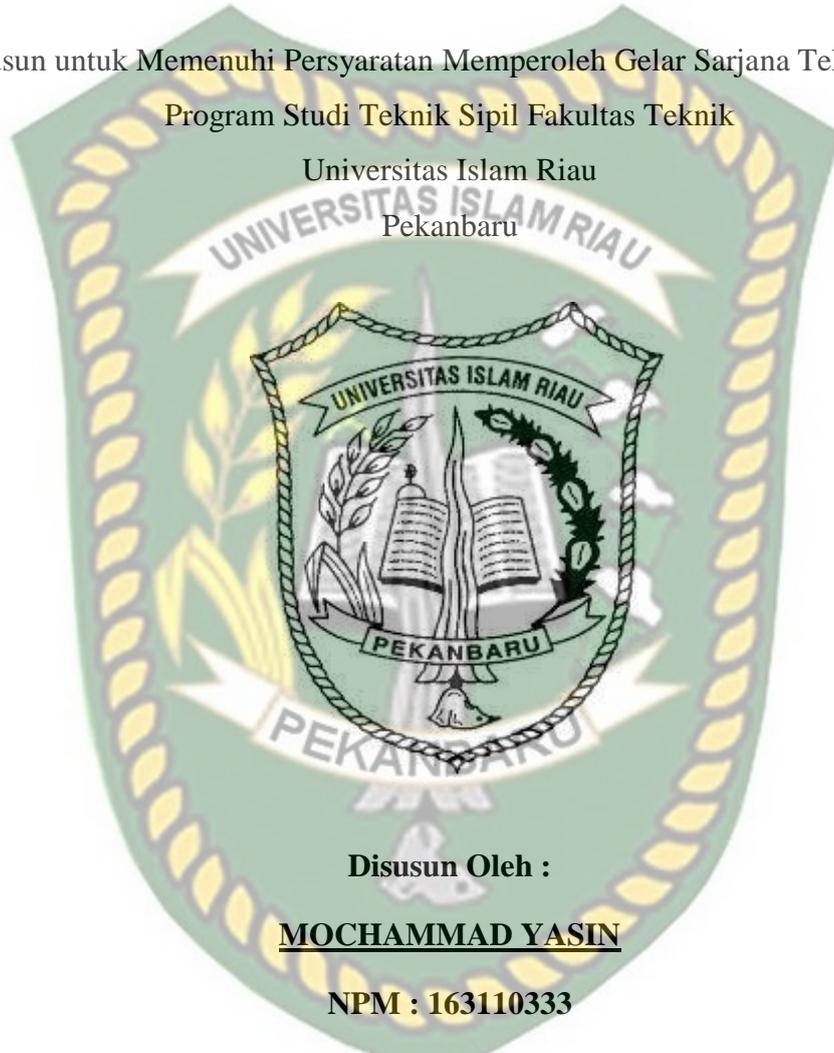


**ANALISIS KUAT DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG
PANCANG *MINI* PADA GEDUNG RAWAT JALAN POLIKLINIK
TERPADU DI KECAMATAN PANGKALAN KERINCI**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Islam Riau
Pekanbaru



Disusun Oleh :

MOHAMMAD YASIN

NPM : 163110333

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUAT DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG
PANCANG *MINI* PADA GEDUNG RAWAT JALAN POLIKLINIK
TERPADU DI KECAMATAN PANGKALAN KERINCI**

DISUSUN OLEH :

MOCHAMMAD YASIN

163110333

Diperiksa dan Disetujui oleh :



Dr. Anas Puri, ST.,MT
Pembimbing

.....
Tanggal : 24 Januari 2022



HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS KUAT DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG
PANCANG *MINI* PADA GEDUNG RAWAT JALAN POLIKLINIK
TERPADU DI KECAMATAN PANGKALAN KERINCI

DISUSUN OLEH :

MOHAMMAD YASIN

163110333

Telah Disetujui di Depan Dewan Penguji Tanggal 24 Januari 2022 Dan Dinyatakan
Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

SUSUNAN DEWAN PENGUJI



Dr. Anas Puri, S.T., M.T
Dosen Pembimbing



Roza Mildawati, S.T., M.T
Dosen Penguji I



Firman Syarif, S.T., M.Eng
Dosen Penguji II

Pekanbaru, 01 Maret 2022

UNIVERSITAS ISLAM RIAU
FAKULTAS TEKNIK

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (strata satu) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak ada kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 01 Maret 2022

Mochammad Yasin

163110333

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh

Alhamdulillahrabbi'alam, segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini mengenai " **ANALISIS KUAT DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG *MINI* PADA GEDUNG RAWAT JALAN POLIKLINIK TERPADU DI KECAMATAN PANGKALAN KERINCI**". Tugas akhir ini berupa skripsi sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana pada program studi strata 1 (S1) Falkutas Teknik Jurusan Sipil Universitas Islam Riau.

Tugas akhir ini berisi tentang rangkuman dan kesimpulan selama penulis melakukan penelitian dan analisa. Rangkuman dan kesimpulan ini disusun dalam bab-bab, bab tersebut terdiri dari bab I yang berisi tentang latar belakang, bab II berisi tentang tinjauan pustaka, bab III berisi tentang landasan teori, bab VI berisi tentang metodologi penelitian, bab V berisi tentang hasil dan pembahasan, dan bab VI berisi tentang kesimpulan dan saran.

Penulis berharap tugas akhir ini bisa bermanfaat mahasiswa/i Teknik Sipil, penulis juga menyadari masih terdapat kekurangan dalam menyusun laporan kerja praktek ini, maka dari itu kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca agar kedepannya bisa lebih baik lagi.

Pekanbaru, 26 Agustus 2021

Penulis

Mochammad Yasin
NPM. 163110333

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahamtullah. Wabarokatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L, Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Mursyidah, S.Si., M.Sc Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.si Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau
8. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT sebagai Dosen Pembimbing I.
9. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
10. Ibu Roza Mildawati, S.T., M.T Sebagai Dosen Penguji I
11. Bapak Firman Syarif, S.T., M.Eng Sebagai Dosen Penguji II
12. Seluruh karyawan dan karyawan fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

13. Ayahanda dan Ibunda tercinta Yoyon Wardiyanto dan Misni, sebagai Orang Tua yang selalu memberikan dan mendo'akan yang terbaik serta sangat berperan dalam proses pendewasaan penulis.
14. Almarhum abang saya Dimas Fadlli yang tidak pernah berhenti memberikan motivasi dan selalu memberikan semangat kepada penulis sebelum tiada.
15. Buat teman-teman seperjuangan terkhusus Madian, M.Rasyid Ridho, Muhammad Sukri, Muhammad Arif, Torkis Mangatur Siahaan, Nurul Trianoviany, Wan nuratika Fatma, dan teman-teman kelas B angkatan 2016 serta teman dan rekan-rekan lainnya di Teknik Sipil Fakultas Teknik pada umumnya yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dalam bentuk kritikan, saran, dorongan semangat, serta ide-ide, dan juga pihak lain yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
16. Pak Iwan selaku P.P.K RSUD SELASIH, Pak Yusri selaku Kontraktor Pelaksana dan Pak Rinto selaku Konsultan Pengawas yang telah memberikan data-data, serta izin untuk melakukan penelitian.

Terimakasih atas segala bantuanya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah Aza Wa Jalla. Assalamualaikum Warahamtullah. Wabarokatuh.

Pekanbaru, 26 Agustus 2021

Penulis

Mochammad Yasin
NPM. 163110333

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
ABSTRAK	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Manfaat Penulisan	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum	3
2.2 Penelitian Terdahulu	3
2.3 Keaslian Penelitian	5
BAB III. LANDASAN TEORI	
3.1 Umum	6
3.2 Metode Penyelidikan Tanah	6
3.2.1 Uji Penetrasi Standar (SPT)	6
3.2.2 Uji Sondir / Cone Penetration Test (CPT)	7
3.3 Klasifikasi Parameter Tanah	8
3.4 Defenisi Pondasi	16

3.5 Klasifikasi Pondasi	17
3.5.1 Pondasi Dalam	17
3.5.1.1 Pondasi Sumuran (<i>Pier Foundation</i>)	17
3.5.1.2 Pondasi Tiang (<i>Pile Foundation</i>)	17
3.6 Pondasi Tiang Pancang	18
3.6.1 Sejarah Pondasi Tiang Pancang	18
3.6.2 Defenisi Pondasi Tiang Pancang	18
3.6.3 Kegunaan Pondasi Tiang Pancang	18
3.6.4 Kriteria Pondasi Tiang Pancang	19
3.6.5 Pembagian Pondasi Tiang Pancang	19
3.7 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Ujung Gesek	21
3.8 Kapasitas Daya Dukung Ultimate Cara Statis dan Cara Dinamis	22
3.9 Kapasitas Dukung Tiang dari Uji Kerucut Statis (Cone Penetration Test)	23
3.10 Klasifikasi Jenis Tanah	24
3.11 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang	24
3.12 Faktor Aman Tiang Pancang	28
3.13 Analisis Daya Dukung Jacked Pile Berdasarkan Bacaan Manometer	31
3.14 Penurunan Pondasi Tiang Pancang	31
3.14.1 Kapasitas Dukung	33
3.15 Penurunan Pondasi Tiang Pancang	34
3.16 Penurunan Kelompok Tiang	38
3.16.1 Kelompok Tiang Dalam Lempung	39
3.17 Penurunan Segera dan Penurunan Konsolidasi	41
3.18 Metode Elemen Hingga	42
3.19 Permodelan PLAXIS 2D	43
BAB IV. METODE PENELITIAN	
4.1 Lokasi Penelitian	47
4.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian	47

4.3 Cara Analisis	50
-------------------------	----

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Deskripsi Umum	52
5.2 Hasil Pengolahan Data	53
5.2.1 Jenis Tanah Berdasarkan Data Sondir (CPT) Titik Sondir	53
5.2.2 Hasil Pembacaan Manometer Pondasi Tiang Pancang	56
5.2.3 Parameter Setiap Lapisan Tanah	58
5.3 Hasil Analisa Beban yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Software ETABS	59
5.4 Hasil Analisa Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang	61
5.5 Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Menggunakan Plaxis 2D V 8.6	61
5.6 Hasil Analisa Penurunan Tiang Pancang Tunggal	66

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA	70
-----------------------------	----

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir (Terzaghi dan Peck, 1948)	7
Tabel 3.2 Hubungan nilai tahanan konus terhadap konsistensi tanah (A. Puri & R. Ardiansyah, 2008)	8
Tabel 3.3 Klasifikasi tanah untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat - sifat tanah (Sunggono, 1995)	9
Tabel 3.4 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) dengan konsistensi (Hardiyatmo, 2003)	10
Tabel 3.5 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977 dalam Hardiyatmo, 2002)	11
Tabel 3.6 Nilai-nilai tipikal rasio poisson (kulhawy, 1983Hardiyatmo, 2015) ..	12
Tabel 3.7 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995)	13
Tabel 3.8 Berat Jenis Tanah (G_s) (Hardiyatmo, 2002)	13
Tabel 3.9 Derajat kejenuhan (S_r) (Hardiyatmo, 2002)	14
Tabel 3.10 Nilai n , e , w , γ_b , γ_d untuk tanah keadaan asli di lapangan (Hardiyatmo, 2002)	15
Tabel 3.11 Faktor ω (deRuijter dan Beringen, 1979)	27
Tabel 3.12 Faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989)	30
Tabel 5.1 Data tanah uji sondir titik S.01	53
Tabel 5.2 Hasil pembacaan manometer titik no.17	56
Tabel 5.3 Hasil pembacaan manometer titik no.18	57
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan klasifikasi parameter tanah kedalaman 0,00-10,60 m	58
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan klasifikasi parameter tanah kedalaman 10,60-20,00 m	58
Tabel 5.6 Hasil analisa beban pada pondasi tiang menggunakan software ETABS	60

Tabel 5.7 Kapasitas daya dukung tiang pancang dengan metode <i>Schmertmann and Nottingham</i> (1975)	61
Tabel 5.8 Parameter tanah pada kedalaman 0,00 – 20,00 m	62
Tabel 5.9 Parameter tiang pancang	64
Tabel 5.10 Penurunan pondasi tiang pancang tunggal	67



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Klasifikasi tanah oleh Robertson dan Campanella (Robertson, 1986)	10
Gambar 3.2 Macam – macam pondasi dalam	17
Gambar 3.3 Tiang pancang beton <i>precast reinforced pile</i>	20
Gambar 3.4 Tiang dukung ujung (Tomlinson, 1977)	22
Gambar 3.5 Tiang dukung gesek (Tomlinson, 1977)	22
Gambar 3.6 Klasifikasi jenis tanah oleh Robertson dan Campanella (1986)	24
Gambar 3.7 Cara menghitung tahanan ujung dari uji kerucut statis metode	26
Gambar 3.8 (a) Penyesuaian koefisien terhadap OCR (pasir)	27
Gambar 3.9 Perbandingan zona tanah tertekan (Tomlinson, 1977).....	32
Gambar 3.10 Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung	33
Gambar 3.11 Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980)	35
Gambar 3.12 Koreksi kompresi, R_k (Poulos dan Davis, 1980)	35
Gambar 3.13 Koreksi kedalaman, R_h (Poulos dan Davis, 1980)	36
Gambar 3.14 Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980)	36
Gambar 3.15 Koreksi kekakuan lapisan pendukung R_b (Poulos dan Davis, 1980)	37
Gambar 3.16 Tambahan tekanan vertikal pada tiang gesek pada tanah lempung	40

Gambar 3.17 Kelompok tiang dalam lapisan lempung lunak di atas lapisan kuat yang tipis (Tomlinson, 1963)	41
Gambar 3.18 Perbandingan penurunan pasir dan lempung	41
Gambar 3.19 Permodelan pondasi tiang pancang	44
Gambar 4.1 Denah Lokasi gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu	47
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian	49
Gambar 4.3 Denah pondasi tiang pancang	51
Gambar 4.4 Detail tiang pancang	51
Gambar 5.1 Lokasi titik sondir	52
Gambar 5.2 Grafik hasil uji sondir titik S.01	55
Gambar 5.3 Denah pondasi tiang pancang titik 6-C	60
Gambar 5.4 Kumpulan data material dan lapisan tanah	65
Gambar 5.5 (a) Nilai Σ -Msf (b) Deformasi yang terjadi.....	66
Gambar 5.6 (a) Tahap selesai (b) Deformasi yang terjadi	66
Gambar 5.7 Grafik perbandingan penurunan tiang pancang pada titik 6-C	67

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN A. ANALISA PERHITUNGAN

A.1 Analisa Beban Yang Bekerja Pada Tiang Pancang Titik 6-C	A - 1
A.2 Metode Schertmann dan Nottingham (1975) + deRuiten dan Beringen (1979)	A - 2
A.3 Metode Schertmann dan Nottingham (1975) + deRuiten dan Beringen (1979)	A - 6
A.4 Perhitungan Daya Dukung <i>Jacked Pile</i> Berdasarkan Pembacaan Manometer	A-10
A.5 Analisa Perhitungan Daya Dukung Kelompok	A-11
A.6 Analisa Penurunan Pondasi yang Terjadi	A-12
A.7 Penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017	A-14
A.8 Analisa Penurunan Kelompok Tiang Pancang	A-15
A.9 Analisa Perhitungan Tiang Pancang Menggunakan Software PLAXIS 2D V 8.6	A-17

LAMPIRAN B. ANALISA DENGAN PROGRAM ETABS

B.1 Analisa Beban Rencana Pada Pondasi Tiang Pancang Menggunakan <i>Software</i> ETABS	B - 1
B.2 Analisa Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Pancang Tunggal 6-C Dengan PLAXIS 2D V8.6	B-14

LAMPIRAN C. DATA SEKUNDER

LAMPIRAN D. SURAT - SURAT

DAFTAR NOTASI

A	= Total luas efektif penampang piston (cm^2)
A_b	= luas ujung bawah tiang (cm^2)
A_s	= Luas selimut tiang
c_u	= kohesi tak terderainase
E	= Modulus young
e	= Angka pori
f_b	= tahanan ujung satuan (kg/cm^2)
f_s	= tahanan gesek satuan (kg/cm^2)
G_s	= Berat Jenis Tanah
h	= Kedalaman total lapisan tanah
I_o	= Faktor pengaruh penurunan untuk tiang
K_f	= koefisien tak berdimensi
k	= Koefisien permeabilitas
n	= Porositas
P	= Bacaan manometer (Kg/cm^2)
Q	= Daya dukung tiang pada saat pemancangan (ton)
Q	= Beban yang bekerja
Q_u	= Kapasitas Dukung Ultimit (kN)
q_{ca}	= tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)

- q_c = Tahanan konus (kg/cm^2)
- q_f = tahanan gesek sisi konus (kg/cm^2)
- R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras
- R_k = Faktor koreksi kemudah – mampatan (kompresibilitas)
- R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ
- S = Penurunan kepala tiang
- S_r = Derajat kenenuhan
- W_p = Berat tiang
- γ_b = Berat volume basah
- γ_d = Berat volume kering
- γ_{sat} = Berat tanah jenuh air
- γ_{unsat} = Berat tanah tidak jenuh air
- γ_w = Berat volume air
- γ' = Berat volume efektif
- ω = koefisien korelasi

**ANALISIS KUAT DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG
PANCANG *MINI* PADA GEDUNG RAWAT JALAN POLIKLINIK
TERPADU DI KECAMATAN PANGKALAN KERINCI**

MOCHAMMAD YASIN

163110333

ABSTRAK

Permasalahan yang terdapat pada Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu adalah tanah lempung, dan berpotensi terjadinya penurunan. Dari permasalahan tersebut saya tertarik untuk meneliti terkait pondasi dan jenis tanah lempung tersebut. Pondasi merupakan suatu pendukung sebuah bangunan yang berfungsi sebagai penahan beban konstruksi yang berada di atasnya. Semua beban konstruksi seperti jalan dan gedung, semua diteruskan ke dalam tanah untuk itu kuat daya dukung tanah sangat berperan penting untuk mendirikan sebuah konstruksi di atasnya. Dalam sebuah bangunan struktur penahan beban adalah pondasi, pondasi yang digunakan ialah pondasi tiang pancang, yang kemudian diteruskan ke dalam tanah. Bangunan yang dibuat diharapkan kuat dan kokoh.

Pada penelitian ini perhitungan menggunakan data sekunder yaitu data sondir, data gambar struktur bangunan dan data kedalaman tiang, metode yang digunakan adalah metode Schmertmann and Nottingham tahun (1975) untuk menghitung daya dukung tanah, dan metode Poulos and Davis tahun (1980) untuk menghitung penurunan tiang pancang.

Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja didapatkan beban ultimit pada struktur pile cap 6-C yaitu sebesar 2237,58 kN, Dari analisa faktor aman dengan mengambil 2,50 untuk kontrol normal dan bangunan poliklinik terpadu yang bersifat permanen, faktor aman tersebut disarankan oleh Reese dan O'Neill tahun (1989) dengan hasil yang didapat sebesar 2,54 dan 2,51 untuk tiang pada titik 6-C No.17 dan 18. Dari analisa penurunan menggunakan metode Poulos dan Davis didapatkan hasil penurunan yaitu sebesar 13,7 mm.

Kata Kunci : Kuat Dukung, Penurunan, Penyelidikan Tanah

**ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF MINI PILE
FOUNDATION AT THE INTEGRATED POLYCLINIC OUTPATIENT
BUILDING IN PANGKALAN KERINCI SUB-DISTRICT**

MOCHAMMAD YASIN

163110333

ABSTRACT

The problem in the Integrated Polyclinic Outpatient Building is clay soil, and the potential settlement. From these problems I am interested in researching related to the foundation and the type of clay soil. The foundation is a supporter of a building that serves as a retainer of the construction load that is on it. All the construction loads such as roads and buildings, all passed into the ground for that strong bearing capacity of the ground are very important to establishing a construction on it. In a building the load bearing structure is the foundation, the foundation used was pile the foundation, which is then passed into the ground. The buildings made are expected to be strong and sturdy.

In this study of calculations using cone penetration test (CPT) data, design drawing and pile depth data, the methods used were Schmertmann and Nottingham (1975) to calculate the bearing capacity of the soil, and the Poulos and Davis method (1980) to calculate the pile settlement.

From the calculation of the work load analysis obtained ultimate load on the pile cap structure of 6-C which is 2,287,58 kN, from the analysis of safe factors by taking 2.50 for normal control for permanent structures, with a safe factor of 2.54 and 2,51 for piles at points 6-C No.17 and 18. From the analysis of the settlement using the Poulos and Davis methods obtained was 13.7 mm.

Keywords : *Bearing Capacity, Pile Settlement, Soil Investigation*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan yang terdapat pada Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu adalah tanah lempung, dan berpotensi terjadinya penurunan. Dari permasalahan tersebut saya tertarik untuk meneliti terkait pondasi dan jenis tanah lempung tersebut. Pondasi merupakan suatu penopang sebuah bangunan dan berperan dalam menopang beban bangunan. Semua beban konstruksi, seperti jalan, bangunan, dll., semuanya dipindahkan ke bawah tanah, dan daya dukung tanah yang kuat memainkan peran penting dalam konstruksi di atasnya. Hampir semua proyek konstruksi berkaitan dengan tanah. Ada beberapa jenis tanah yang memiliki karakteristik yang tidak sesuai untuk konstruksi, yaitu tanah dengan daya dukung rendah, kuat geser rendah, dan kembang susut tanah yang besar. Banyak proyek pembangunan di Indonesia menghadapi masalah rendahnya daya dukung tanah.

Dalam sebuah bangunan struktur penahan beban adalah pondasi yang kemudian diteruskan ke tanah. Bangunan yang dibuat diharapkan kuat dan kokoh. Akibat kehilangan kekuatan daya dukung pondasi dan penurunan pondasi yang berlebihan mengakibatkan kerusakan pada struktur di atasnya yang amat merugikan baik itu dari segi ekonomi maupun dapat membahayakan terhadap jiwa manusia. Tanah diklasifikasikan menjadi 2 yaitu tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Tanah berbutir halus dibagi menjadi dua yaitu tanah lempung (kohesif) dan lanau (non kohesif).

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang dan penurunan pada pondasi ada banyak metode yang dapat digunakan. Dikarenakan hal tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang daya dukung tiang pancang serta penurunan yang terjadi. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya daya dukung tiang dan penurunan tiang yang terjadi, apakah besarnya daya dukung dan penurunan tiang memenuhi syarat atau tidak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari pemaparan latar belakang di atas, dapat disimpulkan rumusan masalah yang akan di kaji.

1. Berapakah besar daya dukung pondasi tiang pancang *Mini* pada tanah lempung tersebut, apakah melebihi faktor aman ?
2. Berapakah besar penurunan yang akan terjadi pada pondasi tiang pancang *Mini* pada tanah lempung tersebut, apakah memenuhi syarat penurunan ?

1.3 Tujuan Penulisan

Dari rumusan masalah yang ada, dapat diketahui tujuan penulisan antara lain :

1. Mengetahui besar daya dukung pondasi tiang pancang *Mini* pada tanah lempung tersebut, apakah melebihi faktor aman.
2. Mengetahui besar penurunan yang akan terjadi pada pondasi tiang pancang (*Mini Pile*) pada tanah lempung tersebut, apakah memenuhi syarat penurunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Dapat diperoleh gambaran analisis penurunan segera pondasi tiang pancang (*Mini Pile*) pada proyek pembangunan Rawat Jalan Poliklinik Terpadu.
2. Menambahkan ilmu pengetahuan, wawasan dan pengalaman penulis agar mampu melakukan pekerjaan yang sama saat terjun ke lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk mempersingkat dan memperjelas suatu penelitian sehingga dapat dibahas secara tepat dan tidak ekstensif, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Menghitung ulang beban struktur gedung yang bekerja dengan kombinasi beban hidup, beban mati dan beban gempa.
2. Menghitung kuat dukung pondasi dan penurunan yang terjadi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan Pustaka berisi hasil penelitian peneliti sebelumnya dan berkaitan erat dengan penelitian saat ini yang dapat membantu memberikan solusi untuk memecahkan masalah penelitian saat ini. Beberapa referensi antara lain yang melakukan penelitian terkait pondasi adalah dikemukakan oleh peneliti Marbun (2009), Sinaga (2013), Sihotang (2009).

2.2 Penelitian Terdahulu

Marbun (2009), dengan mengambil judul “Analisa Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area”. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah mengenai besar kecilnya penurunan tiang tunggal vertikal yang telah atau mungkin terjadi. Dalam perhitungan dan analisis penurunan tiang, hanya perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal berdasarkan data yang diperoleh dari uji lapangan metode penurunan elastis yang dipertimbangkan, dan penurunan kelompok tiang tidak diperhitungkan. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan data teknis tiang pancang, data teknik Survei sondir, CPT, data hasil SPT dan data kalendering. Hasil analisis perhitungan daya dukung berhubungan dengan perhitungan penurunan elastik. Dalam perencanaan pondasi digunakan hasil uji radiosonde dan metode Aoki dan De Alencar untuk menghitung daya dukung tiang, sedangkan hasil data SPT menggunakan metode Meyerhoff untuk mendapatkan daya dukung tiang untuk menghitung penurunan. Perhitungan berdasarkan penurunan elastis tiang tunggal Sejauh ini, total susut elastik tiang tunggal tiang uji S-01 adalah 2,27 mm, dan beban ultimit maksimum 43,08 ton; 2,07 mm, beban ultimit maksimum tiang uji S-03 adalah 92,43 ton, dan penurunan yang diizinkan adalah 25 mm. Maka penurunan total tiang telah memenuhi syarat yang diizinkan.

Sinaga (2013), dengan mengambil judul “Analisa Daya Dukung dan Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Gedung Pasca Sarjana Universitas Negeri Medan”. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah penggunaan hasil uji lapangan yaitu uji penetrasi kerucut (CPT), uji penetrasi standar (SPT) dan penganalisa tiang (PDA) untuk menganalisis perbedaan daya dukung aksial pondasi tiang mikro, seperti perhitungan micro-pile daya dukung horizontal dan penurunan pondasi. Dalam analisa perhitungan, maka akan menghitung dan membandingkan daya dukung aksial pondasi mini pile dengan menggunakan data dari hasil *Cone Penetration Test* (CPT), *Standart Penetration Test* (SPT) dan *Pile Driving Analyzer* (PDA), menghitung kapasitas daya dukung ijin kelompok tiang, menghitung daya dukung lateral tiang, menghitung penurunan elastis tiang tunggal dan grup tiang. Metode Penelitian yang digunakan adalah menggunakan data teknis tiang pancang, data teknis penyelidikan sondir, CPT, data SPT, dan data perhitungan berdasarkan hasil test PDA. Hasil perhitungan daya dukung ultimit (Q_{ult}) tiang 25 cm x 25 cm berdasarkan data sondir, SPT dan PDA. Daya dukung dan koefisien efisiensi kelompok tiang berdasarkan data sondir, SPT, PDA. Daya dukung sisi tiang adalah 53,26 kN.

Sihotang (2009), dengan mengambil judul “Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Kanwil DJP dan KPP Sumbagut 1”. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil survei lapangan Sondir, hasil survei lapangan SPT dan hasil survei laboratorium, dengan format sebagai berikut: Hitung parameter geser tanah pada daya dukung pondasi tiang dari hasil ketiga macam alat uji. Bandingkan hasil perhitungan tersebut untuk mendapatkan selisihnya, dan diharapkan daya dukung pondasi tiang pancang yang paling aman dan menguntungkan dapat diperoleh melalui penyelidikan lapangan tersebut, sehingga diperoleh daya dukung yang baik. Hasil yang diperoleh digunakan untuk merancang dasar keamanan dan ekonomis. Metode Penelitian yang digunakan adalah menggunakan data teknis tiang pancang, data teknis penyelidikan sondir, CPT, data SPT, dan

data laboratorium. Mendapatkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan data sondir, SPT dan parameter kuat geser tanah pada saat pemancangan. Dari hasil perhitungan, kapasitas kelompok izin tiang adalah 507.703 ton. Perhitungan ini berdasarkan data radiosonde menggunakan metode Aoki De Alencar. Perbedaan daya dukung dapat disebabkan oleh perbedaan jenis dan sifat tanah pada jarak terdekat, bahkan di lokasi penelitian akan mengakibatkan perbedaan densitas tanah yang akan mempengaruhi daya dukung tiang.

2.3 Keaslian Penelitian

Judul yang diajukan oleh peneliti dalam penelitian Tugas Akhir ini memang terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu akan tetapi juga terdapat perbedaan seperti lokasi penelitian, metode perhitungan yang digunakan, jenis tanah, kondisi tanah dan fungsi bangunan. Maka dari itu seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan penelitian ini belum pernah diteliti sebelumnya sebagai objek penelitian tugas akhir.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Dalam bab ini akan membahas teori-teori yang berkaitan dengan judul penelitian. Pembahasan tersebut antara lain: mengenai tanah, pondasi, perhitungan kapasitas dukung dan penurunan pondasi. Tingkat keberhasilan suatu bangunan tidak ditentukan dengan kokohnya struktur atas saja, tetapi konstruksi di bawah menjadi suatu kesatuan struktur bangunan. Dalam suatu bangunan, pondasi merupakan salah satu komponen utama dalam pembangunan. Untuk itu dalam sub bab selanjutnya akan membahas tentang pondasi.

3.2 Metode Penyelidikan Tanah

Dalam suatu pembangunan konstruksi perlunya lapisan setiap kedalaman tanah agar bisa merencanakan pondasi yang bisa memikul beban-beban yang berada di atas tanah, ada berbagai metode untuk melakukan penyelidikan tanah tersebut baik setiap lapisannya maupun sifat tanah tersebut seperti permeabilitas, konsolidasi, dan tegangan geser, adapun beberapa cara untuk melakukan penyelidikan tanah guna mengetahui lapisan dan sifatnya adalah sebagai berikut.

3.2.1 Uji Penetrasi Standar (SPT)

Uji penetrasi dilakukan pada pondasi dalam seperti tiang pancang guna untuk mengetahui kedalaman tanah keras, SPT dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah, selain itu juga guna mengidentifikasi jenis lapisan tanah setiap kedalamannya sehingga bisa menentukan jenis pondasi yang sesuai dengan sifatsifat tanah tersebut, sifat tanah ditentukan dengan kerapatan relatif tanah, kerapatan relatif bisa didapatkan dengan menghubungkan dengan nilai N yang 9 diusulkan oleh Terzaghi dan Peck (1948) untuk tanah pasir pada tabel 3.1, sedangkan untuk tanah lempung nilai N dihubungkan dengan kuat tekat bebas.

Tabel 3.1 Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir (Terzaghi dan Peck, 1948)

Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat tidak padat
4-10	Tidak padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
>50	Sangat padat

Untuk nilai N yang kurang dari 4 kerapatan relatif tidak padat yang berarti angka pori tanah tersebut tinggi, untuk nilai N 4 sampai 10 kepadatan relatif tidak padat, nilai N 10-30 kepadatan sedang, untuk 30-50 kepadatan relatif padat, dan pada untuk nilai N lebih dari 50 sangat padat yang berarti angka pori kecil membuat tanah tersebut merupakan tanah keras.

Nilai N diperoleh dari tabung belah standar yang dimasukkan kedalam bore hole, alat dimasukkan bersama dengan pipa bor kedasar tanah setelah itu dipukul dengan berat 63,5 kg, pukulan pertama dipukul hingga sedalam 15 cm, kemudian dipukul sedalam 30,48 cm, jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar yang diartikan sebagai nilai-N.

3.2.2 Uji Sondir / *Cone Penetration Test* (CPT)

Uji Sondir atau uji penetrasi statis banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini digunakan untuk menghitung daya dukung tanah. Nilai tahanan kerucut statis atau tahanan kerucut (qc) yang diperoleh dari pengujian dapat berhubungan langsung dengan daya dukung tanah (Hardiyatmo, 1992). Pada pengujian sounding, tegangan tubuh tanah mengalami perubahan yang kompleks selama proses penetrasi, sehingga hal ini menyulitkan interpretasi secara teoritis. Jadi meskipun interpretasi teoritis hasil tes sondir sudah ada, dalam prakteknya tes sondir masih bersifat empiris (Rahardjo, 2008).

3.3 Klasifikasi Parameter Tanah

Dalam jenis tanah yang didapatkan dari SPT, maka selanjutnya dapat mengklasifikasi parameter tanah sesuai dengan jenis tanah dengan cara pendekatan, pada umumnya jenis tanah ada dua yakni tanah granular dan tanah kohesif, tanah granular tanah yang membulat, atau banyak sisi, tanah jenis ini seperti pasir dan krikil, sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang berbutur halus seperti lempung dan lanau. Adapun parameter tanah yang digunakan dalam plaxis antara lain:

1. Hubungan antara tahanan konus terhadap konsistensi tanah

Sondir atau uji penetrasi konus *Cone Penetrometer Test (CPT)* merupakan alat uji sederhana yang dipakai untuk menentukan stratigrafi (susunan lapisan tanah) dan evaluasi awal parameter geoteknik tanah oleh *Robertson & Campanella* 1989 untuk tanah lempung lunak dan pasir halus sampai pasir setengah kasar. Untuk area kritis yang diketahui dari data sondir (lokasi dan elevasi), maka pengujian ini dapat diiringi dengan pengujian *in situ* lainnya atau *sampling* dan uji laboratorium. Data sondir yang dikumpulkan ialah tahanan ujung (q_c) dan tahanan gesek selongsong (q_s). Data sondir dipakai untuk menetapkan kapasitas dukung yang diizinkan dan untuk merancang pondasi.

Pada Tabel 3.2 diberikan hubungan antara tahanan konus q_c terhadap konsistensi tanah. Tampak bahwa semakin tinggi nilai q_c maka konsistensi tanah semakin baik. Tanah keras berada pada q_c antara 80 – 150 kg/cm², dan tanah sangat keras dengan $q_c > 150$ kg/cm². Adapun $q_c < 10$ kg/cm² termasuk tanah lunak, dan tanah lunak ini sering bermasalah.

Tabel 3.2 Hubungan nilai tahanan konus terhadap konsistensi tanah (A. Puri & R. Ardiansyah, 2008)

Tahanan konus, q_c (kg/cm ²)	Konsistensi
< 5	Sangat lunak
5 – 10	Lunak
10 – 20	Teguh
20 – 40	Kenyal
40 – 80	Sangat kenyal Keras
80 – 150	Keras
> 150	Sangat keras

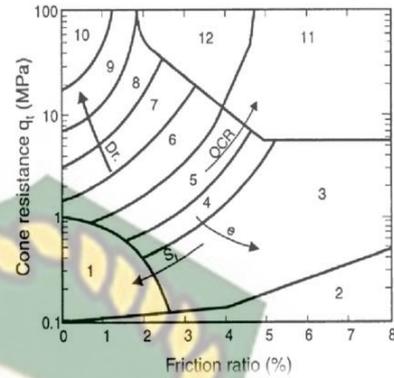
Tabel 3.3 Klasifikasi tanah untuk memberikan gambaran sepiintas mengenai sifat-sifat tanah (Sunggono, 1995).

Hasil sondir (kg/cm ²)		Klasifikasi
qc	fs	
6	0,15-0,40	Humus, lempung sangat lunak
6-10	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20-0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10-30	0,10	Kerikil lepas
	0,10-0,40	Pasir lepas
10-30	0,40-0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80-2,00	Lempung agak kenyal
30-60	1,5	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,00-3,00	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60-150	1,00	Kerikil kepasiran lepas
	1,00-3,00	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan kerikil kelempungan
>150	3,00	Lempung kekerikilan kenyal
	1,00-2,00	Pasir padat, pasir kekerikilan padat, pasir kasar padat, pasir kelanauan sangat padat

Dari tabel 3.2 dan tabel 3.3 tampak bahwa semakin tinggi nilai qc maka konsistensi tanah semakin baik. Tanah padat berada pada qc antara 120-200 kg/cm² dan tanah sangat padat dengan qc \geq 200 kg/cm².

Klasifikasi tanah yang telah diberikan oleh Robertson dan Campanella (1986) seperti pada gambar 3.1 berikut :

Wilayah	Jenis Tanah
1	Butiran halus sensitif
2	Organik
3	Lempung
4	Lempung berlanau sampai lempung
5	Lanau berlempung sampai lempung berlanau
6	Lanau berpasir sampai lanau berlempung
7	Pasir berlanau sampai lanau berpasir
8	Pasir sampai pasir berlanau
9	Pasir
10	Pasir berkerikil sampai berpasir
11	Butiran halus sangat kaku
12	Pasir sampai pasir berlempung



Gambar 3.1 Klasifikasi tanah oleh Robertson dan Campanella (Robertson, 1986)

2. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, saat pengujian kuat geser tanah terhadap air yang dalam tanah maka jenis pengujian, permeabilitas, kadar air menentukan nilai kohesi (c), pada pengujian lempung jenuh air sudut gesek dalam mencapai nol yang ada hanyalah nilai kohesinya saja, untuk kohesi tak terderainase (c_u) dapat diperoleh dengan mengetahui kuat tekan bebas (q_u), mendapatkan kohesi tak terderainase (c_u) dengan persamaan 3.1:

$$c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Hubungan kuat tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) dengan konsistensi (Hardiyatmo, 2003)

Kosistensi	Kuat Tekan Bebas (q_u) (kN/m ²)
Lempung Keras	>400
Lempung Sangat Kaku	200-400

Tabel 3.4 Lanjutan

Lempung Kaku	100-200
Lempung Sedang	50-100
Lempung Lunak	25-50
Lempung Sangat Lunak	<25

Dari Tabel 3.4 nilai kuat tekan bebas (q_u) dipengaruhi oleh konsistensi tanah lempung, apabila tanah lempung keras maka nilai kuat tekan bebas (q_u) besar, begitu juga sebaliknya apabila tanah lempung sangat lunak maka nilai kuat tekan bebas (q_u) kecil.

3. Modulus young

Modulus young ialah besarnya elastisitas yang terjadi akibat dari perbandingan tegangan terhadap regangan yang bisa didapat dari uji triaxial. Nilai modulus young (E) dapat ditentukan dari jenis tanah yang didapatkan dari hasil sondir, perkiraan modulus young yang disarankan oleh (Bowles, 1977) dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977 dalam Hardiyatmo, 2002)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) kg/cm ²
Lempung sangat lunak	3-30
Lempung lunak	20-40
Lempung sedang	45-90
Lempung keras	70-200
Lempung Berpasir	300-425
Pasir berlanau	50-250
Pasir tidak padat	100-250
Pasir padat	500-1000
Pasir dan kerikil padat	800-2000
Pasir dan kerikil tidak padat	500-1400
Lanau	20-200

Tabel 3.5 Lanjutan

Lanau loess	150-600
Lanau serpih	1400-14000

Nilai modulus young didapatkan pada lempung sangat lunak kecil hal tersebut dikarenakan tegangan pada tanah lempung sangat lunak kecil bila dibandingkan dengan regangannya begitu juga sebaliknya pada tanah lanau serpih.

4. Poisson rasio

Sebuah benda yang diberi gaya akan mengalami perubahan bentuk, perubahan bentuk terjadi ke arah tegak lurus dengan arah gaya. Poisson rasio ialah perbandingan antara berubahnya arah aksial dengan arah lateral. Pada tanah poisson rasio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.6 Nilai - nilai tipikal rasio poisson (kulhawy, 1983 dalam Hardiyatmo 2015)

Tanah dan Batu	Rasio Poisson (μ)
Lempung jenuh, Kondisi Undrained	0,50
Lempung tidak jenuh	0,30-0,40
Pasir padat kondisi terdrainase	0,30-0,40
Pasir longgar kondisi terdrainase	0,1-0,3
Batu pasir	0,25-0,30
Granit	0,23-0,27

5. Permeabilitas

Permeabilitas tergantung dari butiran tanah tersebut, apabila butiran tanah kecil maka meloloskan air juga kecil seperti tanah lempung, beda dengan tanah yang granular seperti pasir yang permeabilitasnya relatif besar. Koefisien permeabilitas dinyatakan dalam (k), nilai (k) bisa didapatkan melalui pendekatan jenis tanah yang tertera pada Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.7 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995)

Jenis Tanah	K	
	Cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir kasar	1,0-0,01	2,0-0,02
Pasir halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	<0,000001	<0,000002

Permeabilitas yang besar terjadi pada kerikil bersih dikarenakan air mudah lolos disebabkan karena butiran pada kerikil besar maka diperoleh permeabilitas besar pula berbeda dengan lempung dengan butiran yang kecil, maka permeabilitas juga kecil.

6. Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis tanah adalah perbandingan berat satuan bahan dengan berat satuan air, Nilai Gs juga bisa didapatkan dari jenis tanah, adapun nilai Gs berdasarkan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Berat Jenis Tanah (Gs) (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	Berat Jenis Tanah (Gs)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lempung anorganik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Berat jenis tanah seperti pada Tabel 3.8 tentunya diperoleh dengan melakukan pengujian, lalu didapatkan hasil dari pengujian tersebut dimana berat jenis tanah berkisar 2,65 sampai 2,75, untuk tanah kohesif tak organik berkisar antara 2,68 sampai 2,72.

7. Derajat kejenuhan (Sr)

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan volume air dengan volume total rongga pori yang dinyatakan dalam persen (%). Dalam mememntukan derajat kejenuhan bisa dilakukan dengan mengetahui keadaan tanah berdasarkan NSPT, didalam data N-SPT juga dijelaskan apakah tanah tersebut jenuh air, kering atau basah, apabila keadaan tanah tersebut dapat diketahui, maka nilai derajat kejenuhan bisa didapatkan melalui tabel 3.9.

Tabel 3.9 Derajat kejenuhan (Sr) (Hardiyatmo, 2002)

Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (Sr)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	>0-0,25
Tanah lembab	0,26-0,50
Tanah sangat lembab	0,51-0,75
Tanah basah	0,76-0,99
Tanah jenuh air	1

Dari Tabel 3.9 diperoleh derajat kejenuhan dengan keadaan tanah, apabila tanah mengalami jenuh air atau bisa dikatakan dibawah permukaan air tanah, maka derajat kejenuhannya 1, apabila diatas permukaan air tanah bisa dikatakan tanah tersebut agak lembab atau bisa kering, dimana nilai tanah kering derajat kejenuhannya 0.

8. Porositas, kadar Air, Angka Pori, Berat Volume Basah (γ_b), Berat Volume Kering (γ_d)

Porositas (n) merupakan perbandingan antara volume rongga (V_v) dan volume total (V), parameter ini berguna untuk mencari angka pori, porositas dinyatakan dalam persen (%) dan untuk kadar air adalah perbandingan berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) yang juga dinyatakan dalam persen (%). Mendapatkan berat volume basah harus diketahui berat butiran air tanah dan udara (W) yang dibagi volume total tanah (V) dan berat volume kering bisa

didapatkan dengan berat butiran (W_s) dibagi dengan volume total tanah (V). Berat volume basah dan berat volume kering guna menganalisa kapasitas dukung tiang pancang yang mana kedua parameter tersebut dinyatakan dalam kN/m^3 , nilai-nilai parameter tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Nilai n , e , w , γ_b , γ_d untuk tanah keadaan asli di lapangan (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	n	e	w	γ_d	γ_b
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	14,3	18,9
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	17,5	20,9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	15,9	19,9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	18,6	21,6
Lempung lunak sedikit organic	66	1,90	70	-	15,8
Lempung lunak sangat lunak	75	3,00	110	-	14,3

Parameter tersebut bisa didapatkan atas saran yang dilakukan oleh (Hardiyatmo, 2002) dengan mengetahui dari jenis tanah di lapangan. Angka pori (e) berguna untuk mencari berat volume efektif (γ') yang mana berat volume efektif dimasukkan dalam analisa kapasitas dukung tiang pancang, berat volume efektif (γ') dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1)\gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\gamma_b = \frac{G_s - \gamma_w(1 + e)}{1 + e} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

- e = Angka pori
- γ_b = Berat volume basah
- γ_{sat} = Berat tanah jenuh air
- γ' = Berat volume efektif
- G_s = Berat jenis tanah
- γ_w = Berat volume air ($9,81 \text{ kN/m}^3$)

3.4 Defenisi Pondasi

Setiap konstruksi suatu struktur bangunan seperti gedung, jembatan, jalan raya, menara, dermaga, pelabuhan, bendungan/tanggul, dan lain-lain, harus memiliki pondasi yang dapat menopang beban yang dipikul oleh struktur tersebut. Istilah pondasi juga digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan struktur bangunan yang mendukung suatu bangunan dan mentransfer beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah dengan daya dukung yang cukup kuat. Oleh karena itu pondasi bangunan harus diperhatikan untuk menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban kerja, tekanan angin, gempa dan gaya-gaya luar lainnya. Selain itu, pengurangan tidak boleh melebihi batas yang diizinkan.

Pembangunan pondasi di atas tanah yang lunak (*soft clay*) dan sangat lunak (*very soft clay*) dengan lapisan tanah keras yang sangat dalam, tiang pancang harus digunakan. Pondasi tiang juga digunakan untuk menopang bangunan yang menahan gaya angkat, terutama pada bangunan tinggi yang mengalami gaya guling akibat beban angin. Selain itu, tiang pancang juga digunakan untuk menopang konstruksi dermaga, dimana tiang tersebut mengalami gaya tumbukan kapal dan gelombang air (Hardiyatmo, 2010).

Ada tiga jenis pondasi tiang pancang, sebagai berikut:

1. Tiang pancang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang padat atau berongga dengan ujung tertutup, didorong ke dalam tanah, dan terjadi perpindahan tanah dalam jumlah besar. Tiang pancang perpindahan besar meliputi tiang kayu, tiang beton padat, tiang beton prategang (padat atau berongga), tiang baja bulat (ujung tertutup).
2. Tiang pancang perpindahan kecil (*small displacement pile*) sama dengan tiang pancang tipe pertama, hanya saja volume tanah yang dipindahkan selama proses pemancangan relatif kecil, seperti: tiang pancang beton berongga ujung terbuka, tiang pancang beton prategang ujung terbuka, tiang baja bentuk H, tiang baja bulat ujung terbuka dan tiang ulir.
3. Tiang pancang tanpa perpindahan (*non displacement pile*) termasuk tiang pancang yang dipasang di bawah tanah dengan penggalian atau pengeboran.

Tiang pancang tanpa perpindahan termasuk tiang bor, yaitu tiang beton yang dituang langsung ke dalam lubang yang dibuat oleh penuangan tanah (pipa baja dimasukkan ke dalam lubang dan beton dituang ke dalamnya).

3.5 Klasifikasi Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan, dan meneruskan beban dari bagian atas bangunan ke tanah atau lapisan batuan di bawahnya. Klasifikasi pondasi dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

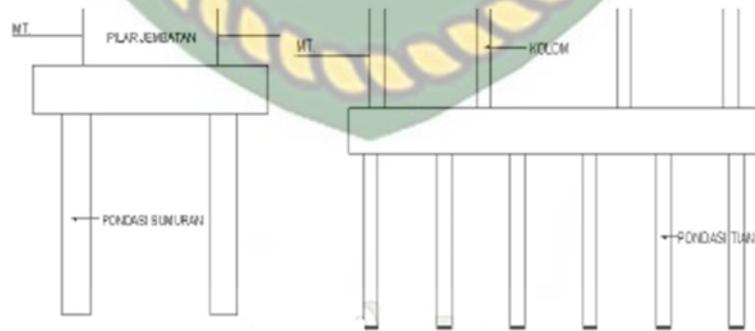
3.5.1 Pondasi Dalam

3.5.1.1 Pondasi sumuran (*pier foundation*)

Pondasi sumuran, yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang sangat kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar dari 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.

3.5.1.2 Pondasi tiang (*pile foundation*)

Pondasi tiang digunakan ketika tanah pondasi tidak dapat menahan beban dan tanah keras berada pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang pancang biasanya lebih kecil dan lebih panjang dari diameter pondasi sumuran (Bowles, 1991).



Gambar 3.2 Jenis-jenis pondasi dalam

Sumber : (Bowles, 1991)

3.6 Pondasi Tiang Pancang

3.6.1 Sejarah Pondasi Tiang Pancang

Pada tahun 1740, Christoffer Polhem menemukan alat tiang pancang dengan mekanisme tiang pancang saat ini. Tiang pancang baja (*steel pile*) digunakan pada tahun 1800 dan tiang pancang beton (*concrete pile*) pada tahun 1900. Revolusi Industri membawa perubahan penting pada sistem tiang pancang melalui penemuan mesin uap dan diesel.

Baru-baru ini, meningkatnya permintaan untuk perumahan dan konstruksi bangunan telah memaksa pengembang untuk mengambil keuntungan dari tanah yang kurang bagus. Hal ini memungkinkan sistem tiang untuk dikembangkan dan disempurnakan. Saat ini, berbagai teknik pemasangan tiang pancang telah muncul. Dan penggunaan tiang pancang semakin meningkat dari tahun ke tahun, sehingga perkembangan teknologi tiang pancang semakin besar.

3.6.2 Defenisi Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang adalah komponen bangunan yang terbuat dari kayu, beton dan/atau baja yang digunakan untuk memindahkan (mentransmisikan) beban permukaan ke tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1991). Pondasi tiang juga merupakan struktur pondasi yang dapat menahan gaya vertikal dari sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang pancang dibentuk dengan menggabungkan pondasi tiang yang sedang dibangun dengan pondasi tumpuan menjadi satu kesatuan yang utuh.

3.6.3 Kegunaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk menopang bangunan ketika lapisan tanah padat berada dalam Pondasi tiang pancang digunakan untuk berbagai keperluan dalam konstruksi, antara lain:

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak ke tanah penyangga yang kokoh.
2. Untuk meneruskan beban ke kedalaman tertentu relatif terhadap tanah lunak, sehingga pondasi bangunan dapat memberikan dukungan yang cukup untuk menopang beban dengan gesekan antara sisi tiang dan tanah

di sekitarnya.

3. Untuk menguatkan bangunan yang yang mengalami gaya angkat akibat tekanan hidrostatik atau momen penggulingan.
4. Ketahanan terhadap gaya horizontal dan miring.
5. Menyangga pondasi bangunan yang permukaannya mudah tergerus air.
6. Untuk memadatkan tanah berpasir untuk terus meningkatkan daya dukung tanah.

3.6.4 Kriteria Pondasi Tiang Pancang

Dalam perencanaan pondasi suatu kontruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan atas beberapa hal, yaitu fungsi bangunan atas yang dipikul oleh pondasi tersebut dan sangat tergantung pada kondisi lapangan untuk suatu pondasi bangunannya.

Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut ialah :

1. Besarnya beban dan berat bangunan atas;
2. Kondisi tanah tempat bangunan itu berada;
3. Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Kriteria pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi bangunan sangat tergantung pada kondisi :

1. Tanah dasar di bawah bangunan tidak memiliki daya dukung (seperti pembangunan lepas pantai);
2. Tanah dasar di bawah bangunan tidak dapat menopang bangunan di atasnya atau tanah keras yang dapat menahan beban jauh dari permukaan;
3. Pembangunan di atas tanah yang tidak rata;
4. Memenuhi kebutuhan untuk menahan gaya desak keatas (*uplift*).

3.6.5 Pembagian Pondasi Tiang Pancang

Dalam desain pondasi, pilihan jenis pondasi tiang untuk berbagai kondisi keadaan tergantung pada banyak variabel. Faktor-faktor yang perlu

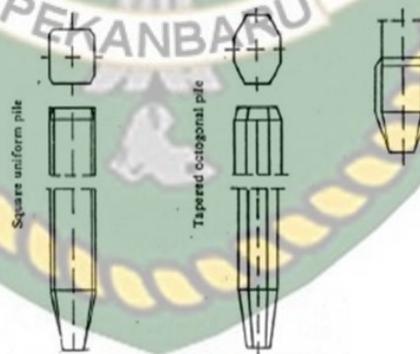
dipertimbangkan ketika memilih tiang pancang meliputi jenis tanah dasar, termasuk jenis tanah dasar dan karakteristik topografinya, alasan teknis tiang pancang dan jenis bangunan yang akan dibangun. Pondasi tiang dapat diklasifikasikan menurut bahan yang digunakan dan distribusi beban yang diterima tiang dari tanah. Tergantung pada bahan yang digunakan, pondasi tiang dibagi menjadi :

1. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang beton terbuat dari bahan beton bertulang yang terdiri dari beberapa jenis, yaitu :

a. Precast Reinforced Concrete Pile

Precast reinforced concrete pile adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat atau keras lalu diangkat dan dipancangkan. Tiang pancang beton ini dapat memikul beban lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiang, tetapi tergantung pada demensinya. Penampang *precast reinforced concrete pile* dapat berupa lingkaran, segi empat dan segi delapan.



Gambar 3.3 Tiang pancang beton *precast reinforced concrete pile*

Sumber : (Sardjono, 1988)

Keuntungan pemakaian *precast reinforced concrete pile*, yaitu :

- 1) Tegangan tekan tiang pancang beton bertulang, yang tergantung pada kualitas beton yang digunakan;
- 2) Dapat dihitung sebagai tiang penyangga ujung atau tiang gesekan;
- 3) Selama dek beton cukup tebal untuk melindungi tulangan, tahan lama

dan tahan terhadap air atau bahan korosif;

- 4) Karena kebal terhadap permukaan air , tidak perlu menggali. Itu banyak untuk poer.

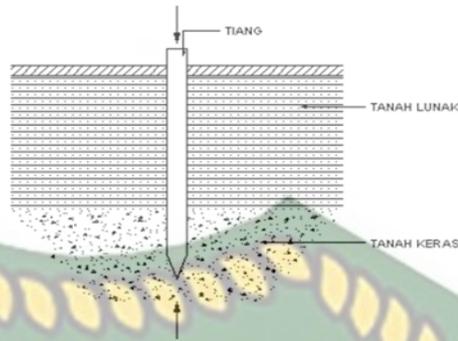
Kerugian pemakaian *precast reinforced concrete pile*, yaitu :

- 1) Tiang pancang beton bertulang prefabrikasi dibuat di lokasi karena bobotnya yang berat dan mahal untuk diangkut;
- 2) Tiang pancang beton ini hanya ditanam jika sudah cukup keras, yang berarti perlu waktu lama untuk menunggu tiang pancang beton tiba dan dapat digunakan;
- 3) Jika diperlukan pemotongan, pelaksanaannya akan lebih sulit dan akan memakan waktu lebih lama;
- 4) jika panjang tiang pendek, karena panjang tiang tergantung pada alat pemancang (*pile driving*) yang tersedia, penyambungan akan sulit, diperlukan alat penyambung khusus;
- 5) Jika tiang dipancang di sungai atau lautan, tiang akan bertindak sebagai kolom untuk menahan beban vertikal, dalam hal ini akan ada tekuk, sedangkan beban horizontal akan bekerja sebagai kantilever.

3.7 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Ujung Gesek

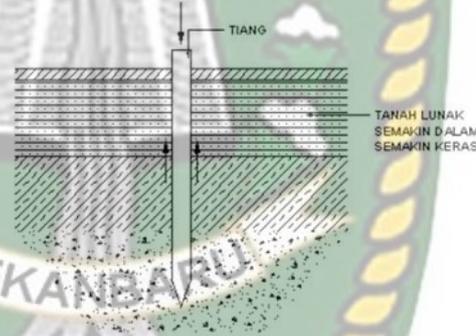
Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang pancang dibagi menjadi 2 macam (Hardiyatmo, 2010), yaitu :

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) mengacu pada tiang yang daya dukungnya ditentukan dengan hambatan di ujung tiang. Secara umum, tiang penyangga ujung berbeda di area tanah lunak dan berada di atas tanah keras. Tiang pancang ditekan sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lainnya yang dapat menopang beban yang diperkirakan tidak akan menyebabkan penurunan yang berlebihan. Daya dukung tiang sangat ditentukan oleh daya dukung lapisan keras di bawah ujung tiang.



Gambar 3.4 Tiang dukung ujung (Hardiyatmo, 2010)

1. Tiang dukung gesek (*friction pile*) adalah tiang yang daya dukungnya ditentukan oleh tahanan gesek antara dinding tiang dengan lapisan tanah di sekitarnya. Perhitungan daya dukung tiang memperhitungkan pengaruh tahanan gesek dan konsolidasi lapisan tanah di bawahnya.



Gambar 3.5 Tiang dukung gesek (Hardiyatmo, 2010)

3.8 Kapasitas Daya Dukung Ultimate Cara Statis dan Cara Dinamis

Daya dukung ultimit metode statis dihitung dengan menggunakan teori mekanika tanah, yaitu dengan mempelajari karakteristik teknis tiang, tanah, sedangkan daya dukung dinamis didasarkan pada data lapangan yang dihitung, yaitu data kalendering dan timbangan beban uji lainnya serta data PDA (*Pile Driving Analyzer*) yang diperoleh selama proses pemancangan. Hasil perhitungan daya dukung tiang berdasarkan teori mekanika tanah, terkadang masih perlu dilakukan pengujian dengan tiang pancang untuk memastikan hasilnya.

3.9 Kapasitas Dukung Tiang dari Uji Kerucut Statis (*Cone Penetration Test*)

Daya dukung tiang dapat diperoleh dari data *Cone Penetration Test* (CPT) atau sondir. Tiang pancang harus sama dengan tahanan ujung selama uji penetrasi. Namun, efek skala dan perbedaan kecepatan pemuatan yang menyebabkan perbedaan signifikan pada nilai tahanan ujung tiang. Fleming et al (2009) mengusulkan bahwa tahanan ujung elemen tiang sama dengan tahanan kerucut (q_c) untuk tiang tertutup, tetapi 70% dari tahanan ujung tiang untuk tiang terbuka atau tiang bor.

Tahanan gesek tiang biasanya tergantung pada bahan tiang dan jenis tanah. Beberapa peneliti menyarankan untuk mengambil satuan tahanan gesek tiang sama dengan tahanan gesek lokal (q_c) pada sisi kerucut.

Kapasitas dukung ultimit netto (Q_u), dihitung dengan persamaan umum:

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b f_b + A_s f_s - W_p \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan:

A_b = luas ujung bawah tiang

A_s = luas selimut tiang

f_b = tahanan ujung satuan tiang

f_s = tahanan gesek satuan tiang

W_p = berat tiang

Tahanan ujung tiang persatuan luas (f_b) kurang lebih sama dengan tahanan konus (q_c), atau dengan memberikan faktor modifikasi pengaruh skala (ω):

$$f_b = \omega q_c \dots\dots\dots(3.6)$$

Tahanan gesek satuan tiang (f_s) dikorelasikan dengan tahanan gesek sisi (*sleeve*) konus (q_f), dengan memberikan koefisien modifikasi tahanan gesek K_f , yaitu:

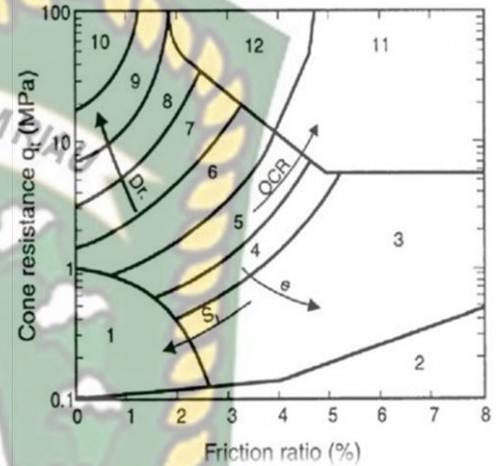
$$f_s = K_f q_f \dots\dots\dots(3.7)$$

Tahanan gesek sisi tiang bergantung pada bahan tiang, volume tanah yang dipindahkan oleh akibat pemancangan dan bentuk tiang (seragam atau meruncing).

3.10 Klasifikasi Jenis Tanah

Klasifikasi jenis tanah yang telah diberikan oleh *Robertson dan Campanella* (1986) seperti pada gambar berikut :

Zone	Jenis Tanah
1	Butiran halus sensitif
2	Organik
3	Lempung
4	Lempung berlanau sampai lempung
5	Lempung berlempung sampai lempung berlanau
6	Lanau berpasir sampai lanau berpasir
7	Pasir berlanau sampai lanau berpasir
8	Pasir sampai pasir berlanau
9	Pasir
10	Pasir berkerikil sampai berpasir
11	Butiran halus sangat kaku
12	Pasir sampai pasir berlempung



Gambar 3.6 Klasifikasi jenis tanah oleh *Robertson dan Campanella* (1986)

3.11 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang

1. Metode *Schmertmann dan Nottingham*

Kapasitas dukung ultimit neto (Q_u), dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = A_b f_b + A_s f_s - W_p \dots\dots\dots (3.8)$$

Atau

$$Q_u = A_b \omega q_{ca} + A_s K_f q_f - W_p \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan,

A_b = luas ujung bawah tiang (cm²)

A_s = luas selimut tiang (cm²)

f_b = tahanan ujung satuan (kg/ cm²)

f_s = tahanan gesek satuan (kg/ cm²)

- q_{ca} = tahanan konus rata-rata (kg/ cm²)
- q_f = tahanan gesek sisi konus (kg/ cm²)
- K_f = koefisien tak berdimensi
- ω = koefisien korelasi

a) Tahanan ujung satuan

Dalam metode *Schmertmann dan Nottingham* (1975) tahanan ujung tiang per satuan luas, didapatkan nilai q_c dari 8d diatas pondasi tiang sampai 0,7d atau 4d dibawah pondasi tiang seperti terlihat pada Gambar 3.7. Langkah-langkah untuk menentukan q_{ca} adalah sebagai berikut:

- 1) Perhatikan diagram tahanan kerucut (q_c) per kedalamannya dan pilihlah kedalaman sementara yang dianggap mendekati kapasitas ultimit bahan tiang yang akan dipakai.
- 2) Pada kedalaman tiang yang diperhatikan, perhatikan bahwa tahanan kerucut rata-rata (q_c) diambil dari jarak 8d di atas tiang dan 4d dibawahnya.
- 3) Dengan menghitung area 8d di atas pondasi tiang di sepanjang patahan Nilai rata-rata resistansi kerucut (q_c) dari garis menentukan q_{c1} (Gambar 3.7). Perkiraan nilai q_c aman.
- 4) Telusuri garis patahan pada kedalaman 4d dari lintasan tiang (Gambar 3.7) Tentukan q_{c2} dengan menghitung q_c rata-rata sepanjang garis.
- 5) Hitung $q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$
- 6) Dengan menggunakan nilai-nilai dalam Tabel 3.1, tentukan ω guna memperhatikan pengaruh kadar kerikil atau OCR.
- 7) Hitung tahanan ujung satuan dengan persamaan :

$$f_b = \omega \cdot q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2 (15.000 \text{ kN/m}^2) \dots \dots \dots (3.10)$$

dengan :

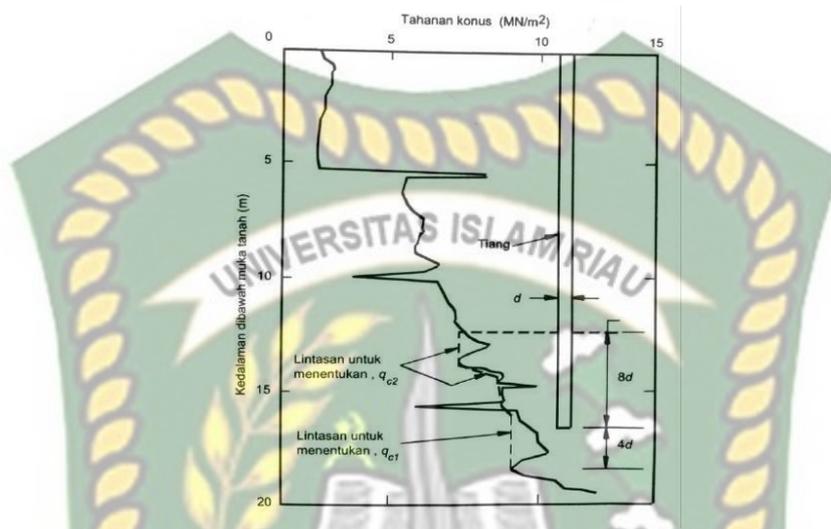
$$f_b = \text{tahanan ujung per satuan luas (kg/cm}^2)$$

ω = koefisien korelasi yang bergantung pada OCR (Tabel 3.1)

$$q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2}) \text{ (kg/cm}^2)$$

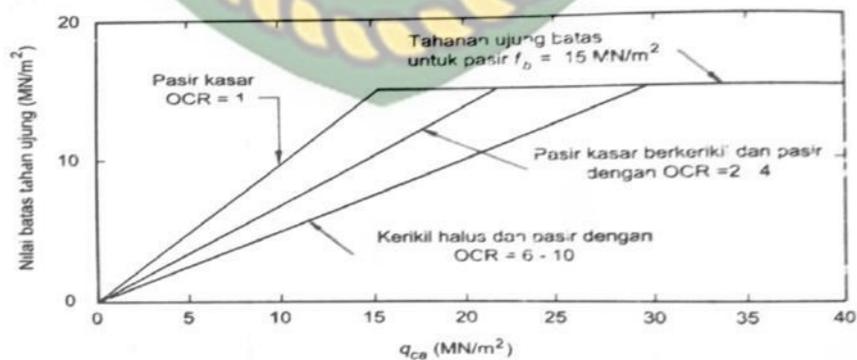
$q_{c1} = q_c$ rata-rata pada zona $0,7d$ atau $4d$ dibawah dasar tiang (kg/cm^2)

$q_{c2} = q_c$ rata-rata pada zona $8d$ di atas dasar tiang (kg/cm^2)

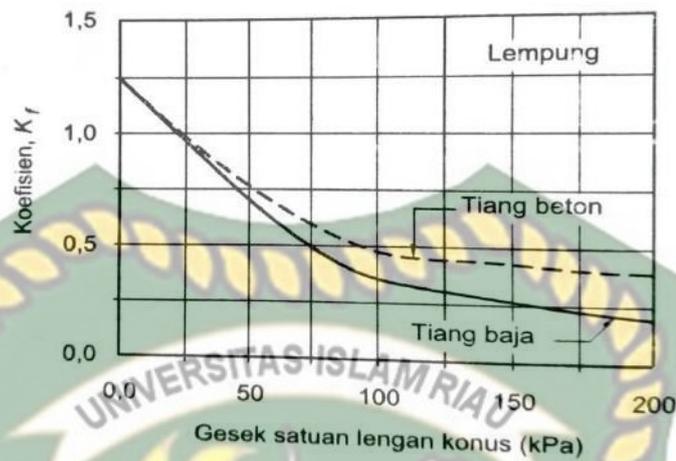


Gambar 3.7 Cara menghitung tahanan ujung dari uji kerucut statis metode Schretmenn dan Nottingham (1975).

Nilai ω bisa berkisar antara 0,5 sampai 1 tergantung rasio konsolidasi berlebihan, OCR (*overconsolidation ratio*). Hubungan antara q_{ca} dan tahanan ujung satuan dengan menggunakan ω dari Tabel 3.11, ditunjukkan pada Gambar 3.3. Gambar ini, biasanya juga dapat digunakan untuk ujung tiang yang terletak pada lapisan lempung.



(a)



(b)

Gambar 3.8 (a) Penyesuaian koefisien terhadap OCR (pasir)
 (b) Koefisien K_f lempung yang digunakan dalam persamaan (Schmertmann dan Nottingham 1975)

b) Tahanan gesek satuan

Tahanan gesek satuan ditentukan dari gesekan local sisi konus :

$$f_s = K_f q_f \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.11)$$

dengan :

f_s = tahanan gesek satuan (kg/cm²). Nilainya dibatasi sampai 1,2 kg/cm² (120 kPa) atau (117,68 kN/m²)

K_f = koefisien tak berdimensi

q_f = gesek satuan lokal sisi konus (Sleeve friction) (kg/cm²).

Tabel 3.11 Faktor ω (deRuiter dan Beringen, 1979)

Kondisi tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir banyak mengandung kerikil kasar; pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0,67
Kerikil halus; Pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0,5

Untuk tiang di pasir, K_f tergantung pada rasio L/d (L = kedalaman, d = diameter tiang). Pada kedalaman $8d$ pertama dari bidang dasar, K_f diinterpolasi dari nol pada bidang dasar menjadi 2,5 pada kedalaman $8d$. Di bawah kedalaman ini, pada kedalaman $20d$, nilai K_f menurun dari 2,5 menjadi 0,891, atau dengan asumsi total $K_f = 0,9$.

Sebagai alternatif, untuk tiang pancang di pasir (bukan untuk tanah lempung), gaya gesekan satuan dapat ditentukan oleh tahanan kerucut q_c sebagai berikut:

$$f_s = K_c q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan :

f_s = tahanan gesek satuan. Nilainya dibatasi sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120 kPa) atau ($117,68 \text{ kN/m}^2$)

q_c = tahanan konus (kg/cm^2).

K_c = koefisien tak berdimensi yang nilainya bergantung pada tipe tiang.
 tiang baja ujung bawah terbuka, $K_c = 0,8\%$
 tiang pipa ujung bawah tertutup, $K_c = 1,8\%$
 tiang beton, $K_c = 1,2\%$

3.12 Faktor Aman Tiang Pancang

Untuk memperoleh kapasitas izin tiang yang kokoh terhadap struktur, maka perlu membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini diberikan dengan maksud sebagai berikut (Hardiyatmo, 2008).

1. Memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode perhitungan yang digunakan.
2. Memberikan keamanan terhadap perubahan kuat geser dan kompresibilitas tanah.
3. Pastikan tiang pancang cukup aman untuk mendukung beban yang bekerja.
4. Pastikan penurunan lokal dari satu tiang atau sekelompok tiang masih dalam batas yang diperbolehkan.

5. Untuk memastikan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam yang diperbolehkan.

Sehubungan dengan alasan butir (d), dari hasil banyak pengujian – pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (working load) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977). Besarnya beban kerja (working load) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang :

$$SF = \frac{Q_u}{Q_i} \dots\dots\dots(3.13)$$

Beberapa peneliti menyarankan faktor aman yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas ijin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots\dots\dots(3.14)$$

terdapat faktor keamanan (yaitu 3) untuk tahanan gesek dinding (Q_s) lebih kecil dari tahanan ujung tiang, karena puncak tahanan gesek sisi tiang tercapai pada saat tiang mengalami reduksi 2-7mm, sedangkan tahanan ujung (Q_b) membutuhkan reduksi yang lebih besar. Cukup besar untuk ketahanan terminasi agar berfungsi penuh. Oleh karena itu, tujuan penggunaan faktor keamanan ini adalah untuk memastikan keamanan tiang untuk mencegah tiang runtuh, dengan mempertimbangkan penurunan tiang di bawah beban kerja yang diterapkan. Disarankan oleh Tomlison (1977), nilai Q_a dalam **Persamaan (3.13)** tidak boleh melebihi nilai Q_a dalam **Persamaan (3.14)**.

Reese dan O'Neill (1989) direkomendasikan untuk memilih faktor keamanan (F) untuk desain pondasi tiang dengan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut :

- 1) Jenis dan kepentingan struktur.
- 2) Variabilitas tanah (tanah tidak homogen)
- 3) Akurasi survei tanah
- 4) Jenis dan jumlah uji tanah yang dilakukan
- 5) Ketersediaan data lapangan (uji beban tiang)
- 6) Pengawasan/kontrol kualitas di tempat
- 7) Beban desain aktual yang mungkin terjadi selama beban layanan struktural.

Nilai faktor keamanan yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) ditunjukkan pada Tabel 3.12. Faktor keamanan dari analisis statik yang umum digunakan berkisar antara sekitar 2 hingga 4, dan yang paling banyak digunakan adalah 3.

Tabel 3.12 Faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989)

Klasifikasi struktur	Faktor aman (F)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monomenta	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

Hasil analisis kapasitas dukung tiang secara statis masih belum cukup dan masih perlu mempertimbangkan cara pelaksanaannya. Hal ini, karena cara pelaksanaan akan berpengaruh pada kapasitas dukung tiang dalam kenyataannya. Cara pemasangan tiang dengan cara dilubangi dulu atau disemprot, penanganan pengeringan air dan pemadatan tanah akan berpengaruh terhadap kapasitas dukung tiang. Pemancangan tiang yang menimbulkan getaran sehingga membahayakan bangunan sekitarnya, dalam perancangan yang sudah ditetapkan digunakan tiang pancang, kemudian diganti dengan tiang bor untuk meminimalkan getaran. Untuk kasus yang terakhir ini, maka hitungan tiang secara statis harus mengikuti cara analisis kapasitas dukung untuk tiang bor.

Jika penurunan bangunan tidak menjadi faktor penentu, misalnya tiang digunakan untuk mendukung tangki atau bangunan lain yang mengalami penurunan besar, tapi tidak mengalami kerusakan yang berarti, maka faktor aman dapat dipilih lebih rendah (Fleming et al, 2009). Uji beban tiang menunjukkan bahwa penurunan konsolidasi tiang akan bertambah secara signifikan bila beban tiang mencapai 70% dari kapasitas dukung tiang ultimit.

3.13 Analisis Daya Dukung *Jacked Pile* Berdasarkan Bacaan Manometer

Kapasitas daya dukung *jacked pile* dapat diketahui berdasarkan bacaan manometer yang tersedia pada alat *hydraulic jack*. Kapasitas daya dukung tiang dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = P \times A \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :

Q = Daya dukung tiang pada saat pemancangan (Kg)

P = Bacaan manometer (Kg/cm²)

A = Total luas efektif penampang piston (cm²)

3.14 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

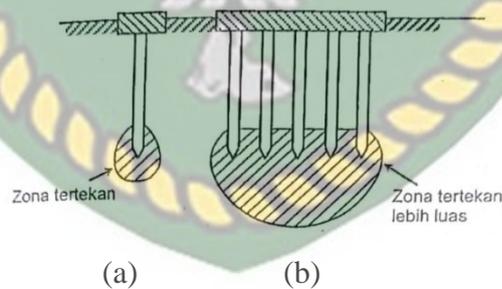
Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat, namun dibawahnya terdapat lapisan lunak. Dalam kondisi tersebut, stabilitas kelompok tiang tergantung dari dua hal, yaitu :

1. Daya dukung beban total struktur pendukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang.
2. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

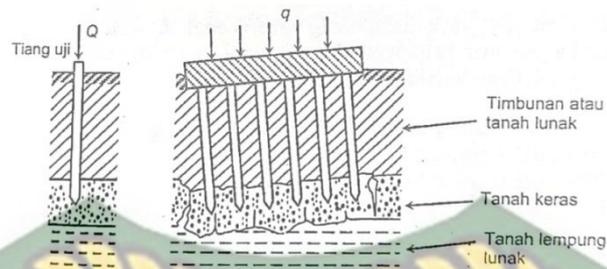
Cara pemasangan tiang, seperti: dipancang, dibor, digetarkan atau ditekan, akan berpengaruh kecil pada kedua hal tersebut di atas. Jika dasar kelompok tiang berada pada lapisan keras, penurunan kelompok tiang sama dengan penurunan tiang tunggal.

Jika tiang dipancang pada lapisan yang cukup kuat tetapi dapat ditekan (seperti tanah lempung keras), atau di lapisan yang tidak dapat ditekan (seperti pasir padat), tetapi lapisan tersebut berada di atas lapisan tanah lunak, daya dukung tiang mungkin rendah pada total daya dukung. Hal ini karena daya dukung pondasi tiang pancang yang diizinkan akan dibatasi oleh penurunan yang diizinkan.

Pada beban struktural yang sama, penurunan kelompok tiang lebih besar dari pada tiang tunggal. Hal ini karena dalam satu tiang, luas daerah tekan di bagian bawah tiang jauh lebih kecil dari pada kelompok tiang, sehingga penurunan kelompok tiang menjadi lebih besar dari pada penurunan tiang tunggal (**Gambar 3.9**). Tomlinson (1977) menjelaskan perbedaan pengaruh tekanan tiang pada tanah pendukung untuk tiang tunggal dan kelompok tiang, seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3.10**. Dalam gambar ini, dibandingkan antara sebuah tiang dari kelompok tiang yang dibebani (dalam uji beban tiang) dengan kelompok tiang saat beban total bangunan telah bekerja (**Gambar 3.10**). Tiang ditopang oleh lapisan tanah padat, yaitu tiang tunggal di atasnya, yaitu lapisan lunak.



Gambar 3.9 Perbandingan zona tanah tertekan (Tomlinson, 1977)
(a) Tiang tunggal
(b) Kelompok tiang



Gambar 3.10 Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung (Tomlinson, 1977)

(a) Uji tiang tunggal. Tekanan ke tanah lunak kecil.

(b) Kelompok tiang. Tekanan pada lapisan tanah lunak sangat besar.

Lapisan tanah padat tidak mengalami tekanan yang besar pada tiang tunggal, Pada saat semua tiang diberi gaya, daerah tekan bertambah luas sampai pondasi menjadi lunak, yang dapat menyebabkan bangunan menjadi mengendap atau bahkan runtuh bangunan yang didukung oleh kelompok tiang tersebut.

3.14.1 Kapasitas Dukung

Dengan pondasi tiang yang seluruhnya terbuat dari tanah lempung lunak, tiang yang menopang beban terutama ditopang oleh tahanan geseknya. Kondisi pondasi menjepit ini disebut pondasi tiang terapung.

Kapasitas kelompok tiang apung dipengaruhi oleh salah satu faktor berikut ini (Coduto, 1994):

- (1) Jumlah kapasitas tiang tunggal dalam kelompok tiang, bila jarak tiang jauh, atau
- (2) Tahanan gesek tiang yang dikembangkan oleh gesekan antara bagian luar kelompok tiang dengan tanah di sekelilingnya, jika jarak tiang terlalu dekat.

Untuk panjang dan jumlah kelompok tiang tertentu. Ada jarak kritis di mana mekanisme kegagalan berubah dari mode kegagalan massal ke mode kegagalan unipolar. Untuk jarak tiang yang lebih kecil dari jarak kritis, keruntuhan terjadi pada bidang keruntuhan di sekitar kelompok tiang (Gambar 2.45b), Untuk jarak klem yang lebih besar, kegagalan terjadi karena setiap tiang menembus lapisan tanah lempung, menghasilkan gerakan relatif antara tanah lempung dan tiang (Gambar 2.45a), Jarak kritis tiang meningkat dengan jumlah tiang dalam kelompok.

Untuk menghitung kapasitas tiang yang berkaitan dengan keruntuhan blok, Terzaghi dan Peck (1948) mengambil asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Pelat penutup tiang (pile cap) sangat kaku.
2. Tanah dalam kelompok tiang berperilaku seperti balok padat.

Dengan asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai fondasi-dalam (Gambar 2.46), dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh persamaan (Terzaghi dan Peck, 1948):

$$Q_g = 2D(B + L)c + 1,3 c_b N_c BL$$

dengan,

- Q_g = kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui nQ_u (dengan n = jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)
- c = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m^2)
- c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2)
- B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang – tiang (m)
- L = panjang kelompok tiang (m)
- D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)
- N_c = faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan ke-2 adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk – bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan – persamaan kapasitas dukung Terzaghi untuk fondasi dangkal.

3.15 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Penurunan kepala tiang pada tanah yang homogen dengan modulus elastisitas dan rasio Poisson yang konstan dapat dihitung dengan persamaan yang dikemukakan oleh Poulos dan Davis (1980), sebagai berikut :

$$S = \frac{QI}{E_s d} \dots\dots\dots (3.16)$$

$$I = I_o R_k R_h R_\mu \dots\dots\dots (3.17)$$

Dengan :

- S = Penurunan kepala tiang
- Q = Beban yang bekerja
- I_o = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (*incompressible*) dalam massa semi tak terhingga

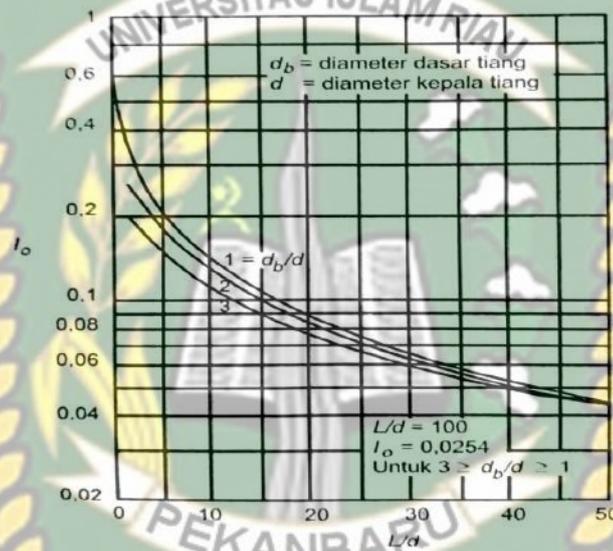
R_k = Faktor koreksi kemudah – mampatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$

R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras

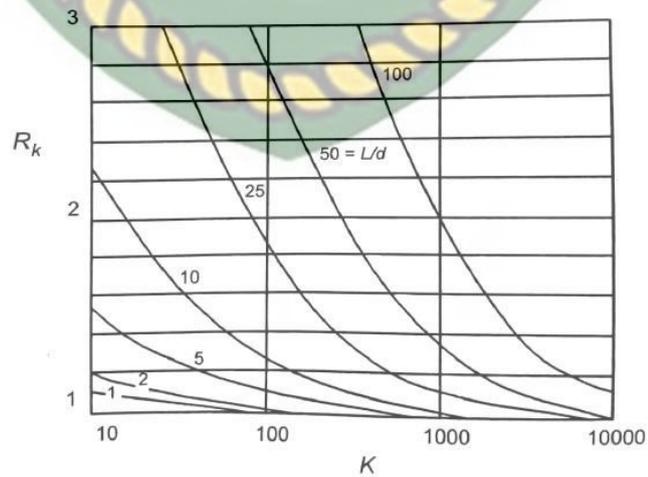
R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ

h = Kedalaman total lapisan tanah

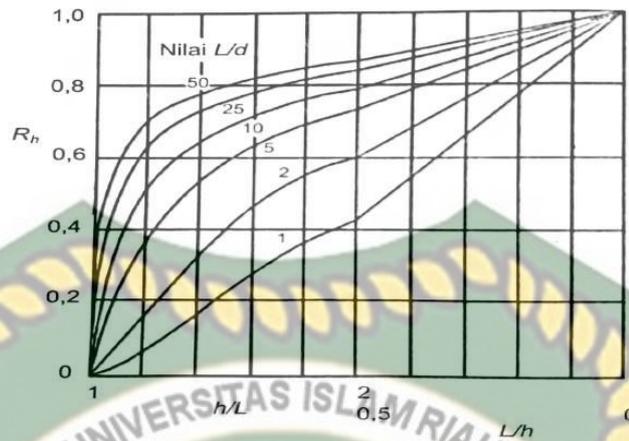
Terlihat pada **Gambar 3.9** bahwa penurunan tiang berkurang jika panjang tiang bertambah.



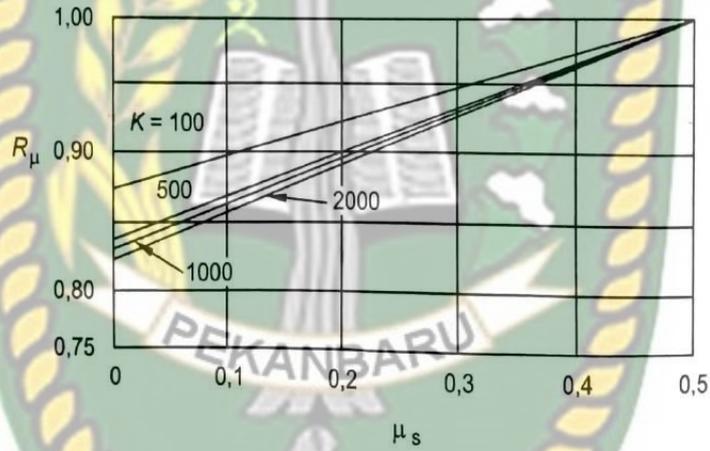
Gambar 3.11 Faktor penurunan I_0 (Poulos dan Davis, 1980)



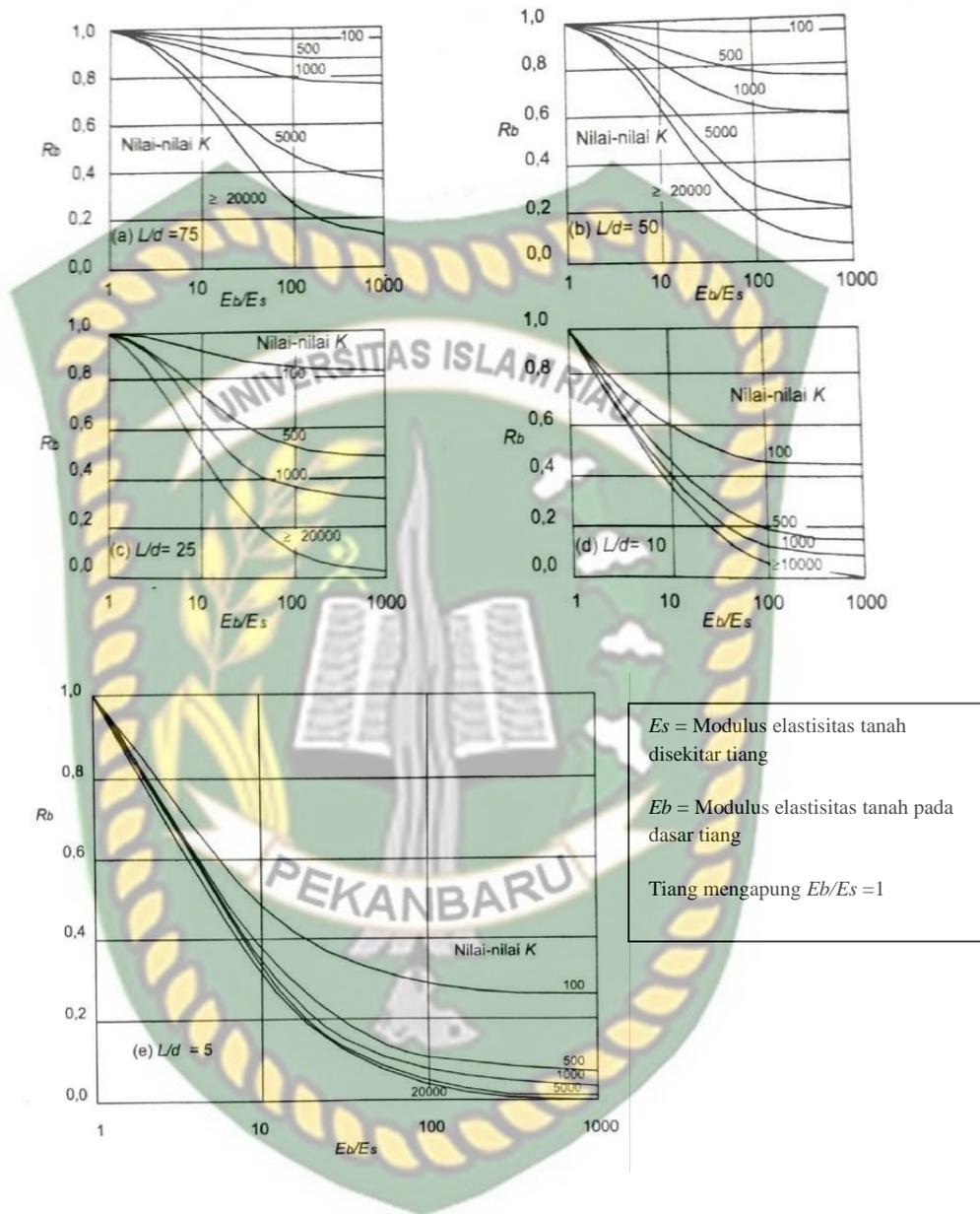
Gambar 3.12 Koreksi kompresi, R_k (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 3.13 Koreksi kedalaman, R_h (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 3.14 Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 3.15 Koreksi kekakuan lapisan pendukung R_b (Poulos dan Davis, 1980)

$$S = \frac{QI}{E_s d} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$I = I_o R_k R_b R_\mu \dots \dots \dots (3.19)$$

Nilai koefisien dapat diambil dari **Gambar 3.9** sampai **3.13**, dimana R_b = kekakuan faktor koreksi lapisan pendukung (**Gambar 3.13**). Pengaruh pondasi

tiang penyangga terhadap kekerasan tanah adalah mengurangi penurunan. Efek ini menjadi lebih nyata bila tiang pancang relatif pendek (hard piles) dan terletak pada lapisan penyangga yang keras.

Pada **Gambar 3.9, 3.10 dan 3.13**, K adalah ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah, dan dinyatakan dengan rumus berikut :

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} = \text{faktor kekakuan tiang} \dots\dots\dots (3.20)$$

$$R_A = \frac{A_p}{1/4\pi d^2} = \text{rasio area tiang} \dots\dots\dots (3.21)$$

E_p dan E_s berturut turut adalah modulus elastis bahan tiang dan tanah, A_p adalah luas tampang tiang. Jika tiang makin kompresibel, maka K semakin kecil.

3.16 Penurunan Kelompok Tiang

Pada kondisi tertentu, daya dukung tiang yang diijinkan tergantung pada persyaratan penurunan, yang terutama bergantung pada rasio tahanan ujung terhadap beban tumpukan. Jika beban yang ditopang oleh setiap tiang kurang dari atau sama dengan tahanan ujung tiang, penurunannya kecil. Sebaliknya, jika beban per tiang melebihi tahanan ujung tiang, pengurangannya bisa signifikan.

Untuk tiang yang dipancang pada lapisan penyangga yang lebih keras dan kurang kompresibel, penurunan terjadi karena pemendekan badan tiang itu sendiri ditambah penurunan tanah di bawah pondasi tiang.

Pada keadaan ini, penurunan kelompok tiang akan kurang lebih sama dengan penurunan tang tunggal.

Kesulitan dalam menghitung penurunan kelompok tiang, antara lain :

1. Dalam memprediksi besarnya tegangan di dalam tanah akibat beban tiang dan sifat – sifat tanah yang berada di bawah ujung tiang.
2. Dalam menentukan besarnya beban yang didukung oleh masing – masing tiang di dalam kelompoknya dan beban aksial yang terjadi di sepanjang tiang – tiang tersebut, untuk menghitung perpendekan tiang.

Distribusi tekanan tiang ke tanah di sekitarnya bergantung pada tipe tiang dalam mendukung beban struktur.

3.16.1 Kelompok Tiang Dalam Lempung

Dari penelitian, Terzaghi dan Peck (1948) melaporkan bahwa pada bagian $\frac{2}{3}$ 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 $\frac{2}{3}$ panjang tiang tersebut sebagai materi yang tidak mudah mampat. Dari pengamatan ini, Terzaghi dan Peck menyarankan penyebaran beban fondasi tiang pada tipe tiang gesek dianggap berawal dari $\frac{2}{3}$ panjang tiang ke arah bawah.

Analisis penurunan kelompok tiang di bawah ini, merupakan cara yang diusulkan oleh Tomlinson (1963; 1977) didasarkan pada teori Terzaghi dan Peck tersebut.

A. Penurunan kelompok tiang apung

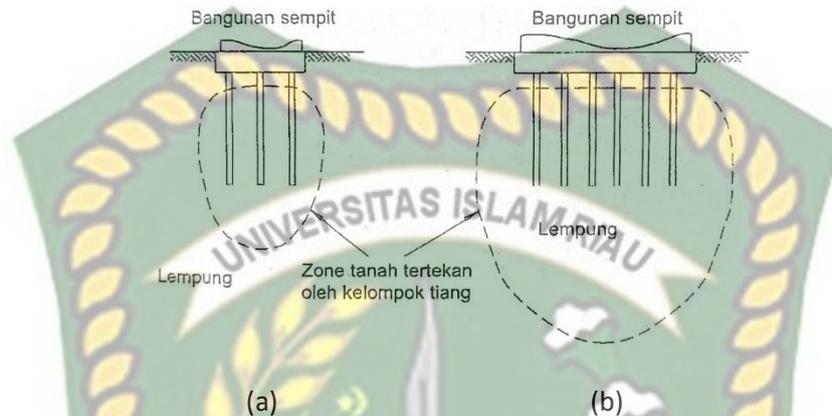
Pada kondisi tertentu, tiang dipancang secara keseluruhan ke dalam lapisan lunak. Kondisi tiang semacam ini, disebut tiang apung (floating pile).

Pengamatan pada tiang - tiang dengan tipe tiang gesek yang terletak pada tanah lempung berlanau lunak, menunjukkan bahwa pada beban kelompok tiang dan jumlah tiang yang sama, kelompok tiang dengan jarak tiang yang lebih dekat akan menghasilkan penurunan yang lebih besar. Hal ini, karena untuk beban tiang - tiang yang sama, tekanan ke tanah di bawahnya akan lebih besar pada luasan kelompok tiang yang lebih kecil.

Untuk beban setiap tiang yang telah ditentukan, jika jarak tiang di dalam kelompoknya ditambah, maka intensitas tegangan di dalam tanah dan kedalaman zona tanah tertekan juga bertambah. Perbandingan mengenai hal ini, dapat dilihat pada Gambar 2.70a dan 2.70b. Karena itu, pada beban, panjang dan jarak tiang yang sama, luasan kelompok tiang yang lebih besar, akan menghasilkan penurunan yang lebih besar.

Jika kedalaman tiang beberapa kali lebih besar daripada lebar fondasinya, maka penurunan fondasi akan kecil, berhubung besarnya zona tertekan kecil. Sebaliknya, jika kedalaman tiang lebih kecil daripada lebar area bebannya, sedangkan area beban luas, maka penurunan ultimit yang terjadi akan lebih besar walaupun bebannya tidak begitu besar. Di sini, luas fondasi dan beban terbagi rata

pada luasan fondasinya sama. Pada Gambar 3.16a dan 3.16b, yaitu kondisi penyebaran tekanan fondasi rakit di permukaan dan bila dipakai fondasi tiang pendek, terlihat bahwa volume zona tertekan akibat bebannya relatif sama.



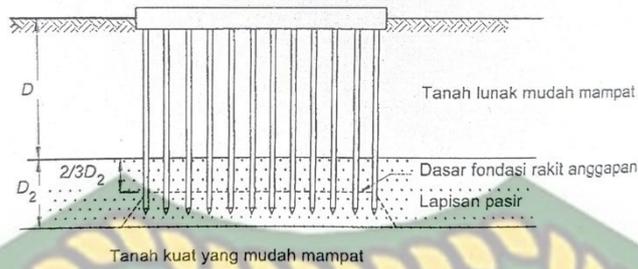
Gambar 3.16 Tambahan tekanan vertikal pada tiang gesek pada tanah lempung, untuk beban dan panjang tiang yang sama (Tomlinson, 1977).

- (a) Lebar fondasi kecil dibanding panjang tiang
- (b) Lebar fondasi besar dibanding panjang tiang

Pada kebanyakan lempung terkonsolidasi normal (normally consolidated), kuat geser tanah bertambah dan kemudahmampatannya berkurang bila kedalaman tanah bertambah. Karena itu, jika kelompok tiang dipasang lebih dalam pada tanah lempung terkonsolidasi normal yang kuat gesernya bertambah dan kemudahmampatannya berkurang bila kedalamannya bertambah, maka penurunan struktur yang terjadi akan lebih kecil.

B. Penurunan kelompok tiang yang terletak pada lapisan lempung lunak di atas lapisan kuat dengan tebal terbatas.

Bila tiang dipancang dalam lapisan lunak yang didasari oleh lapisan tanah pasir, penurunan konsolidasi akibat beban kelompok tiang dihitung dengan menganggap bahwa kelompok tiang berkelakuan seperti fondasi rakit yang dasarnya terletak pada kedalaman $D_1 + (2/3)D_2$, sedang penyebaran beban ke lapisan lempung yang dapat mampat di bawahnya digunakan cara 2V : 1H (Gambar 2.73) (Tomlinson, 1963). Bila tiang dipasang hanya mencapai lapisan pertama, yaitu menggantung pada lapisan lempung lunak yang berada di atas, maka dasar fondasi rakit yang diasumsikan dapat dianggap berada pada kedalaman $(2/3)D_1$. Prosedur tersebut dapat digunakan untuk tiang pancang dan tiang bor.



Gambar 3.17 Kelompok tiang dalam lapisan lempung lunak di atas lapisan kuat yang tipis (Tomlinson, 1963)

$$S_i = \frac{\mu_1 \times \mu_2 \times q_n \times B}{E_u} \dots\dots\dots(3.22)$$

Dengan :

S_i = Penurunan segera kelompok

q = Tekanan netto fondasi

B = Lebar tiang pancang kelompok

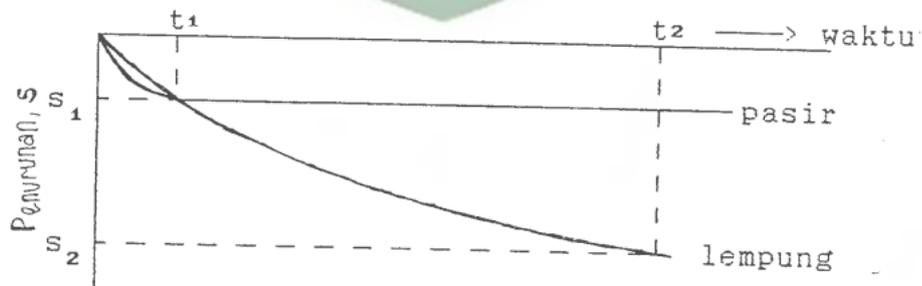
E = Modulus elastis

μ_1 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah

μ_2 = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi

3.17 Penurunan Segera Dan Penurunan Konsolidasi

Sebagai perbandingan besarnya penurunan dan waktu, proses penurunan terhadap beban yang sama pada pasir dan lempung tampak pada gambar 3.16 :



Gambar 3.18 Perbandingan penurunan pasir dan lempung

Dari gambar 3.16 tersebut tampak bahwa pada pasir penurunan segera dalam waktu yang cepat, dan setelah itu terus berhenti penurunannya. Sedangkan pada lempung penurunannya berlangsung terus, demikian juga waktu penurunannya berlangsung dalam waktu yang lama.

Penurunan pada tanah akibat adanya tambahan beban sebenarnya dapat dibagi atas beberapa bagian, yaitu :

1. Penurunan segera

Penurunan segera terjadi karena adanya sifat elastis tanah, yaitu penurunan yang akan terjadi dalam waktu yang dekat seiring dengan bekerjanya beban pada tiang.

2. Penurunan konsolidasi

Penurunan konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan – lahan pada tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori, proses tersebut terus berlangsung sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar – benar hilang. Penurunan konsolidasi terjadi dalam waktu yang lama dengan derajat konsolidasi hingga 100% atau sampai selesai.

3.18 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Dimana di dalam struktur metode ini membuat model struktur menjadi bagian – bagian kecil dan potongan – potongan yang teratur. Salah satu aplikasi yang menggunakan Metode Elemen Hingga adalah Plaxis. Plaxis merupakan sebuah program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang dikembangkan khusus untuk melakukan analisa deformasi dan stabilitas dalam bidang geoteknik. Akurasi hasil yang didapatkan dari program ini dibandingkan dilapangan tergantung kaahlian pengguna dalam memodelkan permasalahan, parameter yang digunakan, pemahaman terhadap model-model, dan kemampuan menginterpretasikan hasil penggunaan plaxis. Di dalam plaxis terdapat dua permodelan yaitu :

1. *Axysimetris*

Axisymetris adalah bentuk elemen berupa lingkaran axisymetris terhadap sumbu z, dengan penampang yang konstan (segitiga/persegi empat). Posisi elemen ini umumnya dinyatakan dalam koordinat silinder yang mempunyai sumbu z sebagai sumbu simetri.

2. *Plain Strain*

Plain Strain atau regangan bidang adalah struktur dimana tidak terjadi regangan yang arahnya tegak lurus/bidang yang ditinjau. Sebagai contoh, suatu struktur bendung yang cukup panjang dibandingkan dengan arah melintang, dimana pada kedua ujungnya terdapat pengekanan arah memanjang. Permodelan ini biasanya untuk dinding penahan tanah, jalan dan saluran drainase

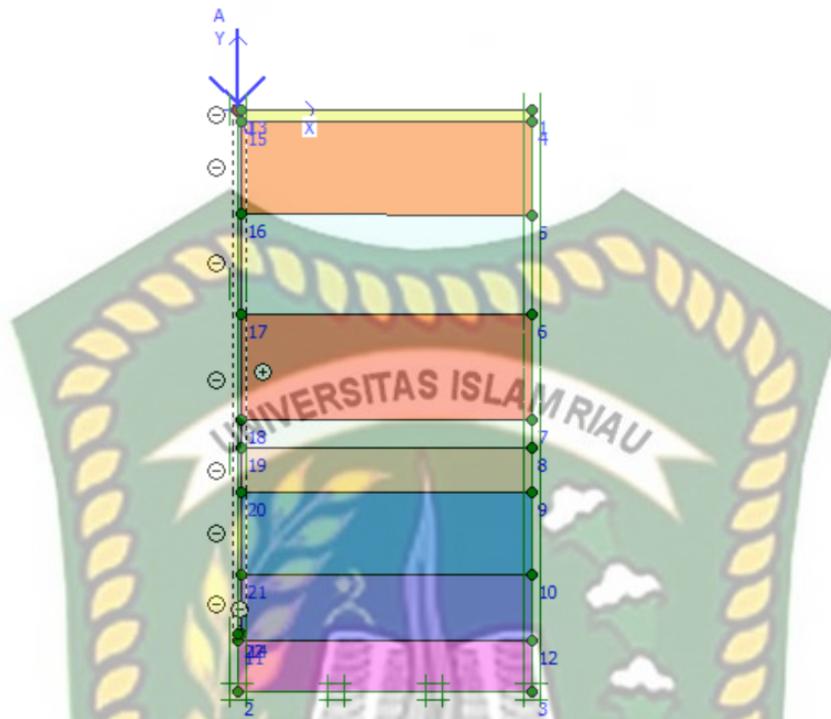
3.19 Permodelan Plaxis 2D

Plaxis (Finite Element Code For Soil and Rock Analyses) merupakan suatu rangkuman program yang telah dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan – perencanaan bidang sipil. Plaxis dapat digunakan untuk melakukan permodelan dan analisis semua permasalahan geoteknik seperti *slope stability*, *seepage*, dan konsolidasi. Selain itu Plaxis juga dapat memodelkan dan menganalisa struktur geoteknik dan interaksi tanah dengan struktur seperti pondasi dangkal, pondasi dalam, dinding penahan tanah, angkur (anchor), dan sebagainya.

Secara garis besar tahapan permodelan dan analisis menggunakan *Plaxis* terdiri dari : 1. *General Setting*, 2. *Geometry*, 3. *Material Properties*, 4. *Initial Condition*, 5. *Calculation*.

1. Permodelan pada program *Plaxis 2D V8.6*

Sebelum melakukan perhitungan secara numerik, maka harus terlebih dahulu dirancang pemodelan dari pondasi tiang pancang yang akan dianalisis seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.19 Model Pondasi Tiang Pancang

Material yang dipergunakan dalam pemodelan tersebut meliputi material tanah dan pondasi yang mempunyai sifat-sifat teknis dari masing-masing material yang mempengaruhi perilakunya. Dalam program *Plaxis*, sifat-sifat tersebut diwakili oleh parameter dan pemodelan yang spesifik. Tanah dan batuan mempunyai kecenderungan perilaku yang non-linier dalam kondisi pembebanan. Pemodelan dalam program ini sangat terbatas dalam memodelkan perilaku tanah, sehingga lebih umum digunakan untuk struktur yang padat dan kaku di dalam tanah. Input parameter berupa *Modulus Young* (E) dan *rasio Poisson* (ν) dari material yang bersangkutan.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \dots\dots\dots(3.24)$$

Di dalam program *Plaxis* ada beberapa jenis pemodelan tanah diantaranya adalah model *Soft Soil*, dan *Mohr – Coulomb*.

a. Model Tanah *Mohr – Coulomb*

Pemodelan *Mohr – Coulomb* mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna (*Linear Elastic Perfectl Plastic Model*), dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas dimana pada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Input parameter meliputi lima parameter, yaitu :

- 1) *Modulus Young* (E), *rasio Poisson* (ν) yang memodelkan keelastisitasan tanah.
- 2) Kohesi (c), sudut geser (φ') memodelkan perilaku plastis dari tanah.
- 3) Sudut dilantasi (ψ) memodelkan perilaku dilantasi tanah.

Pada metode *Mohr – Coulomb* umumnya dianggap bahwa nilai E konstan untuk suatu kedalaman pada suatu jenis tanah, namun jika diinginkan adanya peningkatan nilai E per kedalaman tertentu disediakan input tambahan dalam program *Plaxis*.

Nilai *rasio Poisson* (ν) dalam pemodelan *Mohr – Coulomb* didapat dari hubungannya dengan koefisien tekanan.

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\frac{\nu}{1-\nu} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots(3.26)$$

Dimana :

Secara umum nilai ν bervariasi dari 0,30 sampai 0,40 namun untuk kasuskasus pengalihan (*unloading*) nilai ν yang lebih kecil masih realistis. Nilai kohesi c dan sudut geser φ' diperoleh dari uji geser *triaxial*, atau diperoleh dari hubungan empiris berdasarkan data uji lapangan. Sementara sudut dilantasi ψ digunakan untuk memodelkan regangan volumetrik plastik yang bernilai positif. Pada tanah lempung NC, pada umumnya tidak terjadi dilantasi ($\psi=0$), sementara pada tanah pasir dilantasi tergantung dari kerapatan dan sudut geser φ' dimana $\psi = \varphi'-30^0$. Jika $\varphi' < 30^0$ maka $\psi = 0$.Sudut dilantasi ψ bernilai negatif hanya bersifat realistis jika diaplikasikan pada pasir lepas.

b. Model Tanah Lunak (*Soft Soil*)

Seperti pada pemodelan *Mohr – Coulomb*, batas kekuatan tanah dimodelkan dengan parameter kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ'), dan sudut dilatasi (ψ). Sedangkan untuk kekuatan tanah dimodelkan menggunakan parameter λ^* dan k^* , yang merupakan parameter kekakuan yang didapatkan dari uji triaksial maupun oedometer.

$$\lambda^* = \frac{Cc}{2.3(1+e)} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$k^* = \frac{2Cs}{2.3(1+e)} \dots\dots\dots(3.28)$$

Model *Soft Soil* ini dapat memodelkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Kekakuan yang berubah bersama dengan tegangan (*Stress Dependent Stiffness*)
- 2) Membedakan pembebanan primer (*Primary loading*) terhadap *unloading-reloading*.
- 3) Mengingat tegangan per-konsolidasi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai analisis penurunan pondasi tiang pancang sudah banyak dilakukan di berbagai daerah dengan data dan metode yang berbeda. Untuk lokasi penelitian ini berada di gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci yang berlokasi di Jalan Rumah Sakit, No. 01, Kecamatan Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Riau. Gedung ini memiliki 2 lantai. Untuk peta lokasi gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci bisa dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Denah Lokasi gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu
Sumber : (Google Earth, 2020)

4.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian perlunya tahapan-tahapan agar mudah sewaktu mengerjakannya. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini secara umum dapat dilihat pada gambar 4.2 dan detailnya sebagai berikut:

1. Persiapan

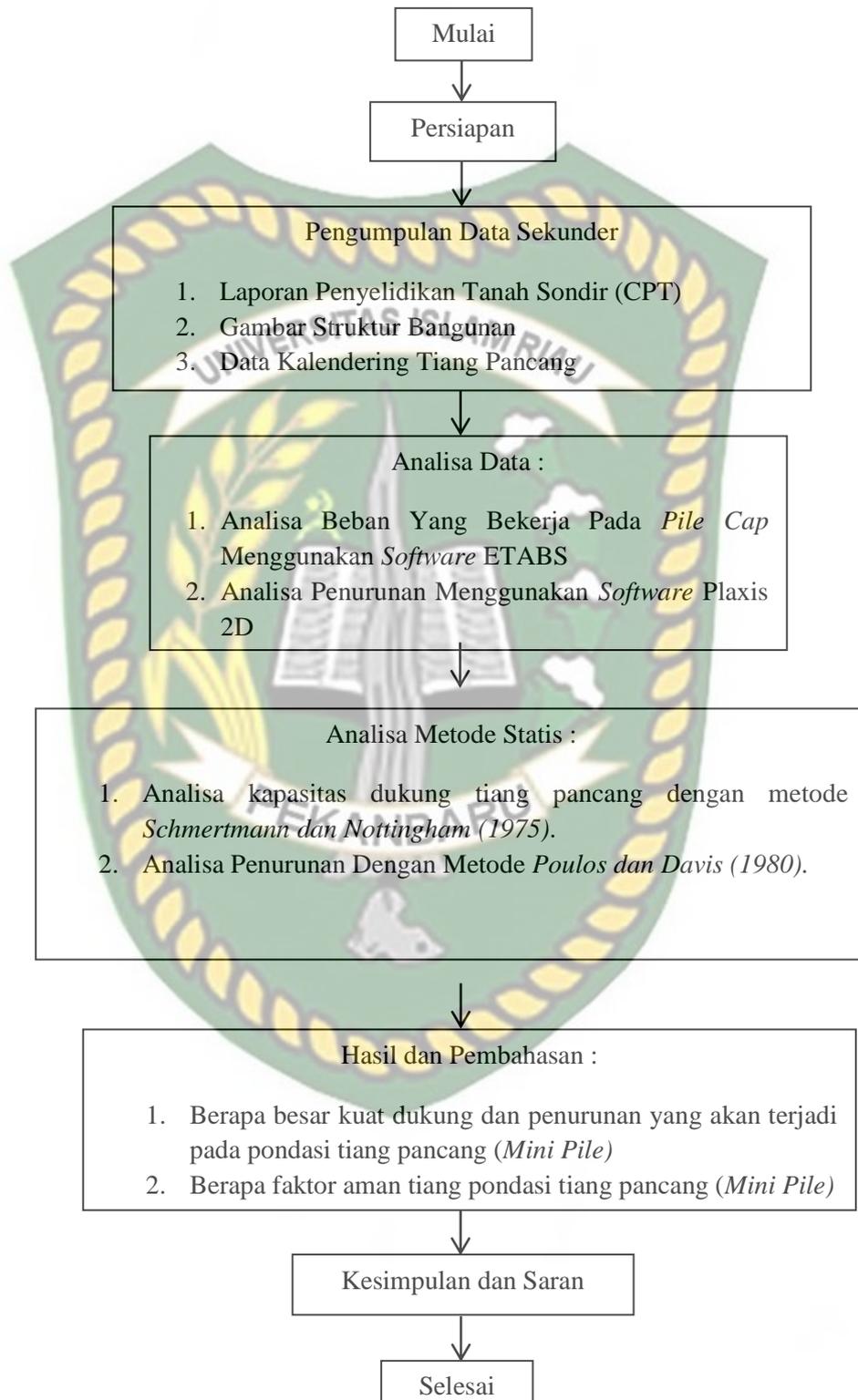
Tahapan persiapan dilakukan dengan cara membuat syarat penelitian yang diajukan kepada pimpinan proyek Kampus Pelita Indonesia, setelah didapat persetujuan untuk melakukan penelitian di sana, maka tahap berikutnya meminta data sesuai dengan keperluan penelitian.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data didapatkan dengan cara meminta data sesuai dengan keperluan penelitian, data yang diminta yakni hasil dari penyelidikan tanah yakni data sondir (CPT). Selain itu, perlunya data gambar struktur berupa denah pondasi, kolom, balok, dan plat lantai beserta detail gambar tersebut dan gambar arsitektur berupa gambar fungsi ruangan dimana gambar ini digunakan untuk analisa pada software ETABS. Data yang berikutnya yang diminta adalah data nomor tiang dan kedalaman tiang yang terpancang yang digunakan dalam perhitungan beban rencana pada setiap tiang pancang.

3. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan analisa memerlukan data – data yang penting untuk dikumpulkan yang berhubungan dengan penelitian, data yang dikumpulkan yakni data sekunder data penyelidikan tanah dikeluarkan oleh PT. Hasanah Surveyor Raya Consultant, data – data yang didapatkan berupa data gambar struktur merupakan data yang dikeluarkan oleh PT. Vista Emas Sejati, dan data kedalaman tiang pancang diperoleh dari PT. Vista Emas Sejati.



Gambar 4.2 Bagan alir penelitian

4. Analisa Data

Data yang telah diperoleh seperti data struktur dan arsitektur dianalisa menggunakan software ETABS yang akan diperoleh beban rencana pada setiap pondasi, sementara untuk data hasil sondir dan kedalaman tiang yang terpancang akan dianalisa untuk mendapatkan kapasitas dukung, penurunan, dan faktor aman pada masing-masing tiang pancang.

5. Hasil dan pembahasan

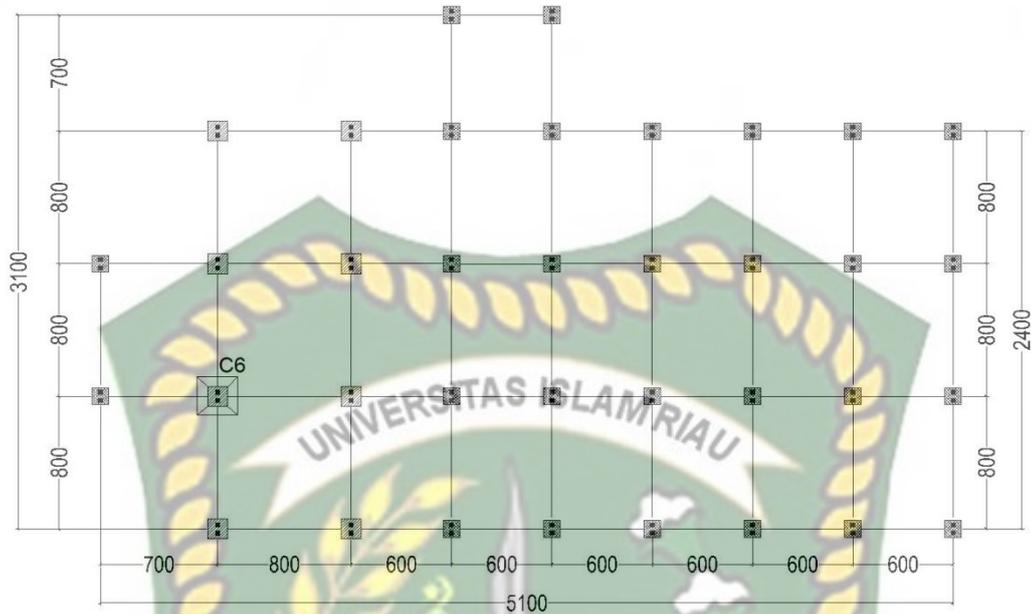
Setelah dilakukan analisa, maka didapatkan hasil kapasitas dukung tiang pancang, pada bab Hasil Dan Pembahasan dari data sondir data kedalaman tiang pancang untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang mini dengan metode Schmertmann and Nottingham (1975) dan Penurunan dengan metode Poulos and Davis (1980) dan kapasitas daya dukung tiang pancang mini dengan Metode Elemen Hingga, dan kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok.

6. Kesimpulan dan saran

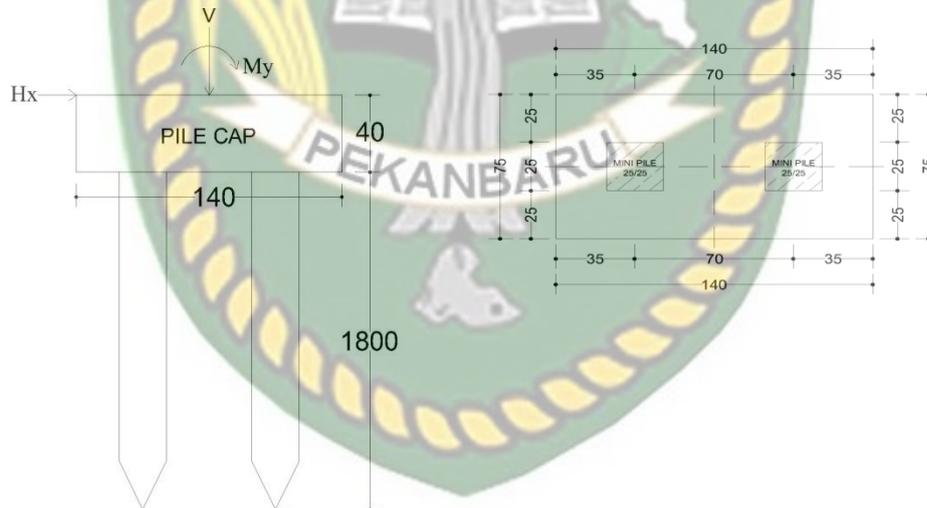
Setelah dijabarkan hasil analisa, maka tahap terakhir dari penelitian ialah menyimpulkan dan melihat aman atau tidak amannya dari hasil perhitungan yang telah dihitung sebelumnya berdasarkan faktor keamanan yang telah ditentukan.

4.3 Cara Analisis

Dalam menganalisa ada beberapa tahap yang dilakukan antara lain menghitung beban terbesar yang bekerja pada pondasi, untuk mengetahui beban terbesar tersebut menggunakan program ETABS, dari hasil analisa program tersebut akan mengelurkan beban-beban yang bekerja pada pondasi, setelah itu beban-beban yang terbesar pada momen arah x, momen arah y, beban lateral dan beban aksial direkap lalu dianalisa untuk mengetahui beban terbesar yang bekerja pada tiang, setelah diketahui, beban tersebut dimasukkan dalam perhitungan.



Gambar 4.3 Denah pondasi tiang pancang



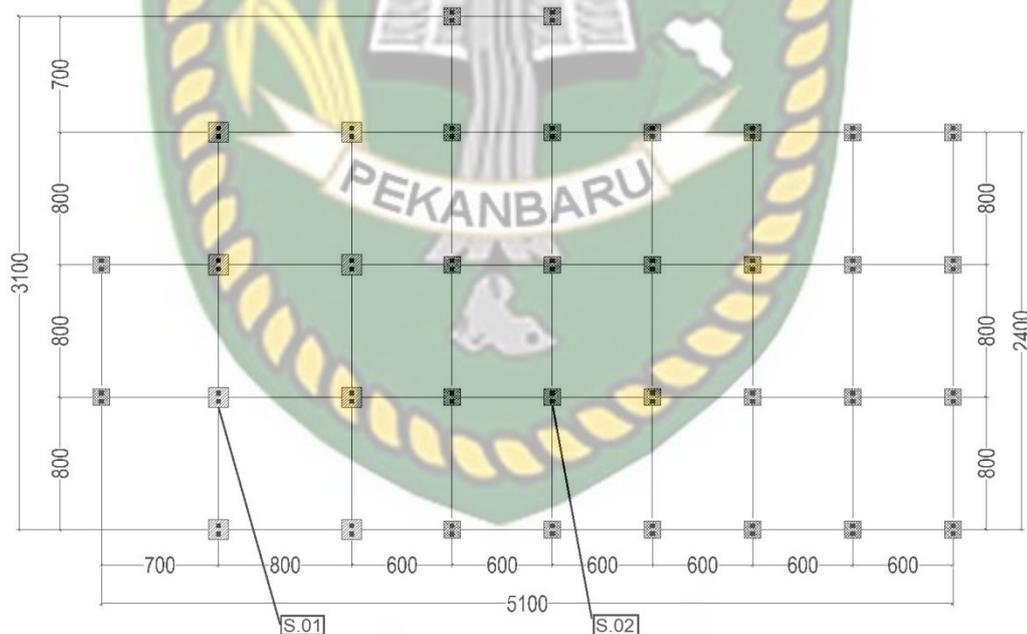
Gambar 4.4 Detail tiang pancang

Perhitungan dilakukan dengan metode statis dan metode elemen hingga 2D, Perhitungan dilakukan dengan metode statis dengan menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang min dari data sondir dan data kedalaman tiang pancang dengan metode Schmertmann and Nottingham (1975) dan analisa penurunan dengan metode Poulos and Davis (1980), Perhitungan Metode Elemen Hingga menggunakan program Plaxis 2D V.8.6.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Deskripsi Umum

Struktur pondasi pada pembangunan Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci menggunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 25x25 cm dan untuk mutu beton yang digunakan yakni K-400, penyelidikan tanah yang diterapkan pada pembangunan ini adalah *Cone Penetration Test* (CPT). Adapun data untuk melakukan analisa didapatkan dari melakukan CPT yang terdiri dari 2 titik sondir pada pembangunan Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci dimana sondir merupakan titik dilakukan pengujian pada tanah, sondir tersebut terdiri dari S.01 dan S.02 seperti pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Lokasi titik sondir

Sumber : (PT. Hasanah Surveyor Raya Consultant, 2020)

Dari gambar 5.1 merupakan lokasi S.01 dan S.02, pada lokasi S.01 didapat perlawanan konus (q_c) = 55 kg/cm² dengan kedalaman 20 m, pada lokasi S.02 didapat perlawanan konus (q_c) = 60 kg/cm² dengan kedalaman 21 m.

5.2 Hasil Pengolahan Data

Dari gambar 5.1 merupakan lokasi S.01 dan S.02, pada lokasi S.01 didapat perlawanan konus (q_c) = 55 kg/cm² dengan kedalaman 20 m, pada lokasi S.02 didapat perlawanan konus (q_c) = 60 kg/cm² dengan kedalaman 21 m.

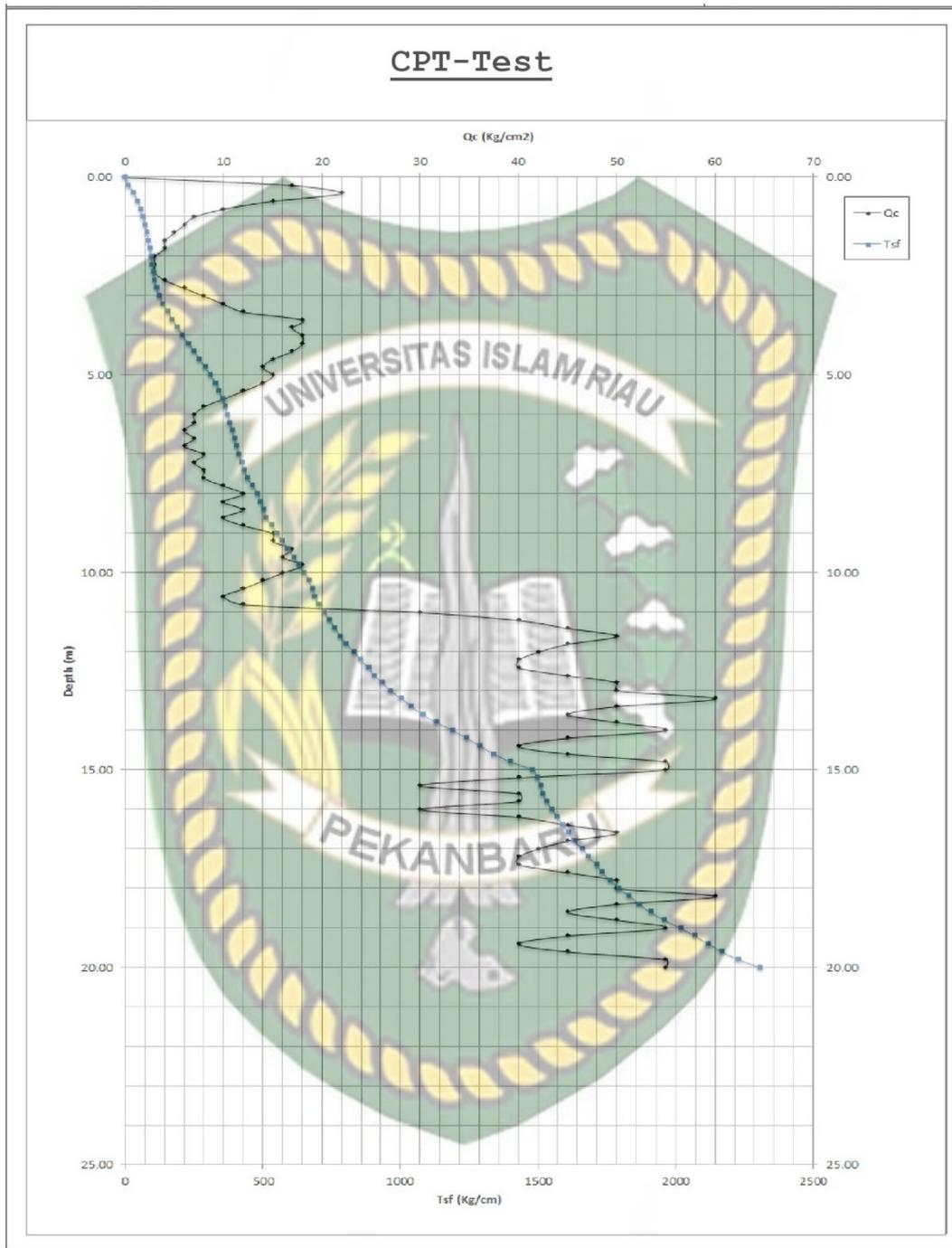
5.2.1 Jenis Tanah Berdasarkan Data Sondir (CPT) Titik Sondir

Tabel 5.1 Data tanah uji sondir titik S.01 (PT. Hasanah Surveyor Raya Consultant , 2020)

Depth (M)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm2	Total Resistant (TR) Kg/Cm2	Skin Friction (SF) Kg/Cm2	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm
0.00	0	0	0	0	0	0.00
0.20	17	23	6	12	12	0.60
0.40	22	32	10	20	32	1.00
0.60	15	22	7	14	46	0.70
0.80	10	15	5	10	56	0.50
1.00	7	11	4	8	64	0.40
1.20	6	10	4	8	72	0.40
1.40	5	8	3	6	78	0.30
1.60	4	7	3	6	84	0.30
1.80	4	7	3	6	90	0.30
2.00	3	5	2	4	94	0.20
2.20	3	5	2	4	98	0.20
2.40	3	5	2	4	102	0.20
2.60	4	6	2	4	106	0.20
2.80	6	10	4	8	114	0.40
3.00	8	13	5	10	124	0.50
3.20	10	17	7	14	138	0.70
3.40	12	20	8	16	154	0.80
3.60	18	27	9	18	172	0.90
3.80	17	26	9	18	190	0.90
4.00	18	28	10	20	210	1.00
4.20	18	28	10	20	230	1.00
4.40	17	27	10	20	250	1.00
4.60	15	25	10	20	270	1.00
4.80	14	24	10	20	290	1.00
5.00	15	25	10	20	310	1.00
5.20	14	24	10	20	330	1.00
5.40	12	18	6	12	342	0.60
5.60	10	16	6	12	354	0.60
5.80	8	13	5	10	364	0.50
6.00	7	11	4	8	372	0.40
6.20	7	11	4	8	380	0.40
6.40	6	10	4	8	388	0.40
6.60	7	11	4	8	396	0.40
6.80	6	10	4	8	404	0.40
7.00	8	13	5	10	414	0.50
7.20	7	11	4	8	422	0.40
7.40	8	13	5	10	432	0.50
7.60	8	13	5	10	442	0.50
7.80	10	20	10	20	462	1.00
8.00	12	22	10	20	482	1.00
8.20	10	15	5	10	492	0.50
8.40	12	17	5	10	502	0.50
8.60	10	15	5	10	512	0.50
8.80	12	22	10	20	532	1.00
9.00	15	25	10	20	552	1.00
9.20	15	25	10	20	572	1.00
9.40	17	27	10	20	592	1.00
9.60	16	26	10	20	612	1.00
9.80	18	28	10	20	632	1.00
10.00	16	26	10	20	652	1.00

Tabel 5.1 Lanjutan

Depth (M)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm2	Total Resistant (TR) Kg/Cm2	Skin Friction (SF) Kg/Cm2	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm
10.20	14	22	8	16	668	0.80
10.40	12	18	6	12	680	0.60
10.60	10	15	5	10	690	0.50
10.80	12	18	6	12	702	0.60
11.00	30	40	10	20	722	1.00
11.20	40	50	10	20	742	1.00
11.40	45	55	10	20	762	1.00
11.60	50	60	10	20	782	1.00
11.80	45	55	10	20	802	1.00
12.00	42	58	16	32	834	1.60
12.20	40	50	10	20	854	1.00
12.40	40	55	15	30	884	1.50
12.60	45	55	10	20	904	1.00
12.80	50	65	15	30	934	1.50
13.00	50	65	15	30	964	1.50
13.20	60	80	20	40	1004	2.00
13.40	50	68	18	36	1040	1.80
13.60	45	65	20	40	1080	2.00
13.80	50	75	25	50	1130	2.50
14.00	55	85	30	60	1190	3.00
14.20	45	70	25	50	1240	2.50
14.40	40	65	25	50	1290	2.50
14.60	45	70	25	50	1340	2.50
14.80	55	85	30	60	1400	3.00
15.00	55	95	40	80	1480	4.00
15.20	40	48	8	16	1496	0.80
15.40	30	36	6	12	1508	0.60
15.60	40	45	5	10	1518	0.50
15.80	40	46	6	12	1530	0.60
16.00	30	40	10	20	1550	1.00
16.20	40	50	10	20	1570	1.00
16.40	45	55	10	20	1590	1.00
16.60	50	60	10	20	1610	1.00
16.80	45	55	10	20	1630	1.00
17.00	42	58	16	32	1662	1.60
17.20	40	50	10	20	1682	1.00
17.40	40	55	15	30	1712	1.50
17.60	45	55	10	20	1732	1.00
17.80	50	65	15	30	1762	1.50
18.00	50	65	15	30	1792	1.50
18.20	60	80	20	40	1832	2.00
18.40	50	68	18	36	1868	1.80
18.60	45	65	20	40	1908	2.00
18.80	50	75	25	50	1958	2.50
19.00	55	85	30	60	2018	3.00
19.20	45	70	25	50	2068	2.50
19.40	40	65	25	50	2118	2.50
19.60	45	70	25	50	2168	2.50
19.80	55	85	30	60	2228	3.00
20.00	55	95	40	80	2308	4.00



Gambar 5.2 Grafik hasil uji sondir titik S.01
Sumber : (PT. Hasanah Surveyor Raya Consultant, 2020)

5.2.2 Hasil Pembacaan Manometer Pondasi Tiang Pancang

Tabel 5.2 Hasil pembacaan manometer titik no.17

Pile			Alat			Type		
Ukuran : <u>25 x 25</u> cm			Pemotongan Pile : _____ Ttk			Type : Hydraulic System		
Mutu : <u>K-400</u>			Kedalaman : <u>17,5</u> M' / <u>18m</u>			Kapasitas : <u>120</u> Ton		
Las Joint : <u>.....2.....</u> kali			Dolly : _____ Ttk			No. Unit : _____		
Panjang : <u>5 x 5 x 5</u> Axis <u>7</u>								
Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)	Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)	Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)
- - 0.5			18.0 - 18.5			36.0 - 36.5		
0.5 - 1.0			18.5 - 19.0			36.5 - 37.0		
1.0 - 1.5			19.0 - 19.5			37.0 - 37.5		
1.5 - 2.0			19.5 - 20.0			37.5 - 38.0		
2.0 - 2.5			20.0 - 20.5			38.0 - 38.5		
2.5 - 3.0			20.5 - 21.0			38.5 - 39.0		
3.0 - 3.5			21.0 - 21.5			39.0 - 39.5		
3.5 - 4.0			21.5 - 22.0			39.5 - 40.0		
4.0 - 4.5			22.0 - 22.5			40.0 - 40.5		
4.5 - 5.0			22.5 - 23.0			40.5 - 41.0		
5.0 - 5.5			23.0 - 23.5			41.0 - 41.5		
5.5 - 6.0			23.5 - 24.0			41.5 - 42.0		
6.0 - 6.5			24.0 - 24.5			42.0 - 42.5		
6.5 - 7.0			24.5 - 25.0			42.5 - 43.0		
7.0 - 7.5			25.0 - 25.5			43.0 - 43.5		
7.5 - 8.0			25.5 - 26.0			43.5 - 44.0		
8.0 - 8.5			26.0 - 26.5			44.0 - 44.5		
8.5 - 9.0			26.5 - 27.0			44.5 - 45.0		
9.0 - 9.5			27.0 - 27.5			45.0 - 45.5		
9.5 - 10.0			27.5 - 28.0			45.5 - 46.0		
10.0 - 10.5			28.0 - 28.5			46.0 - 46.5		
10.5 - 11.0			28.5 - 29.0			46.5 - 47.0		
11.0 - 11.5			29.0 - 29.5			47.0 - 47.5		
11.5 - 12.0			29.5 - 30.0			47.5 - 48.0		
12.0 - 12.5			30.0 - 30.5			48.0 - 48.5		
12.5 - 13.0			30.5 - 31.0			48.5 - 49.0		
13.0 - 13.5			31.0 - 31.5			49.0 - 49.5		
13.5 - 14.0			31.5 - 32.0			49.5 - 50.0		
14.0 - 14.5			32.0 - 32.5			50.0 - 50.5		
14.5 - 15.0			32.5 - 33.0			50.5 - 51.0		
15.0 - 15.5			33.0 - 33.5			51.0 - 51.5		
15.5 - 16.0			33.5 - 34.0			51.5 - 52.0		
16.0 - 16.5			34.0 - 34.5			52.0 - 52.5		
16.5 - 17.0			34.5 - 35.0			52.5 - 53.0		
17.0 - 17.5			35.0 - 35.5			53.0 - 53.5		
17.5 - 18.0	<u>14</u>	<u>70.5</u>	35.5 - 36.0			53.5 - 54.0		

Tabel 5.3 Hasil pembacaan manometer titik no.18

Pile			Pile			Pile		
Ukuran : 25x25 cm			Pemotongan Pile : _____ Ttk			Type : Hydraulic System		
Mutu : K-400			Kedalaman : 17.4 M' / 18m			Kapasitas : 120 Ton		
Las Joint : kali			Dolly : _____ Ttk			No. Unit : _____		
Panjang : 6 x 6 x 6 Axis / 8								
Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)	Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)	Penetrasi (M')	Tekanan (MPA)	Gaya (TON)
- - 0.5			18.0 - 18.5			36.0 - 36.5		
0.5 - 1.0			18.5 - 19.0			36.5 - 37.0		
1.0 - 1.5			19.0 - 19.5			37.0 - 37.5		
1.5 - 2.0			19.5 - 20.0			37.5 - 38.0		
2.0 - 2.5			20.0 - 20.5			38.0 - 38.5		
2.5 - 3.0			20.5 - 21.0			38.5 - 39.0		
3.0 - 3.5			21.0 - 21.5			39.0 - 39.5		
3.5 - 4.0			21.5 - 22.0			39.5 - 40.0		
4.0 - 4.5			22.0 - 22.5			40.0 - 40.5		
4.5 - 5.0			22.5 - 23.0			40.5 - 41.0		
5.0 - 5.5			23.0 - 23.5			41.0 - 41.5		
5.5 - 6.0			23.5 - 24.0			41.5 - 42.0		
6.0 - 6.5			24.0 - 24.5			42.0 - 42.5		
6.5 - 7.0			24.5 - 25.0			42.5 - 43.0		
7.0 - 7.5			25.0 - 25.5			43.0 - 43.5		
7.5 - 8.0			25.5 - 26.0			43.5 - 44.0		
8.0 - 8.5			26.0 - 26.5			44.0 - 44.5		
8.5 - 9.0			26.5 - 27.0			44.5 - 45.0		
9.0 - 9.5			27.0 - 27.5			45.0 - 45.5		
9.5 - 10.0			27.5 - 28.0			45.5 - 46.0		
10.0 - 10.5			28.0 - 28.5			46.0 - 46.5		
10.5 - 11.0			28.5 - 29.0			46.5 - 47.0		
11.0 - 11.5			29.0 - 29.5			47.0 - 47.5		
11.5 - 12.0			29.5 - 30.0			47.5 - 48.0		
12.0 - 12.5			30.0 - 30.5			48.0 - 48.5		
12.5 - 13.0			30.5 - 31.0			48.5 - 49.0		
13.0 - 13.5			31.0 - 31.5			49.0 - 49.5		
13.5 - 14.0			31.5 - 32.0			49.5 - 50.0		
14.0 - 14.5			32.0 - 32.5			50.0 - 50.5		
14.5 - 15.0			32.5 - 33.0			50.5 - 51.0		
15.0 - 15.5			33.0 - 33.5			51.0 - 51.5		
15.5 - 16.0			33.5 - 34.0			51.5 - 52.0		
16.0 - 16.5			34.0 - 34.5			52.0 - 52.5		
16.5 - 17.0			34.5 - 35.0			52.5 - 53.0		
17.0 - 17.5			35.0 - 35.5			53.0 - 53.5		
17.5 - 18.0	14	76.5	17.5 - 18.0			53.5 - 54.0		

5.2.3 Parameter Setiap Lapisan Tanah

Klasifikasi jenis tanah untuk input software Plaxis dilakukan dengan cara pendekatan data sondir (CPT), adapun hasil klasifikasi tanah dapat dilihat pada tabel 5.4 dan 5.5 berikut :

Tabel 5.4 Hasil perhitungan klasifikasi parameter tanah kedalaman 0,00–10,60 m

Parameter Tanah	Kedalaman (m)			
	0,00-0,40	0,40-3,60	3,60-7,00	7,00-10,60
Berat Jenis Tanah, G_s	2,62	2,58	2,58	2,58
Berat Isi Tidak Jenuh, γ_{unsat} (kN/m^3)	8,86	8,72	8,72	8,72
Berat Isi Jenuh, γ_{sat} (kN/m^2)	15,29	15,15	15,15	15,15
Porositas, n (%)	66	66	66	66
Angka Pori, e	1,90	1,90	1,90	1,90
Parameter Kadar Air, W (%)	70	70	70	70
Kohesi Tak Terdrainase, C_u (kN/m^2)	25	12,5	12,5	12,5

Tabel 5.5 Hasil perhitungan klasifikasi parameter tanah kedalaman 10,60-20,00 m

Parameter Tanah	Kedalaman (m)			
	10,60-13,20	13,20-16,00	16,00-18,20	18,20-20,00
Berat Jenis Tanah, G_s	2,62	2,62	2,58	2,58
Berat Isi Tidak Jenuh, γ_{unsat} (kN/m^3)	8,86	8,86	8,72	8,72
Berat Isi Jenuh, γ_{sat} (kN/m^2)	15,29	15,29	15,15	15,15
Porositas, n (%)	66	66	66	66
Angka Pori, e	1,90	1,90	1,90	1,90
Parameter Kadar Air, W (%)	70	70	70	70
Kohesi Tak Terdrainase, C_u (kN/m^2)	25	25	12,5	12,5

Tabel 5.4 dan 5.5 merupakan parameter tanah yang nantinya diinput ke dalam software plaxis, parameternya nilai permeabilitas (k_x) dan permeabilitas (k_y) dari tabel 3.7 yaitu tanah berjenis lempung dengan nilai 1×10^{-5} cm/dtk, nilai angka poisson (ν) dari tabel 3.6 yaitu tanah jenis lempung tidak jenuh dengan nilai diambil 0,30, nilai modulus elastisitas dari tabel 3.5 yaitu tanah dengan jenis lempung lunak dengan nilai 20 kg/cm^2 , berat isi tidak jenuh (γ_{unsat}) dan berat isi jenuh (γ_{sat}) dihitung dengan rumus, kohesi (c) dari tabel 3.4 yaitu dengan jenis tanah lempung lunak dengan nilai 20 kN/m^2 .

5.3 Hasil Analisa Beban yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Software ETABS

Analisa beban yang bekerja yakni beban aksial, beban momen dan beban lateral menggunakan software ETABS, perhitungan beban didapatkan berdasarkan SNI 1726:2019, dan untuk beban gempa menggunakan SNI 1726:2019. Untuk perhitungan ETABS, beban – beban yang dimasukkan sesuai dengan fungsi bangunan dan daerah bangunan itu berada, sehingga akan mendapatkan beban aksial dengan mengkombinasi beban – beban tersebut. Berdasarkan SNI 1726:2019, pasal kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

1. $1.4 D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } R) + (1.0L \text{ atau } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1.2D + 1.0E + 1.0L$
6. $0.9D + 1.0W$
7. $0.9D + 1.0E$

Dari hasil analisa menggunakan software ETABS didapatkan beban maksimal pada Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci yang mana hasil tersebut bisa dilihat di (Lampiran) dan Tabel 5.6

Tabel 5.6 Hasil analisa beban pada pondasi tiang menggunakan software ETABS

joint	Kombinasi	Gaya Lateral		Gaya Aksial	Momen	
		FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN)	MY (kN)
6-C	Kombinasi 2	52,6414	9,2663	2.237,583	1,1743	9,6145

Dari tabel 5.6 Merupakan hasil dari analisa menggunakan software ETABS, kombinasi 2 yakni 1,2 beban mati + 1,6 beban hidup + 0,5 beban hidup atap, dari ketiga kombinasi tersebut, gaya yang terbesar diterima masing – masing tiang akibat beban rencana adalah kombinasi 2 yang bisa dilihat pada (Lampiran), dimana titik kombinasi 2 tersebut terletak di titik 6-C, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 5.3 Denah pondasi tiang pancang titik 6-C

Dari Gambar 5.3 menjelaskan posisi titik 6-C yang mana dititik tersebut memiliki tiang pancang berukuran 25x25 cm, dengan jumlah tiang dititik tersebut berjumlah 2 tiang pancang, yang terdiri dari tiang nomor 17 dan 18 dengan kedalaman tiang yang terpancang 18 m, tiang pancang tersebut ditinjau karena beban maksimum 2237,58 kN terletak pada titik kolom tersebut yaitu titik 6-C.

5.4 Hasil Analisa Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang

Dalam menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang menggunakan metode *Schmertmann dan Nottingham (1975)*, data yang digunakan adalah data CPT dan Q_u sebesar 1143,79 kN, adapun hasil perhitungan dengan metode *Schmertmann dan Nottingham (1975)*, bisa dilihat pada tabel 5.7 sebagai berikut:

Tabel 5.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dengan metode *Schmertmann dan Nottingham (1975)*

No Tiang	Beban Ultimit Pada Pile Cap (Q_u) (kN)	Beban Ultimit Pada Tiang Pancang (Q_i) (kN)	Daya Dukung Tiang Pancang (Q_u) (kN)	Safety Factor (SF)	Aman / Tidak Aman (SF = 2,50)
17	2237,58	1111,92	2867,18	2,57	Aman
18		1125,65	2867,18	2,54	Aman

5.5 Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Menggunakan Plaxis 2D V8.6

Dalam menghitung kapasitas dukung dan penurunan tiang pancang bukan hanya menggunakan cara metode statis tapi juga menggunakan Plaxis 2D, menggunakan software tersebut dalam menganalisa kapasitas dukung dan penurunan jadi mudah. Data yang digunakan parameter tanah dan data sondir (CPT) dengan kedalaman 20 meter, adapun parameter tanah yang diinput adalah sebagai berikut :

Tabel 5.8 Parameter tanah di kedalaman 1,00-20,00

Parameter tanah	Kedalaman (m)			
	1 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
Jenis tanah	Lempung lunak	Lempung organik	Lempung sedang	Lempung sedang
Model material	Mohr-coloumb	Mohr-coloumb	Mohr-coloumb	Mohr-coloumb
Jenis material	Tidak terdrainase	Tidak terdrainase	Terdrainase	Terdrainase
Berat isi tidak jenuh, γ_{unsat} (kN/m ³)	6,42	8,72	9,06	9,06
Berat isi jenuh, γ_{sat} (kN/m ³)	13,78	15,15	15,49	15,49
Permeabilitas, Kx (m/hari)	864×10^{-4}	864×10^{-4}	864×10^{-4}	864×10^{-4}
Permeabilitas, Ky (m/hari)	864×10^{-4}	864×10^{-4}	864×10^{-4}	864×10^{-4}
Modulus elastisitas, E (kN/m ²)	1961,33	1961,33	4412,99	4412,99
Kohesi, c (kN/m ²)	12,5	12,5	25	25

Tabel 5.4 Lanjutan

Sudut geser, (ϕ)	0	0	0	0
Angka poison, (ν)	0,3	0,3	0,3	0,3
Rinter	0,8	0,8	0,8	0,8



Tabel 5.9 Parameter tiang pancang

Parameter Tiang Pancang	Nilai	Satuan
Model material	Elastis linier	
Jenis material	Tidak porous	
Berat isi tidak jenuh (γ_{unsat})	24	kN/m ³
Modulus elastisitas (E)	27081130	kN/m ²
Angka poisson (ν)	0,3	
Rinter	1,0	

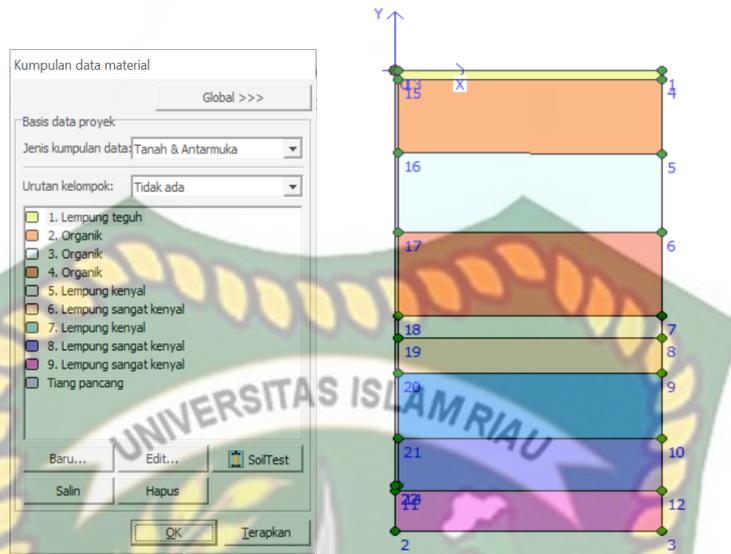
Keterangan:

1. Berat isi tidak jenuh (γ_{uncat}) dan berat isi jenuh (γ_{cat}) dari Tabel 3.10
2. Permaebilitas (k_x) dan (k_y) diambil dari Tabel 3.7
3. Modulus elastisitas tanah (E_s) diambil dari Tabel 3.5, untuk tiang menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 E &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{33,2} \\
 &= 27081,13 \text{ n/mm}^2 \\
 &= 27081130 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4. Kohesi (c) diambil dari Persamaan 3.1 untuk tanah kohesif.
5. Sudut geser (ϕ) diambil dari Tabel 3.2, untuk tanah lempung nilai Sudut geser (ϕ) 1
6. Angka poisson (ν) diambil dari Tabel 3.6, untuk tanah lempung tidak jenuh dengan nilai (ν) 0,3

Dari parameter diatas yang diinput kedalam plaxis sesuai kedalaman juga dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut:



Gambar 5.4 Kumpulan data material dan lapisan tanah

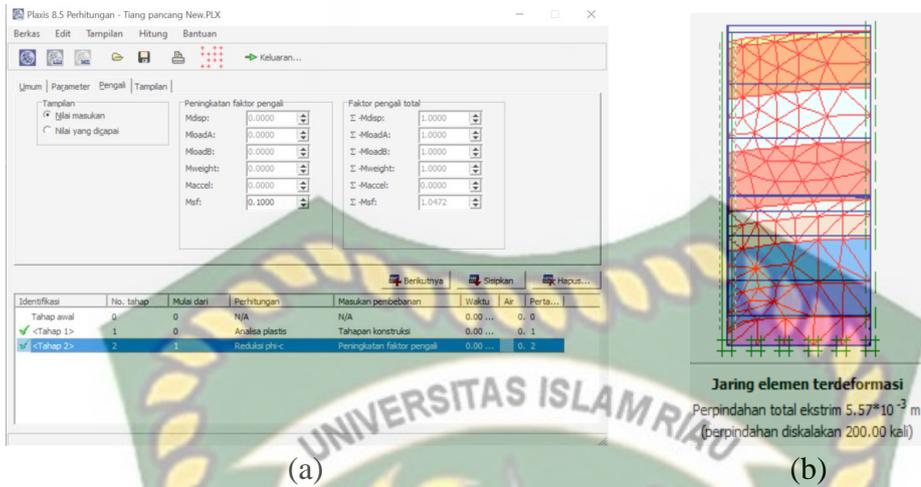
Pada gambar 5.4 merupakan gambar setiap lapisan lapisan yang diinput ke dalam software plaxis sesuai dengan kedalamannya yang ditandai dengan warna dan untuk input semua parameter dengan kedalamannya masing – masing yang ditandai sesuai warna yang berbeda untuk kedalaman yang berbeda juga.

Dari analisa yang dilakukan oleh program plaxis didapatkan \sum -Msf dengan interface sebesar 1,0472. Jadi kapasitas dukung tiang pancang tunggal dengan interface adalah sebagai berikut:

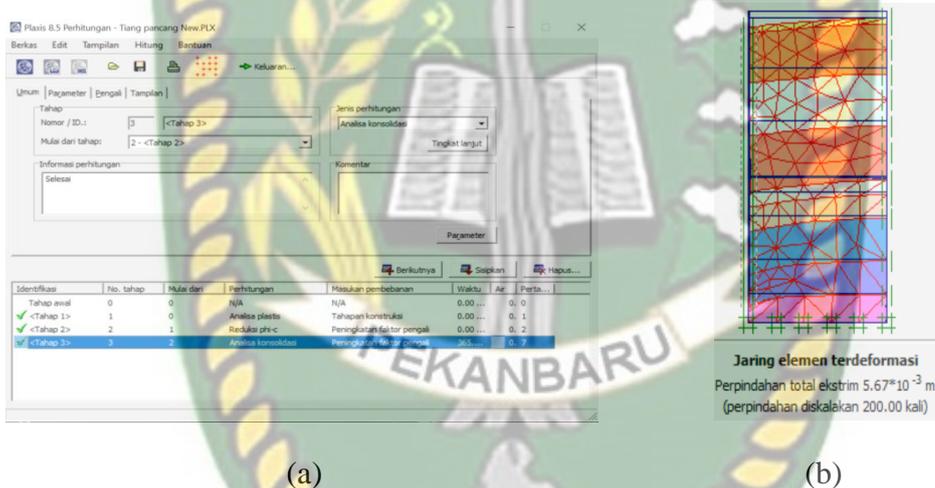
$$\begin{aligned}
 Q_u &= \sum -M_{sf} \times Q \\
 &= 1,0472 \times 1111,92 \\
 &= 1164,40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk faktor keamanan tiang pancang tunggal SF dengan *interface* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{Q_u}{Q_i} \\
 &= \frac{1164,40}{1111,92} \\
 &= 1,04
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 (a) Nilai Σ -Msf (b) Deformasi yang terjadi



Gambar 5.6 (a) Tahap selesai (b) Deformasi yang terjadi

Dan untuk deformasi atau penurunan segera yang didapatkan adalah sebesar 5.57×10^{-3} m atau sebesar 5.57 mm, sedangkan untuk penurunan konsolidasi yang didapatkan adalah sebesar 5.67×10^{-3} atau sebesar 5.67 mm. Total penurunan adalah $5.57 + 5.67 = 11.24$ mm

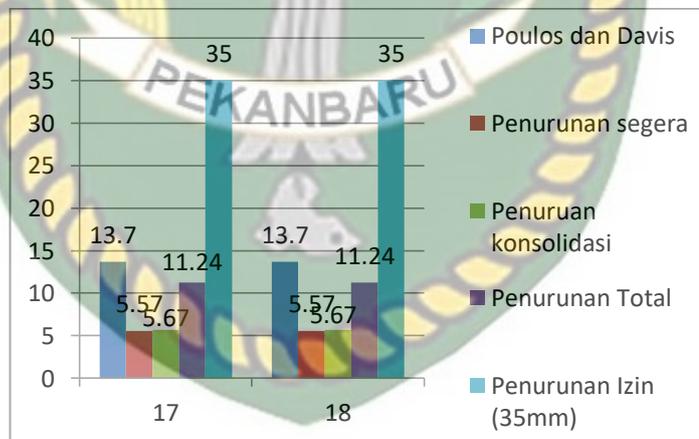
5.6 Hasil Analisa Penurunan Tiang Pancang Tunggal

Analisa penurunan pada Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci menggunakan metode statis yakni Poulos dan Davis dan Analisa Plaxis 2D dengan interface, hasil penurunan dengan metode Poulos dan Davis dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut :

Tabel 5.10 Penurunan pondasi tiang pancang tunggal

Nomor Tiang	Kedalaman Tiang (m)	Poulos dan Davis (mm)	Penurunan Total (mm)	Penurunan Izin (S_{izin}) (mm)
17	18	13,7	11.24	35
18	18	13,7	11.24	35

Dari tabel 5.10 didapatkan penurunan dengan metode Poulos dan Davis sebesar 13,7 mm pada tiang nomor 17 dan 18, sedangkan untuk Analisa Plaxis 2D dengan *interface* dimana penurunan segera 5.57 mm, dan penurunan konsolidasi 5.67 pada tiang no 17 dan 18 hal tersebut dikarenakan pada Analisa Plaxis 2D didapatkan faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang kecil sehingga didapatkan pula penurunan yang kecil dibandingkan dengan metode Poulos dan Davis. Dari tabel 5.10 Dapat disajikan berupa grafik hasil analisa penurunan tiang pancang tunggal pada titik 6-C.



Gambar 5.7 Grafik perbandingan penurunan tiang pancang pada titik 6-C

Dari gambar 5.7 Penurunan pondasi yang terjadi pada tiang pancang No.17 dan 18 dengan menggunakan Analisis Plaxis 2D dengan *interface* dimana penurunan segera sebesar 5,57 mm dan penurunan konsolidasi sebesar 5,67 mm, untuk penurunan yang terjadi pada tiang pancang No.17 dan 18 dengan menggunakan metode Poulos dan Davis sebesar 13,7 mm, untuk penurunan izin yakni sebesar 35 mm.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dijelaskan pada bab hasil dan pembahasan dapat disimpulkan dari judul Analisis Penurunan Pondasi (*Mini Pile*) Pada Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu di Kecamatan Pangkalan Kerinci menggunakan metode statis dan metode elemen hingga 2D sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang telah didapatkan beban ultimit pada struktur pile cap 6-C yaitu sebesar 2237,58 kN, beban ultimit yang dipikul tiang No.17 yaitu sebesar 1111,92 kN dan tiang No.18 yaitu sebesar 1125,65 kN.
2. Dari analisa faktor aman dengan mengambil 2,50 untuk kontrol normal bangunan poliklinik terpadu yang bersifat permanen, faktor aman tersebut disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) dan metode yang direkomendasikan adalah metode Schmertmann dan Nottingham (1975), dengan hasil yang didapat yaitu sebesar 2,54 dan 2,51 untuk tiang pada titik 6-C No.17 dan 18, selain melebihi kontrol normal, metode tersebut juga aman terhadap beban rencana dari gedung itu sendiri.
3. Dari analisa penurunan menggunakan metode Poulos dan Davis (1980) didapatkan hasil penurunan total yaitu sebesar 11.24 mm, hasil penurunan tersebut lebih kecil dari penurunan yang diizinkan yaitu sebesar 35 mm serta aman akibat beban rencana yaitu 2237,58 kN

6.2 Saran

Dari hasil kesimpulan, peneliti memberikan berupa beberapa saran :

1. Perhitungan kuat dukung dan penurunan sudah cukup baik menggunakan metode Schmertmann and Nottingham (1975) & metode Poulos and Davis (1980), sebaiknya menggunakan metode lain untuk membandingkan hasil perhitungan yang didapat.

2. Hasil perhitungan kapasitas dukung tiang pancang *mini* yang didapat dari metode yang dilakukan, didapat dari hasil metode elemen hingga mendekati hasil beban yang bekerja pada pondasi sehingga disarankan untuk menggunakan metode elemen hingga.
3. Perhitungan penurunan tiang pancang *mini* untuk rumus statis sebaiknya menggunakan metode lain, sehingga untuk membandingkan hasil penurunan tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726:2019*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*, SNI 1727:2013, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Jakarta
- Hardiyatmo, H,C, 2002. *Teknik Pondasi 1 Jilid Kedua*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H,C, 2003. *Mekanikah Tanah 2 Edisi Ketiga*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H,C, 2006. *Teknik Pondasi 1 Edisi Keetiga*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H,C, 2011. *Analisa Dan Perancangan Fondasi Bagian 1 Edisi Kedua*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H,C, 2011. *Analisa Dan Perancangan Fondasi Bagian 11 Edisi Ketiga*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- PT. Vista Emas Sejati, *Data-data gambar struktur pada “Pembangunan Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu Di Kecamatan Pangkalan Kerinci”, Pangkalan Kerinci*
- P.P.K RSUD SELASIH, *Data sondir pada “Pembangunan Gedung Rawat Jalan Poliklinik Terpadu Di Kecamatan Pangkalan Kerinci”, Pangkalan Kerinci.*
- Pratama, Y., 2020, *Analisis Kapasitas Dukung Statis Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir (CPT) Pada Gedung Kuliah Kampus Pelita Indonesia*, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Marbun, 2009, *“Analisa Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area”*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Sinaga, 2013, “*Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Gedung Pasca Sarjana Universitas Negeri Medan*”, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Sihotang, 2009, “*Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Kanwil DJP Dan KPP Sumbagut I Jalan Suka Mulia Medan*”, Universitas Sumatera Utara, Medan.

