dari permodelan ETABS pada *joint label 30* pada gambar berikut ini.



Gambar 4.17 Joint Label Eksisting

Untuk nilai gaya dalam eksisting pada *joint label 30* sebagai berikut:

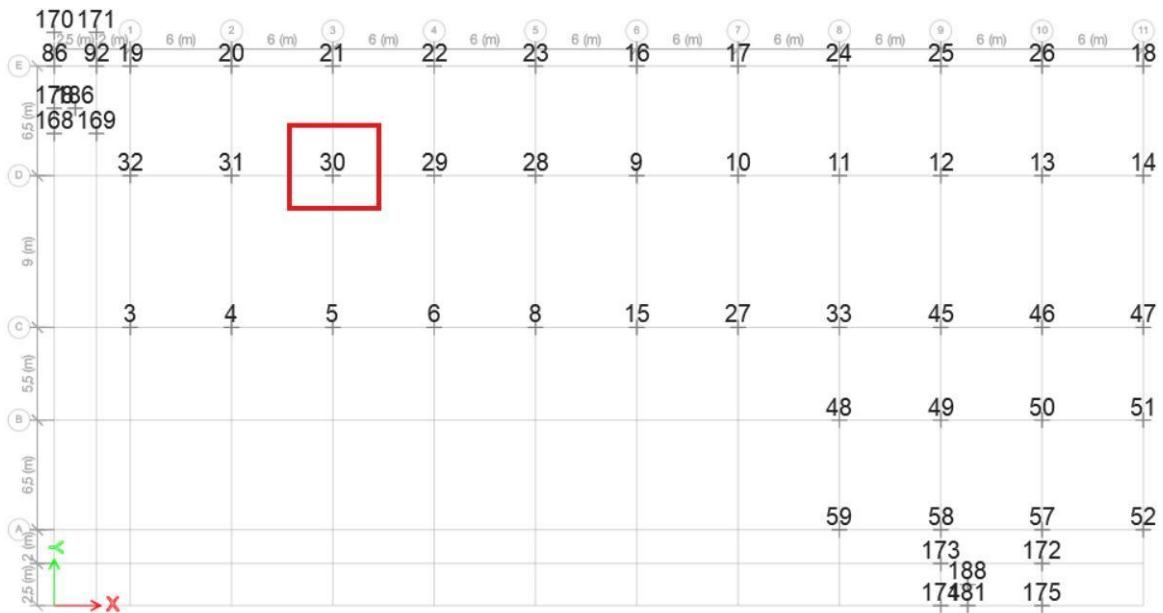
- Beban aksial struktur atas (P) = 1315,2122 kN = 131,5 ton
- Beban lateral kolom arah X, Fx = -86,3003 kN = -8,6 ton
- Beban lateral kolom arah Y, Fy = -85,9029 kN = -8,6 ton
- Momen kolom arah X, Mx = 241,8462 kN = 24,2 ton
- Momen kolom arah Y, My = -254,1645 kN = -25,4 ton

Analisis Gaya Dalam Fondasi Eksisting dengan Penambahan Mesin

Data di bawah ini menampilkan nilai gaya dalam yang bekerja pada *joint reaction* fondasi eksisting dengan penambahan mesin, yang dihitung berdasarkan hasil analisis gaya aksial dari ETABS. Data ini memperlihatkan bagaimana beban lateral, beban aksial, dan momen kolom yang disalurkan oleh komponen struktur diterjemahkan menjadi transfer energi dan beban dinamis pada titik-titik sambungan (*joint*). Hasil perhitungan daya dukung fondasi selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan fondasi terhadap beban yang diperoleh dari reaksi perletakan struktur hasil analisis ETABS. Data beban untuk analisis daya dukung fondasi eksisting didapatkan dari *output joint reaction* dengan nilai terbesar dari permodelan ETABS pada *joint label 30* pada gambar berikut ini.

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama¹, Muhammad Duta Rafika Dewa², lisa fitriyana³, Antonius⁴



Gambar 4.18 *Joint Label* Eksisting dengan Penambahan Mesin

Untuk nilai gaya dalam eksisting dengan penambahan mesin pada *joint label* 30 sebagai berikut:

- Beban aksial struktur atas (P) = 1480,7814 kN = 148 ton
- Beban lateral kolom arah X, Fx = -111,6967 kN = -11,1 ton
- Beban lateral kolom arah Y, Fy = -138,3943 kN = -13,8 ton
- Momen kolom arah X, Mx = 335,0373 kN = 33,5 ton
- Momen kolom arah Y, My = -281,757 kN = -28,2 ton

Hasil Perhitungan Daya Dukung *Ultimate* Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT (*Standard Penetration Test*) Dengan Metode Meyerhof

Perhitungan kapasitas daya dukung *bored pile* dari data SPT menggunakan metode Meyerhof (1976) dan data diambil pada titik BM2. Data *bored pile*:

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang dari Hasil Analisis SPT Metode Meyerhof

Berdasarkan area yang ditinjau, jumlah tiang yang digunakan sebanyak 4 tiang dengan kedalaman 10 meter. Untuk uraian perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dapat dinyatakan sebagai berikut:

Diketahui:

$$Q_{all} = 133,46 \text{ ton}$$

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

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$m = 2$$

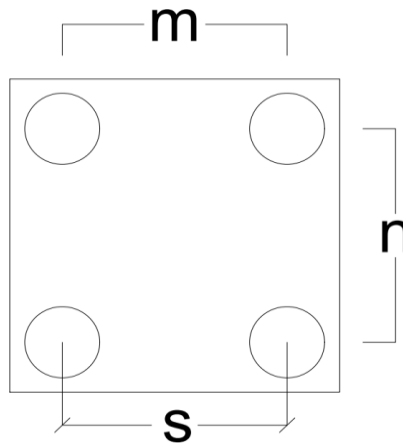
$$n = 2$$

$$\theta = \arctan(d/s)$$

$$= \arctan(0,5/1,5)$$

$$= 18,43^\circ$$

Nilai dari s, m, dan n didapatkan dari ilustrasi dibawah ini:



Gambar 4.19 Gambar Ilustrasi Perhitungan Kelompok Tiang

- Efisiensi kelompok tiang (E_g) metode *Converse-Labarre* dapat dinyatakan dari persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

$$E_g = 1 - (18,43) \times \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$E_g = 0,795$$

- Daya dukung vertikal kelompok tiang dapat dinyatakan dengan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$$

$$Q_g = 0,795 \times 4 \times 133,46$$

$$Q_g = 424,4 \text{ ton}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, daya dukung vertikal kelompok tiang dengan menggunakan data SPT metode *Meyerhof* didapatkan nilai daya dukung sebesar 424,4 ton. Sehingga jika dibandingkan dengan total pembebanan pada kondisi eksisting yaitu $P = 131,5$ ton, pondasi tersebut masih dinyatakan aman. Begitu juga dengan total pembebanan pada kondisi setelah terjadi penambahan beban mesin, dengan $P = 148$ ton maka pondasi tersebut masih dinyatakan aman.

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang dari Hasil Analisis CPT Metode Begemann

Berdasarkan area yang ditinjau, jumlah tiang yang digunakan sebanyak 4 tiang dengan kedalaman 10 meter. Untuk uraian perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dapat dinyatakan sebagai berikut:

Diketahui:

$$Q_{all} = 249,25 \text{ ton d}$$

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

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$m = 2$$

$$n = 2$$

$$\theta = \arctan (d/s)$$

$$= \arctan (0,5/1,5)$$

$$= 18,43^\circ$$

- Efisiensi kelompok tiang (E_g) metode *Converse-Labarre* dapat dinyatakan dari persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

$$E_g = 1 - (18,43) \times \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$E_g = 0,795$$

- Daya dukung vertikal kelompok tiang dapat dinyatakan dengan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$$

$$Q_g = 0,795 \times 4 \times 249,25$$

$$Q_g = 792,6 \text{ ton}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, daya dukung vertikal kelompok tiang dengan menggunakan data CPT metode *Begemann* didapatkan nilai daya dukung tiang grup sebesar 792,6 ton. Sehingga jika dibandingkan dengan total pembebanan pada kondisi eksisting yaitu $P = 131,5$ ton, pondasi tersebut masih dinyatakan aman. Begitu juga dengan total pembebanan pada kondisi setelah diberi penambahan beban mesin, dengan $P = 148$ ton maka pondasi tersebut masih dinyatakan aman.

Hasil dari perhitungan nilai daya dukung aksial fondasi dengan metode *Meyerhof* (SPT) dan *Begemann* (CPT) menghasilkan nilai daya dukung yang berbeda. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu perbedaan titik uji dimana terjadi perbedaan yang signifikan antara NSPT dan CPT walau dikedalaman yang sama, selain itu perbedaan metode juga menyebabkan perbedaan parameter yang digunakan. Dengan demikian, perbedaan nilai daya dukung yang diperoleh dari kedua metode tidak menunjukkan adanya kesalahan dalam perhitungan, melainkan mencerminkan perbedaan karakteristik pengujian lapangan, parameter yang digunakan, dan juga pendekatan empiris yang mendasari masing-masing metode.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

Daya dukung lateral merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas fondasi terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan tanah akibat beban horizontal. Dalam analisis daya dukung lateral, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai faktor kekakuan tiang pada tanah kohesif. Selanjutnya, kapasitas daya dukung lateral fondasi dihitung menggunakan metode yang dikembangkan oleh *Broms* (1964).

Metode ini hanya dapat diterapkan pada kondisi tanah yang terdiri atas satu jenis lapisan, misalnya seluruhnya berupa lapisan pasir atau seluruhnya berupa lapisan lempung. Apabila kondisi tanah tersusun atas beberapa lapisan yang berbeda, maka lapisan yang paling dominan digunakan sebagai representasi karakteristik tanah dalam analisis. Berdasarkan hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT), diketahui bahwa lapisan lempung merupakan jenis tanah yang paling dominan di lokasi penelitian. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah lempung pada kedalaman 10 meter. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

- Diameter *bored pile* (D) = 50 cm
- Panjang *bored pile* (L) = 1000 cm
- Mutu beton *bored pile* (f'_c) = 22,5 MPa = 225 kg/cm²
- Modulus elastisitas *bored pile* (E_p) = $4700\sqrt{22,5}$ = 22294 MPa
= 222940 kg/cm²
- Momen inersia *bored pile* (I_p) = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^4$ = 306640,625 cm⁴
- Kuat lentur beban tiang (σ_{lt}/f_b) = $0,4 \times 225$ = 90 kg/cm²
- Nilai kohesi rata-rata (c_u) = $2/3 \times 10 \times N-SPT$

Penurunan Yang Diizinkan

Besarnya penurunan bangunan yang masih diizinkan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis bangunan, tinggi bangunan, tingkat kekakuan struktur, fungsi bangunan, serta besarnya, laju, dan distribusi penurunan yang terjadi. Adapun persyaratan yang digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi keamanan penurunan berdasarkan Persamaan (2.21) adalah sebagai berikut:

$S_{total} \leq S_{izin}$

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

$$= 10\% \times 50$$

$$= 5 \text{ cm}$$

Berdasarkan nilai penurunan izin yang telah didapatkan di atas, maka jika dibandingkan dengan hasil perhitungan penurunan pada kondisi eksisting dengan $S_g = 1,657$ cm maka pondasi tersebut dinyatakan aman. Begitu juga dengan penurunan pada kondisi setelah penambahan beban mesin dengan $S_g = 1,741$ cm, maka pondasi tersebut juga dinyatakan masih dalam batas aman.

Rekapitulasi Hasil

Rekapitulasi hasil dari perhitungan nilai daya dukung aksial, lateral, dan penurunan pondasi dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil

REKAPITULASI HASIL	Nilai Daya Dukung Aksial (ton)		Nilai Daya Dukung Lateral (ton)	Penurunan (cm)
	Meyerhof	Begemann		
Tiang Tunggal	133,46	249,25	8,046	0,83
Tiang Grup	424,4	792,6		1,741

Berdasarkan Tabel 4.11 diatas, didapatkan bahwa nilai daya dukung aksial dengan metode *Begemann* memiliki hasil yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode *Meyerhof*. Nilai daya dukung lateral didapatkan lebih kecil daripada beban lateral yang terjadi pada bangunan, sehingga dinyatakan tidak aman. Kemudian penurunan yang terjadi pada fondasi masih dalam batas aman.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai daya dukung aksial fondasi eksisting berdasarkan interpretasi data uji sondir dengan metode *Begemann* diperoleh sebesar 792,6 ton, sedangkan daya dukung fondasi yang didapatkan dari analisis data *bore log* menggunakan metode *Meyerhof* diperoleh sebesar 424,4 ton. Dengan beban aksial bangunan eksisting sebesar 131,5 ton dan dengan penambahan mesin sebesar 148 ton, maka nilai daya dukung aksial fondasi eksisting dinyatakan aman.
2. Nilai daya dukung lateral fondasi pada bangunan eksisting dengan penambahan mesin yaitu sebesar 8,046 ton. Dengan nilai beban lateral kolom arah X pada bangunan eksisting sebesar 8,6 ton, dan pada kondisi setelah penambahan mesin yaitu sebesar 11,1 ton, maka nilai daya dukung lateral fondasi eksisting dinyatakan tidak aman.
3. Besar penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi eksisting yaitu sebesar 1,657 cm, sedangkan besar penurunan akibat adanya penambahan beban mesin yaitu sebesar 1,741 cm. Nilai penurunan ini dinyatakan aman dan masih memenuhi batas toleransi penurunan izin yang diizinkan menurut perhitungan, yaitu sebesar 5 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Akon, A., Aprianto, & Faisal, A. (2018). *Studi daya dukung lateral pada fondasi tiang grup dengan konfigurasi 2 x 2*. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura, 5(1), 1–13.
- Ashraf, W. (2016). *Carbonation of cement-based materials: Challenges and opportunities*. Construction and Building Materials, 120, 558–570.
- Bachtiar, M. A. (2020). *Studi evaluasi struktur dengan penambahan lantai atas pada gedung perkuliahan di IAIN Jember berdasar faktor keamanan fondasi lama*. UNEJ Repository.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 2827:2008 – Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: BSN.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation design: principles and practices*. Prentice Hall.
- Computers and Structures Inc. (2023). *CSI Analysis Reference Manual*. Computers and Structures Inc.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning
- Fahmi, K. (2022). *Analisa perbandingan daya dukung fondasi tiang dengan metode Mayerhoff, Luciano Decourt, Reese and Wright, dan komponen hingga (PLAXIS)*. Repositori UNISSULA.
- Fitriyana, L., & Satrio, E. M. (2023). *Analisa konfigurasi tiang grup terhadap daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada tanah lunak*. Jurnal Teknik SILITEK, 3(2), 91–98.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika tanah 1*. Gadjah Mada University Press. *Journal of Geotechnical Engineering*.
- Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. M. (1997). *Cone penetration testing in*

Studi Kapasitas Struktur Fondasi Gedung Eksisting Terhadap Penambahan Beban Mesin: (Studi Perubahan Fungsi Lantai Pada Bangunan PT. Phapros Semarang)

Muhammad Daffa Kuspratama ¹, Muhammad Duta Rafika Dewa ², lisa fitriyana ³, Antonius ⁴

geotechnical practice. Blackie Academic.

- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation Engineering*.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley.
- Robertson, P. K. (2010). Interpretation of cone penetration tests. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2015). *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering* (6th ed.). Gregg Drilling & Testing.
- Schmertmann, J. H. (1978). *Guidelines for cone penetration test performance and design*. Federal Highway Administration (FHWA).
- Teng, W. C. (1962). *Foundation Design*. Prentice-Hall.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. Wiley.
- Tomlinson, M. J., & Wood, D. M. (2008). *Pile Design and Construction Practice*.
- Wibowo, Safitri, & Deni (2020). *Kajian Karbonasi Pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri Dengan Variasi Komposisi Metakaolin*. Jurnal Riset Rekayasa Sipil.