



TUGAS AKHIR – RC18-4803

**PERENCANAAN PONDASI TIANG LEKATAN PADA
GEDUNG TINGKAT 3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN PENURUNAN
MERATA DALAM JANGKA PANJANG**

WIDYA INDRIYANI MANURUNG
NRP. 0311164000055

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaa dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR – RC18 - 4803

**PERENCANAAN PONDASI TIANG LEKATAN PADA
GEDUNG TINGKAT 3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN PENURUNAN
MERATA DALAM JANGKA PANJANG**

WIDYA INDRIYANI MANURUNG
NRP. 0311164000055

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC18 - 4803

**PLANNING OF FRICTION PILE FOUNDATION ON
BUILDING LEVELS 3 TO 5 ON THICKNESS SOFT
SOIL WITH THE PROVISIONS OF UNIFORM
SETTLEMENT IN LONG TERM**

WIDYA INDRIYANI MANURUNG
NRP. 0311164000055

Academic Supervisor I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D

Academic Supervisor II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERENCANAAN PONDASI TIANG LEKATAN PADA
GEDUNG TINGKAT 3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN PENURUNAN
MERATA DALAM JANGKA PANJANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

WIDYA INDRIYANI MANURUNG
NRP. 031 116 4000 0055

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Indrasurya B. Mochtar

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D..(Pembimbing I)
2. Putu Tantri Kusnala S., ST., MT..... (Pembimbing II)



SURABAYA
AGUSTUS, 2020

“halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN PONDASI TIANG LEKATAN PADA GEDUNG TINGKAT 3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN PENURUNAN MERATA DALAM JANGKA PANJANG

Nama Mahasiswa : Widya Indriyani Manurung
NRP : 0311164000055
Departemen/Fakultas : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,
Ph,D
2. Putu Tantri Kumala S., ST. MT

Abstrak

Banjarmasin adalah daerah yang memiliki tanah lunak yang relatif tebal hingga mencapai kedalaman 30 - 40 m. Di Banjarmasin, banyak bangunan yang dibangun menggunakan pondasi tiang lekatan (*friction pile*) pada kondisi tanah lunak. Bangunan-bangunan berlantai dua yang menggunakan pondasi *friction pile* masih berdiri tetap tetapi banyak bangunan berlantai tiga s/d lima mengalami kemiringan (*differential settlement*) jika menggunakan pondasi tahanan ujung pada bangunan tingkat tiga s/d lima, biaya pondasi tiang akan lebih mahal dibandingkan biaya konstruksi karena pondasi tiang mencapai tanah keras.

Pada studi ini, dilakukan perencanaan pondasi *friction pile* yang dapat menjamin penurunan merata pada bangunan tingkat tiga s/d lima dengan kondisi tanah lunak yang tebal menggunakan metode *P-Z Curve*. Pada pondasi tersebut perlu diperhitungkan daya dukung tanah, penurunan akibat beban struktur atas (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi (*long term settlement*) dan penurunan akibat rangkai (*long term consolidation*) untuk jangka waktu selama 25 tahun. Perencanaan pondasi tersebut akan dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu pondasi tahanan ujung (*end bearing pile*) yang akan dihitung jumlah tiang yang dibutuhkan dan kedalamannya sedangkan pada

pondasi *friction pile* akan dihitung kebutuhan jumlah tulangan dan kedalaman tiangnya.

Dari hasil perencanaan didapatkan suatu kesimpulan bahwa perencanaan pondasi *friction pile* lebih efektif dibandingkan dengan perencanaan pondasi *end bearing pile* dimana pondasi *friction pile* sudah memperhitungkan penurunan merata (tidak terjadi *differential settlement*) sehingga juga kuat untuk menahan gedung tingkat tiga s/d lima. Pondasi *end bearing pile* kuat juga untuk menahan gedung tersebut tetapi dalam segi biaya, perencanaan pondasi *friction pile* lebih hemat daripada perencanaan *end bearing pile*. Bahwa jumlah dan kedalaman tiang dari hasil perencanaan pondasi *friction pile* pada gedung tingkat tiga s/d lima berturut-turut adalah 14 m;134 buah, 17 m;134 buah, dan 23 m;136 buah sedangkan untuk pondasi *end bearing pile* pada gedung tiga s/d lima berturut-turut adalah 40 m;108 buah, 40m;118 buah, dan 40m;129 buah.

Kata kunci: metode *P-Z curve*, penurunan, pondasi *friction pile*, pondasi *end bearing pile*, tanah lunak.

PLANNING OF FRICTION PILE FOUNDATION ON BUILDING LEVELS 3 TO 5 ON THICKNESS SOFT SOIL WITH THE PROVISIONS OF UNIFORM SETTLEMENT IN LONG TERM

Student Name : Widya Indriyani Manurung
NRP : 0311164000055
Department : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Advisor : 1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D
2. Putu Tantri Kumala S., ST. MT

Abstract

Banjarmasin is an area that has relatively thick soft soil to depth of 30-40 m. In Banjarmasin, many buildings are built using friction pile foundation in soft soil condition. Two-storey buildings that use friction pile foundation are still standing but many three to five-storey buildings which experience slope (differential settlement) if using end-bearing pile foundation on three to five-storey buildings, the cost of the pile foundation will be more expensive than the cost of the constructions because the piles foundation reach hard soil.

In this study, planning of friction pile foundation is carried out that can guarantee a uniform settlement in buildings three to five levels with thick soft soil condition using the P-Z Curve method. On that foundation, it is necessary to be calculated the bearing capacity, settlement due to the structure of the above loads (immediate settlement), consolidation settlement (long term consolidation), and creep settlement (long term settlement) for a period of 25 years. The foundation planning will be compared with conventional method, namely end bearing pile foundation which will calculate the number of piles are needed and theirs depth, while the friction pile foundation will see the need for the amount of poers reinforcement and depth of the piles.

From the results of the planning, it can be concluded that the planning of the friction pile foundation using the P-Z Curve method is more effective than the planning of the end bearing pile foundation using the conventional method where the friction pile foundation has been planned by calculating uniform settlement (there is no differential settlement) so it is also strong to withstand levels of three of five buildings. The end bearing pile foundation is also strong to hold the buildings but in terms of cost, planning of the friction pile is more efficient than planning of the end bearing pile. That the numbers and depth of friction pile foundation piles required in a building with three to five levels are 14 m;134 pieces, 17 m;134 pieces, and 24 m;136 pieces, while for the numbers and depth of end bearing pile foundation piles required in a building with three to five levels are 40 m;108 pieces, 40 m;118 pieces, and 40 m;129 pieces.

Keywords: method P-Z curve, settlement, friction pile foundation, end bearing pile foundation, soft soil.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Pondasi Tiang Lekatan pada Gedung Tingkat 3 s/d 5 di Atas Tanah Lunak yang Tebal dengan Ketentuan Penurunan Merata dalam Jangka Panjang”.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D., sebagai dosen pembimbing yang telah sabar memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Putu Tantri Kumala S., ST. MT sebagai dosen pembimbing yang telah sabar memberikan bimbingan dan motivasi dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT. dan Musta'in Arif, ST. MT., sebagai dosen konsultasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Kedua orangtua saya yang selalu mendukung dan memberikan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Brena, Shalva, Victory, dan teman S59 lainnya yang telah membantu dalam diskusi dan berjuang bersama untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, baik dari tata bahasa, susunan kalimat maupun isi. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati, penulis selaku penyusun menerima segala kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat yang nyata untuk bangsa dan negara.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Permasalahan	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Parameter Tanah.....	7
2.1.1 Korelasi Data Tanah dengan Koreksi N-SPT	7
2.1.2 Korelasi Data Tanah tanpa Koreksi N-SPT	8
2.2 Pembebanan Bangunan.....	12
2.3 Daya Dukung Tiang Pancang	13
2.4 Penurunan	14
2.4.1 Penurunan Segera.....	15
2.4.2 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	16
2.4.3 Penurunan Rangkaian Gelincir	19
2.4.4 Penurunan Maksimum.....	24
2.5 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang	14
2.5.1 Perencanaan Penggunaan Pondasi Tiang Pancang	22
2.5.2 Efisiensi Tiang Pancang Kelompok	21
2.5.3 Nilai Konstanta Pegas (k)	21
2.6 Perencanaan <i>Poer</i>	24
2.6.1 Perencanaan Tebal <i>Poer</i>	24
2.6.2 Perencanaan Penulangan <i>Poer</i>	25
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Bagan Alir Tahapan Perencanaan	27

3.2 Uraian Tahapan Perencanaan.....	29
BAB IV DATA TANAH DAN PEMBEBANAN.....	33
4.1 Analisa Data Tanah	33
4.1.1 Korelasi Data Tanah tanpa Koreksi N-SPT	33
4.1.2 Korelasi Data Tanah dengan Koreksi N-SPT	42
4.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang	56
4.3 Analisa Denah dan Pembebanan Bangunan Rumah Sakit..	51
4.3.1 Data Perencanaan	56
4.3.2 Peraturan	57
4.3.3 Pembebanan Bangunan.....	57
BAB V PONDASI <i>FRICITION PILE</i>	59
5.1 Efisiensi Tiang Pancang	59
5.2 Penentuan Kedalaman Tiang Pancang.....	59
5.3 Penurunan	59
5.3.1 Penurunan Segera	61
5.3.2 Penurunan Konsolidasi	63
5.3.3 Penurunan Akibat Rangkak (<i>Creep</i>).....	73
5.4 Iterasi Nilai P dengan Kurva P-Z.....	80
BAB VI PONDASI <i>END BEARING PILE</i>	93
6.1 Perencanaan Pondasi Tiang	93
6.2 Perencanaan <i>Poer</i>	108
6.3 Perbandingan Biaya.....	108
BAB VII KESIMPULAN	113
7.1 Kesimpulan	113
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Ruko tiga lantai mengalami kemiringan dengan pondasi <i>friction pile</i> di Kota Banjarmasin	2
Gambar 2.1	Kurva hubungan beban vertikal dan penurunan akibat selimut tiang pancang pada tanah kohesi	15
Gambar 2.2	Kurva hubungan beban vertikal dan penurunan akibat ujung tiang pancang pada tanah kohesi.....	16
Gambar 2.3	Penurunan pada pondasi tiang.....	17
Gambar 2.4	Kelompok tiang pancang untuk analisis vertikal ..	22
Gambar 3.1	Bagan alir tahapan perencanaan.....	27
Gambar 4.1	Kurva N-SPT gabungan titik BH-2	36
Gambar 4.2	Grafik antara kedalaman dengan daya dukung <i>ultimate</i>	55
Gambar 4.3	Denah balok rumah sakit elevasi -1,50 m.....	56
Gambar 4.4	Permodelan bangunan berlantai lima dengan perletakan rol.....	58
Gambar 5.1	Kurva P-Z untuk bangunan berlantai tiga	62
Gambar 5.2	Kurva P-Z untuk bangunan berlantai empat	62
Gambar 5.3	Kurva P-Z untuk bangunan berlantai lima.....	63
Gambar 5.4	Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai tiga.....	64
Gambar 5.5	Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai empat	64
Gambar 5.6	Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai lima.....	65
Gambar 5.7	Kurva P-Z pada bangunan berlantai 3	77
Gambar 5.8	Kurva P-Z pada bangunan berlantai 4	78
Gambar 5.9	Kurva P-Z pada bangunan berlantai 5	79
Gambar 5.10	Permodelan bangunan berlantai 5 dengan perletakan pegas	81

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan N-SPT dengan Parameter Tanah.....	8
Tabel 2.2 Nilai-Nilai Numerik Parameter Tanah untuk $G_c = 2,70$	9
Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	11
Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah	11
Tabel 2.5 Total Penurunan Maksimum dan Penurunan <i>Differential</i> yang Diizinkan	21
Tabel 4.1 Data Tanah dengan Konsistensi Tanah.....	34
Tabel 4.2 Data Tanah Setelah Dilakukan <i>Covarian</i> Gabungan .	37
Tabel 4.3 Hasil Korelasi Nilai γ_{sat}	41
Tabel 4.4 Nilai E pada Jenis dan Konsistensi Tanah Tertentu...	41
Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Koreksi N-SPT terhadap MAT dan <i>Overburden Pressure</i>	44
Tabel 4.6 Data Tanah	48
Tabel 4.7 Nilai C_c dan C_s	50
Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Daya Dukung Tanah D 0,6 m.....	52
Tabel 5.1 Rekap Nilai Efisiensi	60
Tabel 5.2 Kedalaman Tiang Pancang	61
Tabel 5.3 Rekap Nilai S_c Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 3	67
Tabel 5.4 Rekap Nilai S_c Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 4	69
Tabel 5.5 Rekap Nilai S_c Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 5	71
Tabel 5.6 Rekapitulasi Beban Total dan Penurunan Konsolidasi	73
Tabel 5.7 Rekapitulasi Beban dan Penurunan <i>Creep</i> pada Bangunan Berlantai 3	74
Tabel 5.8 Rekapitulasi Beban dan Penurunan <i>Creep</i> pada Bangunan Berlantai 4	75
Tabel 5.9 Rekapitulasi Beban dan Penurunan <i>Creep</i> pada Bangunan Berlantai 5	76

Tabel 5.10 Rekapitulasi Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 3	77
Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 4	78
Tabel 5.12 Rekapitulasi Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 5	79
Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom	82
Tabel 5.14 Rekap Jumlah Tiang <i>Friction Pile</i> pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap <i>Joint</i>	84
Tabel 5.15 Rekap Jumlah Tiang <i>Friction Pile</i> pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap <i>Joint</i>	87
Tabel 5.16 Rekap Jumlah Tiang <i>Friction Pile</i> pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap <i>Joint</i>	90
Tabel 6.1 Rekap Jumlah Tiang <i>End Bearing Pile</i> pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap <i>Joint</i>	95
Tabel 6.2 Rekap Jumlah Tiang <i>End Bearing Pile</i> pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap <i>Joint</i>	98
Tabel 6.3 Rekap Jumlah Tiang <i>End Bearing Pile</i> pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap <i>Joint</i>	101
Tabel 6.4 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>Friction Pile</i> untuk Gedung 3 Lantai	109
Tabel 6.5 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>Friction Pile</i> untuk Gedung 4 Lantai	109
Tabel 6.6 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>Friction Pile</i> untuk Gedung 5 Lantai	110
Tabel 6.7 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>End-Bearing Pile</i> untuk Gedung 3 Lantai	110
Tabel 6.8 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>End-Bearing Pile</i> untuk Gedung 4 Lantai	111
Tabel 6.9 Estimasi Biaya Material Pondasi <i>End-Bearing Pile</i> untuk Gedung 5 Lantai	111
Tabel 7.1 Rekap Nilai Penurunan pada Masing-Masing Gedung	113
Tabel 7.2 Rekap dari Hasil Perencanaan Pondasi Tiang	113

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pesatnya pembangunan konstruksi menyebabkan tanah yang relatif baik berkurang sehingga tersisa tanah lunak. Adanya pembangunan di atas tanah lunak menimbulkan potensi kegagalan konstruksi semakin besar. Hal tersebut dikarenakan tanah lunak mempunyai karakteristik: kompresibilitas yang tinggi, sifat gaya geser yang rendah, dan mempunyai daya dukung tanah yang rendah; yang dapat menimbulkan masalah pada bangunan. Tetapi karena lahan yang terbatas, pembangunan harus tetap dilaksanakan di atas tanah lunak. Banjarmasin, Kalimantan Selatan adalah salah satu contoh daerah yang sudah kehabisan lahan tanah yang relatif baik untuk pembangunan. Hampir semua daerah baru di Banjarmasin terletak pada daerah rawa dengan tanah lunak.

Salah satu bangunan yang berada di atas tanah lunak adalah Rumah Sakit Suriansyah yang berlokasi di Jl. RK Iilir, Pekauman, Banjarmasin. Rumah sakit tersebut dibangun di atas tanah lunak yang relatif tebal hingga mencapai kedalaman 30 - 40 m. Pada data bor dan SPT, dapat disimpulkan bahwa kondisi tanahnya dominan lanau - lempung, untuk N-SPT bernilai di bawah 20 pada kedalaman 30 m, dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Di Banjarmasin, pada masa lalu banyak bangunan yang dibangun menggunakan pondasi tiang lekatan (*friction pile*) pada kondisi tanah lunak. Pondasi *friction pile* adalah pondasi tiang yang menggunakan lekatan tanah pada sepanjang selimut pondasi sebagai kekuatan daya dukungnya. Bahan pondasi tersebut adalah kayu ulin atau kayu galam yang merupakan tumbuhan produk hutan disana, sehingga banyak bangunan menggunakan pondasi tersebut. Pada umumnya panjang kayu ulin yang digunakan berkisar antara empat s/d delapan meter.

Bangunan-bangunan berlantai dua yang menggunakan pondasi *friction pile* masih berdiri tetapi banyak bangunan berlantai tiga s/d lima yang menggunakan pondasi tiang lekatan dengan kayu ulin, mengalami keretakan atau kemiringan akibat penurunan tidak merata (*differential settlement*), sehingga gedung menjadi tidak simetris, salah satu contohnya terlihat seperti pada **Gambar 1.1** di Jalan Banua Anyar, Banjarmasin.



Gambar 1.1 Ruko tiga lantai mengalami kemiringan dengan pondasi *friction pile* di Kota Banjarmasin
(Sumber: *google image*)

Saat ini untuk mengantisipasi terjadinya *differential settlement*, bangunan-bangunan berlantai tiga s/d lima di Banjarmasin pada umumnya menggunakan pondasi tahanan ujung (*end bearing pile*) dan ujung pondasi tersebut direncanakan sampai menyentuh lapisan tanah keras. Kondisi seperti ini oleh beberapa pengembang dianggap tidak ekonomis, hal ini dikarenakan biaya konstruksinya tidak sebanding dengan biaya pondasi. Menurut pengembang di Banjarmasin, rata-rata biaya untuk tiang pancang meliputi > 60-70% dari biaya total gedung untuk kedalaman tiang

pancang berkisar antara 15-20 m dan > 80% dari biaya total gedung untuk kedalaman tiang pancang > 30 m.

Sampai saat ini, pengembang di Banjarmasin belum menemukan cara untuk menggunakan pondasi tiang lekatan (*friction pile*) yang dapat menjamin penurunan yang merata pada bangunan. Yudiawati dan Mochtar (2003) sudah membuat formula untuk merencanakan penurunan rangkak (*creep*) dan daya dukung pada pondasi *friction pile*. Metode yang digunakan untuk merencanakan jumlah pondasi tiang pancang adalah metode P-Z *Curve*. Metode P-Z *curve* ini adalah metode yang menunjukkan hubungan beban vertikal (P) dan penurunan (Z). Metode tersebut hanya menganalisis tiang yang dibebani secara aksial, menggunakan sistem non-linear untuk menggambarkan interaksi antara tanah dan pondasi. Sampai saat ini, belum ada yang mencoba melakukan perencanaan pondasi tiang pancang dengan metode Yudiawati dan Mochtar (2003) tersebut.

Oleh karena itu, Tugas Akhir ini akan membahas perencanaan pondasi *friction pile* pada bangunan berlantai tiga, empat, dan lima dimana Rumah Sakit Rusianyeh dipakai sebagai lokasi perencanaan. Perencanaan pondasi *friction pile* akan menggunakan metode P-Z *curve*. Pada pondasi tersebut perlu diperhitungkan daya dukung tanah, penurunan akibat beban struktur atas (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi (*long term settlement*) dan penurunan akibat rangkak (*long term settlement*) untuk jangka waktu selama 25 tahun.

Perencanaan pondasi tersebut akan dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu pondasi tahanan ujung (*end bearing pile*) yang akan dihitung jumlah tiang yang dibutuhkan dan kedalaman tiangnya sedangkan pada pondasi *friction pile* akan dilihat kebutuhan jumlah tulangan dan kedalaman tiangnya. Dari perhitungan kedua pondasi tersebut, akan dibandingkan dari segi biaya sehingga dapat disimpulkan perencanaan pondasi tiang yang efektif, yang dapat digunakan untuk menjawab masalah ini.

1.2 Rumusan Permasalahan

Perencanaan pada Tugas Akhir ini dilakukan untuk menjawab permasalahan utama yang ada pada pondasi tiang lekatan, yaitu bagaimana perencanaan pondasi tiang lekatan (*friction pile*) pada gedung lantai tiga s/d lima sehingga gedung tersebut mengalami penurunan secara merata, tetapi tidak miring dan tidak retak. Adapun detail permasalahannya adalah:

1. Berapa besar penurunan pondasi *friction pile* yang dapat terjadi pada jangka panjang (dalam jangka waktu 25 tahun) untuk masing-masing gedung bertingkat tersebut?
2. Apakah penurunan yang terjadi pada pondasi *friction pile* relatif merata atau masih terjadi *differential settlement* yang melebihi persyaratan?
3. Bagaimana hasil perencanaan panjang dan jumlah tiang pancang untuk sistem pondasi *friction pile* dan *end bearing pile* pada gedung tingkat 3 s/d 5 tersebut?
4. Bagaimana perbandingan biaya antara pondasi *friction pile* dan *end bearing pile* untuk masing-masing gedung bertingkat tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan pada perencanaan Tugas Akhir ini diberikan batasan-batasan masalah untuk menyederhanakan permasalahan.

1. Perencanaan pondasi tiang lekatan dan tahanan ujung menggunakan material *spun pile*.
2. Perencanaan desain pondasi hanya menggunakan diameter 60 cm.
3. Perbandingan biaya perencanaan pondasi hanya sebatas biaya material.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya perencanaan ini adalah untuk membandingkan biaya antara penggunaan pondasi *friction pile* dengan metode P-Z *curve* dan pondasi *end bearing pile* dengan metode konvensional pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 di Banjarmasin sehingga diharapkan dapat menghasilkan perencanaan yang paling ekonomis.

1.5 Manfaat

Perencanaan dalam Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

1. Adanya sistem perencanaan pondasi tiang lekatan yang baik untuk gedung tinggi menengah (lantai tiga s/d lima), tanpa kerusakan pada jangka panjang.
2. Penurunan gedung terjadi secara merata dan sudah diprediksikan dari semula.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Tanah

Data tanah yang didapatkan dari lokasi proyek berupa nilai N-SPT dan jenis tanah dari setiap meter kedalaman tanpa adanya pengetesan laboratorium terhadap konsistensi tanah sehingga perlu dilakukan korelasi data tanah. Proses korelasi data tanah dapat dilakukan dengan koreksi N-SPT dan tanpa koreksi N-SPT. Dari kedua metode tersebut nantinya akan dibandingkan dan diambil yang paling kritis.

2.1.1 Korelasi Data Tanah dengan Koreksi N-SPT

Koreksi yang akan dilakukan adalah koreksi terhadap muka air tanah dan *overburden pressure*.

a. Koreksi terhadap muka air tanah

Dilakukan untuh tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$. Pilih N_1 yang terkecil dari hasil persamaan berikut:

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N-15) \quad (\text{Terzaghi \& Peck, 1960}) \quad (2.1)$$

$$N_1 = 0,6N \quad (\text{Bazaraa, 1967}) \quad (2.2)$$

Jenis tanah lempung, lanau, pasir kasar, dan nilai $N \leq 15$ tidak perlu dikoreksi, sehingga nilai $N_1 = N$ (Mochtar, 2002).

b. Koreksi terhadap *overburden pressure*

Hasil dari koreksi 1 (N_1) perlu dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan. Rumus koreksi terhadap *overburden pressure* sebagai berikut (Bazaraa, 1967):

$$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,04 p'_{o}} ; \text{ bila } p'_{o} \leq 7,5 \text{ t/m}^2 \quad (2.3)$$

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25+0,1 p'_{o}} ; \text{ bila } p'_{o} > 7,5 \text{ t/m}^2 \quad (2.4)$$

dimana:

p_o = *overburden pressure* pada lapisan / kedalaman yang ditinjau

Perlu diperhatikan bahwa nilai N_2 harus $\leq 2 N_1$. Bila hasil dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ maka digunakan $N_2 = 2N_1$. Hasil koreksi N_2 akan digunakan untuk perhitungan korelasi N-SPT dengan γ , ϕ , c , e_o , C_v , E , dan v .

2.1.2 Korelasi Data Tanah tanpa Koreksi N-SPT

Untuk mendapatkan parameter fisis tanah lainnya dipergunakan metode korelasi antara harga SPT dengan parameter-parameter tanah γ , ϕ , c , e_o , C_v , E , dan v , seperti yang terlihat pada **Tabel 2.1**, **Tabel 2.2**, **Tabel 2.3**, dan **Tabel 2.4**.

Tabel 2.1 Hubungan N-SPT dengan Parameter Tanah

<i>Cohesionless Soil</i>					
N (blows)	0-3	4-10	11-30	31-50	>50
γ (kN/m³)	-	12-16	14-18	16-20	18-23
ϕ (°)	-	25-32	28-36	30-40	>35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
<i>Cohesive Soil</i>					
N (blows)	<4	4-6	Jun-15	16-25	>25
γ (kN/m³)	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu (kPa)	25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

(Sumber: Bowles, 1984)

Tabel 2.2 Nilai-Nilai Numerik Parameter Tanah untuk $G_c = 2,70$

γ_d		e^*	n	Wsat	γ^*_{sat}	K			Cv		σ		$mv = 1/E$	
g/cm^3	lb cb ft			%	g/cm^3	cm/s	ft/year	lugeon*	cm^2/s	$ft^2/year$	bars	psi	cm^2/kg	ft^2/ton
0,5	31,25	4,40	0,80	163,0	1,31	10^{-9}	$1,03 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	10^{-5}		0,01	0,142	100	97,6
0,6	37,50	3,50	0,78	129,6	1,38						0,05	0,71	20	19,5
0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44	10^{-8}	$1,03 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	$1 \cdot 10^{-4}$	3,4				9,76
0,8	50,00	2,38	0,70	88,0	1,50				2	6,8	0,1	1,42	10	1,95
0,9	56,25	2,00	0,67	74,1	1,57	10^{-7}	$1,03 \cdot 10^{-1}$	10^{-2}	3	10,1	0,5	7,05	2	0,976
1,0	62,50	1,70	0,63	63,0	1,63	$1 \cdot 10^{-6}$	1,03	0,1	4	13,5	1	14,2	1	0,488
1,1	68,75	1,45	0,59	53,9	1,69	2	2,06		5	16,9	2	28,4	0,5	0,325
1,2	75,00	1,25	0,56	46,3	1,76	3	3,10		6	20,3	3	42,6	0,33	0,244
1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82	4	4,13		7	23,6	4	56,9	0,25	0,195
1,4	87,50	0,93	0,48	34,4	1,88	5	5,17		8	27,0	5	71,0	0,2	0,163
1,5	93,75	0,80	0,44	29,6	1,94	6	6,20		9	30,4	6	85,3	0,17	0,144
1,6	100,00	0,69	0,41	25,5	2,01	7	7,24		10^{-3}	$33,8 \cdot 10^1$	7	99,5	0,14	0,122
1,7	106,25	0,59	0,37	21,8	2,07	8	8,26				8	113	0,12	0,111
1,8	112,50	0,50	0,33	18,5	2,13	9	9,30		10^{-2}	$3,38 \cdot 10^2$	9	127	0,11	0,0976
1,9	118,75	0,42	0,30	15,6	2,20	10^{-5}	10,33	1			10	142	0,10	0,0887
2,0	125,00	0,35	0,26	13,0	2,26	10^{-4}	$1,03 \cdot 10^2$	10	10^{-1}	$3,38 \cdot 10^3$	11	156	0,091	0,0815

Tabel 2.2 Nilai-Nilai Numerik Parameter Tanah untuk $G_c = 2,70$ (Lanjutan)

γ_d		e^*	n	W_{sat}	γ^*_{sat}	K			C_v		σ		$m_v = 1/E$	
g/cm^3	lb cb ft			%	g/cm^3	cm/s	ft/year	lugeon*	cm^2/s	$ft^2/year$	bars	psi	cm^2/kg	ft^2/ton
2,1	131,25	0,29	0,22	10,6	2,32	10^{-3}	$1,03 \cdot 10^3$	100			12	170	0,083	0,075
2,2	137,50	0,23	0,19	8,4	2,39	10^{-2}	$1,03 \cdot 10^4$	1000			13	185	0,077	0,07
2,3	143,75	0,17	0,15	6,4	2,45	10^{-1}	$1,03 \cdot 10^5$	10000			14	199	0,064	0,065
2,4	150,00	0,13	0,11	4,63	2,51						15	213	0,050	0,0488
2,5	156,25	0,080	0,074	2,96	2,57						20	284	0,020	0,0195
2,6	162,50	0,038	0,037	1,42	2,64						50	710	0,010	$9,76 \cdot 10^{-3}$
2,7	168,75	0,000	0,000	0,00	2,70						100	1420	0,002	$1,95 \cdot 10^{-3}$
											500	7100	0,001	$9,76 \cdot 10^{-4}$
											1000	14200		

(Sumber: BIAREZ)

Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Es (kN/m²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOSES	15000-60000
CADAS	140000-1400000

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah

Jenis Tanah	Poisson's ratio (ν)
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir padat	0,2-0,4
Pasir kasar ($e= 0,4-0,7$)	0,15
Pasir halus ($e= 0,4-0,7$)	0,25
Batu	0,1-0,4
Loses	0,1-0,3

(Sumber: Bowles, 1997)

Untuk perhitungan nilai *compression index* (C_c) (Kosasih dan Mochtar, 1999) dan *swelling index* (C_s), dapat diperoleh dari:

$$C_c = 0,006LL + 0,13e^2 - 0,13 \quad (2.5)$$

$$C_s = \frac{1}{5}s/d \frac{1}{10} C_c \quad (2.6)$$

dimana:

LL = batas cair

eo = angka pori awal

2.2 Pembebanan Bangunan

Perencanaan pondasi pada Tugas Akhir ini dilakukan untuk tiga macam bangunan, yaitu bangunan tiga lantai, empat lantai, dan lima lantai. Kombinasi beban yang digunakan mengacu pada SNI 1726-2012 pasal 4.2.3 tentang kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin. Kombinasi yang digunakan yaitu:

1. D
2. D + L
3. D + 0,7E
4. D + 0,75 (0,7E) + 0,75L
5. 0,6D + 0,7E

dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

Menganalisa reaksi perletakan bangunan tersebut menggunakan *SAP2000*. Reaksi perletakan diambil yang paling besar di antara beban kombinasi yang ditentukan berdasarkan pasal 4.2.3 SNI 1726-2012.

2.3 Daya Dukung Tiang Pancang

Dalam perhitungan daya dukung *ultimate* (Qult) menggunakan persamaan Meyerhof. Untuk menghitung daya dukung *ultimate* perlu mencari daya dukung ujung tiang dengan persamaan:

$$P \text{ ujung} = C_n \text{ ujung} \times A \text{ ujung} \quad (2.7)$$

dimana:

$$C_n \text{ ujung} = 40N \text{ (t/m}^2\text{)}$$

N = harga rata-rata N₂ dari 4D di bawah ujung tiang
sampai dengan 8D di atas ujung tiang

$$A \text{ ujung} = \text{luas ujung tiang (m}^2\text{)}$$

Untuk menghitung daya dukung pada sekeliling tiang (akibat lekatan dan geseran tanah pada tiang) dengan persamaan:

$$\Sigma R_{si} = C_{li} \times A_{si} \quad (2.8)$$

dimana:

$$\begin{aligned} C_{li} &= f_{si} = \text{hambatan geser selimut tiang pada segmen } i \\ &= N_i / 2 \text{ untuk tanah lempung/lanau (t/m}^2\text{)} \\ &= N_i / 5 \text{ untuk tanah pasir (t/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{si} &= \text{luas selimut tiang pada segmen } i \\ &= O_i \times h_i \end{aligned}$$

$$O_i = \text{keliling tiang}$$

Untuk perhitungan daya dukung *ultimate* dan daya dukung ijin adalah:

$$Q_{ult} \text{ 1 tiang} = P \text{ ujung} + \Sigma R_{si} \quad (2.9)$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult} \text{ 1 tiang}}{SF} \quad (2.10)$$

2.4 Penurunan

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami penurunan. Penurunan tersebut disebabkan adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan lainnya. Secara umum, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dibagi menjadi dua, yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Pada Tugas Akhir ini, merencanakan pondasi *friction pile* di atas tanah lunak yang tebal dalam jangka panjang maka penurunan pondasi tiang pada tanah kohesif dibagi menjadi tiga komponen yaitu:

- Penurunan seketika/segera (*immediate settlement*) yang terjadi segera setelah beban bekerja
- Penurunan konsolidasi yang terjadi secara berangsur angsur bersamaan dengan disipasi tekanan air pori eksese.
- Penurunan jangka panjang (*long term settlement*) yaitu penurunan rangkak gelincir (*slip creep*). Penurunan rangkak gelincir adalah penurunan akibat terjadinya rangkak antara tiang dengan tanah.

Maka penurunan total dapat dicari dengan persamaan:

$$S = S_i + S_c + S_{creep} \quad (2.11)$$

dimana:

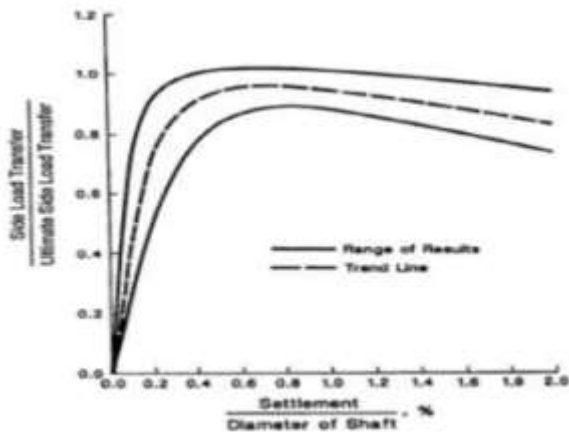
- S = penurunan total
 S_i = penurunan segera
 S_c = penurunan konsolidasi
 S_{creep} = penurunan jangka panjang

Pada saat tiang dibebani, tiang akan mengalami perpendekan dan tanah di sekitarnya akan mengalami penurunan. Penurunan pada pondasi tiang juga dibagi pada penurunan tiang tunggal dan penurunan kelompok tiang.

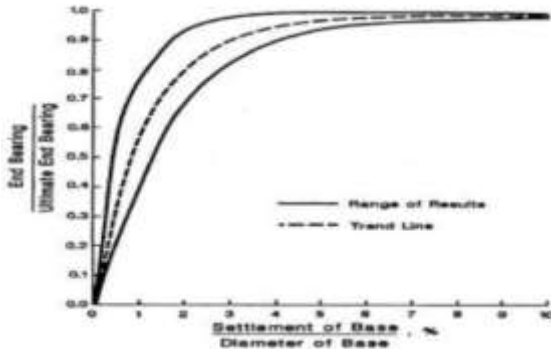
2.4.1 Penurunan Segera

Dalam menghitung penurunan segera dapat menggunakan aplikasi berupa *PLAXIS*, *Allpile*, *TZ pile*, dan lainnya. Dengan memasukkan data tanah, data material pelat (tiang pancang), dan memasukkan beban yang terjadi ke dalam aplikasi maka dapat diperoleh besar penurunan segera sehingga dapat dibuat kurva P-Z dimana P beban aksial dan Z penurunan.

Selain itu kurva P-Z dapat diperoleh dari kurva T-Z (beban samping vs gerakan geser) dan kurva Q-W (beban ujung tiang pancang vs penurunan dasar tiang). Kurva T-Z menunjukkan hubungan daya dukung pada selimut tiang dan pergeseran antara tanah dan tiang pancang. Pada kurva T-Z dapat bervariasi pada kedalaman dan tanah yang berbeda. Kurva Q-W menunjukkan hubungan antara daya dukung ujung tiang dan penurunan dasar tiang pancang, yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2**.



Gambar 2.1 Kurva hubungan beban vertikal dan penurunan akibat selimut tiang pancang pada tanah kohesi
(Sumber: Reese dan O'Neill, 1989)

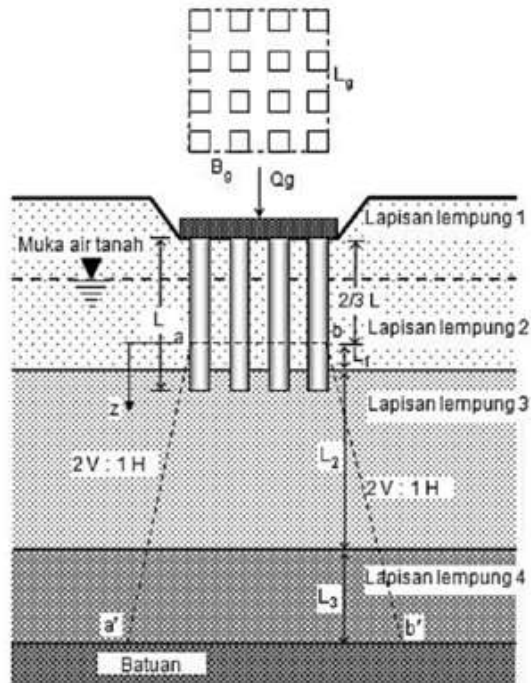


Gambar 2.2 Kurva hubungan beban vertikal dan penurunan akibat ujung tiang pancang pada tanah kohesi
(Sumber: Reese dan O'Neill, 1989)

2.4.2 Penurunan Konsolidasi Tanah

Menurut Terzaghi dan Peck (1967) bahwa pada bagian $2/3$ panjang tiang bagian atas, kadar air tanah lempung tidak berubah oleh akibat beban struktur, sedang di bagian bawahnya, kadar air berubah oleh adanya konsolidasi. Karena itu, dapat dianggap bahwa tanah di bagian $2/3$ panjang tiang tersebut sebagai material yang tidak mudah mampat. Maka Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan bahwa penyebaran beban pondasi tiang pada tipe tiang gesek dianggap berawal dari $2/3$ panjang tiang ke arah bawah., seperti pada **Gambar 2.3**.

Salah satu pendekatan kadar yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan akibat beban di permukaan untuk menghitung penurunan diusulkan oleh Boussinesq, caranya dengan membuat garis penyebaran $2V:1H$ (2 vertikal: 1 horizontal). Dalam cari ini, dianggap beban pondasi didukung oleh pyramid yang mempunyai kemiringan sisi $2V:1H$, seperti pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Penurunan pada pondasi tiang
(Sumber: Braja Das, 2007)

Perumusan penurunan konsolidasi pada tanah dibedakan menjadi dua, yaitu tegangan terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dimana tekanan efektif *overburden* yang merupakan tegangan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut dan tegangan terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*) dimana tekanan efektif *overburden* lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah tersebut. Tegangan *overburden* efektif maksimum yang pernah dialami sebelumnya disebut tegangan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*).

Persamaan penurunan konsolidasi untuk tanah lempung adalah sebagai berikut (Das, 1985):

Overconsolidation Ratio (OCR)

$$\text{OCR} = \frac{p'c}{p'o} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} p'c &= p'o + \text{hfluktuasi} \\ &= \gamma' z + \text{hfluktuasi} \end{aligned}$$

dimana:

$$p'c = \text{tekanan prakonsolidasi (t/m}^2\text{)}$$

$$p'o = \text{tekanan vertikal efektif (t/m}^2\text{)}$$

hfluktuasi = ketinggian fluktuasi permukaan air tanah, bernilai 2 m

$$\gamma' = \text{berat jenis tanah efektif (t/m}^3\text{)}$$

$$z = \text{kedalaman tanah yang ditinjau (m)}$$

- Untuk tanah *normally consolidated* (NC), OCR = 1

$$S_c = \sum \left(\frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'o + \Delta p}{p'o} \right) \right) \quad (2.13)$$

- Untuk tanah *overconsolidated* (OC), OCR > 1

Bila $(p'o + \Delta p) \leq p'c$

$$S_c = \sum \left(\frac{C_s H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'o + \Delta p}{p'o} \right) \right) \quad (2.14)$$

Bila $(p'o + \Delta p) > p'c$

$$S_c = \sum \left(\left(\frac{C_s H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'c}{p'o} \right) \right) + \left(\frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'o + \Delta p}{p'c} \right) \right) \right) \quad (2.15)$$

$$\Delta p = \frac{P}{B'L'} \quad (2.16)$$

dimana:

$$\Delta p = \text{peningkatan tegangan di tengah lapisan } i \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$P = \text{beban (ton)}$$

$$B' L' = \text{panjang dan lebar tiang di kedalaman } z \text{ (m}^2\text{)}$$

$$C_c = \text{indeks kompresi (compression index)}$$

$$C_s = \text{indeks mengembang (swelling index)}$$

$$H = \text{tebal lapisan tanah lempung (m)}$$

$$e_o = \text{angka pori awal (initial void ratio)}$$

Waktu Penurunan Tanah

Formula untuk menghitung waktu konsolidasi dikembangkan oleh Terzaghi, 1984 didasarkan pada beberapa asumsi yaitu:

1. Tanah adalah homogen
2. Tanah dalam kondisi jenuh
3. Butiran tanah dan air tidak dapat dimampatkan
4. Kemampatan dan aliran hanya satu arah
5. Hukum Darcy berlaku

Waktu atau lamanya penurunan tanah dapat diperoleh dari perumusan:

$$t = \frac{T \text{Hdr}^2}{C_v} \quad (2.17)$$

$$T = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \text{ untuk } U \leq 60\% \quad (2.18)$$

$$T = 1,781 - 0,933 \log (100-U\%) \text{ untuk } U > 60\% \quad (2.19)$$

dimana:

- t = waktu penurunan tanah (tahun)
 T = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi (U)
 Hdr = panjang aliran air drainage di dalam tanah (m)
 Cv = koefisien konsolidasi vertikal (m²/tahun)

Untuk rumus-rumus yang digunakan dapat dilihat pada Modul Ajar Mekanika Tanah dan Pondasi)

2.4.3 Penurunan Rangkak Gelincir

Mochtar (1985), berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap model interaksi antara tiang pancang dan tanah lempung kaolinite. Pada pengujian laboratorium dianggap tanah tidak mengalami penurunan karena tertahan oleh batu pori. Hasil dari penelitian ini mendapatkan bahwa *time-dependent settlement* dari *friction pile* di tanah lempung juga terjadi akibat *creep settlement* yang berupa *slip creep* (rangkak gelincir) antara tiang pancang dan tanah lempung.

Selanjutnya Mochtar (1985) menyimpulkan apabila terjadi dua tipe penurunan yang terjadi pada tanah lempung. Ada dua faktor penurunan pada tiang pancang lekatan. Pertama faktor penurunan segera (*immediate settlement*) dan yang kedua adalah penurunan rangkak (*creep settlement*).

Perumusan penurunan rangkak oleh Mochtar (1985) selanjutnya divalidasi melalui penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Yudiawati dan Mochtar (2003) dengan melakukan analisa terhadap hasil uji pembebanan tiang sebenarnya dan tiang model di lapangan, melalui analisa data dari berbagai hasil pengujian pembebanan lapangan, dan menghasilkan formula sebagai berikut:

$$\delta(\text{creep}) = \frac{1}{10^{(0,0383L+4,361)}} di \frac{u \exp(V Ri)}{w} t^w \quad (2.20)$$

dimana:

- $\delta(\text{cr})$ = penurunan rangkak yang terjadi (m)
- L = kedalaman pemancangan (m)
- di = diameter ekivalen tiang (m)
- U = 5×10^{-5} (konstanta; Yusdiawati dan Mochtar (2003))
- V = 3×10^{-2} (konstanta; Mochtar (1985))
- Ri = rasio antara beban yang bekerja pada tiang dibagi beban *ultimate* (%)
- W = 0,41(konstanta; Mochtar (1985))
- t = waktu terjadinya penurunan rangkak (menit; tahun)

2.4.4 Perununan Maksimum

Perlu dilakukan kontrol terhadap nilai penurunan yang terjadi pada suatu pondasi, jika tidak dilakukan suatu pengecekan maka bangunan dapat mengalami *differential settlement* karena penurunan antar kolom tidak merata. Untuk syarat penurunan maksimum pada suatu pondasi tertentu, dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Pada Tugas Akhir ini, syarat penurunan yang dipakai pada perencanaan pondasi *friction pile* adalah 1/300 dimana L adalah jarak antar kolom.

Tabel 2.5 Total Penurunan Maksimum dan Penurunan *Differential* yang Diizinkan

<i>Maximum settlement, $S_{T(max)}$</i>	
<i>In Sand</i>	32 mm
<i>In Clay</i>	45 mm
<i>Maximum differential settlement, $\Delta ST(max)$</i>	
<i>Isolated foundation in sand</i>	51 mm
<i>Isolated foundation in clay</i>	76 mm
<i>Raft in sand</i>	51-76 mm
<i>Raft in clay</i>	76-127 mm
<i>Maximum angular distortion, β_{max}</i>	1/300

(Sumber: Braja Das, 1995)

2.5 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pada suatu kelompok tiang, akan terjadi kondisi dimana salah satu pondasi akan menerima beban aksial paling maksimum (P_{max}). Besarnya daya dukung kelompok tiang yang dipakai adalah yang paling menentukan. Besarnya gaya yang bekerja pada 1 tiap pada kelompok tiang dihitung dengan persamaan:

$$P_{maks} = \frac{Vn}{n} + \frac{M_x Y_{maks}}{\Sigma Y^2} + \frac{M_y X_{maks}}{\Sigma X^2} \quad (2.21)$$

$$P_{min} = \frac{Vn}{n} - \frac{M_x Y_{maks}}{\Sigma Y^2} - \frac{M_y X_{maks}}{\Sigma X^2} \quad (2.22)$$

2.5.1 Perencanaan Penggunaan Pondasi Tiang Pancang

Pada perencanaan jenis pondasi ini menggunakan pondasi tiang pancang beton yang dipancang tidak sampai menyentuh tanah keras (*friction pile*) dan pondasi tiang pancang beton yang dipancang sampai menyentuh tanah keras (*end bearing pile*). Merencanakan pondasi tersebut menggunakan dua cara yaitu:

a. Cara Konvensional

Cara konvensional adalah cara untuk menghitung *Pultimate* pondasi *end bearing pile* dengan asumsi tidak ada penurunan pada tiang pancang ($\Delta \approx 0$). Pada cara ini beban struktur yang bekerja ($P_{working}$) harus lebih kecil dari Pijin tiang dimana Pijin tiang yaitu *Pultimate* dibagi dengan 3 ($P_{working} < P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{3}$). Pada input *SAP2000* pondasi ini diasumsikan sebagai perletakan rol.

b. Cara Kurva *Load-Displacement*

Cara kurva *load-displacement* adalah cara untuk menghitung *Pultimate* pondasi *friction pile* dengan asumsi adanya penurunan (*settlement*) pada tiang pancang ($\Delta \neq 0$). P-Z *curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan beban vertikal (p) dan penurunan (z). Pada Tugas Akhir ini, kurva P-Z diperoleh dari variasi beban aksial vs nilai penurunan dimana batas besar beban tergantung dari besar daya dukung tanah pada diameter tertentu. Nilai penurunannya didapatkan dari *immediate settlement*, *consolidation settlement*, dan *creep*.

Setelah mendapatkan kurva P-Z maka dilakukan iterasi pada nilai P dan Z sehingga didapatkan nilai P baru dan Z baru sehingga bisa dicari nilai k (pegas). Pada input *SAP2000* pondasi ini diasumsikan sebagai perletakan pegas.

2.5.2 Efisiensi Tiang Pancang Kelompok

Daya dukung *ultimate* satu tiang, misal *end bearing pile* maka daya dukung tiang dapat dianggap sebagai daya dukung sebuah tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Tetapi jika termasuk kategori kelompok tiang, misal *friction pile* maka terdapat faktor reduksi pada daya dukung tiang.

Faktor efisiensi untuk tiang pancang dalam kelompok, memiliki persamaan sebagai berikut:

a. *Converse-Labarre Formula*

$$E_f = 1 - \left(\frac{\arctan\left(\frac{D}{s}\right)}{90} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right) \right) \quad (2.23)$$

b. *Los Angeles Group Formula*

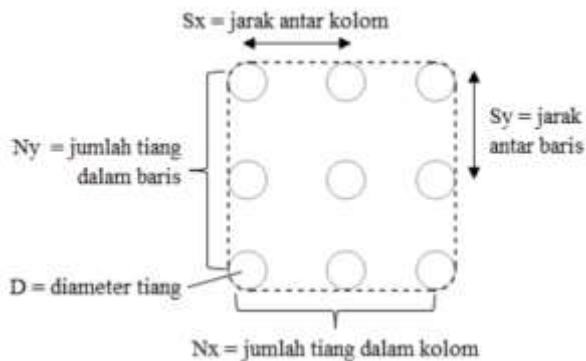
$$E_f = 1 - \frac{D}{\pi s} \left(\frac{m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}}{mn} \right) \quad (2.24)$$

c. *Seiler-Keeney Formula*

$$E_f = \left(1 - \left(\frac{36s}{75s^2 - 7} \right) \left(\frac{m+n-2}{m+n-1} \right) \right) + \frac{0,3}{m+n} \quad (2.25)$$

dimana:

- D = diameter tiang
- s = jarak antar tiang
- m = jumlah baris tiang
- n = jumlah kolom tiang



Gambar 2.4 Kelompok tiang pancang untuk analisis vertikal
(Sumber: Devina dan Mochtar, 2011)

2.5.3 Nilai Konstanta Pegas (k)

Diasumsikan bahwa tanah dianggap sebagai media elastis seperti pegas, oleh karena itu memiliki nilai konstanta yang harus dicari. Adapun untuk mencari konstanta pegas dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_i = k_{si} \delta_i \quad (2.26)$$

dimana:

F_i = Gaya atau beban yang terjadi di titik ke-i

k_{si} = konstanta pegas di titik ke-i

δ_i = Penurunan yang terjadi di titik ke-i

Dengan nilai δ_i yang sama maka diperoleh besarnya konstanta pegas menjadi

$$k_{si} = \frac{F_i}{\delta_i}$$

2.6 Perencanaan *Poer*

2.6.1 Perencanaan Tebal *Poer*

Dalam perencanaan tebal *poer*, harus memenuhi persyaratan yakni kekuatan geser nominal harus lebih besar dari besar beban geser ponds yang terjadi. Adapun kuat geser dipilih yang terkecil dari:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) x \frac{\sqrt{f'_{rc}} \text{ bo d}}{6} \quad (2.27)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_o x d}{\text{bo}} + 2\right) x \frac{\sqrt{f'_{rc}} \text{ bo d}}{6} \quad (2.28)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_{rc}} \text{ bo d} \quad (2.29)$$

dimana:

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

bo = keliling penampang kritis *poer*

α_o = 40 (kolom interior)

2.6.2 Perencanaan Penulangan *Poer*

Cara menghitung penulangan *poer* pada pondasi tiang pancang dengan menggunakan persamaan:

$$\beta_i = 0,85 - \frac{0,05(f'c - 28)}{7} \quad (2.30)$$

SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3 : $\beta_i > 0,65$ (memenuhi)

Persyaratan rasio tulangan dan faktor momen pemikul maksimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.1:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.31)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \quad (2.32)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.33)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} \quad (2.34)$$

Faktor reduksi lentur $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2013 psl 9.3.3)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.35)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.36)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (2.37)$$

$$A_{sperlu} = \rho \times b \times d \quad (2.38)$$

Untuk perhitungan jumlah dan jarak tulangan adalah:

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{sperlu}}{\frac{1}{4} \pi D^2} \quad (2.39)$$

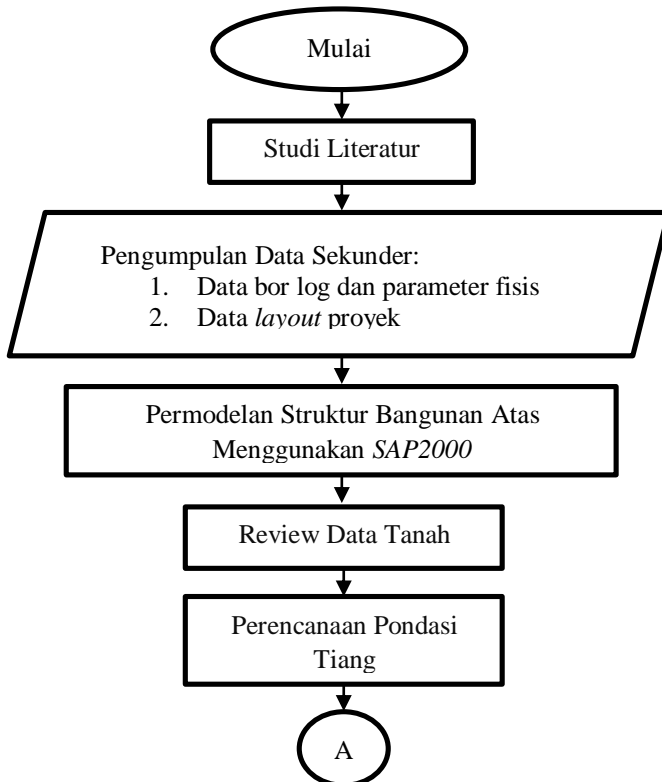
$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b}{\text{jumlah tulangan} - 1} \quad (2.40)$$

“halaman ini sengaja dikosongkan”

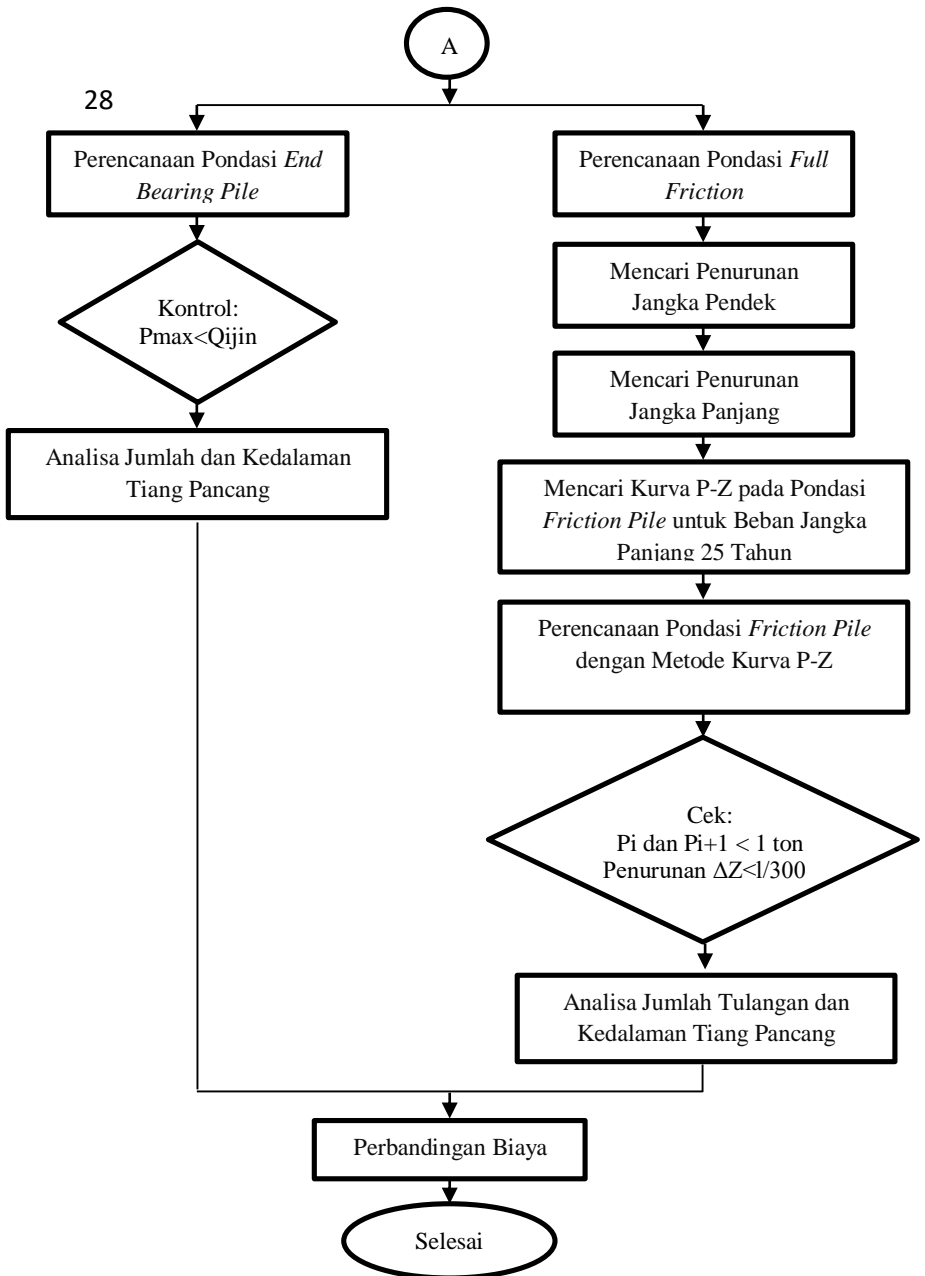
BAB III METODOLOGI

Penyelesaian Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Pondasi Tiang Lekatan pada Gedung Tingkat 3 s/d 5 di Atas Tanah Lunak yang Tebal dengan Ketentuan Penurunan Merata dalam Jangka Panjang” akan diselesaikan dalam beberapa tahapan yang akan dijelaskan dalam poin-poin di bawah ini.

3.1 Bagan Alir Tahapan Perencanaan



Gambar 3.1 Bagan alir tahapan perencanaan
(Sumber: Penulis)



Gambar 3.1 Bagan alir tahapan perencanaan (Lanjutan)
(Sumber: Penulis)

3.2 Uraian Tahapan Perencanaan

Dari diagram alir pada **Gambar 3.1**, dapat dijelaskan secara rinci tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dalam Tugas Akhir ini, studi literatur bertujuan untuk mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi dapat dicari dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian yang sudah dibuat sebelumnya.

Adapun bahan studi yang nantinya digunakan dalam perencanaan adalah pengoperasian software *SAP2000* dan *PLAXIS*, Modul Ajar Mekanika Tanah dan Pondasi untuk perhitungan penurunan pondasi, Buku Braja Das untuk perhitungan daya dukung tanah, perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang. Referensi jurnal lainnya digunakan untuk perhitungan penulangan *poer*, perhitungan biaya bahan dari pondasi dan penulangan, dan sebagainya.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Data-data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data sekunder, dengan rincian sebagai berikut:

a. Data bor log dan parameter fisis

Dimana terdapat tiga titik tinjau *Bore Hole* sampai kedalaman 50 meter. Pada data *Bore Hole* tersebut berisikan data N-SPT dan jenis tanah per kedalaman.

b. Data *layout* proyek (*Autocad*)

Dimana pada *Autocad* terdapat denah-denah bangunan yang terdiri dari denah balok elevasi -1.50, denah balok lantai 1 elevasi ± 0.00 , denah balok lantai 2 elevasi +4.59, denah balok lantai 3 elevasi + 9.18, denah balok lantai 4 elevasi +13.77, denah balok lantai 5 + 18.36, denah balok atap elevasi +22.95, dan denah balok atap elevasi +25.95.

3. Permodelan Struktur Bangunan Atas

Permodelan struktur bangunan atas dilakukan dengan program bantu analisa struktur *SAP 2000*. Permodelan ini bertujuan untuk mendapatkan reaksi perletakan di dasar gedung yang nantinya akan digunakan pada perhitungan perencanaan pondasi tiang. Permodelan dilakukan untuk bangunan berlantai tiga, empat, dan lima.

4. Review Data Tanah

Review data tanah untuk menentukan jenis dan parameter tanah sesuai dengan harga SPT dan jenis tanah dari setiap kedalaman yang didapatkan dari lokasi proyek sehingga dapat menentukan langkah pengerjaan yang tepat sesuai dengan kondisi lapangan.

5. Perencanaan Pondasi Tiang

Perencanaan pondasi tersebut direncanakan dengan metode *P-Z curve* untuk pondasi *full friction* dan metode konvensional untuk pondasi *end bearing pile*. Berdasarkan hasil analisis permasalahan yang ada maka perencanaan pondasi yang memungkinkan untuk diterapkan adalah:

a. Perencanaan pondasi *end bearing pile*

Pada perencanaan pondasi *end bearing pile*, kedalaman tiang pancang sampai menyentuh lapisan tanah keras, yaitu 40 meter. Dimana penurunan pada pondasi *end bearing pile* ini diasumsikan tidak ada karena hasilnya sangat kecil (dianggap 0). Saat merencanakan kebutuhan jumlah tiang harus dikontrol dengan $P_{max} < Q_{ijin}$.

b. Perencanaan pondasi *full friction*

Pada perencanaan pondasi *full friction*, kedalaman tiang pancang direncanakan sesuai kebutuhan dimana tiang pancang tersebut pada lapisan tanah lempung maka perlu menghitung nilai penurunan pondasi *full friction*:

- Mencari penurunan segera (*short term settlement*)
- Mencari penurunan konsolidasi untuk jangka waktu 25 tahun (*long term settlement*)

- Mencari penurunan oleh pengaruh *creep* untuk jangka waktu 25 tahun (*long term settlement*)

Setelah itu, dilakukan iterasi pada nilai P nya hingga P_i dan P_{i+1} memiliki selisih 1 ton. Lalu dilihat nilai penurunannya, harus memenuhi syarat $\Delta Z_{\max} < l/300$

6. Membandingkan dan Menentukan Perencanaan Pondasi Tiang yang Tepat

Apabila kedua pondasi tersebut sudah direncanakan secara aman, maka dilakukan pengecekan total biaya bahan untuk mengetahui jenis pondasi tiang pancang yang efektif/ekonomis.

Pada pondasi *end bearing pile* menghitung jumlah tiang dan kedalaman tiang pondasi, untuk pondasi *full friction* menghitung jumlah tiang dan tulangnya. Dibandingkan biaya pondasi yang diperlukan dari kedua pondasi tersebut sehingga didapatkan suatu perencanaan pondasi yang efektif untuk menjawab masalah ini berdasarkan analisis yang telah dilakukan. Langkah ini dilakukan untuk bangunan tiga, empat, dan lima lantai.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

DATA TANAH DAN PEMBEBANAN

4.1 Analisa Data Tanah

Data tanah dalam Tugas Akhir ini, terdiri dari 3 titik *Bore Hole*. Data tanah tersebut merupakan Data Bor Log dan SPT (*Standart Penetration Test*) sampai kedalaman 50 meter dimana data tanah yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah data tanah *Bore Hole 2* dikarenakan hasil penyelidikan tanah tersebut menunjukkan bahwa jenis tanah pada titik tersebut didominasi oleh tanah lempung, sehingga dianggap paling kritis (menghasilkan perencanaan yang paling aman) untuk detailnya dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Data yang didapatkan hanya berupa data N-SPT tanpa ada pengetasan laboratorium terhadap konsistensi tanah sehingga perlu dilakukan korelasi data tanah. Terdapat dua pendapat tentang proses korelasi data tanah, yaitu korelasi dengan koreksi N-SPT dan korelasi tanpa koreksi N-SPT. Nantinya, kedua metode tersebut akan dibandingkan, hasil yang paling kritis akan digunakan sebagai dasar perencanaan.

4.1.1 Korelasi Data Tanah tanpa Koreksi N-SPT

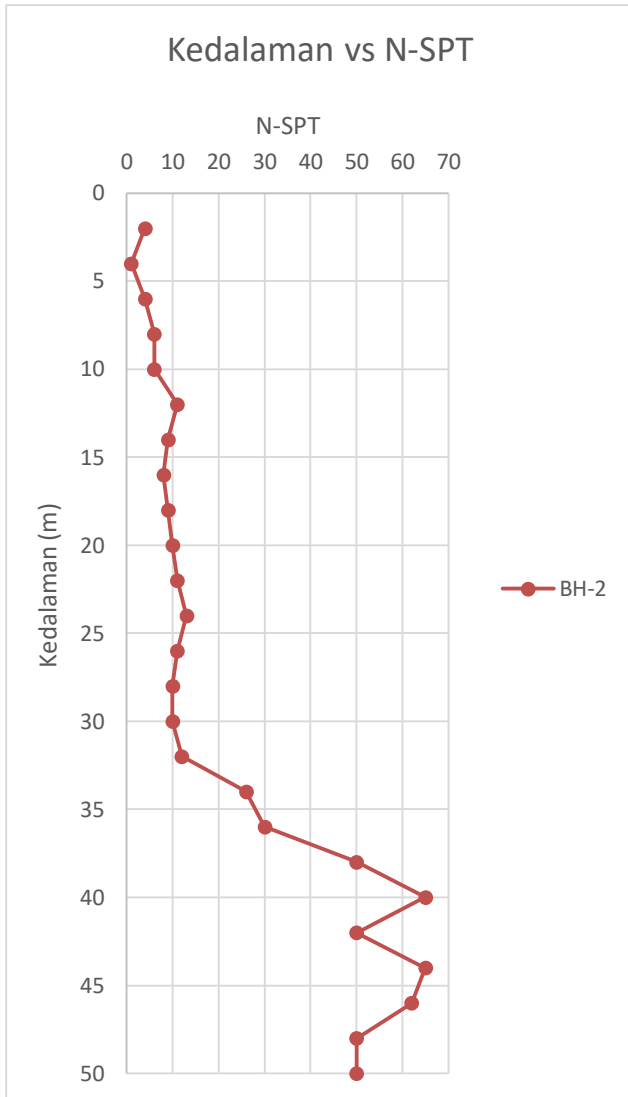
Data N-SPT lokasi proyek tersebut disajikan per kedalaman, nilai N-SPT tersebut dikorelasi konsistensi tanahnya menggunakan **Tabel 2.1** sehingga didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.1**. Untuk melihat kurva antara N-SPT vs kedalaman dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.

Tabel 4.1 Data Tanah dengan Konsistensi Tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah
1	Pasir berlempung	2	<i>Very Loose</i>
2	Pasir berlempung	4	<i>Loose</i>
3	Pasir berlempung	3	<i>Very Loose</i>
4	Pasir berlempung	1	<i>Very Loose</i>
5	Pasir berlempung	3	<i>Very Loose</i>
6	Lempung berlanau	4	<i>Soft</i>
7	Lempung berlanau	5	<i>Soft</i>
8	Lempung berlanau	6	<i>Soft</i>
9	Lempung berlanau	6	<i>Soft</i>
10	Lempung berlanau	6	<i>Soft</i>
11	Lempung	9	<i>Medium</i>
12	Lempung	11	<i>Medium</i>
13	Lempung	10	<i>Medium</i>
14	Lempung	9	<i>Medium</i>
15	Lempung	9	<i>Medium</i>
16	Lempung	8	<i>Medium</i>
17	Lempung	9	<i>Medium</i>
18	Lempung	9	<i>Medium</i>
19	Lempung	10	<i>Medium</i>
20	Lempung	10	<i>Medium</i>
21	Lempung	11	<i>Medium</i>
22	Lempung	11	<i>Medium</i>
23	Lempung	12	<i>Medium</i>
24	Lempung	13	<i>Medium</i>
25	Lempung	12	<i>Medium</i>

Tabel 4.1 Data Tanah dengan Konsistensi Tanah (Lanjutan)

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah
26	Lempung	11	<i>Medium</i>
27	Lempung	11	<i>Medium</i>
28	Lempung	10	<i>Medium</i>
29	Lempung	10	<i>Medium</i>
30	Lempung	10	<i>Medium</i>
31	Lempung	11	<i>Medium</i>
32	Lempung	12	<i>Medium</i>
33	Lempung	19	<i>Stiff</i>
34	Lempung	26	<i>Hard</i>
35	Lempung	28	<i>Hard</i>
36	Lempung	30	<i>Hard</i>
37	Lempung	40	<i>Hard</i>
38	Lempung	50	<i>Hard</i>
39	Pasir	58	<i>Very Dense</i>
40	Pasir	65	<i>Very Dense</i>
41	Pasir	58	<i>Very Dense</i>
42	Pasir	50	<i>Dense</i>
43	Pasir	58	<i>Very Dense</i>
44	Pasir	65	<i>Very Dense</i>
45	Pasir	64	<i>Very Dense</i>
46	Pasir	62	<i>Very Dense</i>
47	Pasir	56	<i>Very Dense</i>
48	Pasir	50	<i>Dense</i>
49	Pasir	50	<i>Dense</i>
50	Pasir	50	<i>Dense</i>



Gambar 4.1 Kurva N-SPT gabungan titik BH-2
(Sumber: Hasil pengujian lapangan)

Untuk memperkecil perbedaan data N-SPT lokasi proyek tersebut maka dilakukan *covarian* gabungan sehingga didapatkan data tanah N-SPT pakai (N-SPT baru) yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Data Tanah Setelah Dilakukan *Covarian* Gabungan

Depth (m)	BH 2						N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah
	N SPT	Konsistensi Tanah	MEAN	Standard Deviasi	Koefisien Variasi	KONTROL		
1	2,00	<i>Very Loose</i>	3,00	0,82	27,22	OKE	3,00	<i>Very Loose</i>
2	4,00	<i>Loose</i>	3,00	0,82	27,22	OKE	3,00	<i>Very Loose</i>
3	3,00	<i>Very Loose</i>	3,00	0,82	27,22	OKE	3,00	<i>Very Loose</i>
4	1,00	<i>Very Loose</i>	1,00	0,00	0,00	OKE	1,00	<i>Very Loose</i>
5	3,00	<i>Very Loose</i>	3,00	0,00	0,00	OKE	3,00	<i>Very Loose</i>
6	4,00	<i>Soft</i>	5,40	0,80	14,81	OKE	5,00	<i>Soft</i>
7	5,00	<i>Soft</i>	5,40	0,80	14,81	OKE	5,00	<i>Soft</i>
8	6,00	<i>Soft</i>	5,40	0,80	14,81	OKE	5,00	<i>Soft</i>
9	6,00	<i>Soft</i>	5,40	0,80	14,81	OKE	5,00	<i>Soft</i>
10	6,00	<i>Soft</i>	5,40	0,80	14,81	OKE	5,00	<i>Soft</i>
11	9,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>

Tabel 4.2 Data Tanah Setelah Dilakukan *Covarian* Gabungan (Lanjutan)

<i>Depth</i> (m)	BH 2						N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah
	N SPT	Konsistensi Tanah	MEAN	Standard Deviasi	Koefisien Variasi	KONTROL		
12	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
13	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
14	9,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
15	9,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
16	8,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
17	9,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
18	9,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
19	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
20	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
21	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
22	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
23	12,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
24	13,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>

Tabel 4.2 Data Tanah Setelah Dilakukan *Covarian* Gabungan (Lanjutan)

Depth (m)	BH 2						N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah
	N SPT	Konsistensi Tanah	MEAN	Standard Deviasi	Koefisien Variasi	KONTROL		
25	12,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
26	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
27	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
28	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
29	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
30	10,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
31	11,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
32	12,00	<i>Medium</i>	10,36	1,23	11,83	OKE	10,00	<i>Medium</i>
33	19,00	<i>Stiff</i>	19,00	0,00	0,00	OKE	19,00	<i>Stiff</i>
34	26,00	<i>Hard</i>	34,80	9,00	25,86	OKE	34,00	<i>Hard</i>
35	28,00	<i>Hard</i>	34,80	9,00	25,86	OKE	34,00	<i>Hard</i>
36	30,00	<i>Hard</i>	34,80	9,00	25,86	OKE	34,00	<i>Hard</i>
37	40,00	<i>Hard</i>	34,80	9,00	25,86	OKE	34,00	<i>Hard</i>
38	50,00	<i>Hard</i>	34,80	9,00	25,86	OKE	34,00	<i>Hard</i>

Tabel 4.2 Data Tanah Setelah Dilakukan *Covarian* Gabungan (Lanjutan)

Depth (m)	BH 2						N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah
	N SPT	Konsistensi Tanah	MEAN	Standard Deviasi	Koefisien Variasi	KONTROL		
39	58,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
40	65,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
41	58,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
42	50,00	<i>Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
43	58,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
44	65,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
45	64,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
46	62,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
47	56,00	<i>Very Dense</i>	59,56	4,67	7,84	OKE	59,00	<i>Very Dense</i>
48	50,00	<i>Dense</i>	50,00	0,00	0,00	OKE	50,00	<i>Dense</i>
49	50,00	<i>Dense</i>	50,00	0,00	0,00	OKE	50,00	<i>Dense</i>
50	50,00	<i>Dense</i>	50,00	0,00	0,00	OKE	50,00	<i>Dense</i>

Data N-SPT pakai tersebut dikorelasi menggunakan **Tabel 2.1** sehingga didapatkan nilai γ_{sat} seperti pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Korelasi Nilai γ_{sat}

<i>Depth</i> (m)	N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah	γ_{sat} (t/m ³)
1-3	3,00	<i>Very Loose</i>	1,50
4	1,00	<i>Very Loose</i>	1,50
5	3,00	<i>Very Loose</i>	1,50
6-10	5,00	<i>Soft</i>	1,70
11-32	10,00	<i>Medium</i>	1,69
33	19,00	<i>Stiff</i>	1,73
34-38	34,00	<i>Hard</i>	2,00
39-47	59,00	<i>Very Dense</i>	2,00
48-50	50,00	<i>Dense</i>	2,00

Untuk nilai E didapatkan dari **Tabel 2.3**, dimana nilai E pada jenis tanah dan konsistensi tanah (sesuai data tanah) dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Untuk nilai v (*poission's ratio*) pada setiap jenis tanah dan konsistensi tanah adalah 0,2.

Tabel 4.4 Nilai E pada Jenis dan Konsistensi Tanah Tertentu

Jenis Tanah	Konsistensi Tanah	E (t/m²)
Pasir Tidak Padat	<i>Very Loose</i>	1000
Lempung Lunak	<i>Soft</i>	200
Lempung Sedang	<i>Medium</i>	450
Lempung Keras	<i>Stiff</i>	700
Lempung Keras	<i>Hard</i>	700
Pasir Padat	<i>Very Dense</i>	5000
Pasir Padat	<i>Dense</i>	5000

4.1.2 Korelasi Data Tanah dengan Koreksi N-SPT

Koreksi yang akan dilakukan adalah koreksi terhadap muka air tanah dan *overburden pressure*. Berikut ini adalah contoh perhitungan koreksi N-SPT pada jenis tanah lempung (kedalaman 14) dan jenis tanah pasir (kedalaman 40 meter).

Kedalaman = 14 m

N-SPT = 10

Jenis Tanah = Lempung

- Koreksi terhadap muka air tanah

N1-NSPT = 10

Dikarenakan jenis tanah adalah lempung, maka tidak perlu ada koreksi terhadap muka air tanah.

- Koreksi terhadap *overburden pressure*

Depth increment = 1 m

γ_{sat} = 1,69 t/m³

p'_{o} sebelumnya = 8,56 t/m²

$$\begin{aligned} p'_{\text{o}} &= \gamma' \times h + p'_{\text{o}} \text{ sebelumnya} \\ &= (1,69-1) \times 1 + 8,56 \\ &= 9,25 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dikarenakan tekanan vertikal efektif pada lapisan tersebut lebih besar dari 7,5 t/m², maka N1 perlu dikoreksi dengan rumus:

$$N2 = \frac{4N1}{3,25+0,1 p'_{\text{o}}} = \frac{4 \times 10}{3,25+0,1 \times 9,25} = 9,58$$

$$N2 = 2N1 = 2 \times 10 = 20$$

$$N2 = 9,58 < 2N1$$

$$= 9,58 < 20$$

Kedalaman = 40 m

N-SPT = 59

Jenis Tanah = Pasir

- Koreksi terhadap muka air tanah

$$\begin{aligned} N1 &= 15 + \frac{1}{2} (N-15) \\ &= 15 + \frac{1}{2} (59-15) \\ &= 37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N1 &= 0,6N \\ &= 0,6 \times 59 \\ &= 35,40 \end{aligned}$$

Dipilih N1 yang terkecil dari hasil perhitungan maka N (N1) yang dipakai adalah 35,40.

- Koreksi terhadap *overburden pressure*

Depth increment = 1 m

$$\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ t/m}^3$$

$$p'_{\text{o}} \text{ sebelumnya} = 8,56 \text{ t/m}^2$$

$$p'_{\text{o}} = \gamma' \times h + p'_{\text{o}} \text{ sebelumnya}$$

$$= (2-1) \times 1 + 8,56$$

$$= 9,56 \text{ t/m}^2$$

Dikarenakan tekanan vertikal efektif pada lapisan tersebut lebih besar dari $7,5 \text{ t/m}^2$, maka N1 perlu dikoreksi dengan rumus:

$$N2 = \frac{4N1}{3,25+0,1 p'_{\text{o}}} = \frac{4 \times 35,40}{3,25+0,1 \times 9,56} = 22,89$$

$$N2 = 2N1 = 2 \times 35,40 = 70,80$$

$$N2 = 22,89 < 2N1$$

$$= 22,89 < 70,80$$

Maka N (N2) yang dipakai pada kedalaman 14 m adalah 22,89. Untuk kedalaman 40 m N (N2) pakai adalah 22,89 m. Rangkuman hasil koreksi N-SPT dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Koreksi N-SPT terhadap MAT dan *Overburden Pressure*

<i>Depth</i> (m)	NSPT	L/P	N1 15+..	N1 0,6 N	N1pakai	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	p_o (ton/m ²)	N2 4N1...	N2 2N	N2pakai
0	0	P	0,00	0,00	0,00	1,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
1	3,00	P	3,00	3,00	3,00	1,50	0,50	1,00	8,57	6,00	6,00
2	3,00	P	3,00	3,00	3,00	1,50	0,50	1,50	7,50	6,00	6,00
3	3,00	P	3,00	3,00	3,00	1,50	0,50	2,00	6,67	6,00	6,00
4	1,00	P	1,00	1,00	1,00	1,50	0,50	2,50	2,00	2,00	2,00
5	3,00	P	3,00	3,00	3,00	1,50	0,50	3,00	5,45	6,00	5,45
6	5,00	L	5,00	5,00	5,00	1,70	0,70	3,70	8,06	10,00	8,06
7	5,00	L	5,00	5,00	5,00	1,70	0,70	4,40	7,25	10,00	7,25
8	5,00	L	5,00	5,00	5,00	1,70	0,70	5,10	6,58	10,00	6,58
9	5,00	L	5,00	5,00	5,00	1,70	0,70	5,80	6,02	10,00	6,02
10	5,00	L	5,00	5,00	5,00	1,70	0,70	6,50	5,56	10,00	5,56
11	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	7,19	10,32	20,00	10,32
12	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	7,88	9,91	20,00	9,91
13	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	8,56	9,74	20,00	9,74
14	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	9,25	9,58	20,00	9,58
15	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	9,94	9,43	20,00	9,43

Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Koreksi N-SPT terhadap MAT dan *Overburden Pressure*
(Lanjutan)

<i>Depth</i> (m)	NSPT	L/P	N1 15+..	N1 0,6 N	N1pakai	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	p_o (ton/m ²)	N2 4N1...	N2 2N	N2pakai
16	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	10,63	9,27	20,00	9,27
17	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	11,32	9,13	20,00	9,13
18	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	12,00	8,99	20,00	8,99
19	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	12,69	8,85	20,00	8,85
20	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	13,38	8,72	20,00	8,72
21	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	14,07	8,59	20,00	8,59
22	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	14,76	8,46	20,00	8,46
23	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	15,44	8,34	20,00	8,34
24	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	16,13	8,23	20,00	8,23
25	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	16,82	8,11	20,00	8,11
26	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	17,51	8,00	20,00	8,00
27	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	18,20	7,89	20,00	7,89
28	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	18,88	7,78	20,00	7,78
29	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	19,57	7,68	20,00	7,68
30	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	20,26	7,58	20,00	7,58

Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Koreksi N-SPT terhadap MAT dan *Overburden Pressure*
(Lanjutan)

Depth (m)	NSPT	L/P	N1 15+..	N1 0,6 N	N1pakai	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	p_o (ton/m ²)	N2 4N1...	N2 2N	N2pakai
31	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	20,95	7,48	20,00	7,48
32	10,00	L	10,00	10,00	10,00	1,69	0,69	21,64	7,39	20,00	7,39
33	19,00	L	17,00	11,40	11,40	1,73	0,73	22,37	8,31	22,80	8,31
34	34,00	L	24,50	20,40	20,40	2,00	1,00	23,37	14,61	40,80	14,61
35	34,00	L	24,50	20,40	20,40	2,00	1,00	24,37	14,35	40,80	14,35
36	34,00	L	24,50	20,40	20,40	2,00	1,00	25,37	14,10	40,80	14,10
37	34,00	L	24,50	20,40	20,40	2,00	1,00	26,37	13,86	40,80	13,86
38	34,00	L	24,50	20,40	20,40	2,00	1,00	27,37	13,63	40,80	13,63
39	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	28,37	23,26	70,80	23,26
40	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	29,37	22,89	70,80	22,89
41	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	30,37	22,52	70,80	22,52
42	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	31,37	22,17	70,80	22,17
43	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	32,37	21,83	70,80	21,83
44	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	33,37	21,50	70,80	21,50
45	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	34,37	21,18	70,80	21,18

Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Koreksi N-SPT terhadap MAT dan *Overburden Pressure*
(Lanjutan)

<i>Depth</i> (m)	NSPT	L/P	N1 15+..	N1 0,6 N	N1pakai	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	p_o (ton/m ²)	N2 4N1...	N2 2N	N2pakai
46	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	35,37	20,86	70,80	20,86
47	59,00	P	37,00	35,40	35,40	2,00	1,00	36,37	20,56	70,80	20,56
48	50,00	P	32,50	30,00	30,00	2,00	1,00	37,37	17,17	60,00	17,17
49	50,00	P	32,50	30,00	30,00	2,00	1,00	38,37	16,93	60,00	16,93
50	50,00	P	32,50	30,00	30,00	2,00	1,00	39,37	16,70	60,00	16,70

Data N-SPT yang sudah dikoreksi tersebut dikorelasi menggunakan **Tabel 2.1** sehingga didapatkan nilai γ_{sat} (berat jenis saat jenuh) q_u ($q_u = 2cu$), dan ϕ yang akan dipakai dalam perencanaan. Untuk mendapatkan nilai e_o maka nilai γ_{sat} yang sudah didapatkan tersebut, dikorelasi menggunakan **Tabel 2.2**. Untuk hasil korelasi parameter tanah terhadap N-SPT koreksi dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Nilai data tanah dicari untuk perencanaan pondasi terutama untuk perhitungan nilai penurunan (pada bab selanjutnya). Karena pada kedalaman 33 m konsistensi tanahnya sudah *stiff* dianggap tidak mengalami konsolidasi maka korelasi parameter tanah dihitung hanya sampai kedalaman 32 m.

Tabel 4.6 Data Tanah

<i>Depth</i> (m)	N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah	γ_{sat} (t/m ³)	c_u (t/m ²)	ϕ (°)	e_o
1	6,00	<i>Very Loose</i>	1,50	0,00	25	2,38
2	6,00	<i>Very Loose</i>	1,50	0,00	25	2,38
3	6,00	<i>Very Loose</i>	1,50	0,00	25	2,38
4	2,00	<i>Very Loose</i>	1,50	0,00	25	2,38
5	5,45	<i>Very Loose</i>	1,50	0,00	25	2,38
6	8,06	<i>Soft</i>	1,65	1,84	0,00	1,62
7	7,25	<i>Soft</i>	1,63	1,71	0,00	1,70
8	6,58	<i>Soft</i>	1,61	1,60	0,00	1,79
9	6,02	<i>Soft</i>	1,60	1,50	0,00	1,85
10	5,56	<i>Soft</i>	1,59	1,43	0,00	1,89
11	10,32	<i>Medium</i>	1,70	2,22	0,00	1,42
12	9,91	<i>Medium</i>	1,69	2,15	0,00	1,45
13	9,74	<i>Medium</i>	1,68	2,12	0,00	1,49
14	9,58	<i>Medium</i>	1,68	2,10	0,00	1,49
15	9,43	<i>Medium</i>	1,68	2,07	0,00	1,49

Tabel 4.6 Data Tanah (Lanjutan)

<i>Depth</i> (m)	N-SPT PAKAI	Konsistensi Tanah	γ_{sat} (t/m ³)	cu (t/m ²)	ϕ (°)	eo
15	9,43	<i>Medium</i>	1,68	2,07	0,00	1,49
16	9,27	<i>Medium</i>	1,67	2,05	0,00	1,53
17	9,13	<i>Medium</i>	1,67	2,02	0,00	1,53
18	8,99	<i>Medium</i>	1,67	2,00	0,00	1,53
19	8,85	<i>Medium</i>	1,66	1,98	0,00	1,58
20	8,72	<i>Medium</i>	1,66	1,95	0,00	1,58
21	8,59	<i>Medium</i>	1,66	1,93	0,00	1,58
22	8,46	<i>Medium</i>	1,65	1,91	0,00	1,62
23	8,34	<i>Medium</i>	1,65	1,89	0,00	1,62
24	8,23	<i>Medium</i>	1,65	1,87	0,00	1,62
25	8,11	<i>Medium</i>	1,65	1,85	0,00	1,62
26	8,00	<i>Medium</i>	1,64	1,83	0,00	1,66
27	7,89	<i>Medium</i>	1,64	1,82	0,00	1,66
28	7,78	<i>Medium</i>	1,64	1,80	0,00	1,66
29	7,68	<i>Medium</i>	1,64	1,78	0,00	1,66
30	7,58	<i>Medium</i>	1,64	1,76	0,00	1,66
31	7,48	<i>Medium</i>	1,63	1,75	0,00	1,70
32	7,39	<i>Medium</i>	1,63	1,73	0,00	1,70

Pada konsistensi tanah *medium* nilai γ_{sat} terbesar pada kedalaman 11 m yaitu, $\gamma_{sat} = 1,70 \text{ t/m}^2$ dikorelasi menggunakan **Tabel 2.2** sehingga didapatkan nilai C_v sebesar $20,77 \text{ t}^2/\text{tahun} = 1,930 \text{ m}^2/\text{tahun}$.

Untuk mencari nilai C_c dengan menggunakan rumus (2.5) dimana $LL=30$ dan untuk mencari nilai C_s menggunakan rumus (2.6). Berikut contoh perhitungannya pada kedalaman 11 m.

$$e_o = 1,42$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,006LL + 0,13e_o^2 - 0,13 \\ &= 0,006(30) + 0,13(1,42)^2 - 0,13 \\ &= 0,31 \end{aligned}$$

$$C_s = \frac{1}{5} C_c = \frac{1}{5} \times 0,31 = 0,06$$

Untuk rekapan nilai C_c dan C_s pada setiap kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 4.7**

Tabel 4.7 Nilai C_c dan C_s

Depth (m)	Konsistensi Tanah	C_c	C_s
6	<i>Soft</i>	0,39	0,08
7	<i>Soft</i>	0,43	0,09
8	<i>Soft</i>	0,47	0,09
9	<i>Soft</i>	0,49	0,10
10	<i>Soft</i>	0,51	0,10
11	<i>Medium</i>	0,31	0,06
12	<i>Medium</i>	0,32	0,06
13	<i>Medium</i>	0,34	0,07
14	<i>Medium</i>	0,34	0,07
15	<i>Medium</i>	0,34	0,07
16	<i>Medium</i>	0,36	0,07
17	<i>Medium</i>	0,36	0,07
18	<i>Medium</i>	0,36	0,07
19	<i>Medium</i>	0,37	0,07
20	<i>Medium</i>	0,37	0,07
21	<i>Medium</i>	0,37	0,07
22	<i>Medium</i>	0,39	0,08
23	<i>Medium</i>	0,39	0,08

Tabel 4.7 Nilai Cc dan Cs (Lanjutan)

Depth (m)	Konsistensi Tanah	Cc	Cs
24	<i>Medium</i>	0,39	0,08
25	<i>Medium</i>	0,39	0,08
26	<i>Medium</i>	0,41	0,08
27	<i>Medium</i>	0,41	0,08
28	<i>Medium</i>	0,41	0,08
29	<i>Medium</i>	0,41	0,08
30	<i>Medium</i>	0,41	0,08
31	<i>Medium</i>	0,43	0,09
32	<i>Medium</i>	0,43	0,09

4.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung pondasi tiang menggunakan cara seperti yang sudah tertulis pada **Subbab 2.3**. Berikut ini adalah contoh perhitungan daya dukung pondasi pada kedalaman 40 m dengan diameter 0,6 m.

- N rata-rata 8D ke atas dan 4D ke bawah

$$8D = 8 \times 0,6 = 4,8 \text{ m}$$

$$4D = 4 \times 0,6 = 2,4 \text{ m}$$

$$N \text{ rata-rata ujung} = 18,35$$

- Menghitung daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} P \text{ ujung} &= C_n \text{ ujung} \times A \text{ ujung} \\ &= 40 N_{\text{rata-rata}} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 40 \times 18,35 \times \frac{1}{4} \pi 0,6^2 \\ &= 207,51 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Menghitung daya dukung hambatan sekeliling tiang

$$\begin{aligned} C_{li} &= f_{si} = N_2 / 5 \text{ (jenis tanah pasir)} \\ &= 22,89 / 5 \\ &= 4,58 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{si} &= C_{li} A_{si} \\
 &= 4,58 O_i h_i \\
 &= 4,58 \pi D \times \text{depth increment} \\
 &= 4,58 \pi 0,6 \times 1 \\
 &= 8,63 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma R_{si} &= R_{si} + R_{si} \text{ sebelumnya} \\
 &= 8,63 + 302,81 \\
 &= 311,44 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Qult 1 tiang

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= P_{ujung} + \Sigma R_{si} \\
 &= 207,51 + 311,44 \\
 &= 518,950 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Qijin

Berdasarkan SNI 8460-2017 pasal 9.2.3.1 menjelaskan bahwa SF minimum besarnya 2,5 untuk pondasi dalam. Pada perhitungan daya dukung ijin menggunakan SF maksimum sebesar 3, yang paling kritis (menghasilkan perencanaan pondasi yang aman).

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult} \text{ 1 tiang}}{SF} = \frac{518,950}{3} = 172,983 \text{ ton}$$

Rekap perhitungan Qult dan Qijin pondasi tiang pancang untuk setiap kedalaman dengan diameter tiang 0,6 m, dapat dilihat pada **Tabel 4.8**. Untuk grafik antara daya dukung tanah *ultimate* vs kedalaman dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Daya Dukung Tanah D 0,6 m

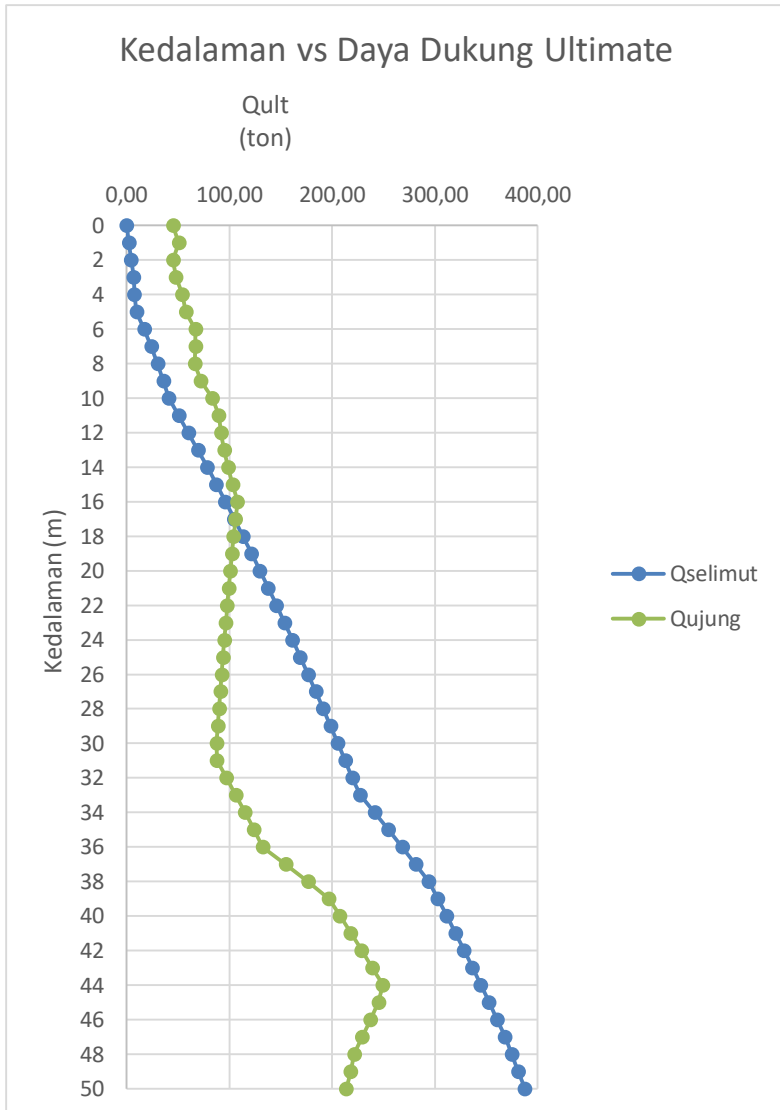
Depth (m)	L/P	N rata2 ujung	Qujung (ton)	<i>f_{si}</i> (ton/m ²)	R _{si} (ton)	ΣR _{si} (ton)	Qult (ton)	Qijin total (ton)
0	P	4,00	45,24	0,00	0,00	0,00	45,239	15,080
1	P	4,50	50,89	1,20	2,26	2,26	53,156	17,719
2	P	4,00	45,24	1,20	2,26	4,52	49,763	16,588
3	P	4,24	47,98	1,20	2,26	6,79	54,767	18,256
4	P	4,79	54,16	0,40	0,75	7,54	61,696	20,565
5	P	5,10	57,63	1,09	2,06	9,60	67,227	22,409

Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Daya Dukung Tanah D 0,6 m
(Lanjutan)

Depth (m)	L/P	N rata2 ujung	Qujung (ton)	<i>f_{si}</i> (ton/m ²)	Rsi (ton)	ΣRsi (ton)	Qult (ton)
6	5,92	66,93	4,03	7,60	17,20	84,128	28,043
7	5,92	66,97	3,62	6,83	24,03	90,992	30,331
8	5,87	66,34	3,29	6,20	30,23	96,564	32,188
9	6,41	72,45	3,01	5,68	35,90	108,352	36,117
10	7,39	83,63	2,78	5,24	41,14	124,766	41,589
11	7,93	89,69	5,16	9,73	50,87	140,554	46,851
12	8,12	91,83	4,95	9,34	60,21	152,034	50,678
13	8,39	94,91	4,87	9,18	69,39	164,295	54,765
14	8,73	98,72	4,79	9,03	78,42	177,135	59,045
15	9,12	103,11	4,71	8,88	87,30	190,407	63,469
16	9,55	107,96	4,64	8,74	96,04	204,001	68,000
17	9,36	105,88	4,56	8,60	104,64	210,526	70,175
18	9,21	104,20	4,49	8,47	113,11	217,316	72,439
19	9,07	102,57	4,43	8,34	121,46	224,031	74,677
20	8,93	101,00	4,36	8,22	129,67	230,670	76,890
21	8,79	99,47	4,29	8,10	137,77	237,236	79,079
22	8,66	97,98	4,23	7,98	145,75	243,730	81,243
23	8,54	96,54	4,17	7,86	153,61	250,153	83,384
24	8,41	95,14	4,11	7,75	161,36	256,506	85,502
25	8,29	93,79	4,06	7,64	169,01	262,791	87,597
26	8,18	92,47	4,00	7,54	176,54	269,010	89,670
27	8,06	91,18	3,95	7,44	183,98	275,162	91,721
28	7,95	89,93	3,89	7,34	191,32	281,251	93,750
29	7,84	88,72	3,84	7,24	198,56	287,276	95,759
30	7,74	87,54	3,79	7,15	205,70	293,239	97,746
31	7,76	87,82	3,74	7,05	212,76	300,576	100,192
32	8,59	97,16	3,69	6,96	219,72	316,880	105,627

Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Daya Dukung Tanah D 0,6 m
(Lanjutan)

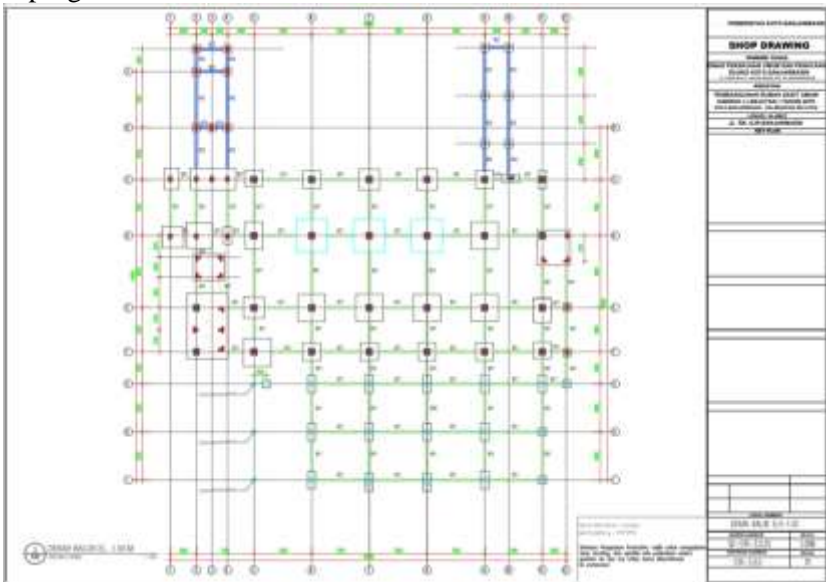
<i>Depth</i> (m)	L/P	N rata2 ujung	Qujung (ton)	<i>f_{si}</i> (ton/m ²)	Rsi (ton)	ΣRsi (ton)	Qult (ton)
33	9,40	106,29	4,16	7,83	227,55	333,843	111,281
34	10,19	115,22	7,30	13,77	241,32	356,538	118,846
35	10,96	123,96	7,17	13,52	254,84	378,798	126,266
36	11,72	132,51	7,05	13,29	268,13	400,638	133,546
37	13,69	154,81	6,93	13,06	281,19	436,009	145,336
38	15,63	176,72	6,81	12,85	294,04	470,765	156,922
39	17,40	196,82	4,65	8,77	302,81	499,627	166,542
40	18,35	207,51	4,58	8,63	311,44	518,950	172,983
41	19,28	218,09	4,50	8,49	319,93	538,015	179,338
42	20,21	228,54	4,43	8,36	328,29	556,830	185,610
43	21,12	238,88	4,37	8,23	336,52	575,399	191,800
44	22,03	249,11	4,30	8,10	344,62	593,730	197,910
45	21,69	245,29	4,24	7,98	352,60	597,893	199,298
46	20,97	237,21	4,17	7,87	360,47	597,683	199,228
47	20,28	229,31	4,11	7,75	368,22	597,531	199,177
48	19,59	221,57	3,43	6,47	374,70	596,269	198,756
49	19,27	217,96	3,39	6,38	381,08	599,037	199,679
50	18,90	213,76	3,34	6,29	387,37	601,137	200,379



Gambar 4.2 Grafik antara kedalaman dengan daya dukung *ultimate*

4.3 Analisa Denah dan Pembebanan Bangunan Rumah Sakit

Denah bangunan dan pembebanan bangunan rumah sakit dibutuhkan untuk mendapatkan reaksi perletakan yang nantinya akan digunakan untuk merencanakan pondasi yang efisien. Denah balok bangunan rumah sakit elevasi -1,50 m dapat dilihat pada **Gambar 4.3** sedangkan untuk denah lainnya dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Analisa beban bangunan dari bangunan rumah sakit dengan ketinggian 3 lantai, 4 lantai, dan 5 lantai menggunakan program bantu *SAP2000*.



Gambar 4.3 Denah balok rumah sakit elevasi -1,50 m

4.3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang akan digunakan untuk permodelan struktur rumah sakit sebagai berikut:

- Fungsi : Rumah Sakit
- Lebar Bangunan : 56,025 m
- Panjang Bangunan : 49,45 m

- Jumlah Lantai : 3, 4, dan 5 lantai
- Tinggi Lantai Pertama : 4,59 m
- Tinggi Tiap Lantai : 4,59 m
- Mutu Beton ($f'c$) : 30 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 420 Mpa

4.3.2 Peraturan

Peraturan-peraturan yang digunakan dalam perencanaan gedung rumah sakit pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983 (PPIUG 1983).
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)

4.3.3 Pembebanan Bangunan

Bangunan dalam Tugas Akhir ini diperhitungkan untuk memikul beban-beban sebagai berikut:

- a. Beban Mati (PPIUG 1983 Tabel 2.1)
 1. Berat sendiri struktur : 2400 kg/m^3
 2. Tegel : 24 kg/m^2
 3. Tembok setengah bata : 250 kg/m^2
 4. Spesi 2 cm : 42 kg/m^2
 5. *Plafond* : 11 kg/m^2
 6. *Ducting & Plumbing* : 30 kg/m
- b. Beban Hidup (PPIUG 1983 Tabel 3.1)
 1. Lantai Rumah Sakit : 250 kg/m^2
- c. Kombinasi Beban Bangunan (SNI 1726-2012 Pasal 4.2.3)
 1. D
 2. D + L
 3. D + 0,7E
 4. D + 0,75 (0,7E) + 0,75L
 5. 0,6D + 0,7E

dimana:

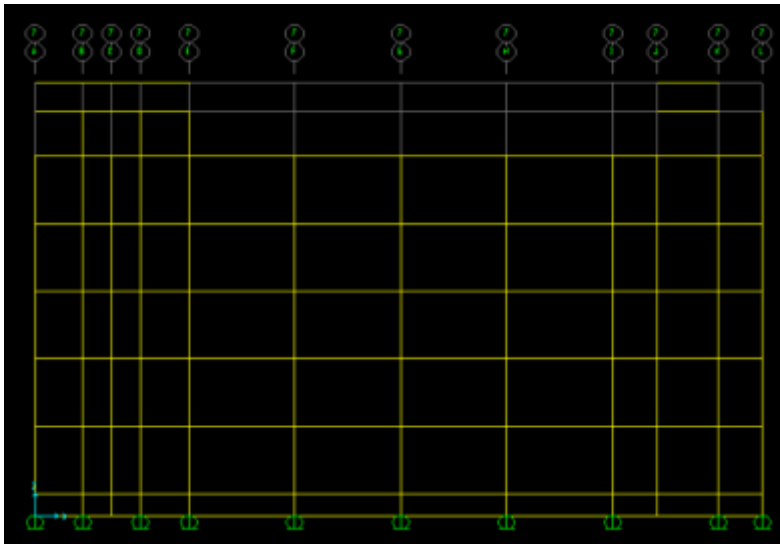
D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

Dikarenakan di Banjarmasin daerah gempa kecil sehingga kombinasi akibat beban gempa diabaikan karena pada umumnya bangunan disana tidak ada yang rusak karena gempa, apalagi pada perencanaan ini untuk bangunan tidak tinggi (gedung tingkat 3 s/d 5). Maka kombinasi beban bangunan yang dipakai pada *SAP2000* adalah kombinasi 1 dan 2. Hasil reaksi perletakan pada bangunan berlantai tiga, empat, dan lima dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Titik *fixation point* disini tidak diperlukan sehingga letak perletakan rol berada tepat di permukaan bangunan, untuk sketsanya dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Permodelan bangunan berlantai lima dengan perletakan rol

BAB V

PONDASI *FRICTION PILE*

5.1 Efisiensi Tiang Pancang

Dalam perencanaan pondasi tiang digunakan tiang pancang PC *spun pile*. Untuk batas jarak antar tiang adalah $2,5D - 3D$, dimana jarak antar tiang (s) yang dipakai adalah 1,5 m dengan diameter 0,6 m, untuk rekapannya dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Faktor efisiensi untuk tiang pancang dalam *group*, memiliki 3 persamaan dimana nilai efisiensi yang dipakai adalah yang terkecil. Berikut contoh perhitungan nilai efisiensi dengan konfigurasi 2×1 .

a. *Converse-Labarre Formula*

$$\begin{aligned} \text{Ef} &= 1 - \left(\frac{\arctan\left(\frac{D}{s}\right) \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right)}{90} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{\arctan\left(\frac{0,6}{1,5}\right) \left(\frac{(2-1)1 + (1-1)2}{1 \times 2} \right)}{90} \right) \\ &= 0,879 \end{aligned}$$

b. *Los Angeles Group Formula*

$$\begin{aligned} \text{Ef} &= 1 - \frac{D}{\pi s} \left(\frac{m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}}{mn} \right) \\ &= 1 - \frac{0,6}{\pi \times 1,5} \left(\frac{1(2-1) + 2(1-1) + (1-1)(2-1)\sqrt{2}}{1 \times 2} \right) \\ &= 0,936 \end{aligned}$$

c. *Seiler-Keeney Formula*

$$\begin{aligned} \text{Ef} &= \left(1 - \left(\frac{36s}{(75s^2 - 7)} \right) \left(\frac{m+n-2}{m+n-1} \right) \right) + \frac{0,3}{m+n} \\ &= \left(1 - \left(\frac{36 \times 1,5}{(75 \times 1,5^2 - 7)} \right) \left(\frac{1+2-2}{1+2-1} \right) \right) + \frac{0,3}{2+2} \\ &= 0,933 \end{aligned}$$

Untuk konfigurasi tiang 2x1, nilai efisiensi yang dipakai adalah 0,879. Berikut rekap konfigurasi menggunakan tiga persamaan nilai efisiensi yang dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Rekap Nilai Efisiensi

PONDASI	D (m)	S (m)	Kebutuhan Arah X (n)	Kebutuhan Arah Y (m)	TOTAL	CLF	LA	SKF	Epakai
Pondasi 1x1	0,6	1,5	1	1	1	1,000	1,000	1,150	1,000
Pondasi 2x1	0,6	1,5	2	1	2	0,879	0,936	0,933	0,879
Pondasi 3x1	0,6	1,5	3	1	3	0,839	0,915	0,852	0,839

5.2 Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

Perencanaan kedalaman pondasi *friction pile* didesain se-ekonomis mungkin dengan cara, melihat nilai beban aksial (beban yang bekerja) pada tiap kolom bangunan. Misalnya pada bangunan berlantai lima, nilai beban aksial (P) rata-rata pada tiap kolom adalah 256,96 ton.

Jika direncanakan menggunakan 1 buah tiang pada tiap kolom maka beban yang diterima pada 1 kolom sebesar 256,96 ton. P yang bekerja $\max = P/0,6 = 428,26$ ton. Setelah itu, dilihat nilai daya dukung tanah (Qult) yang mendekati nilai P yang bekerja, yaitu 37 m. Tetapi kedalaman pondasi *friction pile* 37 m, sangat tidak ekonomis maka direncanakan dengan menggunakan 2 buah tiang pada 1 titik kolom.

Jika direncanakan menggunakan 2 buah tiang pada tiap kolom maka beban yang diterima pada 1 kolom sebesar $256,96/2 = 128,48$ ton. Jika menggunakan lebih dari 1 buah tiang maka ada faktor nilai efisiensi dimana nilai efisiensi untuk 2 buah tiang adalah 0,879. P yang bekerja $\max = P/0,6/0,879 = 243,64$ ton. Setelah itu, dilihat nilai daya dukung tanah (Qult) yang mendekati nilai P yang bekerja, yaitu 23 m maka untuk bangunan berlantai lima direncanakan pondasi *friction pile* dengan kedalaman tiang adalah 23 m. Dilakukan dengan cara yang sama untuk bangunan

berlantai tiga dan empat. Hasil perencanaan kedalaman tiang pondasi untuk masing-masing bangunan, dapat dilihat pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2 Kedalaman Tiang Pancang

Bangunan	L (m)
Berlantai 3	14
Berlantai 4	17
Berlantai 5	23

5.3 Penurunan

Perencanaan pondasi *friction pile* mempertimbangkan kemungkinan adanya penurunan yang dapat terjadi karena ujung pondasinya berada pada tanah lempung sedangkan pondasi *end bearing pile* penurunannya dianggap 0 karena tiang pancang didesain sampai kedalaman tanah keras sehingga penurunan yang dapat terjadi sangat kecil nilainya dan dianggap 0.

Pada Tugas Akhir ini, penurunan yang diperhitungkan pada pondasi *friction pile* adalah penurunan segera pada tiang, penurunan konsolidasi, dan penurunan akibat rangkak (*creep*).

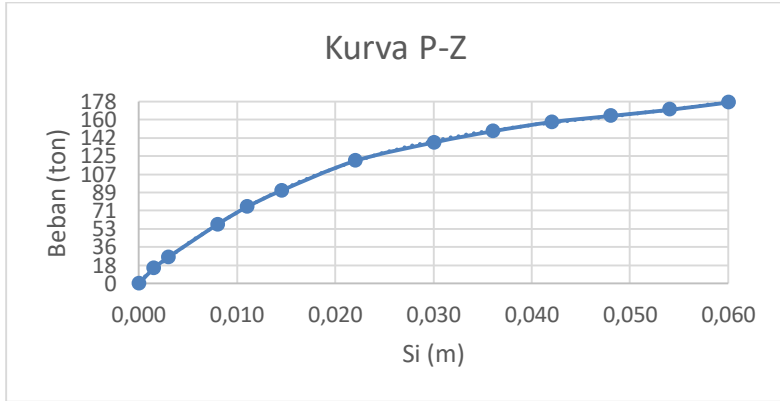
5.3.1 Penurunan Segera

Salah satu cara dalam mencari penurunan segera dengan aplikasi *PLAXIS*. Untuk memodelkan tiang pancang pada *PLAXIS* menggunakan model *Plane Strain*. Saat memodelkan tiang pancang untuk bangunan berlantai 5, kedalaman tiang 23 m, diameter tiang 0,6 m, nilai beban aksial sebesar 250 ton (daya dukung tanah). Hasil kalkulasi pada program *PLAXIS* gagal maka perhitungan penurunan segera menggunakan aplikasi *PLAXIS* tidak dapat digunakan.

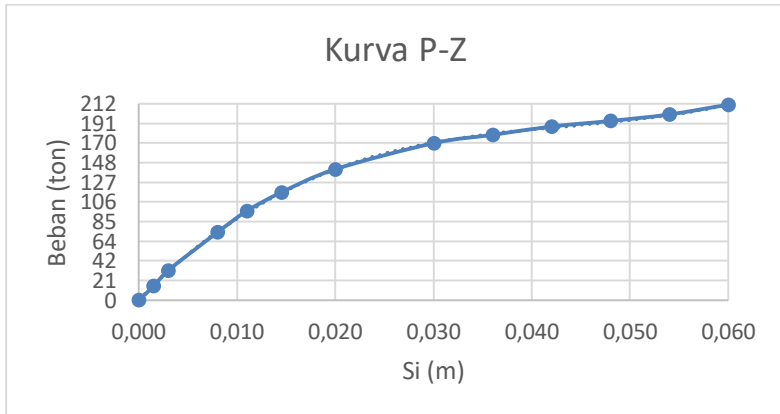
Dicoba menggunakan grafik dari Reese dan O'Neill, yang menganggap nilai penurunan segera terbesar adalah 1/10 diameter tiang pancang. Dikarenakan pada Tugas Akhir ini merencanakan pondasi dengan diameter 0,6 m, maka besar penurunan segera max adalah 0,06 m. Untuk bangunan berlantai 3, 4, dan 5 berturut-turut

nilai Q_{ult} adalah 177,135 ton (kedalaman 14 m), 210,526 ton (kedalaman 17 m), 250,153 ton (kedalaman 23 m).

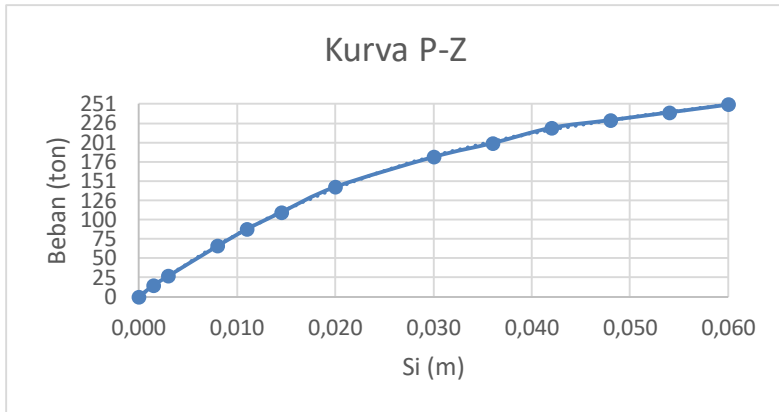
Grafik kurva P-Z untuk bangunan berlantai tiga, empat, dan lima dapat dilihat nya dapat dilihat pada **Gambar 5.1**, **Gambar 5.2**, dan **Gambar 5.3**.



Gambar 5.1 Kurva P-Z untuk bangunan berlantai tiga



Gambar 5.2 Kurva P-Z untuk bangunan berlantai empat

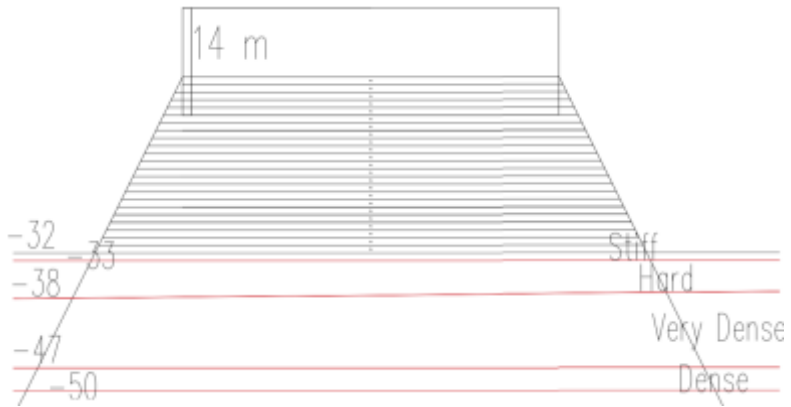


Gambar 5.3 Kurva P-Z untuk bangunan berlantai lima

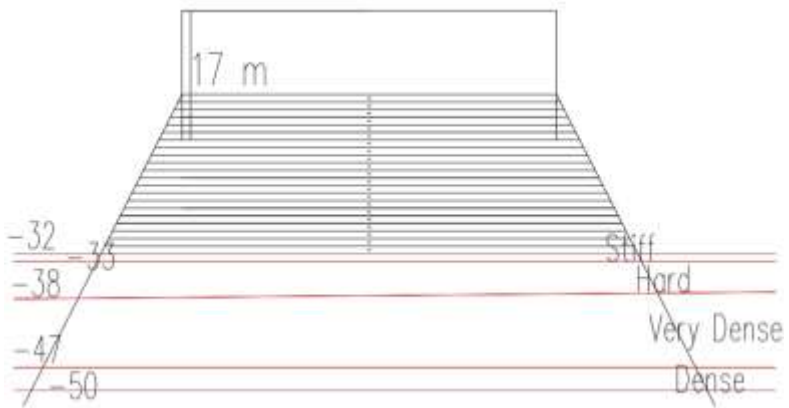
5.3.2 Penurunan Konsolidasi

Pondasi tiang pancang mengalami penurunan dimulai dari kedalaman $2/3 L$ dari bagian atas tiang. Pada kedalaman 33 m, konsistensi tanah adalah *stiff*, dianggap tidak mengalami konsolidasi sehingga perhitungan penurunan konsolidasi dihitung sampai kedalaman 32 m dimana konsistensi tanahnya *medium* (lempung).

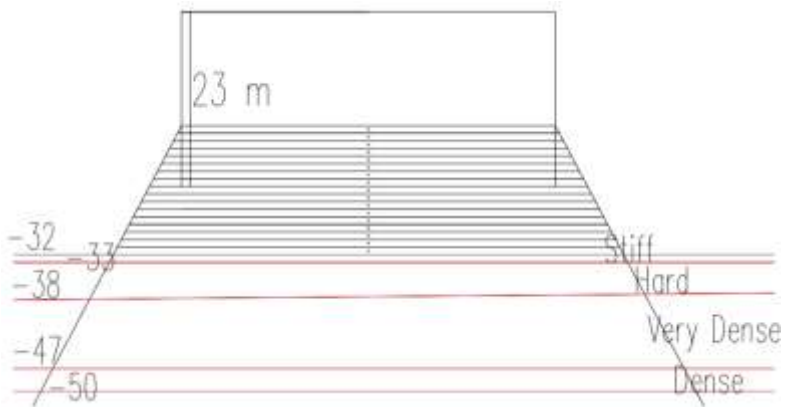
Bangunan berlantai tiga, empat, dan lima direncanakan dengan kedalaman 14 m, 17 m, dan 23 m dengan diameter tiang 0,6 m. Untuk sketsa penurunan konsolidasi tiang pancang *friction pile* untuk bangunan berlantai tiga, empat, dan lima dapat dilihat pada **Gambar 5.4**, **Gambar 5.5**, dan **Gambar 5.6**.



Gambar 5.4 Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai tiga



Gambar 5.5 Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai empat



Gambar 5.6 Sketsa penurunan konsolidasi untuk bangunan berlantai lima

Penurunan konsolidasi pada bangunan berlantai lima jika kedalaman tiang, $L = 23$ m maka $2/3L = 15$ m. Perhitungan penurunan konsolidasi dihitung dari kedalaman 15 m sampai 32 m. Perhitungan penurunan konsolidasi dihitung per 1 meter. Nilai penurunan tiap meter tersebut ditotal, disebut dengan S_c kumulatif. Berikut contoh perhitungan penurunan konsolidasi pada bangunan berlantai 5:

Beban aksial, P_{total}	= 17473 ton
Panjang bangunan	= 49,45 m
Lebar bangunan	= 56,025 m
Tebal lapisan, H	= 1 m
hfluktuasi	= 2 m
z	= $\frac{1}{2} H$
	= 0,50 m
γ_{sat}	= 1,68 t/m ³
e_o	= 1,49
C_c	= 0,34
C_s	= 0,07

$$p'o = z \times \gamma' + p'o \text{ sebelumnya}$$

$$= 8,66 \text{ t/m}^2$$

$$p'c = p'o + \text{hfluktuasi}$$

$$= 8,66 + 2,00$$

$$= 10,66 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{p'c}{p'o} = \frac{10,66}{8,66} = 1,23 > 1 \text{ (OC)}$$

$$A = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$= 49,75 \times 51,25$$

$$= 2796,87 \text{ m}^2$$

$$\Delta p = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{17473}{2796,87}$$

$$= 6,25 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta p + p'o > p'c$$

$$6,25 + 8,66 > 10,66 \text{ (memenuhi)}$$

$$Sc = \left(\left(\frac{C_s H}{1+e_o} \right) \log \left(\frac{p'c}{p'o} \right) \right) + \left(\frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'o + \Delta p}{p'c} \right) \right)$$

$$= \left(\left(\frac{0,07 \times 1}{1+1,49} \right) \log \left(\frac{10,66}{8,66} \right) \right) + \left(\frac{0,34 \times 1}{1+1,49} \log \left(\frac{8,66+6,25}{10,66} \right) \right)$$

$$= 0,022 \text{ m}$$

Untuk rekap perhitungan nilai Sc di tiap titik pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada **Tabel 5.3**, **Tabel 5.4**, dan **Tabel 5.5**.

Tabel 5.3 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 3

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,60	1,85	0,49	0,10	4,69	2,00	6,69	1,43	2796,87	4,38	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,028	0,028
1,00	1,59	1,89	0,51	0,10	5,28	2,00	7,28	1,38	2850,11	4,30	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,026	0,054
1,00	1,70	1,42	0,31	0,06	5,93	2,00	7,93	1,34	2903,84	4,22	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,017	0,072
1,00	1,69	1,45	0,32	0,06	6,62	2,00	8,62	1,30	2958,08	4,14	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,016	0,087
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	7,30	2,00	9,30	1,27	3012,82	4,06	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,015	0,102
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	7,98	2,00	9,98	1,25	3068,06	3,99	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,013	0,115
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	8,66	2,00	10,66	1,23	3123,79	3,92	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,128
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	9,34	2,00	11,34	1,21	3180,03	3,85	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,139
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,01	2,00	12,01	1,20	3236,77	3,78	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,011	0,150
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,67	2,00	12,67	1,19	3294,01	3,72	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,010	0,160
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	11,34	2,00	13,34	1,18	3351,74	3,65	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,009	0,169
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,00	2,00	14,00	1,17	3409,98	3,59	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,009	0,178
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,66	2,00	14,66	1,16	3468,72	3,53	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,008	0,186
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,32	2,00	15,32	1,15	3527,96	3,47	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,008	0,194

Tabel 5.3 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 3 (Lanjutan)

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,97	2,00	15,97	1,14	3587,69	3,41	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,201
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	14,62	2,00	16,62	1,14	3647,93	3,36	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,208
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	15,27	2,00	17,27	1,13	3708,67	3,30	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,006	0,214
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	15,91	2,00	17,91	1,13	3769,91	3,25	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,006	0,220
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	16,56	2,00	18,56	1,12	3831,64	3,20	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,006	0,226
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,20	2,00	19,20	1,12	3893,88	3,14	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,005	0,231
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,84	2,00	19,84	1,11	3956,62	3,09	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,005	0,236
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	18,47	2,00	20,47	1,11	4019,86	3,05	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,005	0,241
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,11	2,00	21,11	1,10	4083,59	3,00	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,005	0,245
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,74	2,00	21,74	1,10	4147,83	2,95	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,004	0,249

Tabel 5.4 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 4

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,70	1,42	0,31	0,06	5,93	2,00	7,93	1,34	2796,87	5,34	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,023	0,023
1,00	1,69	1,45	0,32	0,06	6,62	2,00	8,62	1,30	2850,11	5,24	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,021	0,044
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	7,30	2,00	9,30	1,27	2903,84	5,14	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,020	0,064
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	7,98	2,00	9,98	1,25	2958,08	5,04	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,018	0,083
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	8,66	2,00	10,66	1,23	3012,82	4,95	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,017	0,100
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	9,34	2,00	11,34	1,21	3068,06	4,86	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,016	0,116
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,01	2,00	12,01	1,20	3123,79	4,78	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,015	0,131
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,67	2,00	12,67	1,19	3180,03	4,69	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,014	0,144
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	11,34	2,00	13,34	1,18	3236,77	4,61	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,013	0,158
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,00	2,00	14,00	1,17	3294,01	4,53	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,170
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,66	2,00	14,66	1,16	3351,74	4,45	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,182
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,32	2,00	15,32	1,15	3409,98	4,38	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,011	0,193
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,97	2,00	15,97	1,14	3468,72	4,30	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,010	0,203
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	14,62	2,00	16,62	1,14	3527,96	4,23	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,010	0,213

Tabel 5.4 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 4 (Lanjutan)

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	15,27	2,00	17,27	1,13	3587,69	4,16	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,009	0,222
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	15,91	2,00	17,91	1,13	3647,93	4,09	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,009	0,231
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	16,56	2,00	18,56	1,12	3708,67	4,02	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,008	0,240
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,20	2,00	19,20	1,12	3769,91	3,96	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,008	0,248
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,84	2,00	19,84	1,11	3831,64	3,89	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,255
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	18,47	2,00	20,47	1,11	3893,88	3,83	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,262
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,11	2,00	21,11	1,10	3956,62	3,77	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,269
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,74	2,00	21,74	1,10	4019,86	3,71	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,007	0,275

Tabel 5.5 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 5

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,68	1,49	0,34	0,07	8,66	2,00	10,66	1,23	2796,87	6,25	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,022	0,022
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	9,34	2,00	11,34	1,21	2850,11	6,13	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,021	0,044
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,01	2,00	12,01	1,20	2903,84	6,02	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,020	0,063
1,00	1,67	1,53	0,36	0,07	10,67	2,00	12,67	1,19	2958,08	5,91	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,018	0,082
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	11,34	2,00	13,34	1,18	3012,82	5,80	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,018	0,100
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,00	2,00	14,00	1,17	3068,06	5,70	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,017	0,116
1,00	1,66	1,58	0,37	0,07	12,66	2,00	14,66	1,16	3123,79	5,59	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,016	0,132
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,32	2,00	15,32	1,15	3180,03	5,49	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,015	0,147
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	13,97	2,00	15,97	1,14	3236,77	5,40	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,014	0,161
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	14,62	2,00	16,62	1,14	3294,01	5,30	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,013	0,175
1,00	1,65	1,62	0,39	0,08	15,27	2,00	17,27	1,13	3351,74	5,21	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,013	0,187
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	15,91	2,00	17,91	1,13	3409,98	5,12	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,200
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	16,56	2,00	18,56	1,12	3468,72	5,04	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,012	0,211
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,20	2,00	19,20	1,12	3527,96	4,95	OC	$\Delta p+p'o>p'c$	0,011	0,222

Tabel 5.5 Rekap Nilai Sc Konsolidasi pada Bangunan Berlantai 5 (Lanjutan)

Tebal Lapisan (m)	γ_{sat} (t/m ³)	eo	Cc	Cs	p'o (t/m ²)	hfluktuasi (m)	p'c (t/m ²)	OCR	A (m ²)	Δp (t/m ²)	OC/NC	Kondisi OC	Sc (m)	Sc kum (m)
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	17,84	2,00	19,84	1,11	3587,69	4,87	OC	$\Delta p + p'o > p'c$	0,010	0,233
1,00	1,64	1,66	0,41	0,08	18,47	2,00	20,47	1,11	3647,93	4,79	OC	$\Delta p + p'o > p'c$	0,010	0,242
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,11	2,00	21,11	1,10	3708,67	4,71	OC	$\Delta p + p'o > p'c$	0,010	0,252
1,00	1,63	1,70	0,43	0,09	19,74	2,00	21,74	1,10	3769,91	4,63	OC	$\Delta p + p'o > p'c$	0,009	0,261

Perencanaan pondasi tiang pancang untuk jangka waktu 25 tahun. Berikut contoh perhitungan nilai Sc konsolidasi saat t pada bangunan berlantai 5 dimana nilai Sc konsolidasi total pada bangunan berlantai 5 adalah 0,261 m.

$$C_v = 1,9296 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

$$H_{dr} = 32 \text{ m}$$

$$t = 25 \text{ tahun}$$

$$T = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} = \frac{1,9296 \times 25}{32^2} = 0,047$$

$$T = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \text{ untuk } U \leq 60\%$$

$$U = \sqrt{T \frac{4}{\pi}} \times 100$$

$$U = \sqrt{0,047 \frac{4}{\pi}} \times 100$$

$$U = 24,49\%; U > 60\% \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Sc saat t} &= U \times \text{Sc total} \\ &= 24,49\% \times 0,261 \\ &= 0,064 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk rekapan perhitungan nilai Sc saat t pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dengan nilai beban aksial total pada masing-masing bangunan, dapat dilihat pada **Tabel 5.6**.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Beban Total dan Penurunan Konsolidasi

Bangunan	P (ton)	Sc konsolidasi (m)
Berlantai 3	12243	0,061
Berlantai 4	14923	0,067
Berlantai 5	17473	0,064

5.3.3 Penurunan Akibat Rangkak (*Creep*)

Faktor yang mempengaruhi untuk perhitungan penurunan jangka panjang adalah nilai konstanta, waktu, dan kedalaman tiang. Berikut contoh perhitungan penurunan *creep* dalam jangka waktu 25 tahun pada bangunan berlantai 5, dengan kedalaman tiang 23 m.

$$V = 3 \times 10^{-2}$$

$$W = 0,41$$

$$U = 5 \times 10^{-5}$$

$$d_i = 0,6 \text{ m}$$

$$t = 25 \text{ tahun}$$

$$L = 23 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pult} &= \text{Qult pada kedalaman 23 m} = 250,153 \text{ ton} \approx 250 \text{ ton} \\
 \text{Ri} &= \frac{\text{Pbekerja}}{\text{Pult}} \times 100\% = \frac{250}{250} \times 100\% = 100\% \\
 \delta(\text{cr}) &= \left(\frac{1}{10^{(0.0383L+4.361)}} \right) d_i \frac{u \exp(V \text{ Ri})}{w} t^w \\
 &= \left(\frac{1}{10^{(0.0383 \times 23 + 4.361)}} \right) 0,6 \frac{5 \times 10^{-5} \exp(3 \times 10^{-2} \times 100)}{0,41} 25^{0,41} \\
 &= 0,0373 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari variasi beban (P) dan penurunan *creep* pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5, dapat dilihat pada **Tabel 5.7**, **Tabel 5.8**, dan **Tabel 5.9**.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Beban dan Penurunan *Creep* pada Bangunan Berlantai 3

P (ton)	Ri (%)	Sc creep (m)
0	0,00	0,0041
15	8,47	0,0053
26	14,68	0,0064
58	32,74	0,0110
75	42,34	0,0146
91	51,37	0,0192
120	67,74	0,0314
138	77,91	0,0425
149	84,12	0,0512
158	89,20	0,0597
164	92,58	0,0661
170	95,97	0,0731
177	100,00	0,0825

Tabel 5.8 Rekapitulasi Beban dan Penurunan *Creep* pada Bangunan Berlantai 4

P (ton)	Ri (%)	Sc creep (m)
0	0,00	0,0032
15	7,13	0,0039
32	15,20	0,0050
73	34,68	0,0089
96	45,60	0,0124
116	55,10	0,0165
141	66,98	0,0235
169	80,28	0,0350
178	84,55	0,0398
187	88,83	0,0453
193	91,68	0,0493
200	95,00	0,0545
211	100,00	0,0633

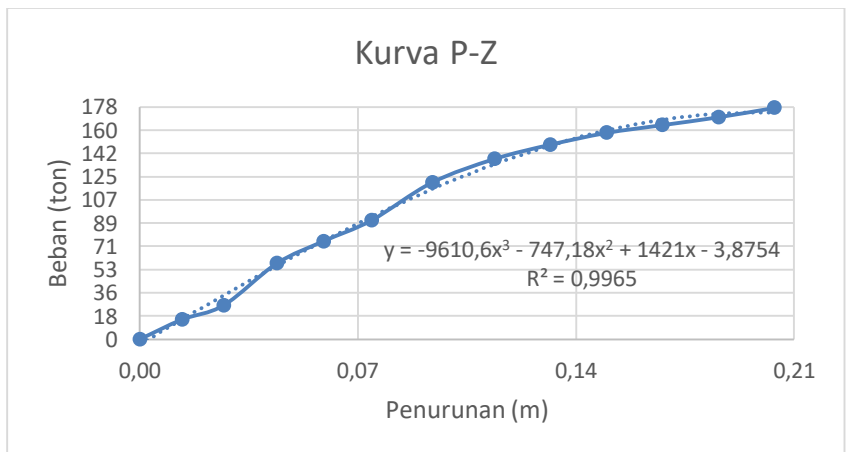
Tabel 5.9 Rekapitulasi Beban dan Penurunan *Creep* pada Bangunan Berlantai 5

P (ton)	Ri (%)	Sc creep (m)
0	0,00	0,0019
15	6,00	0,0022
27	10,79	0,0026
66	26,38	0,0041
88	35,18	0,0053
110	43,97	0,0069
143	57,17	0,0103
182	72,76	0,0165
200	79,95	0,0204
220	87,95	0,0260
230	91,94	0,0293
240	95,94	0,0330
250	100,00	0,0373

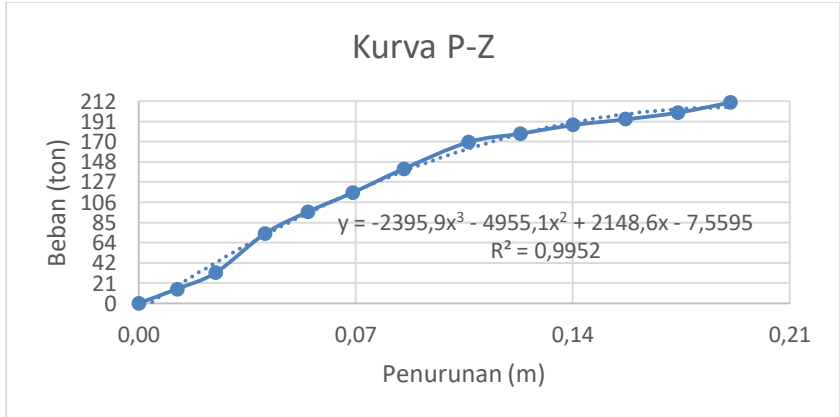
Untuk rekapitulasi dari variasi beban (P) dan penurunan total (Z) pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada **Tabel 5.10**, dan **Tabel 5.11**, dan **Tabel 5.12**. Untuk kurva P-Z pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada **Gambar 5.7**, **Gambar 5.8**, dan **Gambar 5.9**.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 3

P (ton)	Si (m)	Sc Konsolidasi (m)	Sc Creep (m)	Sc total (m)
0	0,000	0,000	0,0000	0,00
15	0,002	0,005	0,0069	0,01
26	0,003	0,010	0,0138	0,03
58	0,008	0,015	0,0206	0,04
75	0,011	0,020	0,0275	0,06
91	0,015	0,025	0,0344	0,07
120	0,022	0,031	0,0413	0,09
138	0,030	0,036	0,0481	0,11
149	0,036	0,041	0,0550	0,13
158	0,042	0,046	0,0619	0,15
164	0,048	0,051	0,0688	0,17
170	0,054	0,056	0,0756	0,19
177	0,060	0,061	0,0825	0,20

**Gambar 5.7** Kurva P-Z pada bangunan berlantai 3**Tabel 5.11** Rekap Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 4

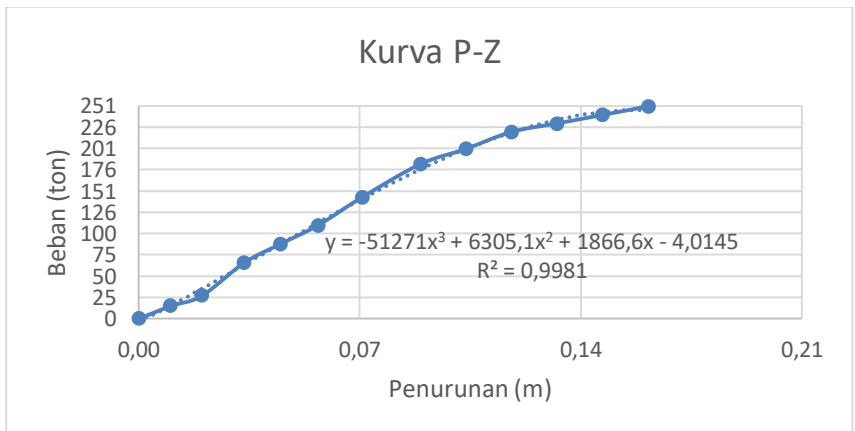
P (ton)	Si (m)	Sc Konsolidasi (m)	Sc Creep (m)	Sc total (m)
0	0,000	0,000	0,0000	0,00
15	0,002	0,006	0,0053	0,01
32	0,003	0,011	0,0106	0,02
73	0,008	0,017	0,0158	0,04
96	0,011	0,022	0,0211	0,05
116	0,015	0,028	0,0264	0,07
141	0,020	0,034	0,0317	0,09
169	0,030	0,039	0,0369	0,11
178	0,036	0,045	0,0422	0,12
187	0,042	0,051	0,0475	0,14
193	0,048	0,056	0,0528	0,16
200	0,054	0,062	0,0581	0,17
211	0,060	0,067	0,0633	0,19



Gambar 5.8 Kurva P-Z pada bangunan berlantai 4

Tabel 5.12 Rekap Nilai P dan Z pada Bangunan Berlantai 5

P (ton)	Si (m)	Sc Konsolidasi (m)	Sc Creep (m)	Sc total (m)
0	0,000	0,000	0,0000	0,00
15	0,002	0,005	0,0031	0,01
27	0,003	0,011	0,0062	0,02
66	0,008	0,016	0,0093	0,03
88	0,011	0,021	0,0124	0,04
110	0,015	0,027	0,0155	0,06
143	0,020	0,032	0,0187	0,07
182	0,030	0,037	0,0218	0,09
200	0,036	0,043	0,0249	0,10
220	0,042	0,048	0,0280	0,12
230	0,048	0,053	0,0311	0,13
240	0,054	0,059	0,0342	0,15
250	0,060	0,064	0,0373	0,16

**Gambar 5.9** Kurva P-Z pada bangunan berlantai 5

5.4 Iterasi Nilai P dengan Kurva P-Z

Perletakan yang digunakan pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 adalah pegas (*spring*). Jika $P_0 < P_{working\ max}$ maka menggunakan 1 buah tiang. Jika $P_0 > P_{working\ max}$ maka P_0 untuk 1 tiang = $P_0/2$. Berikut contoh perhitungan iterasi pada bangunan berlantai 5 di titik *joint* 1.

$$P_0 \text{ kolom} = 256,97 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 250,153 \text{ ton}$$

$$P_{working\ max} = 0,7Q_{ult} = 175,107 \text{ ton}$$

$$P_0 > P_{working\ max}$$

$$256,97 \text{ ton} > 175,107 \text{ ton}$$

$$P_0 \text{ untuk 1 tiang} = 256,97/2 = 128,49 \text{ ton}$$

Dicari nilai Z_0 dengan rumus polynomial pada kurva P-Z yang dapat dilihat pada **Gambar 5.9**.

$$Z_0 = 0,059 \text{ m}$$

$$k_0 = \frac{P_0}{Z_0} = \frac{105,26}{0,1713} = 2169 \text{ t/m}$$

Nilai $k = 2169 \text{ t/m}$ dimasukkan ke dalam permodelan *SAP2000* dengan perletakan pegas seperti pada **Gambar 5.10**. Setelah itu didapatkan nilai P_1 kolom = 253,05 ton pada *joint* 1. Hitung selisih antara nilai P_0 dan P_1 , yaitu 4 ton. Setelah itu dilakukan iterasi kembali.

$$P_1 \text{ kolom} = 253,05 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 250,153 \text{ ton}$$

$$P_{working\ max} = 0,7Q_{ult} = 175,107 \text{ ton}$$

$$P_1 > P_{working\ max}$$

$$253,05 \text{ ton} > 175,107 \text{ ton}$$

$$P_1 \text{ untuk 1 tiang} = 253,05/2 = 126,52 \text{ ton}$$

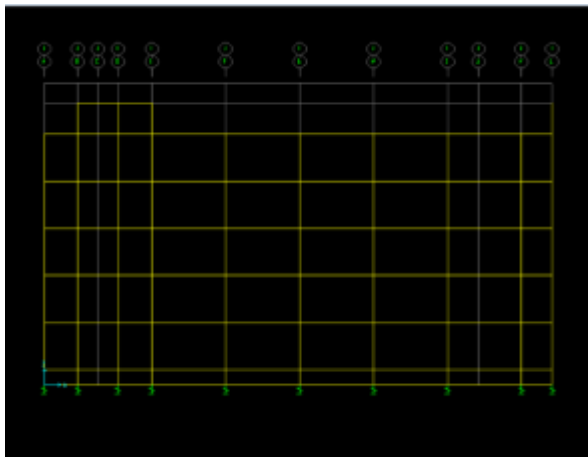
$$Z_1 = 0,059 \text{ m}$$

$$k_1 = \frac{P_1}{Z_1} = \frac{126,52}{0,059} = 2136 \text{ t/m}$$

Dilakukan terus hingga nilai P_i dan P_{i+1} dengan syarat selisih nilai P bernilai 1 ton, jika sudah sesuai syarat maka nilai P_{i+1} tersebut akan digunakan pada perencanaan pondasi *friction pile* berlaku pada semua titik *joint* sehingga semua titik *joint* nilai P_i dan P_{i+1} dengan selisih nilai P -nya harus bernilai 1 ton. Jika selisihnya belum sesuai syarat maka perlu dilakukan iterasi kembali hingga mencapai syarat.

Iterasi ini dilakukan dengan analisa *trial and error* dimana langkah tersebut dilakukan berulang-ulang pada setiap titik *joint* pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 menggunakan Kurva P - Z pada **Gambar 5.7**, **Gambar 5.8**, dan **Gambar 5.9** sesuai bangunannya. Jika nilai P pada iterasi ke- i sama dengan nilai P_{i+1} maka beban aksial tersebut konvergen (sama) maka nilai Z_i dan Z_{i+1} konvergen juga sehingga pada titik tersebut mengalami penurunan merata. Rekap perhitungan iterasi (P_0 , P_i , P_{i+1}) pada bangunan berlantai 3,4, dan 5 dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Untuk nilai P_{i+1} yang akan digunakan untuk perhitungan perencanaan pondasi *friction pile*, rekap nilai beban aksial (P_{i+1}) yang telah dilakukan sampai iterasi ke- $i+1$ pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5, dapat dilihat pada **Lampiran 5**.



Gambar 5.10 Permodelan bangunan berlantai 5 dengan perletakan pegas

5.5 Pengecekan Batas Nilai Penurunan Maksimum

Perlu mengecek nilai penurunan antar kolom, jika tidak dilakukan suatu pengecekan maka bangunan dapat mengalami *differential settlement*. Berikut contoh perhitungan untuk mengontrol batas nilai penurunan antar kolom pada bangunan berlantai 5, untuk rekapannya dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

- Joint 1, $Z = 0,053$ m

Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom

Joint	Z (m)	Jarak (m)	ΔZ max (m)	ΔZ (m)	Cek
2	0,06	7,2	0,02	0,01	OK
9	0,07	6	0,02	0,01	OK
10	0,06	9,37	0,03	0,01	OK

- Joint 11, $Z = 0,050$ m

Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom (Lanjutan)

Joint	Z (m)	Jarak (m)	ΔZ max (m)	ΔZ (m)	Cek
20	0,05	7,2	0,02	0,004	OK
34	0,05	6	0,02	0,002	OK
35	0,04	9,37	0,03	0,007	OK

- Joint 36, $Z = 0,046$ m

Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom (Lanjutan)

Joint	Z (m)	Jarak (m)	ΔZ max (m)	ΔZ (m)	Cek
20	0,05	6,60	0,02	0,046	OK
27	0,05	3	0,01	0,048	OK
28	0,04	9,49	0,03	0,042	OK
35	0,04	5,875	0,02	0,044	OK
37	0,07	9	0,03	0,071	OK

- Joint 1003, $Z = 0,064$ m

Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom (Lanjutan)

Joint	Z (m)	Jarak (m)	ΔZ max (m)	ΔZ (m)	Cek
43	0,06	1,95	0,01	0,002	OK
44	0,05	1,95	0,01	0,009	OK

- Pada nilai Z max dan Zmin
Joint 5, $Z_{max} = 0,078$ m

Tabel 5.13 Cek Nilai Penurunan antar Kolom (Lanjutan)

Joint	Z (m)	Jarak (m)	ΔZ max (m)	ΔZ (m)	Cek
49	0,04	43,28	0,14	0,037	OK

Untuk rekapan pengecekan nilai Z dan jumlah tiang pancang di tiap titik *joint* pondasi *friction pile* pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada **Tabel 5.14**, dan **Tabel 5.15**, dan **Tabel 5.16**.

Tabel 5.14 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint*

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
1	182,01	2	0,048	OK
2	191,23	2	0,052	OK
3	219,55	2	0,061	OK
4	231,14	2	0,065	OK
5	232,73	2	0,065	OK
6	230,19	2	0,065	OK
7	220,51	2	0,061	OK
8	203,96	2	0,055	OK
9	192,05	2	0,052	OK
10	180,98	2	0,048	OK
11	152,29	2	0,040	OK
12	173,75	2	0,045	OK
13	205,96	2	0,055	OK
14	208,01	2	0,058	OK
15	233,90	2	0,065	OK
16	216,47	2	0,061	OK
17	195,37	2	0,055	OK
18	190,44	2	0,052	OK
19	170,81	2	0,045	OK
20	154,68	2	0,040	OK
21	220,34	2	0,061	OK
22	218,51	2	0,061	OK
23	189,95	2	0,052	OK
24	187,59	2	0,052	OK
25	173,38	2	0,045	OK
26	150,55	2	0,040	OK
27	149,45	2	0,040	OK
28	129,70	2	0,034	OK

Tabel 5.14 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
29	136,96	2	0,034	OK
30	147,56	2	0,040	OK
31	159,86	2	0,042	OK
32	175,14	2	0,045	OK
33	186,33	2	0,048	OK
34	156,32	2	0,042	OK
35	152,63	2	0,040	OK
36	134,03	2	0,034	OK
37	116,24	1	0,065	OK
38	235,38	2	0,069	OK
39	213,53	2	0,058	OK
40	215,44	2	0,058	OK
41	213,66	2	0,058	OK
42	205,06	2	0,055	OK
43	189,46	2	0,052	OK
44	185,11	2	0,048	OK
45	168,01	2	0,045	OK
46	167,10	2	0,045	OK
47	161,31	2	0,042	OK
48	141,80	2	0,037	OK
49	134,22	2	0,034	OK
50	201,22	2	0,055	OK
51	119,29	1	0,069	OK
53	175,82	2	0,045	OK
54	171,74	2	0,045	OK
55	178,21	2	0,048	OK
56	181,55	2	0,048	OK
57	172,17	2	0,045	OK

Tabel 5.14 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
57	172,17	2	0,045	OK
58	156,64	2	0,042	OK
59	142,95	2	0,037	OK
60	166,76	2	0,042	OK
61	178,84	2	0,048	OK
62	143,97	2	0,037	OK
63	126,93	2	0,031	OK
64	88,77	2	0,021	OK
65	128,70	2	0,034	OK
610	242,29	2	0,069	OK
663	241,72	2	0,069	OK
714	241,62	2	0,069	OK
1003	196,98	2	0,055	OK
Total Jumlah Tiang		134		

Tabel 5.15 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint*

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
1	216,99	2	0,051	OK
2	239,35	2	0,056	OK
3	251,45	2	0,059	OK
4	264,32	2	0,062	OK
5	309,35	3	0,045	OK
6	269,44	2	0,065	OK
7	255,34	2	0,059	OK
8	232,32	2	0,053	OK
9	221,34	2	0,051	OK
10	206,48	2	0,048	OK
11	198,45	2	0,045	OK
12	206,77	2	0,048	OK
13	235,12	2	0,053	OK
14	246,68	2	0,056	OK
15	255,47	2	0,062	OK
16	251,88	2	0,059	OK
17	236,88	2	0,056	OK
18	225,44	2	0,051	OK
19	199,44	2	0,045	OK
20	191,44	2	0,043	OK
21	269,44	2	0,065	OK
22	254,45	2	0,059	OK
23	237,55	2	0,056	OK
24	232,44	2	0,053	OK
25	212,34	2	0,048	OK
26	195,55	2	0,045	OK
27	178,35	2	0,040	OK
28	157,45	2	0,035	OK

Tabel 5.15 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
29	167,44	2	0,035	OK
30	192,44	2	0,043	OK
31	210,44	2	0,048	OK
32	219,99	2	0,051	OK
33	240,79	2	0,056	OK
34	194,23	2	0,045	OK
35	178,90	2	0,040	OK
36	167,44	2	0,035	OK
37	134,90	1	0,065	OK
38	265,35	2	0,062	OK
39	266,35	2	0,065	OK
40	266,35	2	0,056	OK
41	256,35	2	0,035	OK
42	241,44	2	0,065	OK
43	239,46	2	0,035	OK
44	224,46	2	0,035	OK
45	227,46	2	0,053	OK
46	200,46	2	0,056	OK
47	188,44	2	0,043	OK
48	174,46	2	0,038	OK
49	161,46	2	0,035	OK
50	239,46	2	0,056	OK
51	128,35	1	0,062	OK
53	229,35	2	0,035	OK
54	224,66	2	0,051	OK
55	224,55	2	0,051	OK
56	223,44	2	0,051	OK
57	212,45	2	0,048	OK

Tabel 5.15 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
57	212,45	2	0,048	OK
58	207,46	2	0,048	OK
59	181,33	2	0,040	OK
60	197,56	2	0,045	OK
61	208,44	2	0,048	OK
62	188,46	2	0,043	OK
63	176,44	2	0,040	OK
64	136,34	1	0,069	OK
65	153,34	2	0,033	OK
610	290,44	2	0,051	OK
663	278,35	2	0,069	OK
714	283,44	2	0,069	OK
1003	231,35	2	0,053	OK
Total Jumlah Tiang		134		

Tabel 5.16 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint*

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
1	226,16	2	0,053	OK
2	260,00	2	0,059	OK
3	291,86	2	0,066	OK
4	311,73	2	0,071	OK
5	336,14	2	0,078	OK
6	321,39	2	0,073	OK
7	301,22	2	0,069	OK
8	284,11	2	0,064	OK
9	291,91	2	0,066	OK
10	263,59	2	0,059	OK
11	221,10	2	0,050	OK
12	241,51	2	0,055	OK
13	268,96	2	0,062	OK
14	282,62	2	0,066	OK
15	303,06	2	0,071	OK
16	296,82	2	0,069	OK
17	280,60	2	0,064	OK
18	262,46	2	0,059	OK
19	205,10	2	0,048	OK
20	215,23	2	0,046	OK
21	285,65	2	0,066	OK
22	304,53	2	0,071	OK
23	283,15	2	0,064	OK
24	234,35	2	0,055	OK
25	245,57	2	0,055	OK
26	227,40	2	0,053	OK
27	207,31	2	0,048	OK
28	184,75	2	0,042	OK

Tabel 5.16 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
29	204,38	2	0,048	OK
30	223,65	2	0,050	OK
31	241,35	2	0,055	OK
32	254,07	2	0,059	OK
33	266,44	2	0,062	OK
34	215,05	2	0,048	OK
35	194,70	2	0,044	OK
36	193,89	2	0,046	OK
37	152,33	2	0,071	OK
38	334,61	2	0,078	OK
39	325,76	2	0,073	OK
40	299,30	2	0,066	OK
41	301,78	2	0,069	OK
42	287,85	2	0,066	OK
43	267,50	2	0,062	OK
44	242,62	2	0,055	OK
45	262,14	2	0,059	OK
46	219,34	2	0,050	OK
47	225,49	2	0,053	OK
48	219,54	2	0,046	OK
49	181,59	2	0,042	OK
50	312,94	2	0,071	OK
51	165,98	2	0,076	OK
53	280,53	2	0,064	OK
54	271,72	2	0,062	OK
55	275,64	2	0,062	OK
56	264,13	2	0,062	OK
57	254,47	2	0,057	OK

Tabel 5.16 Rekap Jumlah Tiang *Friction Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pi (ton)	Jumlah Tiang	Z (m)	Kontrol
59	204,18	2	0,048	OK
60	231,80	2	0,055	OK
61	253,35	2	0,059	OK
62	212,95	2	0,050	OK
63	192,93	2	0,046	OK
64	199,68	2	0,046	OK
65	142,09	2	0,069	OK
610	343,59	2	0,078	OK
663	338,93	2	0,078	OK
714	320,41	2	0,078	OK
1003	273,91	2	0,064	OK
Total Jumlah Tiang		136		

BAB VI PONDASI END BEARING PILE

6.1 Perencanaan Pondasi Tiang

Dalam perencanaan ini digunakan tiang pancang PC *spun pile* dengan memenuhi syarat: nilai $Q_{ijin} > P_{max}$. Untuk batas jarak antar tiang adalah $2,5D - 3D$, dimana jarak antar tiang (s) yang dipakai adalah 1,5 m untuk diameter 0,6 m, untuk rekapannya dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Cara mengetahui jumlah tiang pancang yang dibutuhkan pada satu kolom jika direncanakan menggunakan 1 tiang pancang nilai $Q_{ijin} > P_{max}$. Kontrol beban maksimum 1 tiang yang bekerja pada satu tiang (*single pile*) dihitung berdasarkan gaya aksial yang bekerja pada kolom tertentu. Untuk nilai beban aksial yang digunakan adalah beban yang didapatkan dari permodelan *SAP2000* dimana untuk hasil nilai P nya ($F3$) dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Berikut ini adalah contoh perhitungan kontrol jumlah tiang pancang untuk bangunan rumah sakit berlantai 5 pada *joint 1* dengan diameter 0,6 m.

$$\text{Total tiang} = 1$$

$$\text{Efisiensi tiang pancang} = 1$$

$$Q_{ijin} = 172,98 \text{ ton (kedalaman 40 m)}$$

$$F3 = 256,97 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} P_{maks} &= \frac{F3}{n} \\ &= \frac{256,97}{1} \\ &= 256,97 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$Q_{ijin} \times \text{efisiensi} > P_{max}$$

$$172,98 \times 1 > 256,97 \text{ ton}$$

$$172,98 \text{ ton} > 256,97 \text{ ton} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total tiang} &= 2 \\
 \text{Efisiensi tiang pancang} &= 0,879 \\
 P_{\text{maks}} &= \frac{F_3}{n} \\
 &= \frac{256,97}{2} \\
 &= 128,49 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ijin}} \times \text{efisiensi} &> P_{\text{max}} \\
 172,98 \times 0,879 &> 128,49 \text{ ton} \\
 152,03 \text{ ton} &> 128,49 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan pada bangunan rumah sakit berlantai 5 di *joint* 1 adalah 2 buah. Untuk selisih antara Q_{ijin} satu tiang dan P_{max} yang terjadi dibuat sekecil mungkin sehingga agar kebutuhan tiang pancang efektif (tidak boros). Untuk rekapan perhitungan jumlah tiang pancang di tiap titik *joint* pondasi *end bearing pile* pada bangunan berlantai 3, 4, dan 5 dapat dilihat pada **Tabel 6.1**, dan **Tabel 6.2**, dan **Tabel 6.3**.

Tabel 6.1 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint*

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
1	101,08	2	152,03	OK
2	103,85	2	152,03	OK
3	86,59	2	152,03	OK
4	90,63	2	152,03	OK
5	114,28	2	152,03	OK
6	166,84	1	172,98	OK
7	138,67	1	172,98	OK
8	137,91	1	172,98	OK
9	87,55	2	152,03	OK
10	165,83	1	172,98	OK
11	120,78	1	172,98	OK
12	156,08	1	172,98	OK
13	127,22	1	172,98	OK
14	128,14	1	172,98	OK
15	145,14	1	172,98	OK
16	172,50	1	172,98	OK
17	156,42	1	172,98	OK
18	155,34	1	172,98	OK
19	91,39	2	152,03	OK
20	137,56	1	172,98	OK
21	130,79	2	152,03	OK
22	137,49	2	152,03	OK
23	108,25	2	152,03	OK
24	102,50	2	152,03	OK
25	102,46	2	152,03	OK
26	114,94	2	152,03	OK

Tabel 6.1 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
27	87,82	2	152,03	OK
28	91,85	2	152,03	OK
29	117,19	2	152,03	OK
30	108,94	2	152,03	OK
31	108,68	2	152,03	OK
32	110,41	2	152,03	OK
33	103,51	2	152,03	OK
34	63,90	1	172,98	OK
35	76,21	1	172,98	OK
36	105,16	1	172,98	OK
37	115,86	1	172,98	OK
38	117,48	3	131,08	OK
39	89,27	3	131,08	OK
40	106,42	2	152,03	OK
41	147,60	1	172,98	OK
42	60,77	1	172,98	OK
43	89,58	1	172,98	OK
44	90,79	1	172,98	OK
45	107,07	1	172,98	OK
46	131,49	1	172,98	OK
47	134,60	1	172,98	OK
48	137,73	1	172,98	OK
49	143,37	1	172,98	OK
50	97,08	2	152,03	OK
51	132,19	1	172,98	OK
53	119,09	1	172,98	OK

Tabel 6.1 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
54	118,97	2	152,03	OK
55	105,71	1	172,98	OK
56	126,73	2	152,03	OK
57	82,08	1	172,98	OK
58	118,73	2	152,03	OK
59	83,04	3	131,08	OK
60	87,18	3	131,08	OK
61	83,65	3	131,08	OK
62	10,25	1	172,98	OK
63	9,67	1	172,98	OK
64	7,96	1	172,98	OK
65	132,92	1	172,98	OK
610	112,52	3	131,08	OK
663	92,71	3	131,08	OK
714	129,77	2	152,03	OK
1003	71,82	1	172,98	OK
Total Jumlah Tiang		108		

Tabel 6.2 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint*

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
1	115,32	2	152,03	OK
2	122,43	2	152,03	OK
3	107,69	2	152,03	OK
4	117,33	2	152,03	OK
5	147,92	2	152,03	OK
6	107,61	2	152,03	OK
7	86,80	2	152,03	OK
8	163,59	1	172,98	OK
9	98,84	2	152,03	OK
10	91,11	2	152,03	OK
11	137,03	1	172,98	OK
12	89,62	2	152,03	OK
13	151,81	1	172,98	OK
14	158,44	1	172,98	OK
15	91,62	2	152,03	OK
16	109,32	2	152,03	OK
17	99,06	2	152,03	OK
18	96,61	2	152,03	OK
19	109,92	2	152,03	OK
20	165,92	1	172,98	OK
21	77,70	3	131,08	OK
22	82,93	3	131,08	OK
23	134,91	2	152,03	OK
24	127,54	2	152,03	OK
25	126,30	2	152,03	OK
26	138,75	2	152,03	OK

Tabel 6.2 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
27	106,98	2	152,03	OK
28	112,85	2	152,03	OK
29	142,28	2	152,03	OK
30	266,99	1	172,98	OK
31	267,18	1	172,98	OK
32	271,91	1	172,98	OK
33	126,85	2	152,03	OK
34	72,56	1	172,98	OK
35	94,79	1	172,98	OK
36	132,73	1	172,98	OK
37	146,50	1	172,98	OK
38	130,02	3	131,08	OK
39	104,33	3	131,08	OK
40	131,22	2	152,03	OK
41	93,64	2	152,03	OK
42	86,83	1	172,98	OK
43	118,34	1	172,98	OK
44	118,46	1	172,98	OK
45	137,70	1	172,98	OK
46	166,73	1	172,98	OK
47	170,18	1	172,98	OK
48	86,96	2	152,03	OK
49	89,68	2	152,03	OK
50	120,02	2	152,03	OK
51	167,61	1	172,98	OK
53	166,42	1	172,98	OK

Tabel 6.2 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
54	138,68	2	152,03	OK
55	154,01	1	172,98	OK
56	144,77	2	152,03	OK
57	126,16	1	172,98	OK
58	134,31	2	152,03	OK
59	103,06	3	131,08	OK
60	108,60	3	131,08	OK
61	105,50	3	131,08	OK
62	11,79	1	172,98	OK
63	11,04	1	172,98	OK
64	9,04	1	172,98	OK
65	162,81	1	172,98	OK
610	130,25	3	131,08	OK
663	106,59	3	131,08	OK
714	150,82	2	152,03	OK
1003	95,46	1	172,98	OK
Total Jumlah Tiang		118		

Tabel 6.3 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint*

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
1	128,49	2	152,03	OK
2	141,11	2	152,03	OK
3	130,24	2	152,03	OK
4	144,93	2	152,03	OK
5	89,78	3	131,08	OK
6	130,28	2	152,03	OK
7	105,77	2	152,03	OK
8	96,32	2	152,03	OK
9	110,29	2	152,03	OK
10	98,28	2	152,03	OK
11	152,96	1	172,98	OK
12	101,50	2	152,03	OK
13	89,14	2	152,03	OK
14	95,08	2	152,03	OK
15	109,65	2	152,03	OK
16	131,41	2	152,03	OK
17	120,13	2	152,03	OK
18	116,15	2	152,03	OK
19	128,93	2	152,03	OK
20	97,61	2	152,03	OK
21	89,68	3	131,08	OK
22	96,64	3	152,03	OK
23	321,30	1	172,98	OK
24	305,07	1	172,98	OK
25	300,34	1	172,98	OK
26	324,99	1	172,98	OK

Tabel 6.3 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
27	126,29	2	152,03	OK
28	133,52	2	152,03	OK
29	333,45	1	172,98	OK
30	315,18	1	172,98	OK
31	316,71	1	172,98	OK
32	322,43	1	172,98	OK
33	299,69	1	172,98	OK
34	81,17	1	172,98	OK
35	114,43	1	172,98	OK
36	160,90	1	172,98	OK
37	88,59	2	152,03	OK
38	129,52	3	131,08	OK
39	119,66	3	131,08	OK
40	77,75	3	131,08	OK
41	112,79	2	152,03	OK
42	112,62	1	172,98	OK
43	148,01	1	172,98	OK
44	147,33	1	172,98	OK
45	169,78	1	172,98	OK
46	101,63	2	152,03	OK
47	103,11	2	152,03	OK
48	104,74	2	152,03	OK
49	107,05	2	152,03	OK
50	142,83	2	152,03	OK
51	101,47	2	152,03	OK
53	104,93	2	152,03	OK

Tabel 6.3 Rekap Jumlah Tiang *End Bearing Pile* pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint* (Lanjutan)

Joint	Pmax (ton)	Jumlah Tiang	Qijin (ton)	Kontrol
54	80,44	3	131,08	OK
55	98,49	2	152,03	OK
56	82,98	3	131,08	OK
57	164,44	1	172,98	OK
58	76,52	3	131,08	OK
59	122,70	3	131,08	OK
60	129,78	3	131,08	OK
61	127,28	3	131,08	OK
62	13,21	1	172,98	OK
63	12,31	1	172,98	OK
64	10,06	1	172,98	OK
65	96,42	2	152,03	OK
610	130,10	3	131,08	OK
663	119,93	3	131,08	OK
714	85,56	3	131,08	OK
1003	59,67	1	172,98	OK
Total Jumlah Tiang		129		

6.2 Perencanaan *Poer*

Data-data perencanaan:

Dimensi *poer* = 3 x 3 m

Tebal *poer* = 500 mm

$f'c$ = 30 MPa

f_y = 400 MPa

D tulangan utama = D22

Tebal selimut = 40 mm

Tinggi Efektif

Arah x (dx) = 500 - 40 - 22/2 = 449 mm

Arah y (dy) = 500 - 40 - 22 - 22/2 = 427 mm

a. Kontrol Geser Ponds

$$\beta_c = \frac{3}{3} = 1$$

$$\begin{aligned} b_o &= \pi (D+d) \\ &= \pi (3000) \\ &= 9424,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) x \frac{\sqrt{f'c} b_o d}{6} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) x \frac{\sqrt{30} x 9424,78 x 449}{6} \\ &= 11589057,03 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(\frac{\alpha x d}{b_o} + 2\right) x \frac{\sqrt{f'c} b_o d}{6} \\ &= \left(\frac{40 x 449}{9424,78} + 2\right) x \frac{\sqrt{30} x 9424,78 x 449}{6} \\ &= 15087465,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c} b_o d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{30} x 9424,78 x 449 \\ &= 7726038,02 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka V_c minimum yang dipakai adalah 7726038,02 N

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 x 7726038,02 \\ &= 5794528,516 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 355,59 \text{ ton}$$

$$= 3488316,32 \text{ N}$$

$\phi V_c > P_u \text{ max}$ maka poer mampu menahan gaya geser akibat beban aksial kolom

b. Penulangan *Poer*

- Penulangan Longitudinal Arah X

$$b = 3000 \text{ mm}$$

$$M_u \text{ max} = 51968,3 \text{ tm} = 509809060 \text{ Nmm}$$

$$\beta_i = 0,85 - \frac{0,05(f'c - 30)}{7}$$

$$= 0,85 - \frac{0,05(30 - 30)}{7}$$

$$= 0,84 > 0,65 \text{ (memenuhi)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,032$$

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

$$= 0,75 \times 0,032$$

$$= 0,024$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{\frac{0,85 f'c}{400}}$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{400}$$

$$= 15,69$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{509809060}{0,9}$$

$$= 566454511,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$$

$$= \frac{566454511,6}{3000 \times 449^2}$$

$$= 0,937$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,937}{400}} \right) \\ &= 0,00239\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Asperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004 \times 3000 \times 449 \\ &= 4714,50 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{\text{Asperlu}}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\ &= \frac{4714,50}{\frac{1}{4}\pi 22^2} \\ &= 12,4 \approx 13 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan} &= \frac{b}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{3000}{13 - 1} \\ &= 250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 3 \times \text{tebal pelat} \\ &= 250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 1500 \text{ mm (memenuhi)}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur arah X: D22 - 250

- Penulangan Longitudinal Arah Y

$$b = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Mu max} = 51968,3 \text{ tm} = 509809060 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\beta_i &= 0,85 - \frac{0,05(f'c - 30)}{7} \\ &= 0,85 - \frac{0,05(30 - 30)}{7} \\ &= 0,84 > 0,65 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,032 \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{509809060}{0,9} = 566454511,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{566454511,6}{3000 \times 427^2} = 1,036$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,036}{400}} \right) = 0,00264$$

$$A_{\text{asperlu}} = \rho \times b \times d = 0,004 \times 3000 \times 427 = 4483,50 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{\text{asperlu}}}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{4483,50}{\frac{1}{4} \pi 22^2} = 11,7 \approx 12 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b}{\frac{\text{jumlah tulangan}-1}{3000}} = \frac{3000}{12-1} = 272,73 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 3 \times \text{tebal pelat} = 272,73 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 1500 \text{ mm (memenuhi)}$$

Digunakan tulangan lentur arah Y: D22 – 270

Untuk dimensi poer 4x4 dengan tebal poer 500 mm, digunakan tulangan lentur arah X: D22 – 250 dengan jumlah tulangan 17 buah. Tulangan lentur arah Y: D22 – 260 dengan jumlah 16 buah.

6.3 Perbandingan Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya pada Tugas Akhir ini, hanya sebatas biaya bahan yang dikeluarkan dari perhitungan pondasi tiang pancang (*spun pile*) dan tulangan poer (HSPK Surabaya 2018). Rencana anggaran biaya untuk pondasi *friction pile* dapat dilihat pada **Tabel 6.4**, **Tabel 6.5**, dan **Tabel 6.6**, sedangkan untuk pondasi *end bearing pile* dapat dilihat pada **Tabel 6.7**, **Tabel 6.8**, dan **Tabel 6.9**.

Tabel 6.4 Estimasi Biaya Material Pondasi *Friction Pile* untuk Gedung 3 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	134	14	1876	Rp 418.750,00	Rp 785.575.000,00
2.	Pemancangan Tiang	134	14	1876	Rp 76.800,00	Rp 144.076.800,00
No.	Jenis Material	Volume			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	306			Rp 3.754.825,00	Rp 1.148.976.450,00
Total						Rp 2.078.628.250,00

Tabel 6.5 Estimasi Biaya Material Pondasi *Friction Pile* untuk Gedung 4 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	134	17	2278	Rp 418.750,00	Rp 953.912.500,00
2.	Pemancangan Tiang	134	17	2278	Rp 76.800,00	Rp 174.950.400,00
No.	Jenis Material	Volume			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	544			Rp 3.754.825,00	Rp 2.042.624.800,00
Total						Rp 3.171.487.700,00

Tabel 6.6 Estimasi Biaya Material Pondasi *Friction Pile* untuk Gedung 5 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	136	23	3128	Rp 418.750,00	Rp 1.309.850.000,00
2.	Pemancangan Tiang	136	23	3128	Rp 76.800,00	Rp 240.230.400,00
No.	Jenis Material	Volume			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	544			Rp 3.754.825,00	Rp 2.042.624.800,00
Total						Rp 3.592.705.200,00

Tabel 6.7 Estimasi Biaya Material Pondasi *End-Bearing Pile* untuk Gedung 3 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	108	40	4320	Rp 418.750,00	Rp 1.809.000.000,00
2.	Pemancangan Tiang	108	40	4320	Rp 76.800,00	Rp 331.776.000,00
No.	Jenis Material	Volume			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	544			Rp 3.754.825,00	Rp 2.042.624.800,00
Total						Rp 4.183.400.800,00

Tabel 6.8 Estimasi Biaya Material Pondasi *End-Bearing Pile* untuk Gedung 4 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	118	40	4720	Rp 418.750,00	Rp 1.976.500.000,00
2.	Pemancangan Tiang	118	40	4720	Rp 76.800,00	Rp 362.496.000,00
No.	Jenis Material	Volume (m3)			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	544			Rp 3.754.825,00	Rp 2.042.624.800,00
Total						Rp 4.381.620.800,00

Tabel 6.9 Estimasi Biaya Material Pondasi *End-Bearing Pile* untuk Gedung 5 Lantai

No.	Jenis Material	Jumlah Tiang, n (buah)	Panjang Tiang , L (m)	Lxn	Harga/m (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Pondasi Spun Pile D60	129	40	5160	Rp 418.750,00	Rp 2.160.750.000,00
2.	Pemancangan Tiang	129	40	5160	Rp 76.800,00	Rp 396.288.000,00
No.	Jenis Material	Volume (m3)			Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Penulangan Poer	544			Rp 3.754.825,00	Rp 2.042.624.800,00
Total						Rp 4.599.662.800,00

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII KESIMPULAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul Perencanaan Pondasi Tiang Lekatan pada Gedung Tingkat 3 s/d 5 di Atas Tanah Lunak yang Tebal dengan Ketentuan Penurunan Merata dalam Jangka Panjang, dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Besar penurunan maximum pondasi *friction pile* yang dapat terjadi pada jangka panjang (dalam jangka waktu 25 tahun) untuk masing-masing gedung bertingkat, dapat dilihat pada **Tabel 7.1**.

Tabel 7.1 Rekap Nilai Penurunan pada Masing-Masing Gedung

Bangunan	Si (m)	Skonsolidasi (m)	Screep (m)	Sc Total (m)
Berlantai 3	0,060	0,061	0,0825	0,20
Berlantai 4	0,060	0,067	0,0633	0,19
Berlantai 5	0,060	0,064	0,0373	0,16

2. Penurunan yang terjadi pada pondasi *friction pile* relatif merata dimana selisih nilai penurunan antar kolom tidak melebihi 1/300 (syarat penurunan *differential* yang diizinkan). Untuk selisih nilai antara Z_{max} dan Z_{min} juga tidak melebihi 1/300 .
3. Hasil perencanaan pondasi *friction pile* dan *end bearing pile*, dapat dilihat pada **Tabel 7.2**.

Tabel 7.2 Rekap dari Hasil Perencanaan Pondasi Tiang

Keterangan	<i>Friction Pile</i>		<i>End Bearing Pile</i>	
	Panjang (m)	Jumlah (buah)	Panjang (m)	Jumlah (buah)
Tingkat 3	14	134	40	108
Tingkat 4	17	134	40	118
Tingkat 5	23	136	40	129

4. Biaya perencanaan pondasi yang lebih murah pada gedung tingkat 3 s/d 5 adalah perencanaan pondasi *friction pile* dengan metode *P-Z curve* daripada pondasi *end-bearing pile* dengan metode konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah : Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. dan Sobhan, K. 2010. **Principles of Foundation Engineering Sixth Edition, SI. USA**: Cengage Learning.
- Devina, R.S., Mochtar, I.B., Lastiasih, Y. 2015. **Analisis Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Konvensional dan Metode P-Y Curve pada Lapisan Tanah Lunak yang Tebal: Studi Kasus Kota Banjarmasin Dengan Kedalaman Tanah Keras-40 Meter**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Gumelar, D.A., Lastiasih, Y, Satria, T. R. 2019. **Perbandingan Pondasi Bangunan Bertingkat untuk Pondasi Dangkal dengan Perbaikan Tanah dan Pondasi Dalam tanpa Perbaikan Tanah pada Tanah yang Berpotensi Likuifaksi di Kabupaten Cilacap**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Kumalasari, Putu Tantri, Mochtar, I.B. 2008. **Analisa Pemodelan 3 Dimensi Sistem Struktur Gedung dengan Pondasi Dangkal di Atas Tanah Lunak yang Mengakibatkan Penurunan Konsolidasi Merata**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

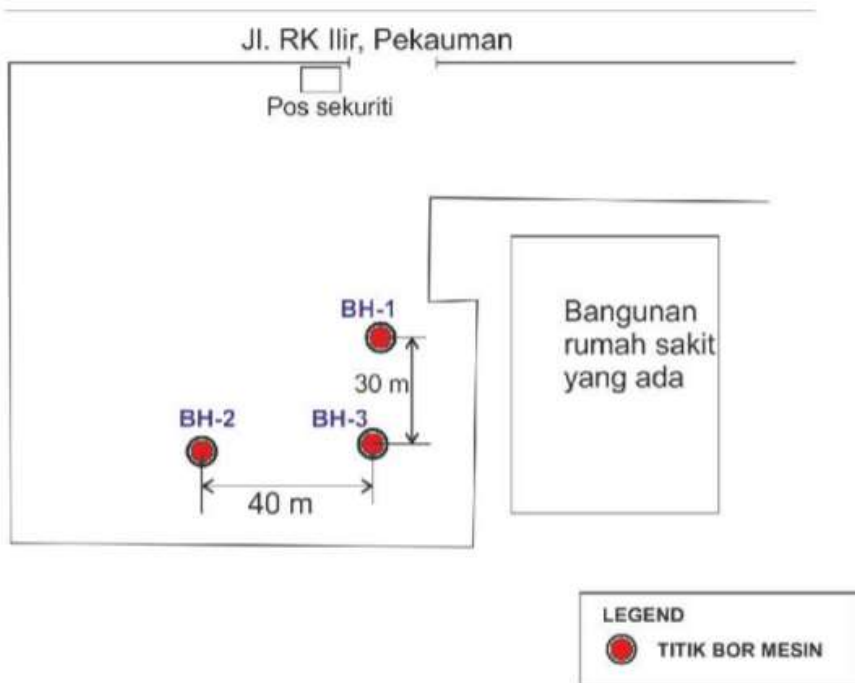
- Lastiasih, Yudhi dan Mochtar, I.B. 2004. **Studi Perencanaan Sistem Struktur Gedung dengan Pondasi Dangkal yang Dapat Mengakibatkan Penurunan Konsolidasi Merata.** Tesis Magister. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- NAVFAC DM-7.01, September 1986, **Design Manual: Soil Mechanics**, Naval Facilities Engineering Command.
- NAVFAC DM-7.02, September 1986, **Design Manual: Soil Mechanics, Foundation & Earth Structures** Naval Facilities Engineering Command.
- Prasetyo, R.D., Mochtar, I.B., Lastiasih, Y. 2018. **Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Konvensional dan Metode P-Z Curve pada Modifikasi Gedung Apartemen Puncak MERR Surabaya.** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Putri, B.W., Mochtar, I.B., Endah, Noor. 2018. **Perencanaan Pondasi Silo dan Timbunan serta Perkuatannya pada LNG Regasification Plant di PLTGU Kalsel Peaker 200 MW, Barito Kuala, Kalimantan Selatan.** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- SNI 1726-2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung**
- SNI 8460-2017. **Persyaratan Perancangan Geoteknik**

- Yudiawati, Y., dan Mochtar, I.B. 2003. **Penurunan Rangkak Tiang Pancang Lekatan Berdasarkan Data Lapangan dan Hasil Percobaan Tiang Tunggal dan Kelompok.** Tesis Magister. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Yudiawati, Y., Mochtar, I.B. 2019. **Perilaku Beban-Penurunan Akibat Pembebanan Jangka Panjang pada Kelompok Tiang Lekatan di Lapangan.** Disertasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

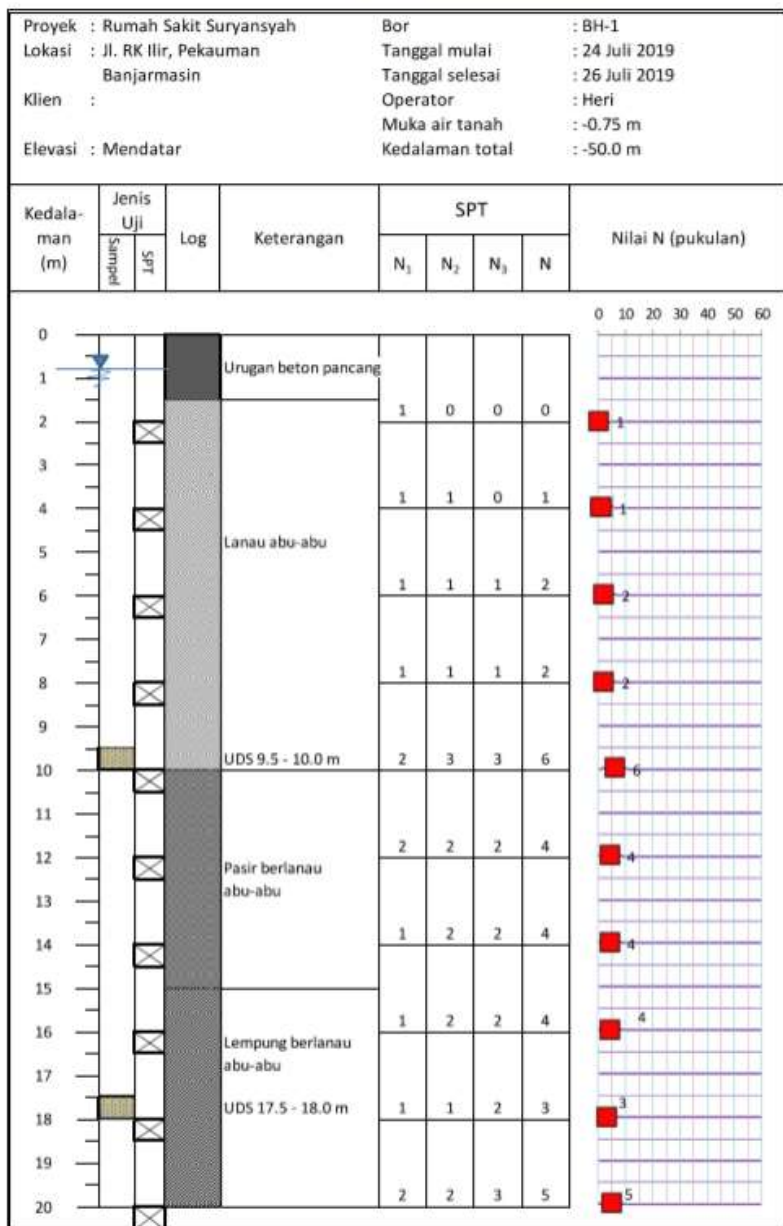
LOKASI PENYELIDIKAN TANAH



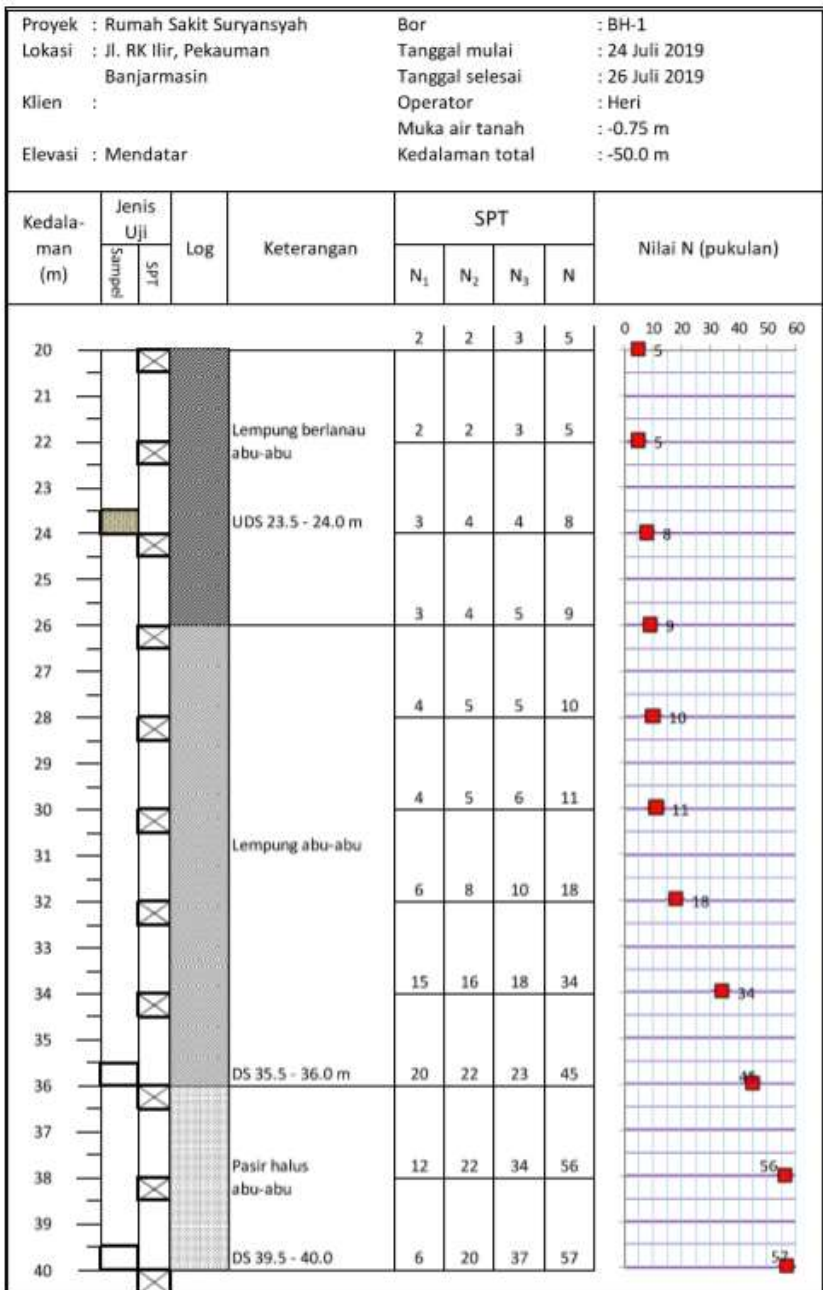
BOR DAN SPT

1. BH-1

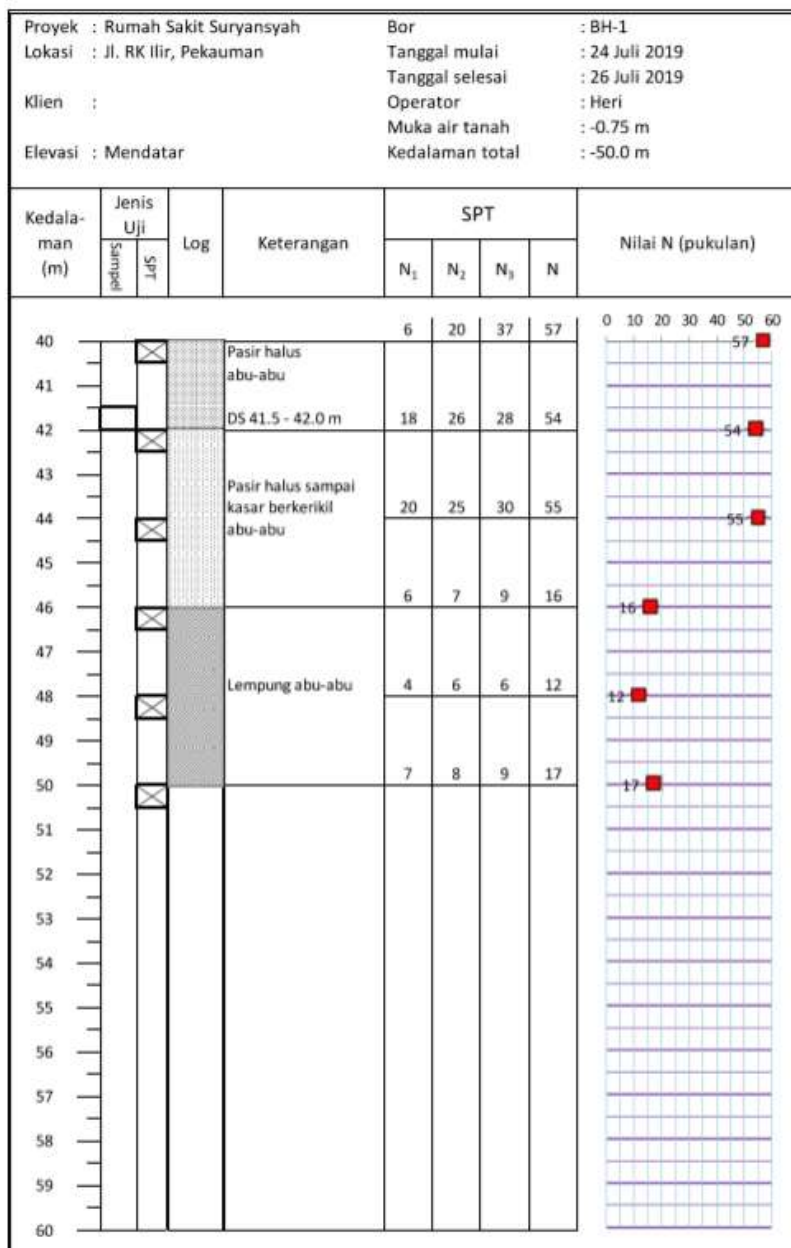
a. Kedalaman 0 – 20.0 m



b. Kedalaman 20.0 – 40.0 m

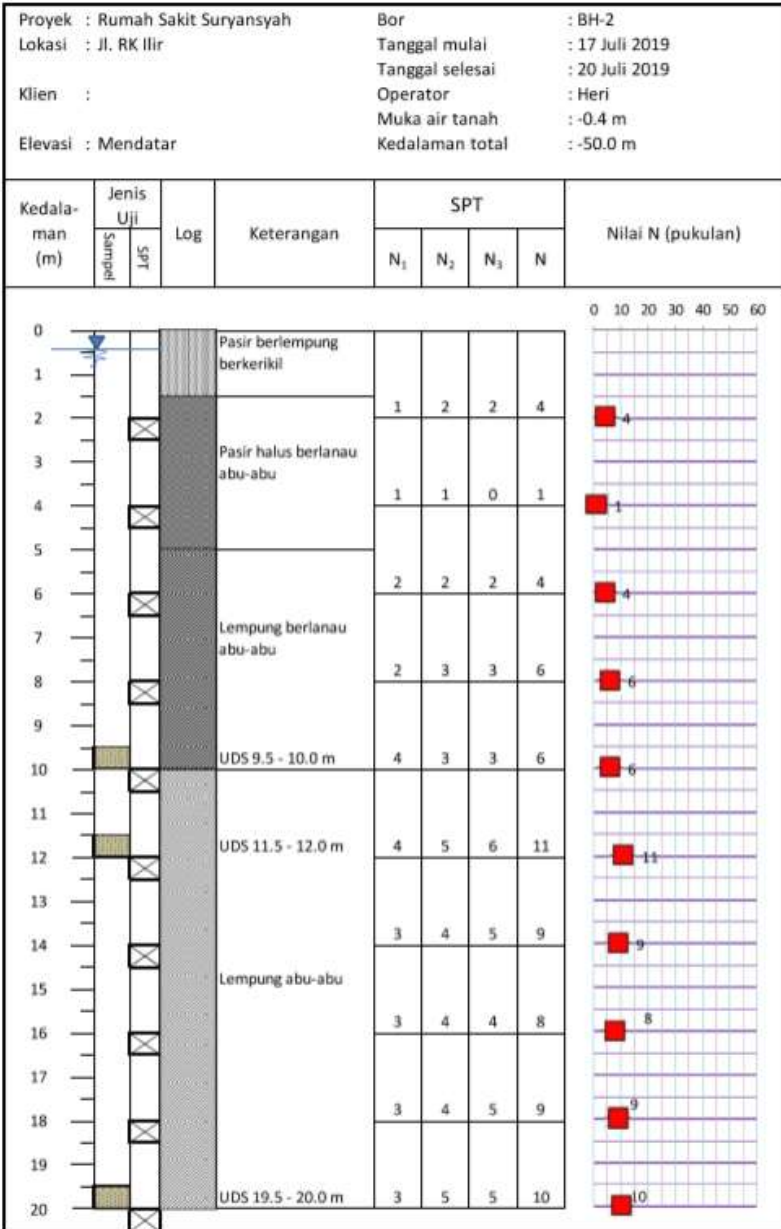


c. Kedalaman 40.0 – 50.5 m

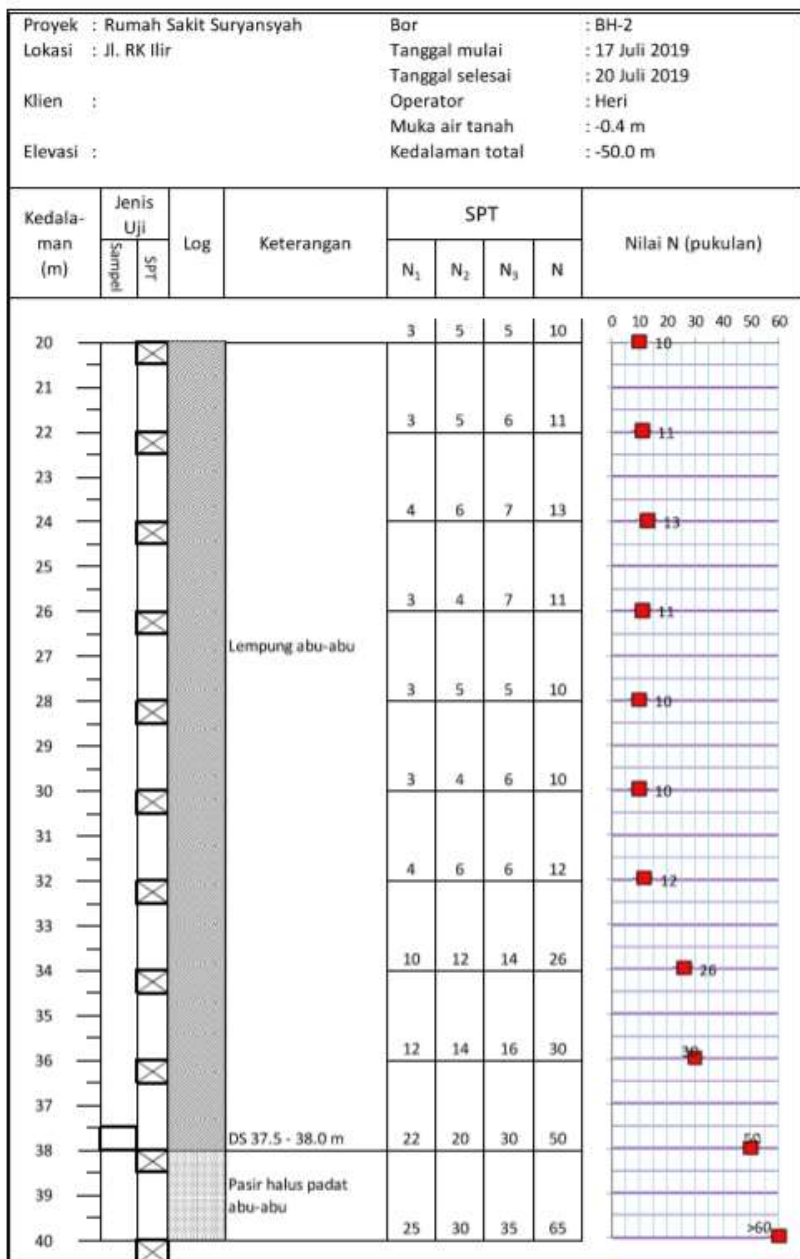


2. BH-2

a. Kedalaman 0 – 20.0 m

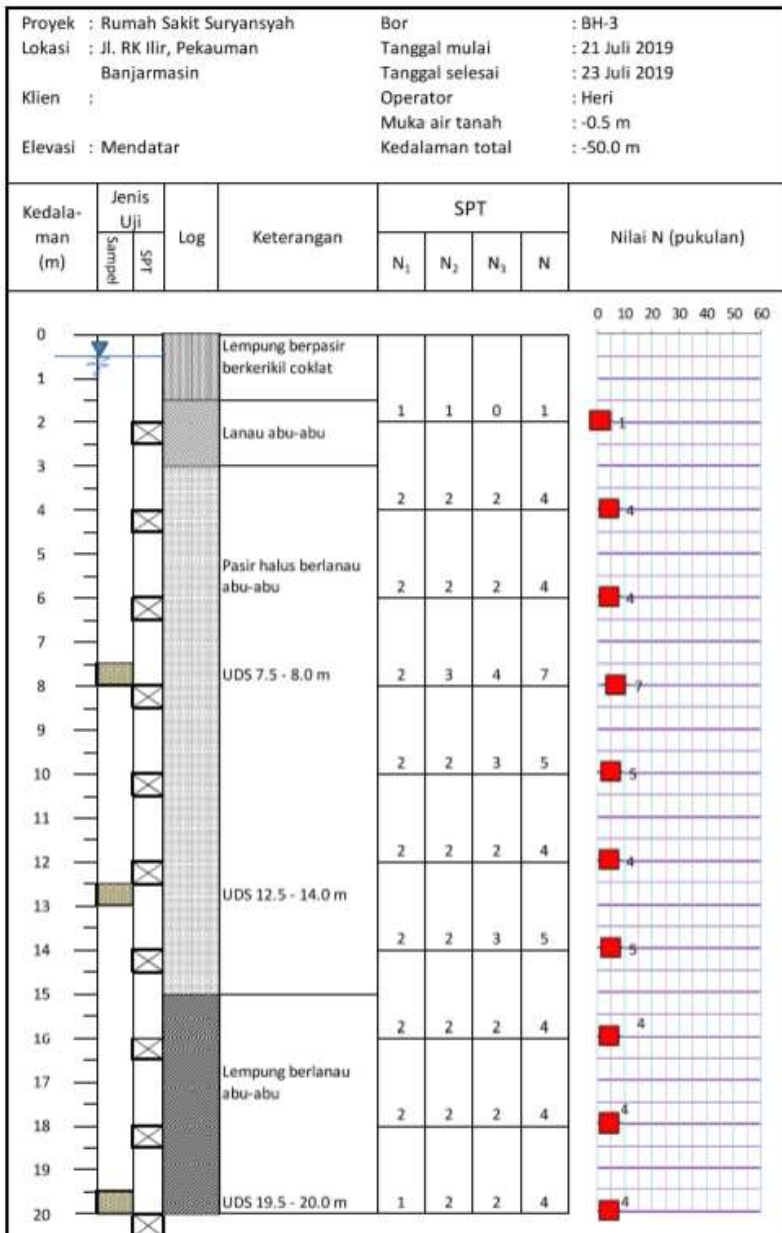


b. Kedalaman 20.0 – 40.0 m

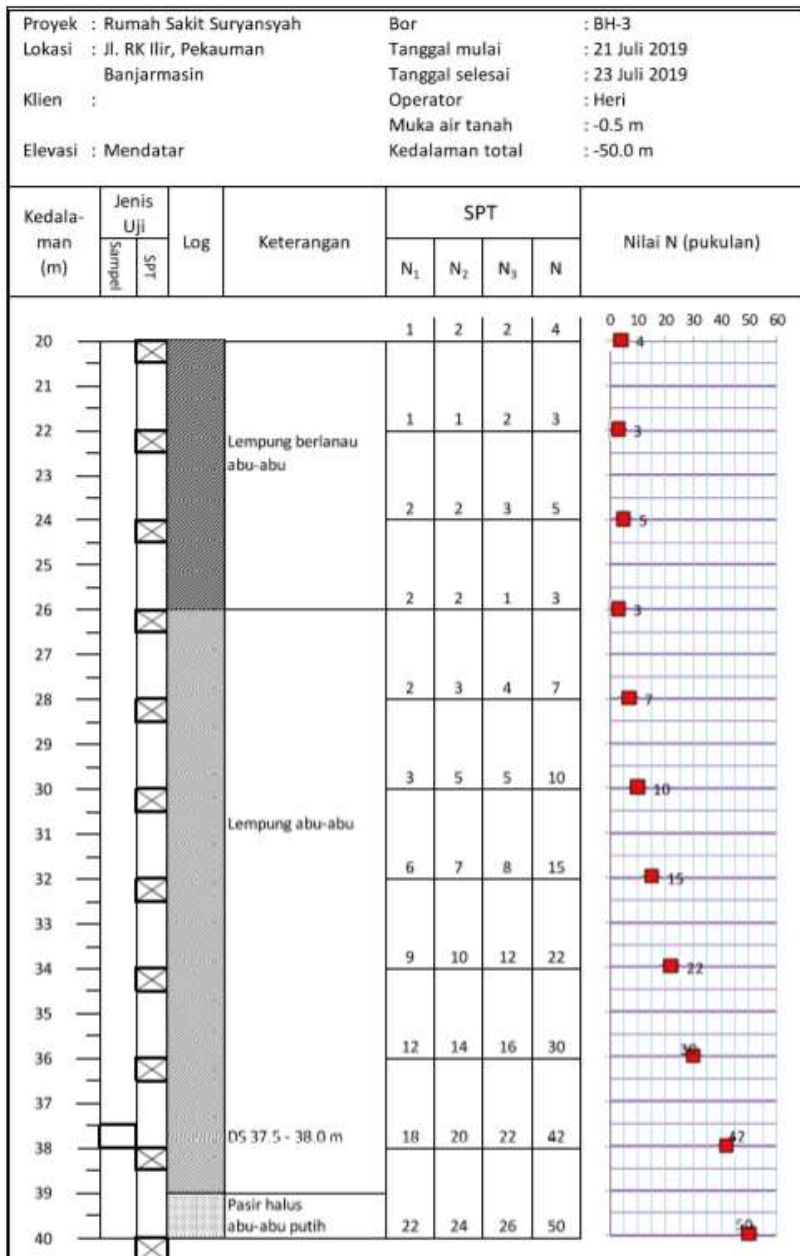


3. BH-3

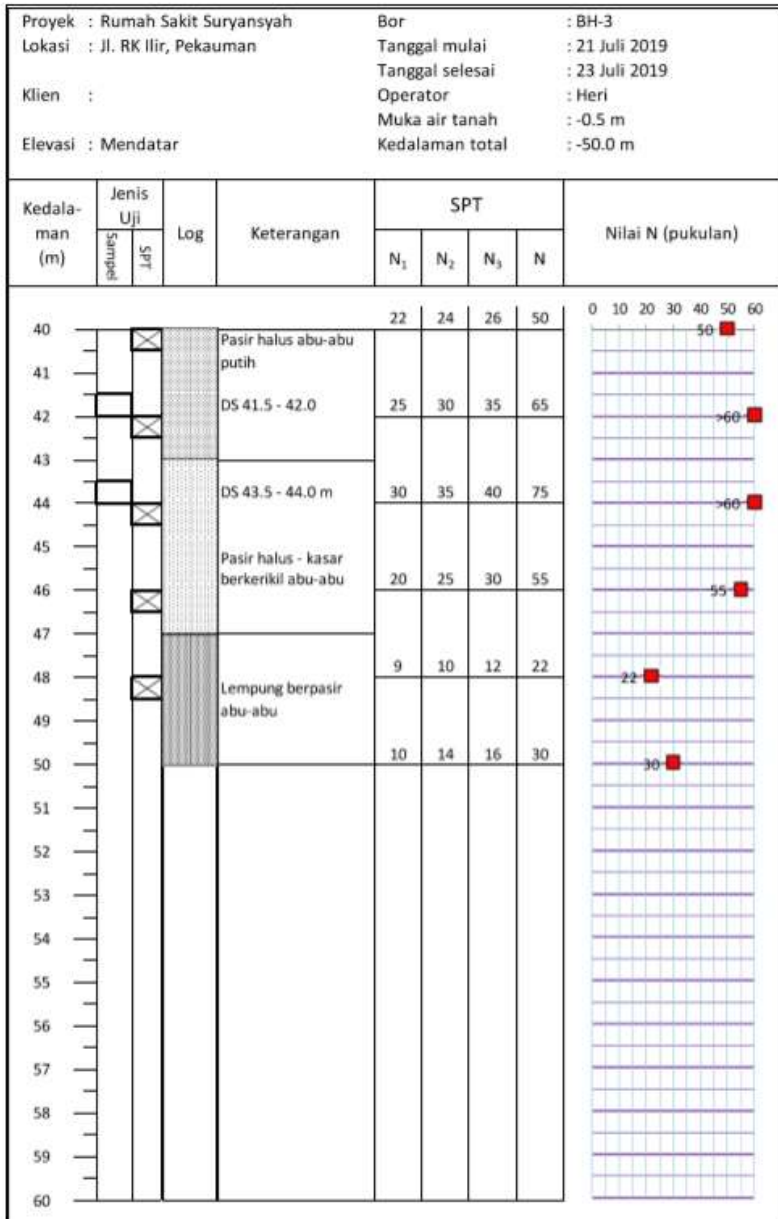
a. Kedalaman 0 – 20.0 m



b. Kedalaman 20.0 – 40.0 m



c. Kedalaman 40.0 – 50.5 m



LAMPIRAN 2

SHOP DRAWING

PENYERVI TUJUAN

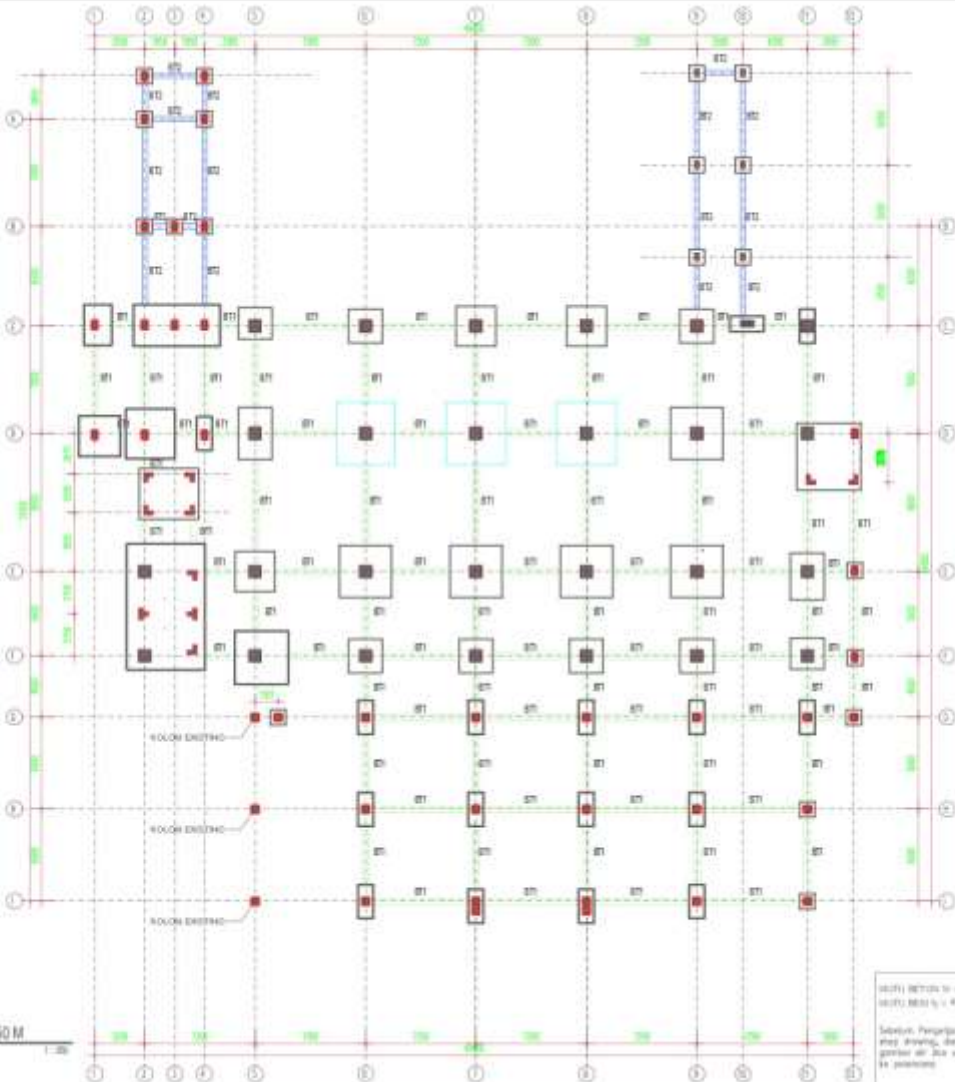
DINAS PERKULIAHAN UMUM DAN
PENATAAN RUANG KOTA BANJARMASIN
J. WISATA - KAWASAN BUKIT - 31 BUKITMULIA

KEDUA TAN

PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT UMUM
DESAH (LANJUTAN) TAHUN 2019
KOTA BANJARMASIN - KAJAMATAN SELATAN

LOKASI JAJARAN

JL. DR. S. R. BANJARMASIN
KAYUPLAN



BEKAS BETON C₃₀ - 25 MPa
BESI S275 - 460 MPa

Seluruh Penggambaran Formulasir wajib ditulis menggunakan
pena drawing, dan apabila ada perubahan harus
ditulis di luar area ruang kerja gambar/drawing.
Ea. penanggung

DENAH BALOK EL. -1.50 M
1:25

KARTU GAMBAR	
DENAH BALOK (1V-1.50)	
NOMOR GAMBAR	SKALA
02-STR-38/20	1:250
REVISI/GAMBAR	REVISI
01-1.00	01

SHOP DRAWING

PERMITS TUMAS

DINAS PEKERJAAN UMUM DAN
PENATAAN RUANG KOTA BANJARMASIN
J. BERSUDIT KADANGKUN FOC 32 BANJARMASIN

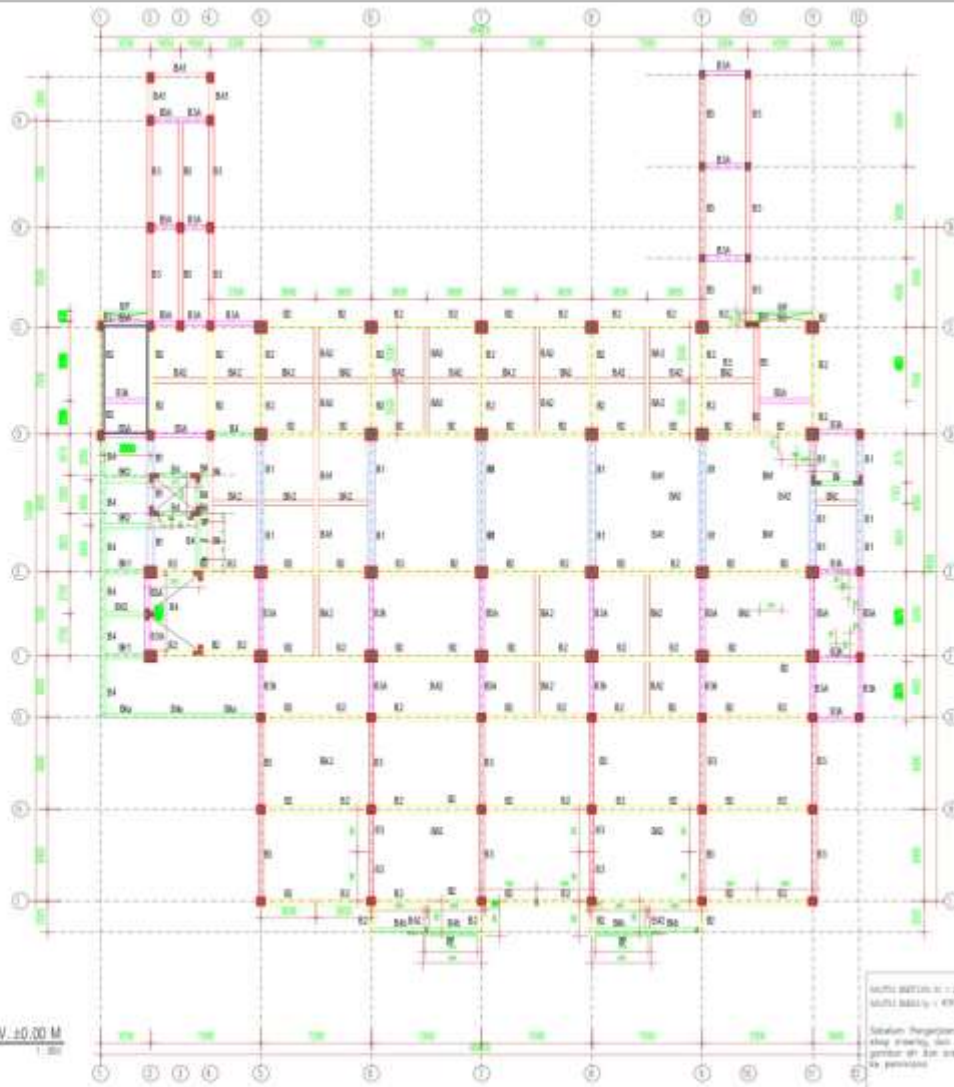
REKAM DOK

PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT UMUM
DEWAH (LANJUTAN) TAHUN 2019
KOTA BANJARMASIN - KABUPATEN SELATAN

LOKASI/LOKASI

JL. RK. I, R. BANJARMASIN

KEY PLAN



3 DENAH BALOK LT. 1 ELV. ±0.00 M
REVISI/REVISI
1/2019

SKALA: 1:200
SKALA: 1:200

Seluruh Pengantar Struktur wajib untuk diserahkan
kepada instansi, dan apabila ada perubahan struktur
gantung di luar ini maka harus disetujui
oleh perencana

REVISI

DENAH BALOK LT. 1 ELV. ±0.00

NO	REVISI	REVISI
01	01	01
02	02	02
03	03	03

SHOP DRAWING

PEMBERTUGAS

DINAS PEKERJAAN UMUM DAN
PENATAAN RUANG KOTA BANJARMASIN
J. DR. SUDHANA, PERSIDANGAN, KOTA BANJARMASIN

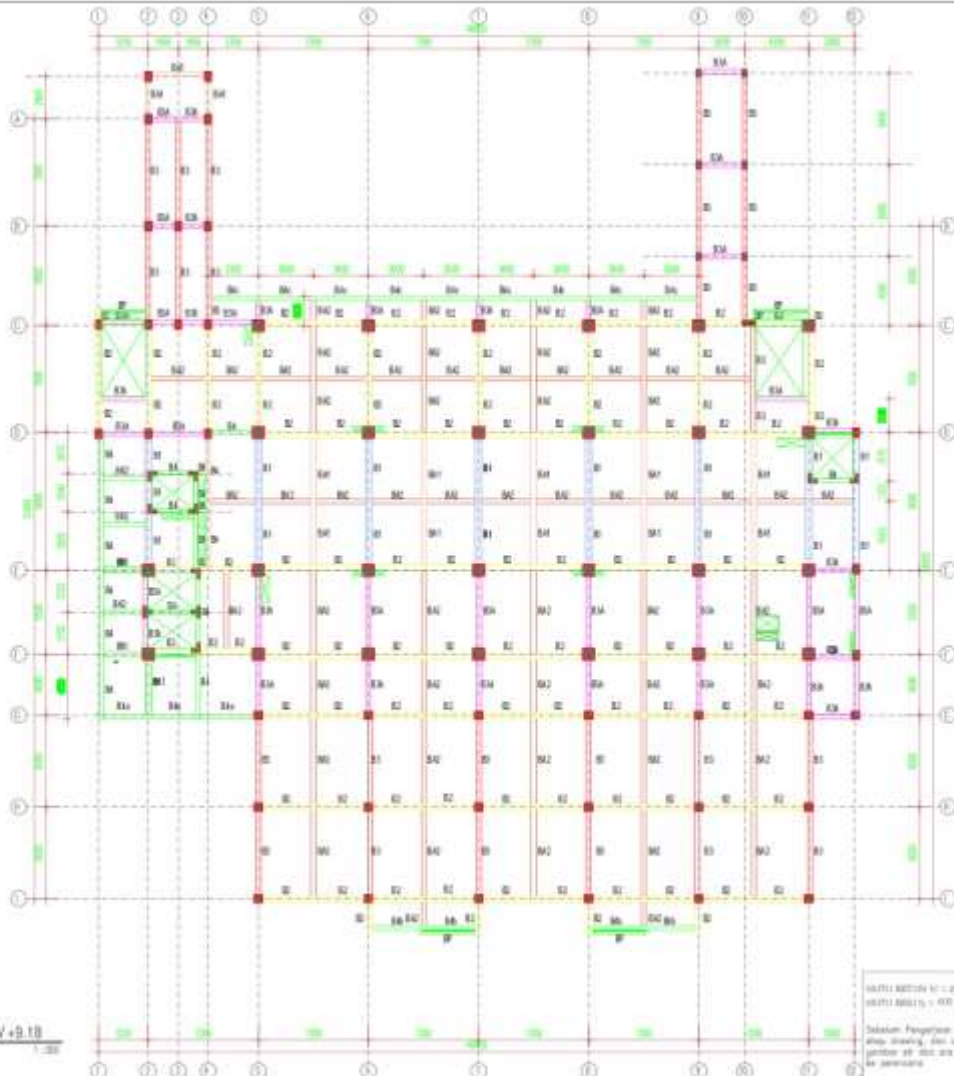
REVISI

PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT UMUM
DERAH (LANJUTAN) TAHUN 2019
KOTA BANJARMASIN - KALIMANTAN SELATAN

LOKASI KAWAS

JL. RR. 6/R BANJARMASIN

KEY PLAN



3 DENAH BALOK LT. 3 ELV +9.18
REVISI

1:200

SAKSI KETIKAN : 00 MPa
SAKSI BENTUK : 00 MPa

Selama Pengujian dilakukan uji coba menggunakan
shop drawing dan spesifikasi pekerjaan, setelah
pemeriksaan dan tidak terdapat ketidaklengkapan
dan kesalahan.

REVISI

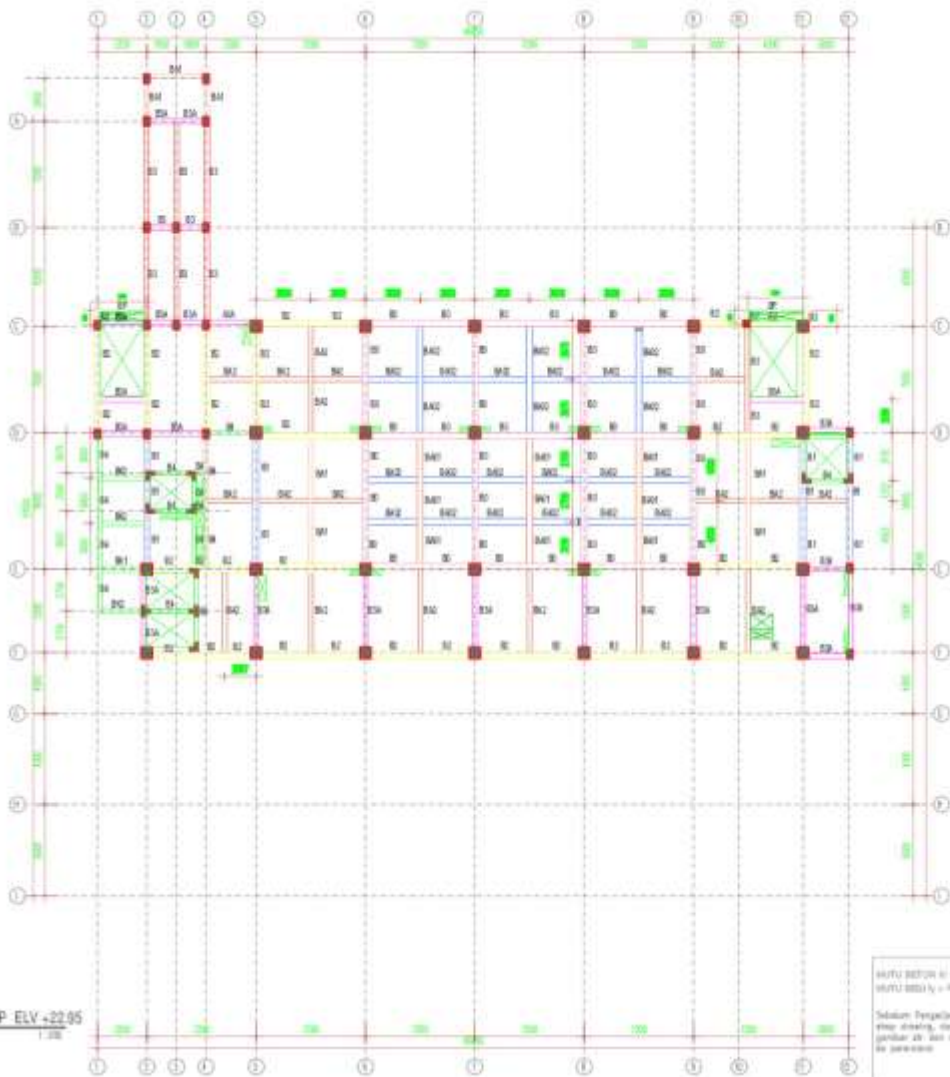
DENAH BALOK LT. 3 ELV +9.18

NO. REVISI

01

REVISI

01



SHOP DRAWING

PEMBERITUJUAN
 DINAS PEKERJAAN UMUM DAN
 PENATAAN RUANG KOTA BANJARMASIN
 J. BRUNO (1) HANUSMARTO (2) GUNARAJAN (3)

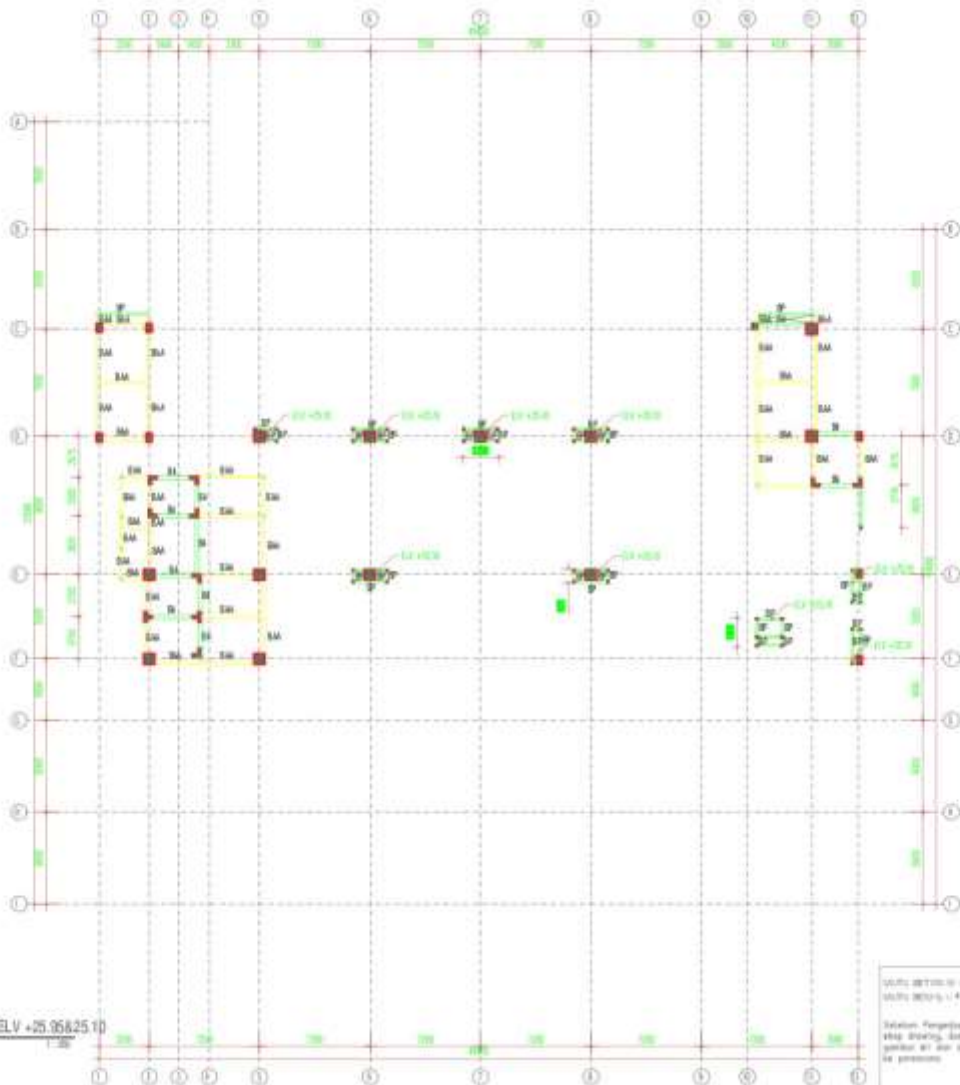
KOTA BANJARAN
 PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT UMUM
 DERAH | LAMAJATAN | TAHUN 2019
 KOTA BANJARMASIN - KALIMANTAN SELATAN

LOKASI GEDUNG
 JL. RK. II, BANJARMASIN
 KEY PLAN

width: 200px; height: 20px
 width: 200px; height: 20px

Sebelum digunakan sebaiknya perlu untuk memeriksa
 shop drawing, dan apabila ada perbedaan antara
 gambar ini dan yang telah disetujui
 di persiapkan.

REVISI	
NO. BALOK	NO. A
10-110-10.26	1/200
REVISI	REVISI
10-110	01



SHOP DRAWING

PERMISI TUMBUK

DINAS PERKULIAHAN UMUM DAN
PONTAAN RUANG KOTA BANJARMASIN
Jl. Sekeloa Timur No. 100, Banjarmasin

KEDIRI

PENBANGUNAN RUMAH SAKIT UMUM
DEDAH (LAKUITAN) TAHUN 2019
KOTA BANJARMASIN - KALIMANTAN SELATAN

12001

JL. RK. 6.00 BANJARMASIN
KERTAN

ASAL USUL

DENAH BALOK ATAP ELY +25.95

NO. GAMBAR 01-016-38.37

NO. SKED 1.250

NO. PERMISI 0100

100-170

SKALA: 1:200

NO. SKED: 1.250

Salah satu bagian dari gambar ini adalah untuk keperluan
shop drawing, dan apabila ada perubahan atau
gubahan di atas ini maka harus disetujui
di kemudian.

3 DENAH BALOK ATAP ELY +25.95/25.10

117

10/03/2019

LAMPIRAN 3

Tabel Rekap Reaksi Perletakan Rol pada Masing-Masing Bangunan

Joint	Berlantai 3		Berlantai 4		Berlantai 5	
	F3		F3		F3	
	Kgf	Ton	Kgf	Ton	Kgf	Ton
1	202161	202,16	230644	230,64	256974	256,97
2	207704	207,70	244858	244,86	282219	282,22
3	173187	173,19	215374	215,37	260476	260,48
4	181258	181,26	234656	234,66	289866	289,87
5	228550	228,55	295832	295,83	359107	359,11
6	166842	166,84	215228	215,23	260569	260,57
7	138666	138,67	173606	173,61	211535	211,54
8	137910	137,91	163590	163,59	192645	192,65
9	175107	175,11	197672	197,67	220574	220,57
10	165826	165,83	182220	182,22	196567	196,57
11	120780	120,78	137030	137,03	152962	152,96
12	156076	156,08	179234	179,23	203001	203,00
13	127225	127,22	151811	151,81	178277	178,28
14	128135	128,14	158436	158,44	190169	190,17
15	145138	145,14	183234	183,23	219293	219,29
16	172503	172,50	218633	218,63	262815	262,81
17	156419	156,42	198110	198,11	240270	240,27
18	155337	155,34	193215	193,21	232291	232,29
19	182770	182,77	219838	219,84	257859	257,86
20	137560	137,56	165916	165,92	195220	195,22
21	261579	261,58	310786	310,79	358725	358,72
22	274971	274,97	331725	331,72	386551	386,55
23	216493	216,49	269821	269,82	321295	321,30

**Tabel Rekap Reaksi Perletakan Rol pada Masing-Masing
Bangunan**

Joint	Berlantai 3		Berlantai 4		Berlantai 5	
	F3		F3		F3	
	Kgf	Ton	Kgf	Ton	Kgf	Ton
24	204993	204,99	255089	255,09	305073	305,07
25	204922	204,92	252593	252,59	300339	300,34
26	229882	229,88	277502	277,50	324988	324,99
27	175631	175,63	213969	213,97	252582	252,58
28	183691	183,69	225698	225,70	267032	267,03
29	234389	234,39	284555	284,56	333452	333,45
30	217885	217,88	266989	266,99	315181	315,18
31	217357	217,36	267177	267,18	316709	316,71
32	220817	220,82	271908	271,91	322426	322,43
33	207025	207,03	253700	253,70	299690	299,69
34	63903	63,90	72561	72,56	81170	81,17
35	76213	76,21	94794	94,79	114426	114,43
36	105165	105,16	132734	132,73	160898	160,90
37	115856	115,86	146501	146,50	177174	177,17
38	469926	469,93	520076	520,08	518097	518,10
39	357074	357,07	417306	417,31	478625	478,63
40	212838	212,84	262441	262,44	310989	310,99
41	147604	147,60	187284	187,28	225582	225,58
42	60772	60,77	86826	86,83	112622	112,62
43	89575	89,58	118335	118,34	148008	148,01
44	90786	90,79	118463	118,46	147329	147,33
45	107065	107,07	137703	137,70	169779	169,78
46	131486	131,49	166735	166,73	203265	203,26
47	134605	134,60	170183	170,18	206217	206,22
48	137735	137,73	173915	173,92	209480	209,48

**Tabel Rekap Reaksi Perletakan Rol pada Masing-Masing
Bangunan**

Joint	Berlantai 3		Berlantai 4		Berlantai 5	
	F3		F3		F3	
	Kgf	Ton	Kgf	Ton	Kgf	Ton
49	143370	143,37	179366	179,37	214109	214,11
50	194160	194,16	240048	240,05	285656	285,66
51	132194	132,19	167612	167,61	202944	202,94
53	119090	119,09	166420	166,42	209859	209,86
54	237935	237,93	277359	277,36	321753	321,75
55	105707	105,71	154006	154,01	196984	196,98
56	253455	253,45	289545	289,54	331926	331,93
57	82083	82,08	126161	126,16	164436	164,44
58	237470	237,47	268620	268,62	306088	306,09
59	332178	332,18	412221	412,22	490811	490,81
60	348738	348,74	434389	434,39	519130	519,13
61	334601	334,60	422017	422,02	509119	509,12
62	10247	10,25	11789	11,79	13215	13,21
63	9668	9,67	11045	11,04	12313	12,31
64	7961	7,96	9039	9,04	10058	10,06
65	132919	132,92	162810	162,81	192839	192,84
610	450061	450,06	520989	520,99	520417	520,42
663	370847	370,85	426357	426,36	479704	479,70
714	259550	259,55	301648	301,65	342252	342,25
1003	71821	71,82	95455	95,46	119347	119,35
TOTAL		12243,45		14923,40		17473,35

LAMPIRAN 4

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
1	202,16	2	101,08	0,055	1846
2	207,70	2	103,85	0,058	1789
3	173,19	2	86,59	0,045	1907
4	181,26	2	90,63	0,048	1871
5	228,55	2	114,28	0,065	1759
6	166,84	2	83,42	0,045	1837
7	138,67	2	69,33	0,037	1887
8	137,91	2	68,96	0,037	1877
9	175,11	2	87,55	0,045	1928
10	165,83	2	82,91	0,042	1953
11	120,78	1	120,78	0,069	1760
12	156,08	2	78,04	0,042	1838
13	127,22	2	63,61	0,031	2036
14	128,14	2	64,07	0,034	1886
15	145,14	2	72,57	0,037	1976
16	172,50	2	86,25	0,045	1899
17	156,42	2	78,21	0,042	1842
18	155,34	2	77,67	0,040	1963
19	182,77	2	91,39	0,048	1887
20	137,56	2	68,78	0,037	1872
21	261,58	3	87,19	0,048	1800
22	274,97	3	91,66	0,048	1892
23	216,49	2	108,25	0,061	1762
24	204,99	2	102,50	0,055	1872
25	204,92	2	102,46	0,055	1872

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
26	229,88	2	114,94	0,065	1769
27	175,63	2	87,82	0,045	1934
28	183,69	2	91,85	0,048	1896
29	234,39	2	117,19	0,065	1804
30	217,88	2	108,94	0,061	1773
31	217,36	2	108,68	0,061	1769
32	220,82	2	110,41	0,061	1797
33	207,03	2	103,51	0,058	1783
34	63,90	1	63,90	0,034	1882
35	76,21	1	76,21	0,040	1926
36	105,16	1	105,16	0,058	1812
37	115,86	1	115,86	0,065	1783
38	469,93	4	117,48	0,065	1808
39	357,07	3	119,02	0,069	1734
40	212,84	2	106,42	0,058	1834
41	147,60	2	73,80	0,040	1866
42	60,77	1	60,77	0,031	1945
43	89,58	1	89,58	0,048	1849
44	90,79	1	90,79	0,048	1874
45	107,07	1	107,07	0,061	1743
46	131,49	2	65,74	0,034	1936
47	134,60	2	67,30	0,034	1982
48	137,73	2	68,87	0,037	1875
49	143,37	2	71,69	0,037	1952
50	194,16	2	97,08	0,052	1883
51	132,19	2	66,10	0,034	1946

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
53	119,09	2	59,54	0,069	868
54	237,93	2	118,97	0,069	1734
55	105,71	2	52,85	0,058	911
56	253,45	2	126,73	0,045	2791
57	82,08	1	82,08	0,042	1934
58	237,47	2	118,73	0,069	1730
59	332,18	3	110,73	0,061	1802
60	348,74	3	116,25	0,065	1789
61	334,60	3	111,53	0,061	1815
62	10,25	1	10,25	0,006	1613
63	9,67	1	9,67	0,006	1522
64	7,96	1	7,96	0,006	1253
65	132,92	2	66,46	0,034	1957
610	450,06	3	150,02	0,061	2442
663	370,85	3	123,62	0,069	1801
714	259,55	3	86,52	0,045	1905
1003	71,82	1	71,82	0,037	1955

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint

Joint	P1 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P1 untuk 1 Tiang (ton)	Z1 (m)	k1 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	181,31	2	90,65	0,048	1872	21
2	190,43	2	95,21	0,058	1640	17
3	218,54	2	109,27	0,045	2406	45
4	230,36	2	115,18	0,048	2378	49
5	232,20	2	116,10	0,065	1787	4
6	229,68	2	114,84	0,045	2529	63
7	219,76	2	109,88	0,037	2991	81
8	202,98	2	101,49	0,037	2763	65
9	192,96	2	96,48	0,048	1992	18
10	179,58	2	89,79	0,042	2115	14
11	151,07	2	75,54	0,069	1101	30
12	172,65	2	86,32	0,042	2033	17
13	207,24	2	103,62	0,034	3051	80
14	207,29	2	103,64	0,034	3052	79
15	233,38	2	116,69	0,037	3177	88
16	216,00	2	108,00	0,045	2378	43
17	194,69	2	97,35	0,042	2293	38
18	191,91	2	95,95	0,042	2260	37
19	169,72	2	84,86	0,048	1752	13
20	153,43	2	76,71	0,037	2088	16
21	219,49	3	73,16	0,045	1611	42
22	218,29	3	72,76	0,048	1502	57
23	189,55	2	94,77	0,061	1542	27
24	186,94	2	93,47	0,055	1707	18
25	172,52	2	86,26	0,055	1576	32

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P1 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P1 untuk 1 Tiang (ton)	Z1 (m)	k1 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	149,58	2	74,79	0,065	1151	80
27	148,20	2	74,10	0,045	1632	27
28	128,56	2	64,28	0,048	1327	55
29	136,05	2	68,02	0,065	1047	98
30	146,83	2	73,41	0,061	1195	71
31	159,31	2	79,65	0,061	1296	58
32	174,78	2	87,39	0,061	1422	46
33	186,16	2	93,08	0,058	1604	21
34	154,95	2	77,48	0,034	2281	91
35	151,26	2	75,63	0,040	1912	75
36	132,80	2	66,40	0,058	1144	28
37	115,10	1	115,10	0,065	1772	1
38	235,34	2	117,67	0,065	1811	235
39	213,52	2	106,76	0,069	1556	144
40	215,46	2	107,73	0,058	1856	3
41	213,77	2	106,89	0,040	2702	66
42	205,21	2	102,60	0,031	3284	144
43	189,52	2	94,76	0,048	1956	100
44	185,07	2	92,54	0,048	1910	94
45	166,74	2	83,37	0,058	1436	60
46	166,75	2	83,38	0,034	2455	35
47	162,76	2	81,38	0,037	2215	28
48	141,07	2	70,54	0,037	1920	3
49	133,29	2	66,65	0,037	1814	10
50	202,64	1	202,64	0,055	3702	8
51	118,18	1	118,18	0,034	3480	14

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P1 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P1 untuk 1 Tiang (ton)	Z1 (m)	k1 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	175,92	2	87,96	0,069	1282	57
54	171,76	2	85,88	0,069	1251	66
55	178,32	2	89,16	0,058	1536	73
56	181,61	2	90,81	0,045	2000	72
57	172,27	2	86,13	0,042	2029	90
58	156,71	2	78,35	0,069	1142	81
59	142,35	2	71,17	0,061	1158	190
60	166,48	2	83,24	0,065	1281	182
61	178,77	2	89,38	0,061	1455	156
62	143,91	2	71,95	0,006	11326	134
63	126,69	2	63,34	0,006	9971	117
64	88,34	1	88,34	0,006	13905	80
65	127,71	2	63,86	0,034	1880	5
610	242,85	3	80,95	0,061	1317	207
663	241,42	2	120,71	0,069	1759	129
714	241,36	2	120,68	0,045	2658	18
1003	196,13	2	98,07	0,037	2670	124

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap
Joint**

Joint	P2 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P2 untuk 1 Tiang (ton)	Z2 (m)	k2 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	182,01	2	91,01	0,048	1879	0,71
2	191,23	2	95,62	0,052	1855	0,81
3	219,55	2	109,77	0,061	1787	1,01
4	231,14	2	115,57	0,065	1779	0,78
5	232,73	2	116,36	0,065	1791	0,53
6	230,19	2	115,10	0,065	1772	0,52
7	220,51	2	110,26	0,061	1794	0,76
8	203,96	2	101,98	0,055	1863	0,97
9	192,05	2	96,03	0,052	1863	0,91
10	180,98	2	90,49	0,048	1868	1,40
11	152,29	2	76,14	0,040	1925	1,22
12	173,75	2	86,88	0,045	1913	1,10
13	205,96	2	102,98	0,055	1881	1,27
14	208,01	2	104,01	0,058	1792	0,72
15	233,90	2	116,95	0,065	1800	0,51
16	216,47	2	108,23	0,061	1762	0,47
17	195,37	2	97,69	0,055	1784	0,68
18	190,44	2	95,22	0,052	1847	1,47
19	170,81	2	85,41	0,045	1881	1,09
20	154,68	2	77,34	0,040	1955	1,26
21	220,34	2	110,17	0,061	1793	0,85
22	218,51	2	109,26	0,061	1778	0,22
23	189,95	2	94,98	0,052	1842	0,41
24	187,59	2	93,80	0,052	1820	0,65
25	173,38	2	86,69	0,045	1909	0,85

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P2 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P2 untuk 1 Tiang (ton)	Z2 (m)	k2 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	150,55	2	75,28	0,040	1903	0,98
27	149,45	2	74,72	0,040	1889	1,24
28	129,70	2	64,85	0,034	1909	1,14
29	136,96	2	68,48	0,034	2016	0,92
30	147,56	2	73,78	0,040	1865	0,73
31	159,86	2	79,93	0,042	1883	0,56
32	175,14	2	87,57	0,045	1929	0,37
33	186,33	2	93,17	0,048	1923	0,17
34	156,32	2	78,16	0,042	1841	1,37
35	152,63	2	76,31	0,040	1929	1,37
36	134,03	2	67,02	0,034	1973	1,24
37	116,24	1	116,24	0,065	1789	1,14
38	235,38	2	117,69	0,069	1715	0,04
39	213,53	2	106,77	0,058	1840	0,02
40	215,44	2	107,72	0,058	1856	0,02
41	213,66	2	106,83	0,058	1841	0,11
42	205,06	2	102,53	0,055	1873	0,15
43	189,46	2	94,73	0,052	1838	0,06
44	185,11	2	92,56	0,048	1911	0,04
45	168,01	2	84,01	0,045	1850	1,27
46	167,10	2	83,55	0,045	1840	0,35
47	161,31	2	80,65	0,042	1900	1,45
48	141,80	2	70,90	0,037	1930	0,73
49	134,22	2	67,11	0,034	1976	0,93
50	201,22	2	100,61	0,055	1838	1,42
51	119,29	1	119,29	0,069	1738	1,11

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 3 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P2 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P2 untuk 1 Tiang (ton)	Z2 (m)	k2 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	175,82	2	87,91	0,045	1936	0,09
54	171,74	2	85,87	0,045	1891	0,02
55	178,21	2	89,10	0,048	1840	0,11
56	181,55	2	90,77	0,048	1874	0,07
57	172,17	2	86,09	0,045	1896	0,09
58	156,64	2	78,32	0,042	1845	0,07
59	142,95	2	71,47	0,037	1946	0,60
60	166,76	2	83,38	0,042	1964	0,28
61	178,84	2	89,42	0,048	1846	0,07
62	143,97	2	71,99	0,037	1960	0,07
63	126,93	2	63,46	0,031	2031	0,24
64	88,77	2	44,38	0,021	2130	0,43
65	128,70	2	64,35	0,034	1895	0,98
610	242,29	2	121,14	0,069	1765	0,56
663	241,72	2	120,86	0,069	1761	0,29
714	241,62	2	120,81	0,069	1760	0,27
1003	196,98	2	98,49	0,055	1799	0,85

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap Joint

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
1	230,64	2	115,32	0,053	2165
2	244,86	2	122,43	0,056	2182
3	215,37	2	107,69	0,051	2132
4	234,66	2	117,33	0,056	2091
5	295,83	3	98,61	0,073	1345
6	215,23	2	107,61	0,051	2131
7	173,61	2	86,80	0,040	2161
8	163,59	2	81,79	0,035	2314
9	197,67	2	98,84	0,045	2187
10	182,22	2	91,11	0,040	2269
11	137,03	1	137,03	0,069	2000
12	179,23	2	89,62	0,040	2232
13	151,81	2	75,91	0,033	2299
14	158,44	2	79,22	0,035	2241
15	183,23	2	91,62	0,040	2281
16	218,63	2	109,32	0,051	2164
17	198,11	2	99,06	0,045	2191
18	193,21	2	96,61	0,045	2137
19	219,84	2	109,92	0,051	2176
20	165,92	2	82,96	0,035	2347
21	310,79	3	103,60	0,045	2292
22	331,72	3	110,57	0,051	2189
23	269,82	2	134,91	0,062	2173
24	255,09	2	127,54	0,062	2054
25	252,59	2	126,30	0,062	2034

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
26	277,50	2	138,75	0,069	2025
27	213,97	2	106,98	0,051	2118
28	225,70	2	112,85	0,051	2234
29	284,56	2	142,28	0,069	2077
30	266,99	2	133,49	0,062	2150
31	267,18	2	133,59	0,062	2151
32	271,91	2	135,95	0,065	2084
33	253,70	2	126,85	0,062	2043
34	72,56	1	72,56	0,031	2360
35	94,79	1	94,79	0,040	2360
36	132,73	1	132,73	0,062	2138
37	146,50	1	146,50	0,073	1998
38	520,08	4	130,02	0,062	2094
39	417,31	3	139,10	0,069	2030
40	262,44	2	131,22	0,062	2113
41	187,28	2	93,64	0,040	2332
42	86,83	1	86,83	0,040	2162
43	118,34	1	118,34	0,056	2109
44	118,46	1	118,46	0,056	2111
45	137,70	1	137,70	0,069	2010
46	166,73	2	83,37	0,035	2358
47	170,18	2	85,09	0,038	2256
48	173,92	2	86,96	0,040	2165
49	179,37	2	89,68	0,040	2233
50	240,05	2	120,02	0,056	2139
51	167,61	2	83,81	0,035	2371

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap *Joint*
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
53	166,42	2	83,21	0,035	2354
54	277,36	2	138,68	0,069	2024
55	154,01	2	77,00	0,035	2178
56	289,54	2	144,77	0,069	2113
57	126,16	1	126,16	0,062	2032
58	268,62	2	134,31	0,062	2163
59	412,22	3	137,41	0,069	2006
60	434,39	3	144,80	0,069	2113
61	422,02	3	140,67	0,069	2053
62	11,79	1	11,79	0,006	1859
63	11,04	1	11,04	0,006	1742
64	9,04	1	9,04	0,006	1425
65	162,81	2	81,41	0,035	2303
610	520,99	3	173,66	0,062	2797
663	426,36	3	142,12	0,069	2074
714	301,65	3	100,55	0,045	2224
1003	95,46	1	95,46	0,045	2112

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap Joint

Joint	P3 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P3 untuk 1 Tiang (ton)	Z3 (m)	k3 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	216,72	2	108,36	0,051	2145	1,11
2	239,26	2	119,63	0,056	2132	6,41
3	251,98	2	125,99	0,059	2133	0,66
4	264,73	2	132,37	0,062	2132	5,91
5	309,13	3	103,04	0,045	2280	3,23
6	269,11	2	134,56	0,065	2062	1,20
7	255,64	2	127,82	0,059	2164	5,45
8	232,23	2	116,11	0,053	2180	1,16
9	221,13	2	110,56	0,051	2189	7,81
10	207,64	2	103,82	0,048	2171	3,58
11	198,21	2	99,10	0,045	2192	6,18
12	207,72	2	103,86	0,048	2172	9,65
13	234,23	2	117,12	0,053	2198	9,20
14	246,48	2	123,24	0,056	2196	3,63
15	255,82	2	127,91	0,062	2060	2,80
16	251,45	2	125,73	0,059	2129	0,37
17	237,46	2	118,73	0,056	2116	5,77
18	225,73	2	112,86	0,051	2235	0,11
19	199,74	2	99,87	0,045	2209	4,43
20	191,57	2	95,78	0,043	2246	7,72
21	269,51	2	134,76	0,065	2065	6,19
22	254,05	2	127,02	0,059	2151	4,94
23	237,03	2	118,52	0,056	2112	0,55
24	232,04	2	116,02	0,053	2178	5,64
25	212,40	2	106,20	0,048	2221	1,11

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P3 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P3 untuk 1 Tiang (ton)	Z3 (m)	k3 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	195,27	2	97,63	0,045	2160	3,30
27	178,98	2	89,49	0,040	2228	6,19
28	157,00	2	78,50	0,035	2221	4,26
29	167,62	2	83,81	0,035	2371	6,53
30	192,76	2	96,38	0,043	2260	0,06
31	210,66	2	105,33	0,048	2203	6,69
32	219,49	2	109,74	0,051	2173	0,79
33	240,61	2	120,30	0,056	2144	6,05
34	194,53	2	97,27	0,045	2152	8,23
35	178,72	2	89,36	0,040	2225	0,79
36	167,47	2	83,74	0,035	2369	2,14
37	134,82	1	134,82	0,065	2066	0,05
38	265,18	2	132,59	0,062	2135	8,56
39	266,83	2	133,42	0,065	2045	9,40
40	266,94	2	133,47	0,065	2046	8,92
41	256,97	2	128,49	0,062	2069	5,50
42	241,80	2	120,90	0,056	2154	1,45
43	239,07	2	119,54	0,056	2130	3,53
44	224,82	2	112,41	0,051	2226	5,68
45	227,21	2	113,60	0,053	2133	9,89
46	200,95	2	100,48	0,045	2223	4,79
47	188,30	2	94,15	0,043	2208	0,24
48	174,59	2	87,29	0,038	2314	4,46
49	161,47	2	80,73	0,035	2284	8,37
50	239,03	2	119,52	0,056	2130	8,93
51	128,51	1	128,51	0,062	2069	8,10

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P3 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P3 untuk 1 Tiang (ton)	Z3 (m)	k3 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	229,32	2	114,66	0,053	2152	0,51
54	225,05	2	112,53	0,051	2228	6,98
55	225,90	2	112,95	0,051	2236	3,05
56	224,93	2	112,46	0,051	2227	0,49
57	212,38	2	106,19	0,048	2221	6,44
58	207,14	2	103,57	0,048	2166	4,09
59	181,95	2	90,97	0,040	2265	5,70
60	197,65	2	98,83	0,045	2186	1,35
61	208,28	2	104,14	0,048	2178	0,74
62	188,38	2	94,19	0,043	2208	4,38
63	176,78	2	88,39	0,040	2201	0,44
64	136,87	1	136,87	0,065	2098	9,83
65	153,44	2	76,72	0,033	2323	0,38
610	291,48	2	145,74	0,051	2886	32,17
663	278,59	2	139,29	0,069	2033	8,67
714	283,98	2	141,99	0,069	2073	8,18
1003	231,66	2	115,83	0,053	2174	1,75

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap
Joint**

Joint	P4 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P4 untuk 1 Tiang (ton)	Z4 (m)	k4 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	216,99	2	108,49	0,051	2148	0,27
2	239,35	2	119,67	0,056	2132	0,08
3	251,45	2	125,73	0,059	2129	0,53
4	264,32	2	132,16	0,062	2128	0,41
5	309,35	3	103,12	0,045	2281	0,22
6	269,44	2	134,72	0,065	2065	0,32
7	255,34	2	127,67	0,059	2162	0,29
8	232,32	2	116,16	0,053	2181	0,10
9	221,34	2	110,67	0,051	2191	0,22
10	206,48	2	103,24	0,048	2159	1,17
11	198,45	2	99,23	0,045	2195	0,25
12	206,77	2	103,38	0,048	2162	0,95
13	235,12	2	117,56	0,053	2207	0,89
14	246,68	2	123,34	0,056	2198	0,20
15	255,47	2	127,73	0,062	2057	0,35
16	251,88	2	125,94	0,059	2132	0,43
17	236,88	2	118,44	0,056	2110	0,58
18	225,44	2	112,72	0,051	2232	0,29
19	199,44	2	99,72	0,045	2206	0,30
20	191,44	2	95,72	0,043	2244	0,13
21	269,44	2	134,72	0,065	2065	0,07
22	254,45	2	127,23	0,059	2154	0,40
23	237,55	2	118,77	0,056	2116	0,51
24	232,44	2	116,22	0,053	2182	0,39
25	212,34	2	106,17	0,048	2220	0,06

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P4 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P4 untuk 1 Tiang (ton)	Z4 (m)	k4 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	195,55	2	97,77	0,045	2163	0,28
27	178,35	2	89,17	0,040	2220	0,63
28	157,45	2	78,72	0,035	2227	0,45
29	167,44	2	83,72	0,035	2368	0,19
30	192,44	2	96,22	0,043	2256	0,32
31	210,44	2	105,22	0,048	2200	0,23
32	219,99	2	109,99	0,051	2178	0,50
33	240,79	2	120,39	0,056	2145	0,18
34	194,23	2	97,12	0,045	2149	0,30
35	178,90	2	89,45	0,040	2227	0,17
36	167,44	2	83,72	0,035	2368	0,04
37	134,90	1	134,90	0,065	2068	0,07
38	265,35	2	132,67	0,062	2137	0,16
39	266,35	2	133,17	0,065	2041	0,49
40	266,35	2	133,17	0,065	2041	0,60
41	256,35	2	128,17	0,062	2064	0,63
42	241,44	2	120,72	0,056	2151	0,36
43	239,46	2	119,73	0,056	2133	0,38
44	224,46	2	112,23	0,051	2222	0,36
45	227,46	2	113,73	0,053	2135	0,25
46	200,46	2	100,23	0,045	2217	0,50
47	188,44	2	94,22	0,043	2209	0,14
48	174,46	2	87,23	0,038	2312	0,13
49	161,46	2	80,73	0,035	2284	0,01
50	239,46	2	119,73	0,056	2133	0,42
51	128,35	1	128,35	0,062	2067	0,16

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 4 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P4 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P4 untuk 1 Tiang (ton)	Z4 (m)	k4 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	229,35	2	114,67	0,053	2153	0,03
54	224,66	2	112,33	0,051	2224	0,40
55	224,55	2	112,27	0,051	2223	1,36
56	223,44	2	111,72	0,051	2212	1,49
57	212,45	2	106,23	0,048	2221	0,07
58	207,46	2	103,73	0,048	2169	0,32
59	181,33	2	90,67	0,040	2258	0,61
60	197,56	2	98,78	0,045	2185	0,10
61	208,44	2	104,22	0,048	2179	0,16
62	188,46	2	94,23	0,043	2209	0,08
63	176,44	2	88,22	0,040	2197	0,34
64	136,34	1	136,34	0,065	2090	0,53
65	153,34	2	76,67	0,033	2322	0,10
610	290,44	2	145,22	0,051	2875	1,05
663	278,35	2	139,17	0,069	2031	0,24
714	283,44	2	141,72	0,069	2069	0,55
1003	231,35	2	115,68	0,053	2171	0,31

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint*

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
1	256,97	2	128,49	0,05924	2169
2	282,22	2	141,11	0,064	2210
3	260,48	2	130,24	0,059	2198
4	289,87	2	144,93	0,064	2270
5	359,11	3	119,70	0,055	2187
6	260,57	2	130,28	0,059	2199
7	211,54	2	105,77	0,048	2199
8	192,65	2	96,32	0,044	2203
9	220,57	2	110,29	0,050	2193
10	196,57	2	98,28	0,046	2141
11	152,96	1	152,96	0,069	2232
12	203,00	2	101,50	0,046	2211
13	178,28	2	89,14	0,042	2145
14	190,17	2	95,08	0,044	2174
15	219,29	2	109,65	0,050	2180
16	262,81	2	131,41	0,059	2218
17	240,27	2	120,13	0,055	2195
18	232,29	2	116,15	0,053	2212
19	257,86	2	128,93	0,059	2176
20	195,22	2	97,61	0,046	2126
21	358,72	3	119,57	0,055	2185
22	386,55	3	128,85	0,059	2175
23	321,30	2	160,65	0,073	2189
24	305,07	2	152,54	0,069	2225
25	300,34	2	150,17	0,069	2191

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
26	324,99	2	162,49	0,073	2214
27	252,58	2	126,29	0,057	2217
28	267,03	2	133,52	0,062	2170
29	333,45	2	166,73	0,076	2197
30	315,18	2	157,59	0,071	2221
31	316,71	2	158,35	0,073	2158
32	322,43	2	161,21	0,073	2197
33	299,69	2	149,85	0,069	2186
34	81,17	1	81,17	0,037	2180
35	114,43	1	114,43	0,053	2179
36	160,90	1	160,90	0,073	2192
37	177,17	2	88,59	0,042	2132
38	578,10	4	144,52	0,066	2184
39	478,63	3	159,54	0,073	2174
40	310,99	2	155,49	0,071	2192
41	225,58	2	112,79	0,050	2243
42	112,62	1	112,62	0,050	2239
43	148,01	1	148,01	0,069	2159
44	147,33	1	147,33	0,066	2226
45	169,78	1	169,78	0,078	2165
46	203,26	2	101,63	0,046	2214
47	206,22	2	103,11	0,048	2144
48	209,48	2	104,74	0,048	2178
49	214,11	2	107,05	0,048	2226
50	285,66	2	142,83	0,064	2237
51	202,94	2	101,47	0,046	2210

Tabel Rekap Iterasi P0 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P0 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P0 untuk 1 Tiang (ton)	Z0 (m)	k0 = P/Z (t/m)
53	209,86	2	104,93	0,048	2182
54	321,75	2	160,88	0,073	2192
55	196,98	2	98,49	0,046	2145
56	331,93	2	165,96	0,076	2187
57	164,44	1	164,44	0,076	2167
58	306,09	2	153,04	0,071	2157
59	490,81	3	163,60	0,076	2156
60	519,13	3	173,04	0,081	2136
61	509,12	3	169,71	0,078	2164
62	13,21	1	13,21	0,007	2016
63	12,31	1	12,31	0,007	1878
64	10,06	1	10,06	0,007	1534
65	192,84	2	96,42	0,044	2205
610	590,42	4	147,60	0,066	2231
663	479,70	3	159,90	0,073	2179
714	342,25	2	171,13	0,078	2182
1003	119,35	1	119,35	0,055	2181

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap Joint

Joint	P5 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P5 untuk 1 Tiang (ton)	Z5 (m)	k5 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	226,14	2	113,07	0,053	2154	3,02
2	258,97	2	129,48	0,059	2186	2,97
3	292,81	2	146,41	0,066	2212	2,04
4	311,66	2	155,83	0,071	2196	4,08
5	337,11	2	168,56	0,078	2150	2,03
6	321,36	2	160,68	0,073	2189	4,02
7	301,21	2	150,61	0,069	2197	4,99
8	284,31	2	142,16	0,064	2227	0,80
9	291,58	2	145,79	0,066	2203	2,33
10	262,57	2	131,28	0,059	2216	1,98
11	221,35	2	110,67	0,050	2201	2,75
12	241,46	2	120,73	0,055	2206	3,06
13	269,44	2	134,72	0,062	2190	1,53
14	282,44	2	141,22	0,066	2134	6,18
15	302,44	2	151,22	0,071	2131	5,62
16	296,57	2	148,28	0,069	2163	1,25
17	280,43	2	140,22	0,064	2197	2,17
18	261,34	2	130,67	0,059	2206	1,12
19	205,32	2	102,66	0,048	2135	2,78
20	215,32	2	107,66	0,046	2345	3,91
21	285,46	2	142,73	0,066	2157	1,19
22	304,44	2	152,22	0,071	2146	2,09
23	283,68	2	141,84	0,064	2222	2,52
24	235,66	2	117,83	0,055	2153	0,69
25	246,55	2	123,27	0,055	2252	2,98

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap Joint
(Lanjutan)

Joint	P5 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P5 untuk 1 Tiang (ton)	Z5 (m)	k5 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	227,55	2	113,77	0,053	2167	0,85
27	207,57	2	103,78	0,048	2158	0,74
28	184,55	2	92,27	0,042	2220	1,80
29	204,35	2	102,17	0,048	2124	2,04
30	223,57	2	111,78	0,050	2223	3,08
31	241,57	2	120,78	0,055	2207	0,78
32	254,58	2	127,29	0,059	2149	2,49
33	267,77	2	133,88	0,062	2176	2,17
34	215,44	2	107,72	0,048	2240	4,08
35	194,91	2	97,45	0,044	2228	4,21
36	193,56	2	96,78	0,046	2108	3,32
37	152,32	2	76,16	0,071	1074	2,01
38	335,44	2	167,72	0,078	2139	3,18
39	325,55	2	162,77	0,073	2218	2,22
40	299,47	2	149,73	0,066	2263	5,17
41	301,46	2	150,73	0,069	2199	1,33
42	287,53	2	143,77	0,066	2173	1,32
43	267,45	2	133,73	0,062	2173	0,95
44	242,46	2	121,23	0,055	2215	3,16
45	262,45	2	131,23	0,059	2215	5,68
46	219,35	2	109,67	0,050	2181	3,00
47	225,46	2	112,73	0,053	2147	2,04
48	219,44	2	109,72	0,046	2390	2,10
49	182,44	2	91,22	0,042	2195	2,15
50	312,35	2	156,17	0,071	2201	1,59
51	165,35	2	82,68	0,076	1090	0,91

Tabel Rekap Iterasi Pi pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap *Joint*
(Lanjutan)

Joint	P5 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P5 untuk 1 Tiang (ton)	Z5 (m)	k5 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	281,44	2	140,72	0,064	2204	2,91
54	270,35	2	135,17	0,062	2197	1,38
55	275,23	2	137,62	0,062	2237	1,60
56	264,44	2	132,22	0,062	2149	1,69
57	253,46	2	126,73	0,057	2224	2,48
58	216,47	2	108,23	0,050	2152	2,67
59	204,47	2	102,23	0,048	2126	1,71
60	230,35	2	115,17	0,055	2104	5,46
61	253,47	2	126,73	0,059	2139	1,89
62	212,44	2	106,22	0,050	2112	3,51
63	192,46	2	96,23	0,046	2096	4,47
64	199,44	2	99,72	0,046	2172	0,76
65	142,46	2	71,23	0,069	1039	3,63
610	344,98	2	172,49	0,078	2200	6,61
663	338,79	2	169,39	0,078	2160	1,14
714	321,45	2	160,73	0,078	2050	0,96
1003	273,57	2	136,78	0,064	2143	2,34

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap
Joint**

Joint	P6 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P6 untuk 1 Tiang (ton)	Z6 (m)	k6 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
1	226,16	2	113,08	0,053	2154	0,02
2	260,00	2	130,00	0,059	2194	1,03
3	291,86	2	145,93	0,066	2205	0,96
4	311,73	2	155,87	0,071	2197	0,08
5	336,14	2	168,07	0,078	2144	0,97
6	321,39	2	160,69	0,073	2190	0,02
7	301,22	2	150,61	0,069	2197	0,01
8	284,11	2	142,06	0,064	2225	0,20
9	291,91	2	145,95	0,066	2206	0,33
10	263,59	2	131,80	0,059	2225	1,02
11	221,10	2	110,55	0,050	2198	0,25
12	241,51	2	120,76	0,055	2206	0,06
13	268,96	2	134,48	0,062	2186	0,47
14	282,62	2	141,31	0,066	2135	0,18
15	303,06	2	151,53	0,071	2136	0,62
16	296,82	2	148,41	0,069	2165	0,25
17	280,60	2	140,30	0,064	2198	0,17
18	262,46	2	131,23	0,059	2215	1,12
19	205,10	2	102,55	0,048	2132	0,22
20	215,23	2	107,62	0,046	2344	0,09
21	285,65	2	142,82	0,066	2158	0,19
22	304,53	2	152,26	0,071	2146	0,09
23	283,15	2	141,58	0,064	2218	0,52
24	234,35	2	117,17	0,055	2141	1,31
25	245,57	2	122,78	0,055	2243	0,98

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P6 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P6 untuk 1 Tiang (ton)	Z6 (m)	k6 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
26	227,40	2	113,70	0,053	2165	0,15
27	207,31	2	103,66	0,048	2155	0,26
28	184,75	2	92,37	0,042	2223	0,20
29	204,38	2	102,19	0,048	2125	0,04
30	223,65	2	111,82	0,050	2223	0,08
31	241,35	2	120,67	0,055	2205	0,22
32	254,07	2	127,03	0,059	2144	0,51
33	266,44	2	133,22	0,062	2165	1,33
34	215,05	2	107,53	0,048	2236	0,38
35	194,70	2	97,35	0,044	2226	0,21
36	193,89	2	96,94	0,046	2112	0,32
37	152,33	2	76,17	0,071	1074	0,01
38	334,61	2	167,31	0,078	2134	0,82
39	325,76	2	162,88	0,073	2219	0,22
40	299,30	2	149,65	0,066	2261	0,17
41	301,78	2	150,89	0,069	2201	0,33
42	287,85	2	143,93	0,066	2175	0,32
43	267,50	2	133,75	0,062	2174	0,05
44	242,62	2	121,31	0,055	2216	0,16
45	262,14	2	131,07	0,059	2213	0,32
46	219,34	2	109,67	0,050	2181	0,00
47	225,49	2	112,75	0,053	2147	0,04
48	219,54	2	109,77	0,046	2391	0,10
49	181,59	2	90,79	0,042	2185	0,85
50	312,94	2	156,47	0,071	2205	0,59
51	165,98	2	82,99	0,076	1094	0,62

**Tabel Rekap Iterasi Pi+1 pada Bangunan Berlantai 5 di Tiap
Joint (Lanjutan)**

Joint	P6 kolom (ton)	Jumlah Tiang	P6 untuk 1 Tiang (ton)	Z6 (m)	k6 = P/Z (t/m)	Δp (ton)
53	280,53	2	140,26	0,064	2197	0,91
54	271,72	2	135,86	0,062	2208	1,38
55	275,64	2	137,82	0,062	2240	0,40
56	264,13	2	132,06	0,062	2146	0,31
57	254,47	2	127,24	0,057	2233	1,02
58	216,13	2	108,07	0,050	2149	0,33
59	204,18	2	102,09	0,048	2123	0,29
60	231,80	2	115,90	0,055	2118	1,46
61	253,35	2	126,68	0,059	2138	0,11
62	212,95	2	106,47	0,050	2117	0,51
63	192,93	2	96,46	0,046	2101	0,47
64	199,68	2	99,84	0,046	2175	0,24
65	142,09	2	71,04	0,069	1036	0,37
610	343,59	2	171,79	0,078	2191	1,39
663	338,93	2	169,47	0,078	2161	0,14
714	320,41	2	160,21	0,078	2043	1,04
1003	273,91	2	136,95	0,064	2145	0,34

LAMPIRAN 5

Tabel Rekap Beban Aksial (Pi+1) dengan Perletakan Pegas

Joint	Gedung Tingkat					
	3 Lantai		4 Lantai		5 Lantai	
	F3		F3		F3	
	kg	ton	kg	ton	kg	ton
1	182015	182,01	216988	216,99	226159	226,16
2	191234	191,23	239346	239,35	259996	260,00
3	219549	219,55	251455	251,45	291856	291,86
4	231137	231,14	264325	264,32	311731	311,73
5	232730	232,73	309347	309,35	336140	336,14
6	230195	230,19	269436	269,44	321388	321,39
7	220511	220,51	255344	255,34	301217	301,22
8	203958	203,96	232324	232,32	284113	284,11
9	192052	192,05	221344	221,34	291907	291,91
10	180981	180,98	206479	206,48	263592	263,59
11	152288	152,29	198455	198,45	221101	221,10
12	173755	173,75	206769	206,77	241512	241,51
13	205965	205,96	235123	235,12	268962	268,96
14	208011	208,01	246679	246,68	282619	282,62
15	233899	233,90	255468	255,47	303059	303,06
16	216467	216,47	251880	251,88	296817	296,82
17	195371	195,37	236877	236,88	280603	280,60
18	190440	190,44	225435	225,44	262458	262,46
19	170811	170,81	199436	199,44	205104	205,10
20	154683	154,68	191435	191,44	215232	215,23
21	220340	220,34	269436	269,44	285649	285,65
22	218513	218,51	254455	254,45	304530	304,53
23	189954	189,95	237546	237,55	283153	283,15
24	187592	187,59	232436	232,44	234346	234,35

Tabel Rekap Beban Aksial (Pi+1) dengan Perletakan Pegas

Joint	Gedung Tingkat					
	3 Lantai		4 Lantai		5 Lantai	
	F3		F3		F3	
	kg	ton	kg	ton	kg	ton
25	173377	173,38	212344	212,34	245570	245,57
26	150555	150,55	195547	195,55	227397	227,40
27	149445	149,45	178345	178,35	207312	207,31
28	129695	129,70	157446	157,45	184748	184,75
29	136962	136,96	167435	167,44	204384	204,38
30	147564	147,56	192435	192,44	223650	223,65
31	159862	159,86	210435	210,44	241348	241,35
32	175145	175,14	219990	219,99	254069	254,07
33	186335	186,33	240788	240,79	266436	266,44
34	156324	156,32	194234	194,23	215053	215,05
35	152627	152,63	178899	178,90	194700	194,70
36	134033	134,03	167435	167,44	193886	193,89
37	116238	116,24	134898	134,90	152335	152,33
38	235377	235,38	265345	265,35	334614	334,61
39	213535	213,53	266345	266,35	325763	325,76
40	215442	215,44	266346	266,35	299296	299,30
41	213661	213,66	256346	256,35	301785	301,78
42	205057	205,06	241436	241,44	287853	287,85
43	189463	189,46	239458	239,46	267498	267,50
44	185114	185,11	224458	224,46	242617	242,62
45	168013	168,01	227457	227,46	262139	262,14
46	167098	167,10	200457	200,46	219343	219,34
47	161306	161,31	188436	188,44	225494	225,49
48	141800	141,80	174457	174,46	219537	219,54
49	134219	134,22	161456	161,46	181588	181,59
50	201223	201,22	239457	239,46	312938	312,94

Tabel Rekap Beban Aksial (Pi+1) dengan Perletakan Pegas

Joint	Gedung Tingkat					
	3 Lantai		4 Lantai		5 Lantai	
	F3		F3		F3	
	kg	ton	kg	ton	kg	ton
51	119290	119,29	128346	128,35	165977	165,98
53	175821	175,82	229346	229,35	280525	280,53
54	171745	171,74	224658	224,66	271722	271,72
55	178209	178,21	224546	224,55	275637	275,64
56	181545	181,55	223436	223,44	264128	264,13
57	172174	172,17	212455	212,45	254472	254,47
58	156643	156,64	207455	207,46	216132	216,13
59	142948	142,95	181335	181,33	204176	204,18
60	166761	166,76	197557	197,56	231802	231,80
61	178838	178,84	208435	208,44	253353	253,35
62	143973	143,97	188457	188,46	212948	212,95
63	126926	126,93	176436	176,44	192928	192,93
64	88769	88,77	136344	136,34	199677	199,68
65	128698	128,70	153344	153,34	142085	142,09
610	242285	242,29	290435	290,44	343588	343,59
663	241717	241,72	278345	278,35	338932	338,93
714	241623	241,62	283435	283,44	320415	320,41
1003	196978	196,98	231354	231,35	273906	273,91

LAMPIRAN 6



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PONDASI TIANG
LEKATAN PADA GEDUNG TINGKAT
3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN
PENURUNAN MERATA DALAM
JANGKA PANJANG

MAHASISWA

WIDY INDRIYANI MANURUNG
0311164000055

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D
Putu Tantri Kumala S., ST., MT.

JUDUL GAMBAR

LETAK TITIK JOINT

SKALA

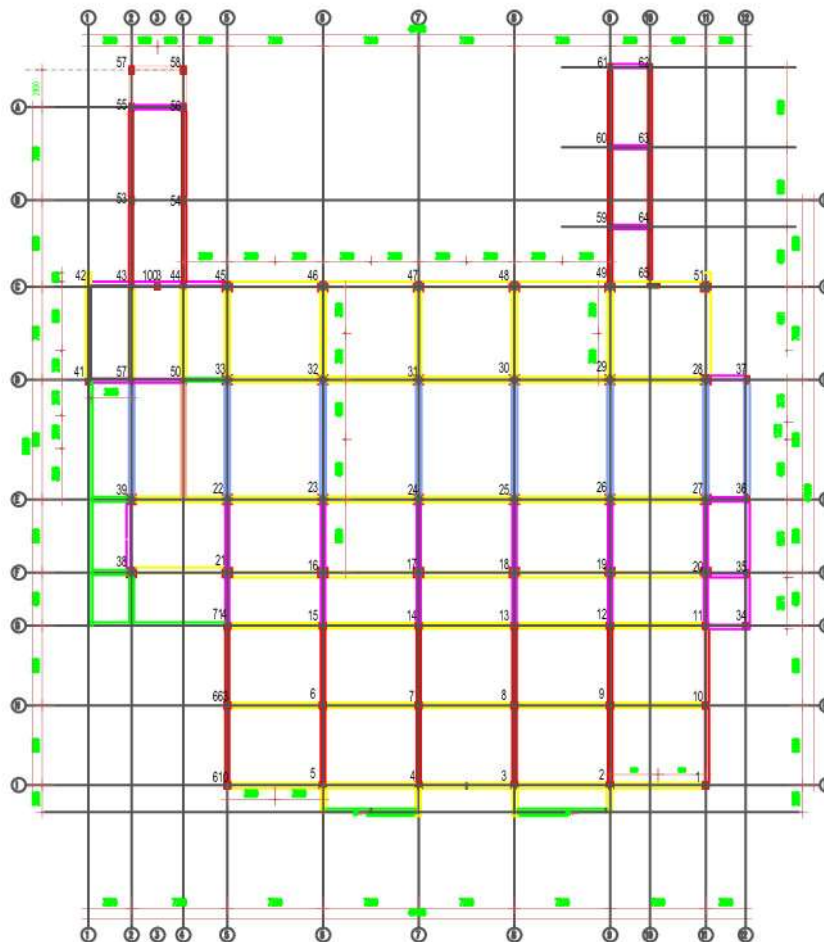
1 : 100

NO. GAMBAR

1

JUMLAH
GAMBAR

4





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PONDASI TIANG
LEKATAN PADA GEDUNG TINGKAT
3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN
PENURUNAN MERATA DALAM
JANGKA PANJANG

MAHASISWA

WIDY INDRIYANI MANURUNG
0311164000055

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D
Putu Tanti Kumala S., ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PONDASI FRICTION PILE

SKALA

1 : 25

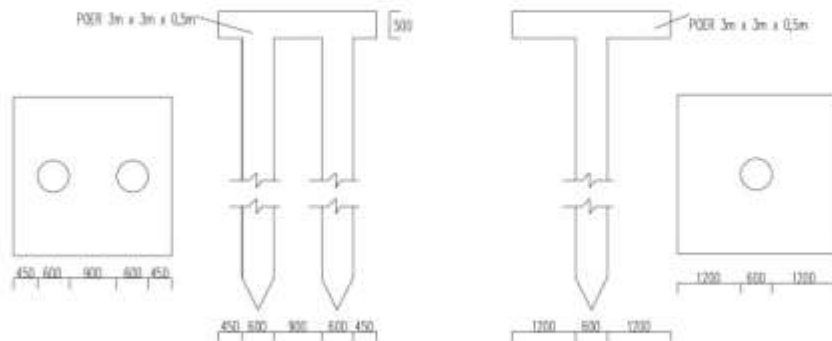
NO. GAMBAR

JUMLAH
GAMBAR

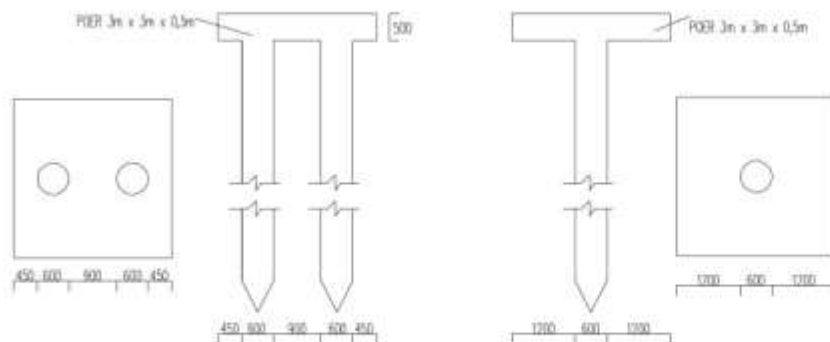
2

4

SPUN PILE D60 PANJANG 14 M



SPUN PILE D60 PANJANG 17 M





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PONDASI TIANG
LEKATAN PADA GEDUNG TINGKAT
3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN
PENURUNAN MERATA DALAM
JANGKA PANJANG

MAHASISWA

WIDY INDRIYANI MANURUNG
0311164000055

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D
Pulu Tantri Kumala S., ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PONDASI FRICTION PILE

SKALA

1 : 100

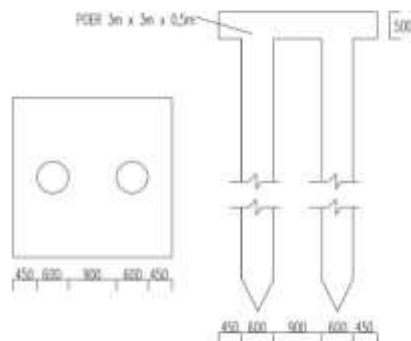
NO. GAMBAR

JUMLAH
GAMBAR

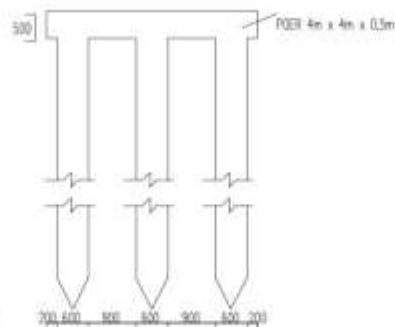
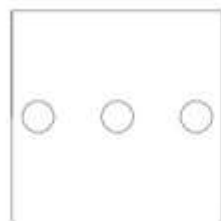
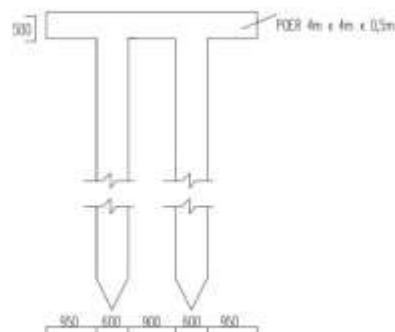
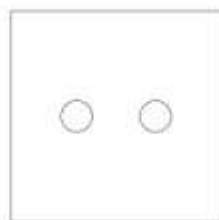
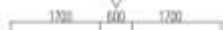
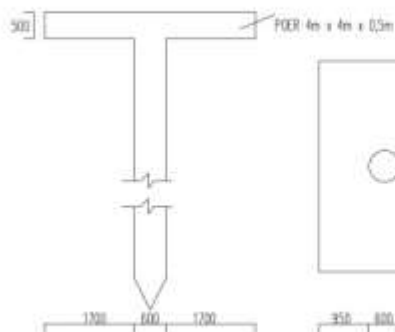
3

4

SPUN PILE D60 PANJANG 23 M



SPUN PILE D60 PANJANG 40 M



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PONDASI TIANG
LEKATAN PADA GEDUNG TINGKAT
3 S/D 5 DI ATAS TANAH LUNAK
YANG TEBAL DENGAN KETENTUAN
PENURUNAN MERATA DALAM
JANGKA PANJANG

MAHASISWA

WIDY INDRIYANI MANURUNG
0311164000055

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D
Putu Tantri Kumala S., ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PONDASI END BEARING PILE

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

4

JUMLAH
GAMBAR

4

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Widya Indriyani Manurung, lahir di Batam, pada tanggal 24 Oktober 1998. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu TK Tunas Bareleng Batam, SD – SMA Yos Sudarso Batam. Penulis diterima di Departemen Teknik Sipil FTSPK ITS Surabaya pada tahun 2016 dengan NRP 03111640000055, mengambil bidang studi Geoteknik.

Selama berkuliah di Departemen Teknik Sipil ITS, penulis tertarik pada Bidang Geoteknik, terutama pada topik pondasi dalam sehingga penulis mengambil berjudul “Perencanaan Pondasi Tiang Lekatan pada Gedung Tingkat 3 s/d 5 di Atas Tanah Lunak yang Tebal dengan Ketentuan Penurunan Merata” sebagai Tugas Akhir. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: **widyaindriyani.m@gmail.com**