

UJI KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG KELOMPOK UJUNG TERTUTUP PADA TANAH PASIR BERLEMPUNG DENGAN VARIASI JUMLAH TIANG

*Bearing Capacity Test Closed-Ended Pile Group Foundation in Clayey Sand Soil with
Various Number of Piles*

TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menempuh Ujian Sarjana
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Disusun Oleh:

ROSYID RIDHO

NIM I 0106121

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

TUGAS AKHIR

**UJI KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
KELOMPOK UJUNG TERTUTUP PADA TANAH PASIR
BERLEMPUNG DENGAN VARIASI JUMLAH TIANG**

*Bearing Capacity Test Closed-Ended Pile Group Foundation in Clayey Sand Soil with
Various Number of Piles*



Disusun Oleh:

ROSYID RIDHO

NIM I 0106121

Telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan tim penguji pendadaran
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Bambang Setiawan ST, MT
NIP. 19690717 199702 1 001

Dr. techn. Sholihin As'ad.
NIP.19671001 199702 1 001

TU GAS AKHIR

UJI KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG KELOMPOK UJUNG TERTUTUP PADA TANAH PASIR BERLEMPUNG DENGAN VARIASI JUMLAH TIANG

*Bearing Capacity Test Closed-Ended Pile Group Foundation in Clayey Sand Soil with
Various Number of Piles*

Disusun Oleh :

ROSYID RIDHO
NIM I 0106121

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari Kamis tanggal 5 Agustus 2010 :

1. Bambang Setiawan, ST, MT -----
NIP. 19690717 199702 1 001
2. Dr. techn. Ir. Sholihin As'ad, MT -----
NIP.19671001 199702 1 001
3. Ir. Noegroho Djarwanti, MT -----
NIP. 19561112 198403 2 007
4. Niken Silmi Surjandari, ST, MT -----
NIP. 19690903 199702 2 001

Mengetahui,
a.n. Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Ir. Noegroho Djarwanti, MT
NIP. 19561112 198403 2 007

Ir. Bambang Santosa, MT
NIP. 19590823 198601 1 001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat hidayah dan karunia yang tidak ternilai yang telah diberikan sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Ujung Tertutup Pada Tanah Pasir Berlempung Dengan Variasi Jumlah Tiang. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan jenjang Strata-1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan serta kemudahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Bambang Santosa, MT selaku pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
2. Bambang Setiawan, ST, MT selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam melaksanakan penelitian hingga penulisan tugas akhir ini.
3. Dr. techn. Sholihin As'ad, selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam melaksanakan penelitian hingga penulisan tugas akhir ini.
4. Ayah, Ibu, Kakak-kakak, serta adik saya yang terus memberikan dorongan moral dan spiritual.
5. Agus Setiya Budi, ST, MT selaku dosen pembimbing akademik atas segala arahan, bimbingan serta dukungannya.
6. Teman-teman asisten laboratorium mekanika tanah dan teman-teman S-1 Teknik Sipil angkatan 2006 terima kasih atas dukungan dan kerjasama yang kompak.
7. Pihak-pihak lain yang telah banyak memberi sumbangan pikiran dan bantuan selama penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih ada kekurangan, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi penulis dan semua pihak yang memerlukan.

Surakarta, Agustus 2010

Penulis



Persembahan



Kupersembahkan Tugas Akhir ini Kepada :

Ayah dan Ibuku Tercinta..
Suaeb Bay Merza dan Rahmawati

Kakak-kakak dan Adikku Tersayang..
Iman Firmansyah, Ibnu Budiman, Nanda Putri A.
Dwi Agustin

Bangsa dan Tanah airku..

MOTTO

"Kesuksesan adalah guru yang jelek, ia menggoda orang cerdas agar berfikir bahwa mereka tidak dapat gagal"

"Semakin besar kemampuan yang kamu miliki akan diringi oleh tanggung jawab yang makin besar"

"Tak ada cita-cita yang paling mulia kecuali hidup mulia matipun mulia"

ABSTRAK

ROSYID RIDHO. 2010. Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Ujung Tertutup Pada Tanah Pasir Berlempung Dengan Variasi Jumlah Tiang. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Pondasi tiang merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun arah horisontal. Pemakaian pondasi tiang pancang pada suatu bangunan dipilih apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam.

Penelitian ini merupakan penelitian skala kecil uji model laboratorium dengan uji pembebanan (*load test*) terhadap model pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup. Hasilnya kemudian dicocokkan dengan hasil analisis dengan menggunakan metode analitis Meyerhof (1976) dan metode analisis menggunakan SAP 2000 v.11.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok ujung tertutup pada tanah pasir berlempung dengan menggunakan variasi jumlah tiang dengan menggunakan metode uji pemodelan, metode analitis Meyerhof (1976) dan MEH (SAP200 v.11).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tiang dalam 1 *pile cap*, maka semakin besar pula kapasitas dukung pondasi tiang kelompok tersebut dan apabila hasil pengujian laboratorium dibandingkan dengan metode analitis Meyerhof (1976) dan metode elemen hingga (SAP 2000 v.11) diperoleh kecenderungan keluaran yang sama, walaupun demikian terdapat selisih nilai kapasitas dukung yang tidak terlampau signifikan.

Kata kunci : tiang pancang kelompok, tanah pasir berlempung, kapasitas dukung.

ABSTRACT

ROSYID RIDHO. 2010. Bearing Capacity Test Closed-Ended Pile Group Foundation in Clayey Sand Soil with Various Number of Piles. Final Project. Civil Engineering Department of Engineering Faculty of Surakarta Sebelas Maret University .

Pile foundation is the element of structure functioning to forward the burden on the soil, both in vertical and in horizontal directions. The use of pile foundation in a structure is chosen when the bottom of land below the structure has no sufficient of bearing capacity to assume the building weight and its burden, or when the hard soil has sufficient of bearing capacity to assume the building weight but the location is very deep.

This research is the small scale research of laboratory model test with load test on the model of closed-end pile group foundation. The result was then matched with the result of analysis using Meyerhof's (1976) analytical method and the analysis method used was SAP 2000 v.11.

The objective of research is to find out bearing capacity test closed-ended pile group foundation in clayey sand soil with various number of piles with modeling test method, Meyerhof's (1976) analytical method and FEM (SAP 2000 v.11).

The result of research shows that the higher the number of piles in 1 pile cap, the higher is the bearing capacity of such pile group foundation and when the result of laboratory testing is compared with the Meyerhof's (1976) analytical method and element method (SAP 2000, v. 11), it can be found the similar output tendency. Nevertheless, the difference of supportability is not too significant.

Keyword : pile group foundation, clayey sand soil, bearing capacity.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Pembahasan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. Tanah Pasir.....	8
2.2.2. Pondasi Tiang.....	9
2.2.3. Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok	10
2.2.4. Pembebanan Pada Pondasi Kelompok Tiang Pancang.....	17

2.2.5. <i>Pile Cap</i>	18
2.2.6. Koefisien Kekakuan Tanah (<i>Modulus of Subgrade Reaction Vertical</i>)	19
2.2.7. Metode Elemen Hingga Model <i>Shell</i>	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1. Uraian	28
3.2. Tahapan Penelitian	30
3.2.1. Tahap Penelitian Pendahuluan	30
3.2.2. Alat dan Bahan	37
3.2.3. Persiapan Alat dan Bahan	35
3.2.4. Pelaksanaan Pengujian Model	38
3.3. Metode Elemen Hingga dengan Program SAP 2000 v.11	40
3.3.1. Input Ruang Penggambaran Model	41
3.3.2. Input Data Model	43
3.3.3. Pembuatan/Penggambaran Model	44
3.3.4. <i>Assignment</i> Modulus Reaksi <i>Subgrade</i>	46
3.3.5. Pembebanan	47
3.3.6. Tahap Analisis (<i>Analysis/Running</i>)	48
3.3.7. Tampilan Hasil dan Tabulasi Data Output	49
3.3.8. Pengambilan Data Kapasitas Dukung Tiang Kelompok	50
3.4. Analisis dan Pengolahan Data	50
3.4.1. Daya Dukung Pondasi dari Pengujian Utama	51
3.4.2. Daya Dukung Pondasi dari Metode Analitis	51
3.4.3. Daya Dukung Pondasi dari Metode Elemen Hingga (SAP 2000 v.11)	51
3.5. Alur Penelitian	53

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1. <i>Indeks Properties</i> Tanah.....	54
4.2. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang dengan Metode Uji Pemodelan.	54
4.3. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang dengan Metode Analitis.....	59
4.4. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang dengan Metode Elemen Hingga (SAP2000 v. 11)	62
4.4.1. Koefisien Kekakuan Tanah.....	62
4.4.2. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pancang Kelompok dengan Metode SAP 2000 v.11.....	64
4.5 Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang Pancang Kelompok	67
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Rekapitulasi pengujian parameter tanah.....	54
Tabel 4.2.	Hasil pengujian 2 tiang per cap diameter 1,5 cm panjang 15 cm	55
Tabel 4.3.	Hasil pengujian 4 tiang per cap diameter 1,5 cm panjang 15 cm	56
Tabel 4.4.	Hasil pengujian 5 tiang per cap diameter 1,5 cm panjang 15 cm	56
Tabel 4.5.	Hasil pengujian 9 tiang per cap diameter 1,5 cm panjang 15 cm	57
Tabel 4.6.	Rekapitulasi ultimate model pondasi tiang kelompok Diameter 1,5 cm dan panjang 15 cm.....	58
Tabel 4.7.	Data yang digunakan	60
Tabel 4.8.	Rekapitulasi perhitungan secara analitis kapasitas dukung Model pondasi tiang kelompok.....	61
Tabel 4.9.	Hubungan displacement dengan kapasitas dukung tiang Dengan metode SAP 2000 v.11	65
Tabel 4.10.	Rekapitulasi kapasitas ultimate model pondasi tiang kelompok Diameter 1,5 cm hasil analisis SAP v.11	66
Tabel 4.11.	Perbandingan nilai kapasitas dukung ultimit model pondasi tiang kelompok dari berbagai metode	67
Tabel 4.12.	Persamaan hasil akhir.....	67
Tabel 4.13.	Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan Metode uji pemodelan.....	70
Tabel 4.14.	Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan Metode analitis Meyerhof (1967).....	71
Tabel 4.15.	Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan Metode SAP 2000 v.11	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kapasitas dukung tiang pancang.....	11
Gambar 2.2.	Faktor kapasitas dukung (Meyerhof,1976).....	12
Gambar 2.3.	Kapasitas dukung selimut tiang.....	13
Gambar 2.4.	Kelompok tiang.....	15
Gambar 2.5.	Baris kelompok tiang.....	17
Gambar 2.6.	Beban vertikal sentris.....	18
Gambar 2.7.	Tipe pemodelan elemen shell.....	22
Gambar 2.7. (a)	Elemen solid 20 nodal 60 dof.....	22
Gambar 2.7. (b)	Elemen solid 16 nodal 48 dof.....	22
Gambar 2.7. (c)	Elemen solid 8 nodal 40 dof.....	22
Gambar 2.8.	Elemen shell (Gibson, 1980).....	23
Gambar 2.8. (a)	Aksi membrane.....	23
Gambar 2.8. (b)	Aksi lentur.....	23
Gambar 2.9.	Model elemen hingga 3D (Romadhoni,2008).....	25
Gambar 2.10.	<i>Spring</i> tanah pada model elemen hingga 3D (Romadhoni,2008).....	26
Gambar 3.1.	Satu unit alat model 3 dimensi.....	31
Gambar 3.2.	Sketsa tampak atas alat model 3 dimensi.....	31
Gambar 3.3.	Sketsa potongan A-A alat model 3 dimensi.....	32
Gambar 3.4.	Sketsa potongan B-B alat model 3-dimensi.....	32
Gambar 3.5.	Model tiang kelompok ujung tertutup.....	33
Gambar 3.6.	Sketsa model pondasi tiang kelompok ujung tertutup.....	33
Gambar 3.7.	<i>Dial gauge</i>	34
Gambar 3.8.	Penyaringan tanah.....	38
Gambar 3.9.	Gambar alat pemadat.....	36
Gambar 3.10.	alat pembebanan aksial.....	37
Gambar 3.11.	Pemancangan pondasi tiang.....	38

Gambar 3.12.	Uji pembebanan	39
Gambar 3.13.	Sketsa penentuan kapasitas dukung tiang dengan pengujian model laboratorium	40
Gambar 3.14a.	Pembuatan model awal SAP 2000 v.11 dengan gridline	41
Gambar 3.14b.	Pembuatan model struktur dengan data koordinat garis bantu	41
Gambar 3.15.	<i>Editing gridline</i> SAP 2000 v.11	42
Gambar 3.16.	Layar monitor SAP 2000 v.11	43
Gambar 3.17.	<i>Input</i> data material beton dalam SAP 2000 v.11	44
Gambar 3.18a.	input data elemen <i>shell</i> untuk pelat/sheetpile pada SAP 2000 v.11	44
Gambar 3.18b.	input data elemen <i>shell</i> untuk tiang pancang pada SAP 2000 v.11	44
Gambar 3.19.	Penggambaran objek <i>pilecap</i> SAP 2000 v.11	45
Gambar 3.20.	Penggambaran objek pipa/tiang pancang dan beton dalam pipa SAP 2000 v.11	46
Gambar 3.21a.	Input <i>joint spring</i> untuk elemen pias pada <i>pilecap</i>	47
Gambar 3.21b.	Input <i>joint spring</i> arah horisontal (<i>Kh</i>) elemen joint pada bagian selimut pipa	47
Gambar 3.23a.	Input <i>joint spring</i> arah vertikal (<i>Kv</i>) elemen joint pada bagian ujung pipa	47
Gambar 3.22b.	Input <i>joint spring</i> arah horisontal/ <i>Kh</i> (<i>translation1</i>) elemen joint pada bagian ujung pipa	47
Gambar 3.23.	Input pembebanan	48
Gambar 3.24.	Persiapan analisis SAP 2000	49
Gambar 3.25.	Contoh output SAP 2000 berbentuk tabel	49
Gambar 3.26.	Joint yang digunakan sebagai kapasitas dukung tiang	50
Gambar 3.5.	Alur Penelitian	53
Gambar 4.1.	Hubungan gaya (<i>force</i>) dan perpindahan (<i>displacement</i>) model pondasi tiang kelompok diameter 1,5 cm panjang 15 cm Dengan variasi jumlah tiang	58

Gambar 4.2.	Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode uji pemodelan	59
Gambar 4.3.	Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode analitis Meyerhof (1976).....	62
Gambar 4.4.	Hubungan gaya (<i>force</i>) dan perpindahan (<i>displacement</i>) Dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11.....	65
Gambar 4.5.	Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11	66
Gambar 4.6.	Perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang kelompok Variasi jumlah.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Hasil Penelitian Pendahuluan

- *Moisture Content Test*
- *Bulk Density Test*
- *Specific Gravity Test*
- *Grain Size Analysis Test*
- *Direct Shear Test*
- *k_v Test*

Lampiran B Data Hasil Penelitian utama

- Uji Pembebanan Aksial
- Hasil analisis program SAP 2000
- Hasil analisis dengan metode analitis Meyerhof (1976)

Lampiran C Surat-surat Tugas Akhir

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

	= berat volume tanah (kN/m ³)
φ	= Sudut gesek dalam tanah (°)
θ	= arc tg d/s, dalam derajat (°)
δ	= Sudut gesek permukaan (°)
ΔL	= panjang tiang (m)
$\sigma'v$	= Tegangan vertikal efektif tanah, dianggap konstan setelah kedalaman (10-20)d (Meyerhof) (kN/m ²)
A_s	= luas selimut tiang (m ²) = luas penampang ujung bawah tiang (m ²) = lebar tiang (m)
[]	= <i>matriks strain displacement</i> = kohesi tanah di sekitar ujung tiang (Kg/cm ²)
c_d	= adhesi antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m ²)
c_u/Su	= kohesi tak terdrainase (Kg/cm ²)
d	= Diameter tiang (m)
E	= modulus elastisitas (kN/m ²)
E_s	= Efisiensi kelompok tiang (%)
F	= persen material lolos saringan no.200,(%)
α, β	= faktor bentuk
f	= <i>friksi</i> (kN/m ²)
λ, μ	= faktor kedalaman
G	= modulus geser (kN/m ²)
GI	= indeks kelompok (group index),
K	= Koefisien tekanan tanah
K_0	= Koefisien tekanan tanah saat diam
k_v	= modulus reaksi subgrade vertical (kN/m ²)
k_h	= modulus reaksi subgrade horizontal (kN/m ²)
LDR	= <i>Load Dial Reading</i>

LL	= batas cair, %
LRC	= <i>Load Ring Constant</i> (pounds/div)
m	= Jumlah baris tiang
n	= Jumlah tiang dalam satu baris
ϕ, δ	= faktor kapasitas dukung yang nilainya tergantung besarnya sudut gesek dalam tanah (kN/m^2)
q^*	= faktor kapasitas dukung yang nilainya tergantung dari besarnya sudut geser dalam tanah yang sudah termasuk faktor bentuk dan kedalaman (kN/m^2)
p	= Keliling Panjang tiang (m^2)
P	= Beban yang berkerja (kN)
PI	= indeks plastisitas, (%)
Qa	= Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)
	= Kapasitas dukung batas / unit tahanan ujung (kN)
	= kapasitas dukung ultimate (kN)
	= kapasitas ujung tiang (kN)
	= kapasitas gesek kulit tiang (kN)
SF	= Faktor aman tahanan ujung
s	= Jarak pusat ke pusat tiang (m)
u, v, w	= <i>displacement</i> transisi
W	= Berat Tiang (kN)
	= kedalaman tiang (m)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Tanah mempunyai peranan penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah bisa berfungsi sebagai dasar pendukung suatu bangunan atau sebagai bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri. Pada umumnya semua bangunan dibuat di atas dan di bawah permukaan tanah. Karena itu diperlukan suatu sistem pondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah. Pasir merupakan salah satu dari jenis tanah yaitu material alam yang diperoleh dari desintegrasi batuan alami. Pasir dapat diperoleh di dalam tanah, dasar sungai, dan tepi laut. Ukuran butir pasir menurut ASTM adalah berdiameter 4,75 mm sampai dengan 0,075 mm dan dibedakan menjadi pasir bergradasi baik dan pasir bergradasi buruk.

Pondasi tiang merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun arah horisontal. Pemakaian pondasi tiang pancang pada suatu bangunan dipilih apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam. Pondasi tiang digolongkan berdasarkan kualitas bahan material dan cara pelaksanaan. Menurut kualitas bahan material yang digunakan, tiang pancang dibedakan menjadi empat yaitu tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja dan tiang pancang komposit (kayu – beton dan baja – beton). Sardjono HS (1988).

Tiang pancang umumnya dipasang secara berkelompok dimana sekumpulan tiang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu menggunakan *pile cap* di atasnya. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

Hal yang paling penting dalam pelaksanaan konstruksi bangunan salah satunya adalah pondasi dikarenakan berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya ke lapisan tanah di bawahnya. Ditinjau dari segi pelaksanaan, ada beberapa keadaan dimana kondisi lingkungan tidak memungkinkan adanya pekerjaan yang baik dan sesuai dengan kondisi yang diasumsikan dalam perencanaan meskipun macam pondasi yang sesuai telah dipilih dengan perencanaan yang memadai, serta struktur pondasi yang telah dipilih itu dilengkapi dengan pertimbangan mengenai kondisi tanah pondasi dan batasan-batasan struktur.

Proyek konstruksi bangunan dapat mengalami penundaan atau keterlambatan, pembengkakan biaya proyek, bahkan kegagalan total diakibatkan oleh permasalahan ini. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tanah pasir berlempung seperti ini antara lain dengan menggunakan perkuatan geotekstil, pemakaian pondasi cakar ayam atau dengan pondasi tiang. Penerapan berbagai metode penanggulangan yang banyak dikembangkan kemungkinan tidak akan selalu cocok dengan kondisi tanah pasir berlempung disuatu lokasi. Karenanya perlu dievaluasi sehingga dapat dikembangkan suatu metode penanggulangan yang cocok. Salah satu diantaranya yaitu pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tertentu.

Pengujian skala kecil dengan pemodelan daya dukung pondasi tiang kelompok pada tanah pasir berlempung akan memberikan kita gambaran bagaimana sebenarnya perilaku tanah pasir berlempung dan bagaimana pengaruhnya terhadap daya dukung pondasi tiang. Penelitian ini merupakan penelitian skala kecil uji model laboratorium yang dilakukan yaitu dengan uji pembebanan (*load test*) terhadap model pondasi tiang kelompok ujung tertutup. Dengan adanya variasi jumlah tiang yang berbeda ini diharapkan akan didapatkan informasi bagaimana sebenarnya perilaku pondasi yang berbeda jumlah tiangnya ini terhadap tanah pasir berlempung sebagai medianya. Hasil dari pengujian ini adalah nilai kapasitas dukung masing-masing pondasi. Hal ini tentu akan sangat menarik untuk diteliti lebih mendalam, terlebih lagi jika kita membandingkan hasil yang diperoleh dari pengujian skala kecil dengan metode-metode lain seperti metode analitis ataupun dengan metode elemen hingga. Diharapkan hasil dari pengujian ini dapat digunakan sebagai acuan ataupun panduan dalam mendesain suatu struktur di atas tanah pasir berlempung. Penggunaan pondasi tiang pancang kelompok pada tanah pasir berlempung yang ada di Indonesia sudah sering dilakukan, maka tentu saja hal ini akan memberikan kontribusi yang besar dalam pengembangan penggunaan pondasi tiang dalam dunia konstruksi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

- a. Berapa besarnya kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan metode uji pemodelan.
- b. Berapa besarnya kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan metode analitis Meyerhof (1976).
- c. Berapa besarnya kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan MEH (SAP 2000 v.11)

- d. Bagaimana hasil kapasitas dukung dari uji pemodelan jika dibandingkan dengan rumus analitis dan MEH.

1.3. Batasan Penelitian

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian terarah dan tidak terlalu meluas maka dalam penelitian ini perlu pembatasan masalah sebagai berikut :

- a. Penelitian berupa pemodelan di dalam bak pelat baja yang berukuran 100 cm x 100 cm x 60 cm.
- b. Tanah yang digunakan adalah tanah pasir berlempung (>50% pasir) yang berasal dari sungai Bengawan Solo.
- c. Model pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah 2 tiang, 4 tiang, 5 tiang, dan 9 tiang.
- d. Model pondasi menggunakan bahan kayu dan aluminium yang diisi beton.
- e. Tinggi tanah dalam bak pengujian tersebut adalah 50 cm.
- f. Lama masa tunggu dari pondasi tiang kelompok ujung tertutup mulai ditancapkan sampai pengujian adalah 1 hari.
- g. Pembebanan yang dilakukan merupakan pembebanan sentris.
- h. Pembebanan dilakukan hingga mencapai penurunan maksimum.
- i. Hasil penelitian dibandingkan MEH (SAP 2000 v.11) dan metode analisis Meyerhof (1976).
- j. Metode elemen hingga digunakan dengan berbagai pendekatan dan asumsi yang relevan.
- k. Menggunakan pola keruntuhan tunggal.

1.4. Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui berapa besarnya kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan metode uji pemodelan.

- b. Mengetahui berapa besarnya kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan metode analitis Meyerhof (1976).
- c. Mengetahui berapa besar kapasitas dukung tiang kelompok pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang menggunakan MEH (SAP 2000 v.11)
- d. Meneliti bagaimana hasil kapasitas dukung dari uji pemodelan jika dibandingkan dengan rumus analitis dan MEH.

1.5. Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoritis

Mengetahui kapasitas dukung pada pondasi tiang pancang kelompok dengan menggunakan variasi jumlah tiang.

b. Manfaat Praktis

Kapasitas daya dukung tiang kelompok ujung tertutup dengan variasi jumlah tiang yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana perilaku pondasi pada tanah pasir berlempung. Hal ini akan sangat membantu dalam perancangan (desain) suatu pondasi dan dapat menjadi acuan dalam pemilihan jenis pondasi dan dimensi suatu pondasi yang tepat pada suatu konstruksi di atas tanah pasir berlempung.

1.6. Sistematika Pembahasan

Penulisan tugas akhir ini disajikan dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika pembahasan.

Bab 2 Dasar Teori menjelaskan mengenai teori-teori maupun penelitian-penelitian yang pernah dilakukan yang terkait dengan bahasan penelitian.

Bab 3 Metode Penelitian membahas bahan-bahan dan peralatan terkait dengan penelitian yang dilakukan, dan cara kerjanya metode pengumpulan data.

Bab 4 Analisis dan Pembahasan menjelaskan tentang penentuan tanah pasir berlempung, perhitungan nilai daya dukung tiang kelompok ujung tertutup dan pembahasan mengenai hasil penelitian.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran yang melaporkan kesimpulan dan saran-saran dari isi penulisan penelitian.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tanah pasir atau tanah berbutir kasar merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*), mempunyai sifat antar butiran lepas (*loose*). Hal ini ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan basah yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan, Bowles (1986). Tanah non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental. Parameter kekuatan geser tanah ini terletak pada nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ).

Menurut Hardiyatmo (2001) pondasi tiang dapat dibagi menjadi dua macam ditinjau dari cara mendukung beban, antara lain :

- a. Tiang Dukung Ujung (*end bearing pile*)
- b. Tiang Gesek (*friction pile*)

Faktor lain yang mempengaruhi kapasitas dukung tiang kelompok yaitu tekanan air pori. Poulos dan Davis (1980) mengungkapkan tekanan air pori selama pemancangan menunjukkan bahwa di permukaan dinding tiang, tekanan air pori menjadi sama atau bahkan dapat lebih besar daripada tekanan *overburden* efektif. Di sisi lain, perkembangan tekanan air pori berkurang dengan cepat bila jarak suatu titik dalam tanah dari tiang bertambah. Di sekitar tiang, tekanan air pori berkembang sangat tinggi, sehingga bisa mencapai 1,5 sampai 2 kali tekanan vertikal efektif awalnya.

Penelitian dengan uji model laboratorium umumnya sudah banyak digunakan. Abdrabbo dkk (2001) dalam Setiawan (2003) melakukan penelitian berdasarkan konsep *Osterberg Cell*, dengan menggunakan kotak uji sebagai tempat pengujian model tiang uji tunggal. Penggunaan *Osterberg Cell*

merupakan peningkatan dari metode konvensional yang selama ini dilakukan. Selama penggunaan metode tersebut nilai kapasitas (perlawanan terhadap beban) dan perpindahan tiang dapat diukur. Alat tersebut dipasang dekat dengan dasar pondasi tiang uji yang dapat mencatat pembebanan dan perlawanannya.

Sementara itu Subekti (2008) melakukan penelitian dengan menggunakan pemodelan tiang pancang ujung terbuka pada tanah lunak, dengan menggunakan kotak uji sebagai tempat pengujian model. Pembebanan dilakukan dengan beban statis yang dipasang menggantung di atas kotak uji, penelitian ini belum secara jelas menjelaskan seberapa besar pengaruh tahanan selimut.

Penelitian Subekti (2008) disempurnakan oleh Azzaqy (2009) yang melakukan penelitian dengan menggunakan pemodelan tiang pancang ujung tertutup pada tanah lunak, dengan menggunakan kotak uji sebagai tempat pengujian model. Pembebanan dilakukan dengan beban statis yang dipasang menggantung di atas kotak uji, penelitian ini belum secara jelas menjelaskan analisis daya dukung dengan metode elemen hingga (SAP 2000 V.11)

Ahli pondasi umumnya sepakat bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku pondasi tiang dan kapasitasnya sangatlah kompleks untuk dipelajari secara teoritis dan betul-betul mendasar. Pengertian para ahli pondasi sampai saat ini lebih banyak dipengaruhi pendekatan empiris yang didasarkan pada hasil pengujian pembebanan. Namun demikian, faktor-faktor kegagalan dapat timbul dari pendekatan yang terlalu teoritis serta kegagalan juga dapat terjadi akibat pendekatan yang terlalu empiris yang mengabaikan dasar-dasar teori yang telah terbukti kebenarannya. Seni dan kemampuan geoteknik justru terletak kepada kemampuan untuk menggabungkan prinsip-prinsip mekanika tanah dengan pengalaman dan perkiraan, Iskandar (2002) dalam Chandra (2008).

Pondasi tiang merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun arah horizontal. Pemakaian pondasi tiang pancang pada suatu bangunan, apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam. Pondasi tiang digolongkan berdasarkan kualitas bahan material dan cara pelaksanaan. Menurut kualitas bahan material yang digunakan, tiang pancang dibedakan menjadi empat yaitu tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja dan tiang pancang composite (kayu – beton dan baja – beton), Sardjono HS (1988).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Tanah Pasir

Pasir merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen-fragmen dengan bentuk *sub-rounded*, *rounded*, *sub-angular* atau *angular*, dengan partikel berukuran 0,075 mm sampai 12mm, ASTM (1986), atau oleh Terzaghi (1987) membatasinya dengan ukuran 1/8 inchi.

Struktur tanah tak berkohesi dapat dibagi dalam 2 kategori pokok yaitu : struktur butir tunggal (*singel grained*) dan struktur sarang lebah (*honeycomb*), Das (1988).

Butiran tanah berada pada posisi stabil dan butiran-butiran saling bersentuhan pada struktur tunggal. Susunan tanah pada butiran struktur tunggal mungkin tidak padat (angka pori tinggi atau kerapatan rendah) atau padat (angka pori rendah atau kerapatan tinggi). Angka pori bergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan, serta kerapatan butiran.

Tanah yang butirannya membentuk hubungan sarang lebah, mempunyai angka pori yang tinggi. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis yang tidak begitu besar, tetapi susunan ini sangat sensitif terhadap longsoran, getaran atau beban dinamis. Apabila dikenai beban getar, struktur tersebut akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar.

Keadaan tanah asli berbeda dengan hal di atas, karena bentuk dan ukuran butirannya tidak seragam. Pada tanah asli, butiran-butiran berukuran kecil akan mengisi rongga-rongga di antara butiran-butiran yang lebih besar sehingga akan mengurangi angka pori tanah. Akan tetapi, ketidakrataan bentuk butiran menyebabkan kecendrungan peningkatan angka pori tanah. Oleh karena itu, angka pori tanah asli kira-kira berada dalam rentang yang sama dengan angka pori tanah uji laboratorium dimana bentuk dan ukuran butirannya seragam

2.2.2. Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton dan/atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban permukaan ke tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. Beban terdistribusi sebagai beban vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang, Bowless (1991).

Jenis pondasi ini digunakan bilamana letak tanah keras sangat dalam, yang yang umumnya dinyatakan dalam rasio $Df/B > 10$. Diatas lapisan tanah keras dijumpai lapisan tanah lunak dengan kuat dukung rendah. Jadi tanah keras ini mendukung beban yang yang bekerja, dan struktur tiang harus mampu

menerima beban yang mengakibatkan terjadinya lentur atau tarik. Bentuk tampang tiang dapat berbentuk lingkaran, segi empat, segi enam, segi delapan, bahkan tidak beraturan.

Tiang pancang dipancang dengan beberapa metode, antara lain :

- a. Pемancangan dengan pukulan berturut-turut secara bertahap pada puncak tiang pancang dengan menggunakan sebuah martil tiang pancang. Cara ini menimbulkan suara yang bising dan getaran setempat yang mungkin tidak diperbolehkan oleh peraturan setempat atau badan-badan yang memelihara lingkungan serta dapat merusak hak milik orang yang dekat dengan tempat pemancangan.
- b. Pемancangan yang menggunakan alat penggetar yang ditempelkan (diikatkan) di puncak tiang pancang. Cara ini relatif lebih sedikit mengeluarkan suara bising dan getaran pemancangan. Metode ini dipakai dalam endapan-endapan yang kohesinya kecil.
- c. Pемancangan dengan cara mendongkrak tiang pancang. Cara ini dipakai untuk bagian-bagian kaku yang pendek.
- d. Pемancangan dengan cara mengebor sebuah lubang yang diberi *casing* dari pipa baja terlebih dahulu, kemudian mengisi lubang hasil bor tersebut dengan beton sehingga menghasilkan sebuah tiang pancang setelah beton mengeras.

Paling sedikit 75% dari kapasitas ultimit tiang dapat tercapai dalam waktu 30 hari setelah pemancangan, Tomlinson (1967) dalam Hardiyatmo (2001). Orrjie dan Brom (1967) dalam Hardiyatmo (2001) menyatakan bahwa pada pemancangan pada tanah lempung sensitif kuat geser terdrainase akan hampir pulih seperti kondisi semula, jika waktu telah berjalan kira-kira 9 bulan setelah pemancangan, kecuali jika tiang dipancang pada jarak kurang dari 4 kali diameternya, dimana pada kondisi ini kenaikan kuat geser dengan berjalannya waktu sangat kecil.

2.2.3. Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

Perencanaan pondasi dalam, tiang pancang ataupun *bored pile*, sangat dipengaruhi oleh sifat dan karakter dari tanah sebagai media tertanamnya pondasi. Kapasitas dukung pondasi tiang pancang terdiri dari atas:

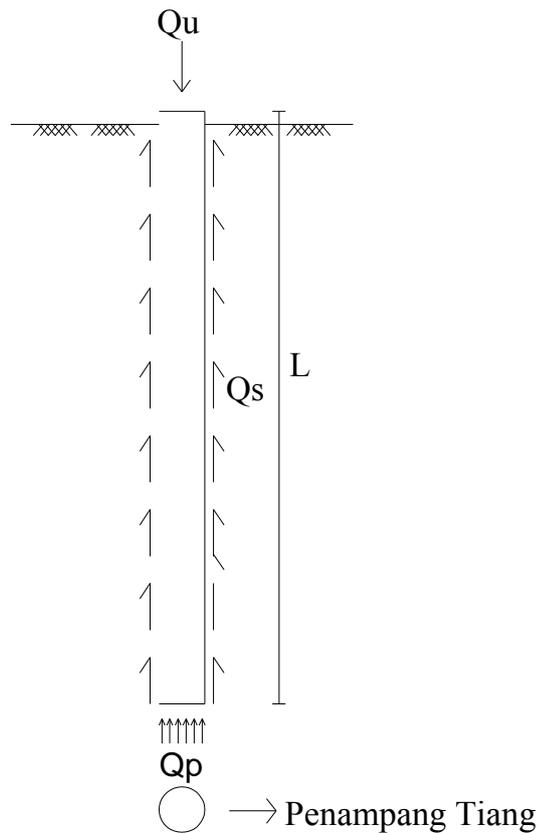
- a. Kapasitas ujung tiang (*end bearing piles*)
- b. Kapasitas gesek tiang (*friction piles*)

Kapasitas ujung tiang adalah kemampuan dukung tanah pada luasan ujung bawah pondasi tiang, sedangkan kapasitas gesek tiang adalah kemampuan dukung tiang di sekeliling permukaan selimut

pondasi tiang yang sangat dipengaruhi tegangan vertikal tanah. Kedua hal tersebut akan mampu bekerja sebagai penahan beban yang direncanakan dalam kapasitas dukung tiang.

a. Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s), yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut ini :



Gambar 2.1. Kapasitas dukung tiang pancang

i. Kapasitas Dukung Ujung Tiang (Q_p)

Menurut cara Meyerhof (1976), menentukan kapasitas dukung ujung tiang tergantung jenis tanahnya. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung

ujung tiang pada tanah pasir :

$$Q_p = A_p \cdot q_p \dots\dots\dots (2.1)$$

$$q_p = c \cdot N_c' + q \cdot N_q' \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada tanah pasir nilai $c = 0$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot 50 \cdot \text{tg } \varphi \cdot N_q' \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (kN)

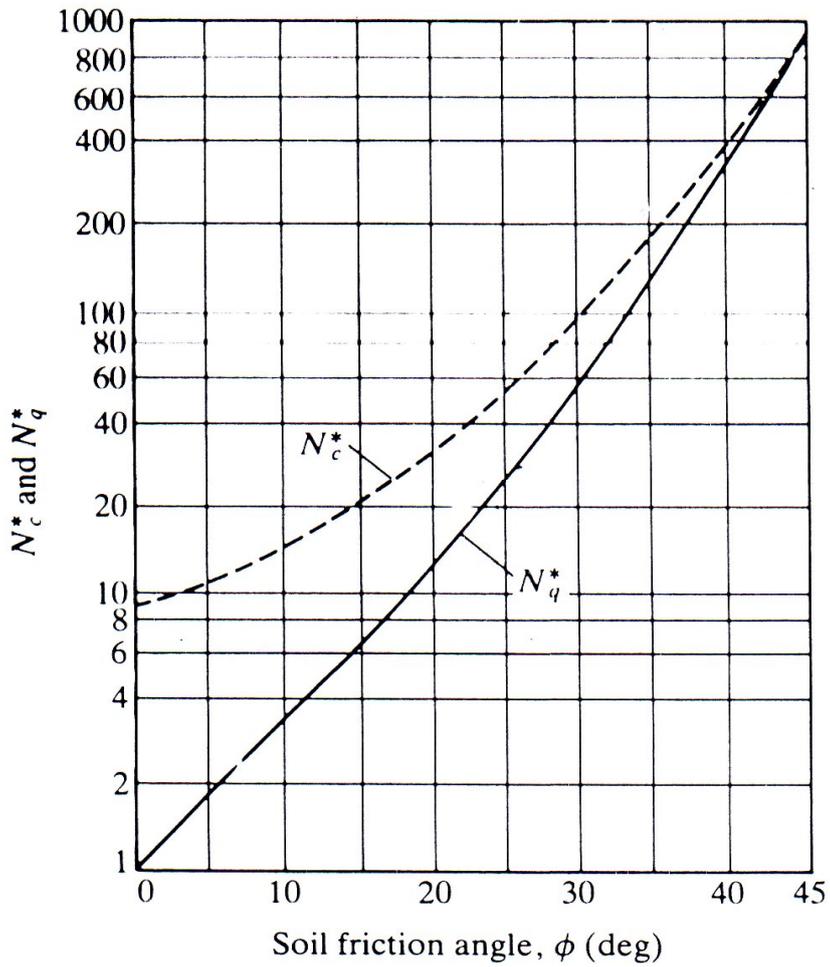
A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

q_p = Kapasitas dukung batas / unit tahanan ujung

φ = Sudut gesek dalam tanah

N_q' = Faktor kapasitas dukung (**Gambar 2.2**)

Nilai N_q' dan N_c' didapat dari **Gambar 2.2.** berikut :



Gambar 2.2. Faktor kapasitas dukung (*Meyerhof, 1976*)

(Sumber : *Joseph E. Bowles*)

ii. Kapasitas Dukung Selimut Tiang (Q_s)

Kapasitas dukung selimut tiang (Q_s) dapat dihitung dengan rumus berikut ini

(Sumber : Braja M Das).

$$Q_s = \sum A_s \cdot f \dots\dots\dots (2.4)$$

$$A_s = p \cdot \Delta L \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

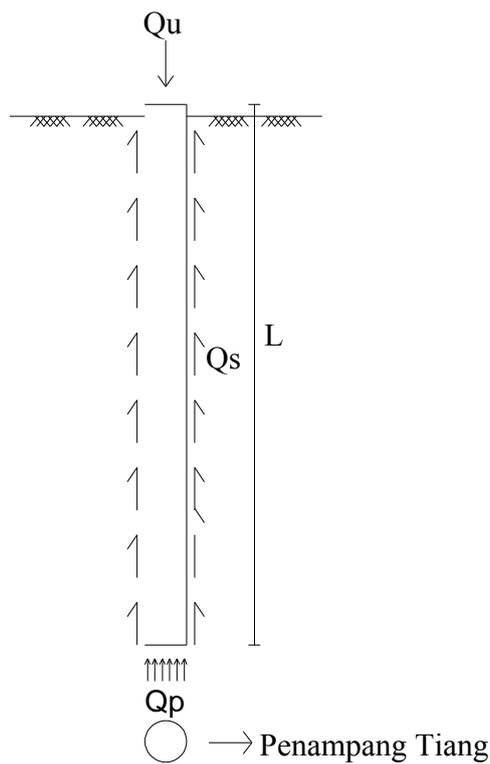
A_s = Luas selimut tiang (m²)

p = Keliling Panjang tiang (m²)

ΔL = panjang tiang (m)

f = Gesekan selimut (kN/m²)

Kapasitas dukung selimut tiang dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut ini



Gambar 2.3. Kapasitas dukung selimut tiang

Sedangkan untuk menentukan nilai gesekan selimut (f) adalah berdasarkan jenis tanahnya. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai gesekan selimut (f) pada tanah pasir :

$$f = K \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg } \delta \dots\dots\dots (2.6)$$

$K = (1 - 1,8) K_0$ untuk *displacement* besar

$K = (1 - 1,4) K_0$ untuk *displacement* kecil

Dengan :

ϕ = Sudut gesek dalam

K = Koefisien tekanan tanah

K_0 = Koefisien tekanan tanah saat diam

σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah, dianggap konstan setelah kedalaman 15d (Meyerhof).

δ = Sudut gesek permukaan

δ beton = $(0,80 - 1) \phi$

δ Kayu = $2/3 \phi$

δ baja = $(0,59 - 0,90) \cdot \phi$

iii. Kapasitas Dukung Ultimate Tiang

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung ultimate tiang (Q_u)

adalah sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang (ton)

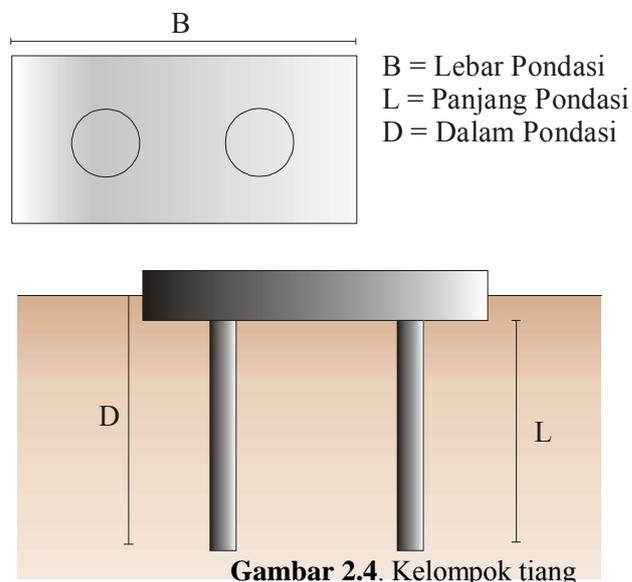
Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Kapasitas dukung selimut tiang (ton)

W = Berat tiang

b. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *pile cap*. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang. Kelompok tiang dapat dilihat pada **Gambar 2.4** berikut ini :



Gambar 2.4. Kelompok tiang

i. Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut ini.

$$n = \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan :

P = Beban yang berkerja

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang

ii. Jarak Tiang (S)

Jarak antar tiang pancang didalam kelompok tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai adalah menurut peraturan-peraturan bangunan pada daerah masing – masing. Menurut K. Basah Suryolelono (1994), pada prinsipnya jarak tiang (s) makin rapat, ukuran *pile cap* makin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. Jarak tiang dipakai bila :

- a) ujung tiang tidak mencapai tanah keras maka jarak tiang minimum ≥ 2 kali diameter tiang atau 2 kali diagonal tampang tiang.
- b) ujung tiang mencapai tanah keras, maka jarak tiang minimum \geq diameter tiang ditambah 30 cm atau panjang diagonal tiang ditambah 30 cm

iii. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak, Suryolelono(1994).

iv. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, Coduto (1983) dalam Hardiyatmo (2001) yaitu :

1. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
2. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
4. Urutan pemasangan tiang.
5. Macam tanah.
6. aktu setelah pemasangan.
7. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
8. Arah dari beban yang bekerja.

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut :

Conversi – Labarre

$$E_g = 1 - \frac{(\quad)(\quad)}{\dots\dots\dots} \quad (2.9)$$

Dengan :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

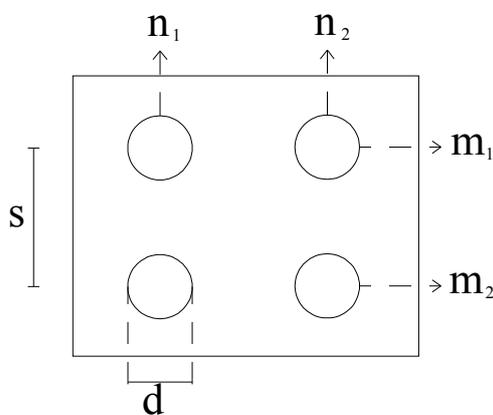
θ = arc tg d/s , dalam derajat

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang



Keterangan :

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang

Gambar 2.5. Baris kelompok tiang

v. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Pasir

Pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan $s \geq 3d$, maka kapasitas dukung kelompok tiang diambil sama besarnya dengan jumlah kapasitas dukung tiang tunggal ($E_g = 1$). Dengan memakai rumus berikut :

$$Q_g = n \cdot Q_u \dots\dots\dots (2.10)$$

Sedangkan pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek dengan $s < 3d$ maka faktor efisiensi ikut menentukan.

$$Q_g = n \cdot Q_u \cdot E_g \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang

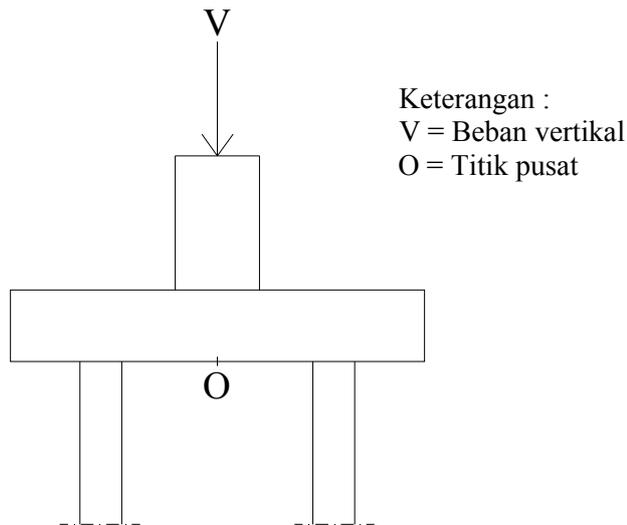
E_g = Efisiensi kelompok tiang

2.2.4. Pembebanan Pada Pondasi Kelompok Tiang Pancang

Beban ini merupakan beban (V) per satuan panjang yang bekerja melalui pusat berat kelompok tiang (O), sehingga beban (V) akan diteruskan ke tanah dasar pondasi melalui *pile cap* dan tiang – tiang tersebut secara terbagi rata. Bila jumlah tiang yang mendukung pondasi tersebut (n) maka setiap tiang akan menerima beban sebesar :

$$P = - \dots\dots\dots(2.12)$$

dapat dilihat pada **Gambar 2.6** berikut :



Gambar 2.6. Beban vertikal sentris

2.2.5. *Pile Cap*

Pile cap berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom sehingga pondasi tiang akan menerima beban sesuai dengan kapasitas dukung ijin. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang, perancangan *pile cap* dilakukan dengan anggapan sebagai berikut :

- a. *Pile cap* sangat kaku.
- b. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Karena itu, tidak ada momen lentur yang

diakibatkan oleh *pile cap* ke tiang.

- c. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu, distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata.

Pile cap memerlukan perencanaan pengaturan tiang dalam satu kelompok yang tepat. Pada umumnya susunan tiang dibuat simetris sehingga pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile cap* terletak pada satu garis vertikal. Jarak antar tiang diusahakan sedekat mungkin untuk menghemat *pile cap*, tetapi jika pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen.

2.2.6. Koefisien Kekakuan Tanah (*Modulus of subgrade reaction vertical*)

Tanah merupakan material non-homogen yang menyebabkan hubungan beban dan *displacement* sangat kompleks. Salah satu penyederhanaan adalah dengan idealisasi tanah sebagai massa yang kontinum dan memikul rata efek makroskopisnya, sehingga tanah dapat dipelajari dalam kerangka mekanika kontinum.

Pengembangan model matematis yang disederhanakan mengharuskan adanya idealisasi yang terkadang berbeda dengan keadaan pada tanah aslinya, dan konsekuensinya hasil yang diperoleh akan berbeda-beda antara model yang satu dengan yang lain. Menurut Kuntsche (1984) dalam Nawangalam (2008) efek porositas tanah (tekanan air pori dan rongga udara) sangat menentukan karakteristik kekuatan dan deformasinya, maka biasanya digunakan prinsip tegangan efektif Terzaghi sebagai dasar dalam mempelajari perilaku mekanika tanah.

Modulus elastisitas (E), modulus geser (G), rasio Poisson (ν) dan modulus reaksi subgrade vertikal (k_v) dan horisontal (k_h) adalah sifat-sifat elastik yang penting. Nilai tersebut umumnya dipakai untuk menghitung perkiraan penurunan pondasi. Modulus geser (G) umumnya digunakan untuk memperkirakan amplitudo perpindahan dan frekuensi pondasi pada masalah getaran, Bowles (1997). Modulus geser didefinisikan sebagai perbandingan tegangan geser terhadap regangan geser. Nilai modulus geser berhubungan erat dengan E dan ν dituliskan dalam persamaan berikut:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Bowles (1982) dalam Nawangalam (2008) juga menyatakan bahwa *modulus of subgrade reaction* adalah suatu hubungan konseptual antara tekanan tanah dan defleksi yang digunakan pada analisis struktur pondasi.

Khana et al (1976) dalam Nawangalam (2008) menyebutkan bahwa standar untuk penentuan nilai *modulus of subgrade reaction* adalah tekan (*pressure*) yang terbaca saat terjadi penurunan 0,125 cm untuk pelat uji diameter 76 cm. Sedangkan standar dari *US Corps of Engineers* menyarankan penentuan nilai modulus of subgrade reaction berdasarkan lendutan yang terjadi saat tercapai pressure 0,69 kg/cm²

Persamaan dasar *modulus of subgrade reaction* (k_v) menggunakan *plate load test* (PLT)

$$= - \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan q adalah beban dan δ adalah nilai defleksi yang terjadi. Persamaan tersebut mengalami penyempurnaan sehingga menjadi

$$= \frac{q}{\delta} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan q adalah beban titik, A adalah luas bidang tekan, dan δ_a adalah nilai defleksi rerata pelat.

Koefisien reaksi subgrade arah horisontal (k_h) dapat diperoleh dengan berbagai cara antara lain dengan korelasi dari koefisien subgrade vertikal (k_v), dari pengujian PLT, pengujian lateral tiang, dan menggunakan rumus empiris dari nilai kuat geser tanah (c_u)

Modulus of Subgrade Reaction Horizontal dirumuskan sebagai berikut

$$= \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

n = indeks empiris, $n \geq 0$

k_v = koefisien subgrade arah vertikal (kg.cm².cm⁻¹)

2.2.7. Metode Elemen Hingga Model Shell

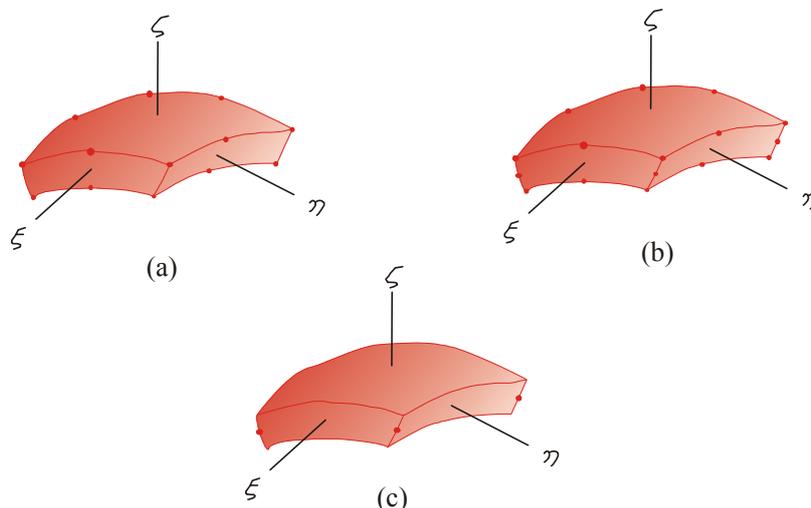
Analisis secara numeris yang digunakan meneliti interaksi antara tanah dengan struktur (*soil structure interaction*) meliputi usaha untuk memenuhi persyaratan teoritis, terutama model konstitutif tanah riil dan memperhitungkan pula kondisi-kondisi batas yang merupakan simulasi dari keadaan sebenarnya di lapangan. Analisis numeris secara penuh dapat digunakan untuk memperkirakan perilaku material yang rumit pada kondisi yang terjadi sebenarnya (Potts *et al*, 2001) dalam Azzaqy (2009). Pendekatan yang didasarkan atas metode elemen hingga (*finite element*) yang merupakan metode yang paling banyak digunakan. Kemampuan untuk mempresentasikan kondisi lapangan sangat tergantung pada:

- a. Kemampuan model konstitutif untuk mewakili perilaku tanah yang sebenarnya.
- b. Kecocokan dari kondisi batas yang ditetapkan

Menurut Cook et al (1989) dalam Nawangalam (2008) elemen *shell* berupa permukaan lengkung dalam ruang, dan lazimnya memiliki ketebalan yang kecil dibandingkan dengan dimensi panjang dan lebarnya. Secara geometris, elemen *shell* digambarkan dengan ketebalan dan bentuk permukaan bidang tengahnya (*midsurface*). Secara umum, pada elemen *shell* terdapat tegangan lentur dan membran secara simultan. Adapun elemen *shell* yang dibahas dalam penelitian ini mengacu pada jenis *thin shell*, dengan deformasi geser diabaikan. Beberapa pemodelan untuk model elemen hingga untuk *shell* adalah sebagai berikut:

- a. Elemen datar, kombinasi dari elemen membran dan elemen pelat lentur
- b. Elemen lengkung, menggunakan perumusan teori *shell* klasik.
- c. Elemen tipe Mindlin, menggunakan perumusan elemen pelat Mindlin, dengan elemen *shell* dianggap sebagai elemen solid yang dibuat tipis pada satu arah.

Elemen *shell* dalam bentuk umum yang dimodelkan dengan elemen solid 3 dimensi dengan ketebalan yang relatif lebih kecil dibandingkan dimensi lainnya. Namun demikian nodal-nodal pada pertengahan tebal ternyata memberikan derajat kebebasan (*degree of freedom*) lebih daripada yang dibutuhkan, sehingga eliminasi nodal-nodal tersebut menghasilkan elemen seperti pada **Gambar 2.7**. Penyederhanaan lebih lanjut dengan constraint menghasilkan elemen dengan 8, 9 atau dengan 4 nodal saja.



Dengan:

- σ = tegangan normal
- τ = tegangan geser
- E = modulus elastik
- G = modulus geser
- ν = angka Poisson

Arah indeks 1 dan 2 berarah tangen terhadap *midsurface* dan arah 3 normal terhadap *midsurface*. Faktor 5/6 untuk memperhitungkan variasi parabolic dari regangan geser transversal pada ketebalan *shell*. Untuk kondisi material yang isotropis maka

$$\epsilon = \frac{1}{E} \left(\sigma_x - \nu \sigma_y - \nu \sigma_z \right) \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\gamma = \frac{1}{G} \tau_{xy} \dots \dots \dots (2.21)$$

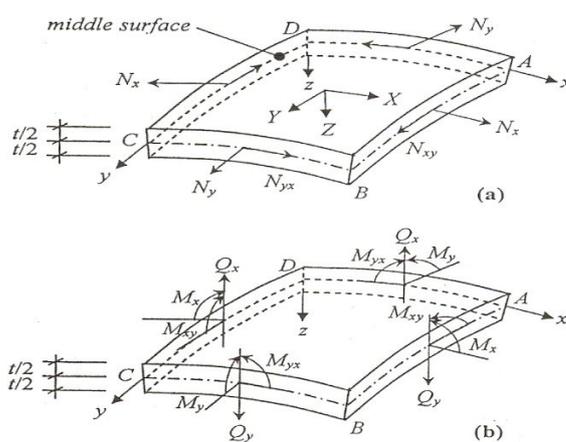
Sedangkan matriks kekakuan untuk elemen *shell* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$[K] = \int \int \int [B]^T [D] [B] \det[\xi] \dots \dots \dots (2.22)$$

Persamaan tersebut selanjutnya menjadi

$$[K] = \int \int 2 [B]^T [D] [B] + - [B]^T [D] [B] \det[\xi] \dots \dots (2.23)$$

dengan $[B] = [B_1] + [B_2]$



Gambar 2.8. Elemen *shell* (Gibson, 1980)

(a) Aksi membran (*membrane*) (b) Aksi lentur

Gaya-gaya luar yang dibebankan pada elemen shell akan ditahan melalui 2 macam mekanisme, yaitu aksi membran (*membrane*) dan lentur (*bending*). Pada aksi membrane (**Gambar 2.8.a**) beban luar hanya ditahan oleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada permukaan *shell* saja. Sedangkan pada aksi lentur (**Gambar 2.8.b**) elemen *shell* menahan beban luar dengan adanya momen dan gaya internal yang akan melawan lenturan yang terjadi, Gibson (1980).

Hubungan antara regangan dan perpindahan (*displacement*) untuk elemen *shell* dapat dirumuskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$[\sigma] = [B] [u] \dots\dots\dots(2.24)$$

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & -(1 - \dots + \dots) & -(- \dots - \dots) & 0 & -(\dots - \dots) & -(\dots - \dots) \\ 0 & (\dots + \dots) & (- \dots - \dots) & 0 & (\dots - \dots) & \dots - \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [u]$$

Sedangkan matriks hubungan tegangan dan regangan pada elemen shell dirumuskan dalam persamaan berikut

$$[\sigma] = [D] [\epsilon] \dots\dots\dots(2.25)$$

$$[k] = \frac{1}{h} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & - \\ 0 & 0 & - \end{bmatrix} [u] \dots \dots \dots (2.26)$$

Matrik kekakuan elemen shell dirumuskan sebagai berikut:

$$[k] = f [k] [k] [k] \dots \dots \dots (2.27)$$

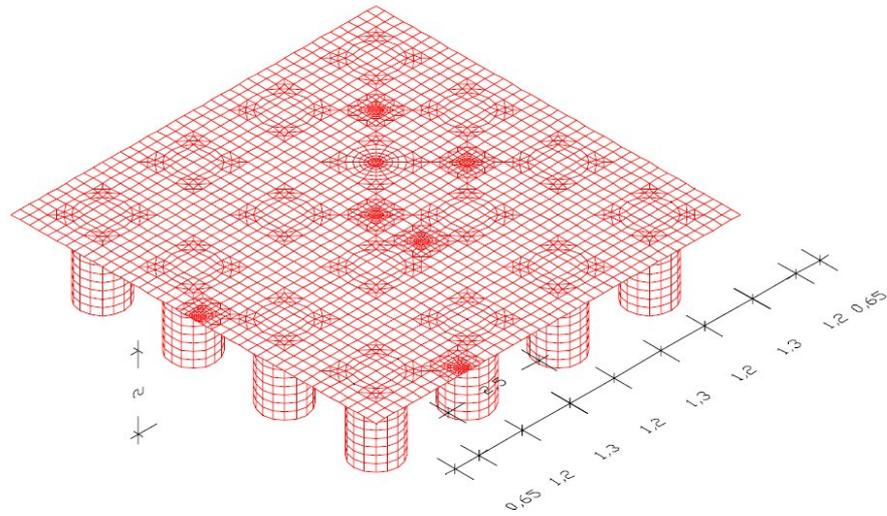
$$[k] = \frac{1}{h} \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.28)$$

simetris

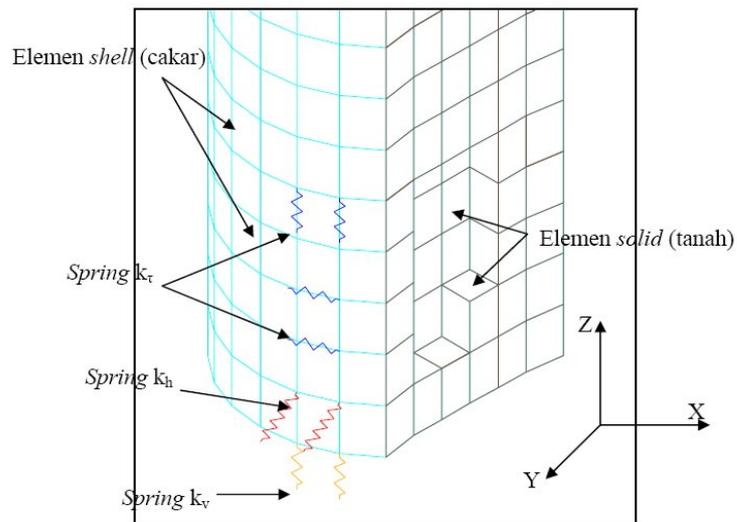
Dengan :

=	= - - - - -	= - + -
= - -	= -	= - -
= -	= - - - - -	= -
= - -	= - - - - -	= -
= - -	= - - - - -	= - + -
= - -	= - -	= - + -
= - + -	= - - - + -	= - + -

Menurut Suhendro (1994) dalam Romadhoni (2008) telah melakukan pemodelan Sistem Cakar Ayam secara 3D penuh mencakup elemen pelat beton dan pipa cakar sebagai elemen *shell* 3D. Tumpuan tanah dimodelkan sebagai area *spring* linier baik untuk *spring* arah vertikal (pada bagian bawah pelat), horisontal (pada sisi luar pipa), maupun gesek (antara tanah dan beton pada kulit pipa). Tanah dalam pipa juga dimodelkan sebagai elemen solid 3D (**Gambar 2.9** dan **Gambar 2.10**).



Gambar 2.9. Model elemen hingga 3D (Romadhoni, 2008)



Gambar 2.10. *Spring* tanah pada model elemen hingga 3D (Romadhoni, 2008)

Model elemen hingga 3D tersebut telah divalidasi dengan hasil uji lapangan pada Bandara Polonia, Medan. Hasil yang telah didapatkan oleh Romadhoni untuk pemodelan elemen hingga 3D tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Lokasi pembebanan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap lendutan yang terjadi tetapi tidak terlalu berpengaruh terhadap besaran-besaran momen lentur, gaya lintang, tegangan

aksial dan tegangan geser pada slab selama lokasi pembebanan relatif di tengah pelat (dikelilingi cakar).

- b. Kenaikan nilai k_v (*spring* vertikal) memberikan reduksi pada seluruh nilai parameter output pada pelat sistem cakar ayam, kecuali pada parameter tegangan tanah.
- c. Kenaikan nilai k_h (*spring* horizontal) memberikan reduksi pada lendutan, momen positif dan tegangan aksial, namun akan meningkatkan momen negatif, gaya lintang dan tegangan geser pelat. Pengaruh nilai k_h hanya terlihat pada keadaan tanah yang lunak (nilai k_v kecil).
- d. Kenaikan nilai k_τ (*spring* gesek) memberikan reduksi pada lendutan pelat dan tegangan tanah namun tidak terlalu berpengaruh pada parameter *output* lainnya.
- e. Penambahan tebal pelat akan mereduksi lendutan, tegangan tanah, momen negatif, gaya lintang, tegangan aksial dan tegangan geser, namun meningkatkan momen positif yang terjadi pada pelat.
- f. Berat sendiri struktur tidak banyak berpengaruh pada perilaku sistem, hanya memberikan sedikit kenaikan pada lendutan dan tegangan tanah.
- g. Lendutan dan momen akibat beban titik yang bekerja pada pinggir pelat menjadi titik kritis yang harus diperhatikan, karena menghasilkan lendutan dan momen yang terbesar.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Uraian

Penelitian ini terdiri atas dua tahap yaitu penelitian eksperimental dan analisis terhadap data hasil penelitian. Sebelum dilaksanakan penelitian eksperimental (penelitian utama), dilakukan pengujian pendahuluan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari media yang dipakai. Pelaksanaan pengujian sampel tanah dilakukan melalui prosedur-prosedur laboratorium yang sesuai standar ASTM (*American Society for Testing Material*).

Penelitian eksperimental dilakukan dengan model uji laboratorium (*mini scale*) di dalam *box* uji 3 dimensi yaitu dengan melakukan pengujian pembebanan (*loading test*) terhadap model pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup. Penelitian eksperimental dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap data hasil penelitian yang dilaksanakan dengan 3 metode yaitu:

a. Analisis Data Pengujian Utama

Pengujian yang dilaksanakan akan menghasilkan hubungan antara *load dial reading* dengan nilai *displacement* yang terjadi pada model pondasi tiang pancang kelompok. Nilai *load dial reading* selanjutnya akan diubah menjadi nilai *force* dengan cara mengalikan nilai *load dial reading* dengan *load ring constanta* dan angka konversi. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara *force* dan *displacement*.

b. Analisis dengan Metode Analitis (Rumus)

Analisis menggunakan rumus kapasitas dukung pondasi tiang berdasarkan rumus Terzaghi (1943) yang dimodifikasi oleh Meyerhof (1976) untuk menghitung kapasitas dukung pondasi tiang kelompok dalam Bowles (1991).

c. Analisis dengan Metode Elemen Hingga (SAP 2000 v.11)

Program SAP 2000 (*Structural Analysis Program*) merupakan program analisis struktur produk dari CSI (*Computer and Structures, Inc*) Berkeley University, California, AS. Penelitian ini menggunakan SAP versi 11.

Penelitian ini menggunakan *hardware* dan *software* pendukung agar dapat dilakukan proses *running* perhitungan analisis dengan cepat dan akurat serta analisis hasil dan pembuatan laporan, perangkat yang digunakan antara lain:

- a. Perangkat keras terdiri dari:
 - i. 1 unit laptop dengan spesifikasi:
 - Prosesor Intel Dual Core T6400 2.0 GHz
 - Memory 2 GB
 - ii. Printer HP D2400
- b. Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis dan pelaporan antara lain:
 - i. Sistem Operasi Microsoft Windows
 - ii. Analisis Struktur SAP 2000 v.11
 - iii. Pembuatan laporan Microsoft word 2007

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Uji Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan terhadap media tanah. Pengujian yang dilakukan terhadap tanah dimaksudkan untuk mengetahui parameter-parameter tanah dan untuk mengidentifikasi jenis tanah tersebut. Pelaksanaan pengujian sampel tanah dilakukan melalui prosedur-prosedur laboratorium yang sesuai standar ASTM (*American Society for Testing Material*).

Penelitian pendahuluan tersebut meliputi :

- a. Pengujian kadar air (*water content*) untuk mengetahui kadar air sesuai aturan pengujian ASTM D 2216-92.
- b. Pengujian berat jenis basah tanah (*bulk density*) untuk mengetahui berat jenis basah tanah sesuai aturan pengujian ASTM D 4253-91.
- c. Pengujian *specific gravity* (Gs) untuk mengetahui berat jenis butiran tanah dengan acuan standar ASTM D 854-92.
- d. Pengujian analisis butiran (*grain size analysis*), untuk mengetahui persentase susunan butir tanah sehingga dapat diketahui jenis tanah yang akan diuji sesuai aturan pengujian ASTM D 422-63.
- e. Pengujian *direct shear* untuk mengetahui besarnya sudut geser dalam yang digunakan untuk menghitung besarnya kapasitas dukung secara teoritis mengikuti ASTM D-3080-90.

3.2.2. Alat dan Bahan

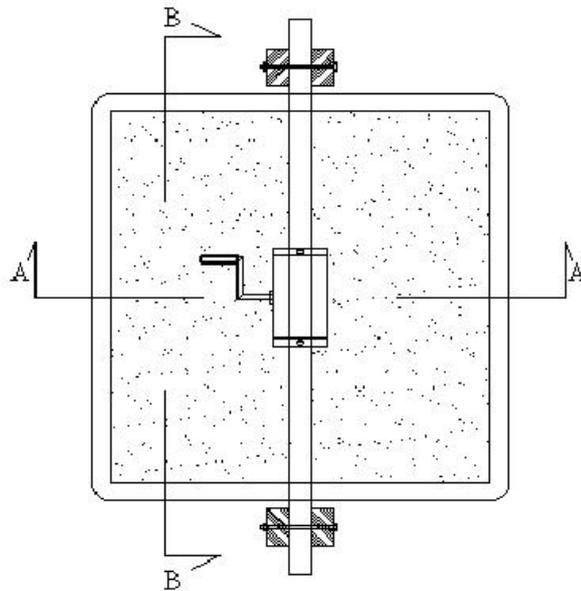
Alat-alat uji pemodelan yang terdiri dari :

- a. Satu unit alat model 3 dimensi

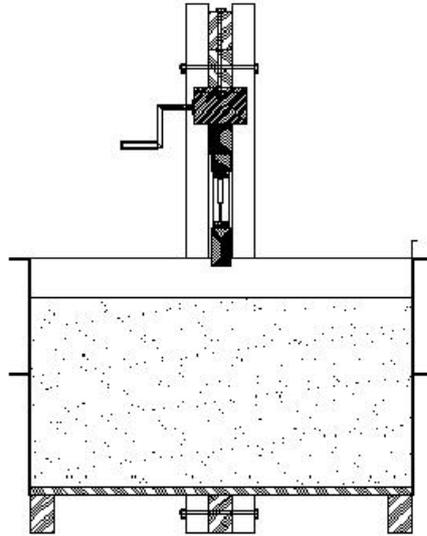
Alat ini berukuran panjang 1 m; lebar 1 m dan tinggi 0,60 m. Gambar berikut ini menunjukkan alat model 3 dimensi.



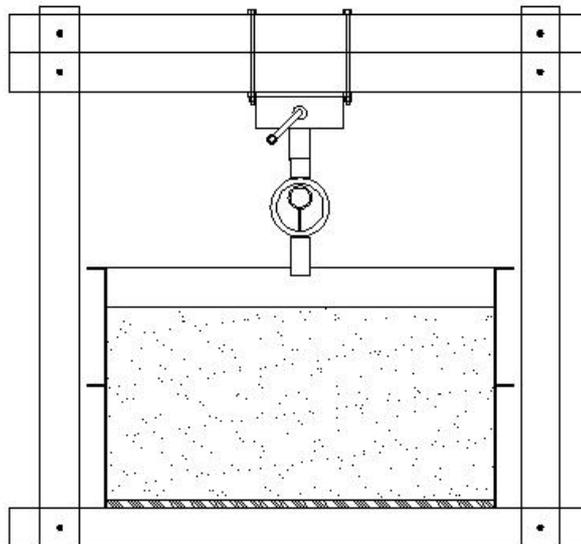
Gambar 3.1. Satu unit alat model 3 dimensi



Gambar 3.2. Sketsa tampak atas alat model 3 dimensi



Gambar 3.3. Sketsa potongan A-A alat model 3 dimensi



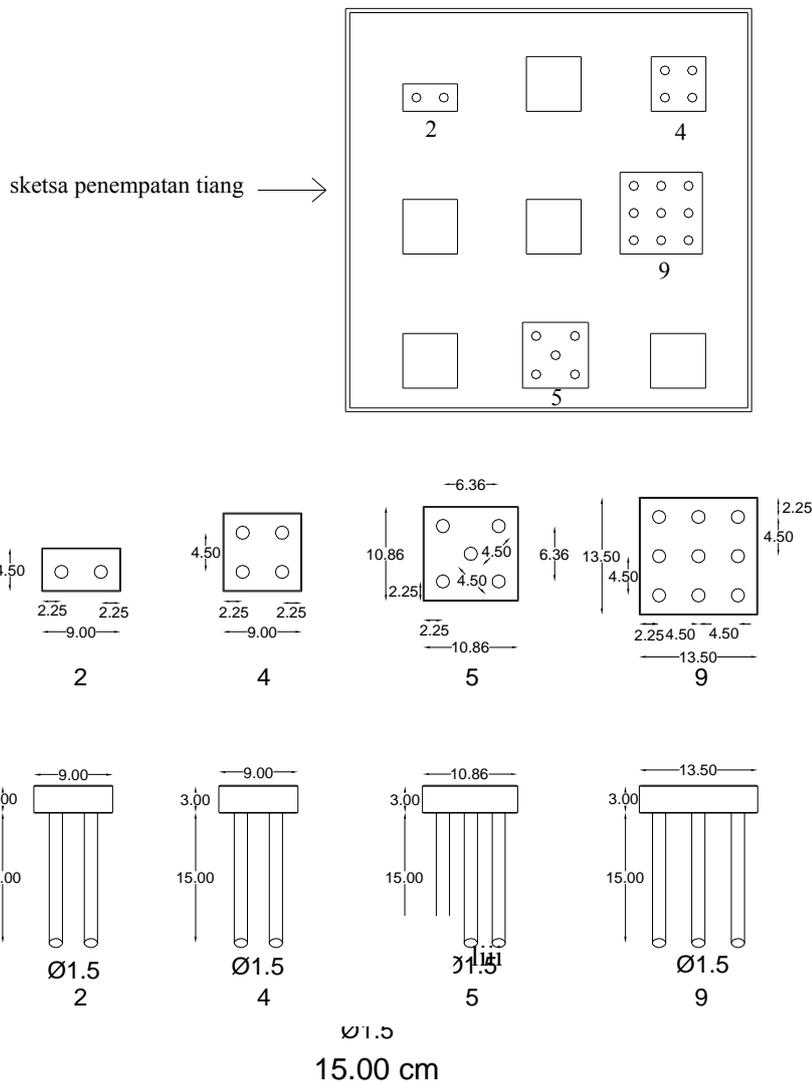
Gambar 3.4. Sketsa potongan B-B alat model 3 dimensi

- b. Model tiang kelompok ujung tertutup

Model tiang kelompok ujung tertutup merupakan sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dibentuk dan diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *pile cap*. Gambar berikut ini merupakan model tiang kelompok ujung tertutup.



Gambar 3.5. Model tiang kelompok ujung tertutup



Gambar 3.6. Sketsa model pondasi tiang kelompok ujung tertutup

c. *Dial gauge*

Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya deformasi tiang kelompok ujung tertutup pada saat uji pembebanan. *Dial gauge* yang digunakan berjumlah satu buah dengan ketelitian 0,01 mm (**Gambar 3.7**).



Gambar 3.7. *Dial gauge*

d. *Waterpass*

Alat ini digunakan untuk mengukur permukaan tiang kelompok ujung tertutup terhadap tanah agar benar-benar rata secara horisontal.

Satu unit alat pembebanan dan alat pendukung lainnya, seperti palu, pemadat tanah, penggaris, tempat air dan tempat pencampur tanah.

Bahan-bahan yang diperlukan dalam tahap penelitian ini meliputi:

a. Tanah

Tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah dominan pasir yang digunakan sebagai media uji.

b. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air bersih yang berasal dari laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.

3.2.3. Persiapan Alat dan Bahan

Tahap persiapan terdiri dari tahap persiapan benda uji, persiapan media tanah dan persiapan alat pembebanan.

a. Persiapan benda uji

Penelitian ini menggunakan model pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup yang terbuat dari pelat aluminium dengan tebal 1 mm yang disatukan. Model pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup yang digunakan mempunyai diameter 1,5 cm dan panjang tiang 15 cm. Masing-masing pondasi tiang pancang kelompok mempunyai jumlah tiang yang bervariasi, yaitu 2 tiang, 4 tiang, 5 tiang, dan 9 tiang. Sehingga jumlah total model pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup yang digunakan sebanyak 4 buah.

b. Persiapan media tanah

Media tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah dominan pasir yang diambil dari daerah sungai Bengawan Solo dengan sistem pengambilan terganggu (*disturbed sample*). Tanah kemudian disaring dengan spesifikasi lolos saringan no.4 (diameter 6.35 mm). Penyaringan tanah ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8. Penyaringan Tanah

Media tanah yang digunakan dijaga dalam kondisi yang relatif sama. Tanah dijatuhkan ke dalam bak uji yang terbuat dari besi dengan tinggi jatuh (*height of fall*) antara 20 cm hingga 30 cm, kemudian dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat. Alat pemadat yang digunakan berupa besi dengan berat 5 kg, mempunyai bentuk seperti terlihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9. Alat pemadat

Mekanisme pemadatan tanah adalah sebagai berikut :

- i. Tanah pasir dimasukkan ke dalam box pengujian dengan tinggi jatuh 20 s/d 30 cm sebanyak 1/3 tinggi box.
- ii. Tanah pasir ditumbuk dan dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat yang dijatuhkan dari ketinggian 15 s/d 20 cm. Pemadatan dilakukan sebanyak 2 kali atau 2 putaran.
- iii. Tanah pasir dimasukkan lagi hingga mencapai 2/3 tinggi box uji, kemudian dilakukan pemadatan dengan cara yang sama seperti diterangkan pada nomor 2 di atas.
- iv. Tanah pasir dimasukkan lagi hingga penuh, kemudian dilakukan pemadatan yang sama seperti pada nomor 2

Pada pengujian ini yang membedakan antara model satu dengan yang lain hanyalah model tiang itu saja, sedangkan parameter-parameter tanah yang lain dijaga agar tetap seragam. Untuk menjaga keadaan tanah agar tetap dalam kondisi yang konstan, maka tanah dalam kotak uji ditutup dengan plastik tebal kedap air. Selain itu, tanah juga disemprot permukaannya dengan semprotan air secara periodik.

c. Penyiapan alat pembebanan

Alat pembebanan terdiri dari statif dan alat pembebanan aksial. Deskripsi alat pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- i. Menggantungkan alat pembebanan aksial pada balok penyangga (**Gambar 3.10**).



Gambar 3.10. Alat pembebanan aksial

- ii. Memasang alat pembebanan aksial tidak secara permanen, melainkan secara fleksibel dengan sebuah pengunci. Hal ini memungkinkan untuk pergeseran tanpa mengurangi kestabilan pada waktu pembebanan dilakukan.
- iii. Meletakkan tanah dalam kotak uji dengan dimensi 100 cm x 100 cm x 60 cm dengan mekanisme yang tercantum dalam poin b. Persiapan media tanah.
- iv. Memasang model pondasi tiang kelompok ke dalam media tanah yang terdapat dalam kotak uji, dengan menggunakan alat dongkrak manual yang diputar hingga mencapai kedalaman tertentu sesuai dengan yang dikehendaki (**Gambar 3.11**).



Gambar 3.11. Pemasangan pondasi tiang

3.2.4. Pelaksanaan Pengujian Model di Laboratorium

Tahap ini meliputi pekerjaan-pekerjaan antara lain sebagai berikut :

- a. Pemasangan pondasi tiang kelompok dan alat pembebanan.

Model pondasi tiang kelompok ditancapkan di atas lapisan tanah dalam kondisi permukaan datar. Posisi torak alat pembebanan disentuhkan pada pelat tumpuan pada model pondasi tiang kelompok.

- b. Pengaturan alat

Alat pembebanan diatur sehingga stabil (kaku). Tuas pada alat pembebanan diputar sehingga torak memberi tekanan pada pelat pondasi tiang kelompok sampai *dial gauge* menunjukkan pergerakan sedikit. Hal ini untuk memastikan bahwa torak benar-benar menyentuh pelat secara keseluruhan seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.12**.

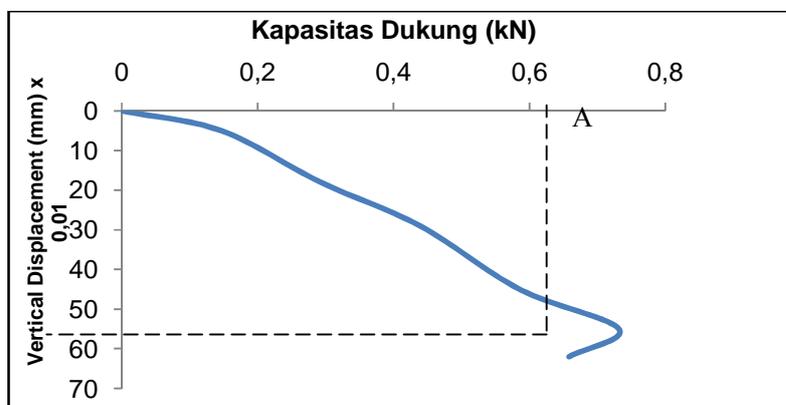


Gambar 3.12. Uji pembebanan

c. Pelaksanaan pengujian pembebanan dan pengambilan data

Pengujian dilakukan dengan cara menekan torak pembebanan sehingga pelat baja menekan model pondasi tiang pipa baja. Torak pembebanan akan memberikan gaya dengan besaran tertentu yang diukur dengan *load dial*.

Pengujian dilakukan setelah *dial gauge* diseting nol. Setelah itu dilakukan pembebanan setiap penambahan *load dial* 1 strip (1 strip = 14,635 kg). Penambahan beban dilakukan setelah penurunan pada *vertical dial* mencapai ≤ 3 strip/menit (1 strip = 0,01 mm). Apabila *dial gauge* sudah tidak mengalami pergerakan maka besar penurunan yang terjadi dapat dibaca. Pengujian dihentikan sampai penurunan maksimum. Data yang diambil berupa bacaan *dial gauge* pada *proving ring*.



Gambar 3.13. Sketsa penentuan kapasitas dukung tiang dengan
Pengujian model laboratorium

Kapasitas dukung tiang kelompok dengan uji pemodelan didapatkan dengan cara menarik garis lurus pada *displacement* maksimum. Hal ini disebabkan daya dukung pondasi sudah tidak mampu menahan beban dari pengujian yang dilakukan. Pada **Gambar 3.13** nilai A merupakan kapasitas dukung tiang yang didapat dengan cara menarik garis lurus pada absis *displacement*.

3.3. Metode Elemen Hingga dengan Program SAP 2000 v.11

Penggunaan program SAP 2000 v.11 untuk pemodelan dan analisis Pondasi Tiang Pancang Kelompok dalam penelitian ini secara garis besar meliputi beberapa langkah berikut ini:

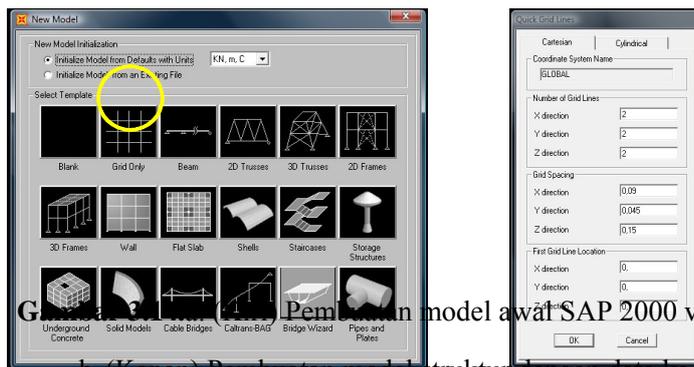
- a. Memulai (*start*) program SAP 2000 v.11
- b. Input data dan geometri model struktur, meliputi antara lain : definisi sistem satuan, sistem koordinat, garis bantu (*girdline*), material, elemen (*batang/frame, area, nodal/joint, dll*), pembebanan, kombinasi beban, dst. yang merupakan idealisasi dari struktur sebenarnya di lapangan.
- c. Analisis (*analysis/running*) model yang telah dibuat, tergantung tipe analisisnya dapat dibedakan antara lain menjadi linier, statik, dll. yang mana semakin kompleks model struktur semakin lama waktu yang diperlukan untuk analisis dan semakin besar ukuran *file* output hasil analisis.
- d. Pengolahan data hasil analisis, dengan output hasil analisis dapat disajikan baik dalam bentuk table angka, grafik, gambar (misal kontur tegangan), maupun animasi deformasi struktur. Proses impor dan ekspor *file* dengan format berbeda untuk program lain juga dimungkinkan, termasuk dalam tahap input.

Selanjutnya akan dijelaskan secara ringkas mengenai detail tahapan pemodelan dan analisis pondasi tiang pancang kelompok dengan SAP 2000 v.11 seperti yang dilakukan dalam penelitian ini. Contoh yang dijelaskan di sini bersifat umum untuk semua model yang dianalisis.

3.3.1. Input ruang penggambaran model

Setelah program SAP 2000 v.11 dijalankan, akan tampil layar utama kosong (*blank*). Selanjutnya kita dapat memulai untuk membuat model baru atau membuka model yang sudah ada. Untuk membuat

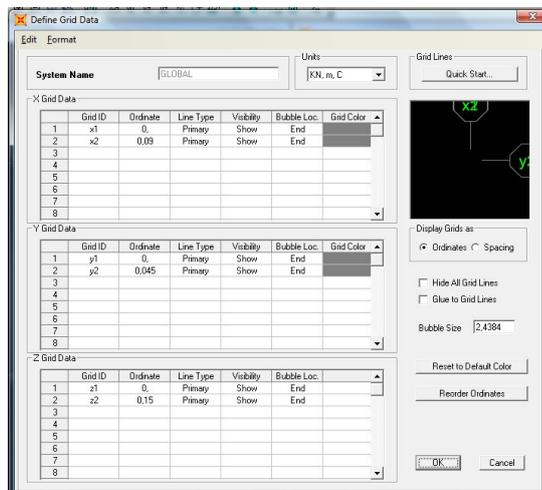
model baru, SAP 2000 v.11 menyediakan pilihan untuk memakai *template* yang telah tersedia ataupun membuat dari awal dengan hanya *gridline* saja (**Gambar 3.15.a.**). Untuk pemodelan struktur yang standar, penggunaan *template* akan mempercepat pembuatan model untuk awalan dan dilanjutkan *editing* seperlunya, sedangkan untuk struktur yang khusus akan dibutuhkan pembuatan model untuk awalan dan dilanjutkan *editing* seperlunya, sedangkan untuk struktur yang khusus akan dibutuhkan pembuatan model dari awal sama sekali. Sistem satuan yang akan digunakan sebagai acuan juga ditentukan disini.



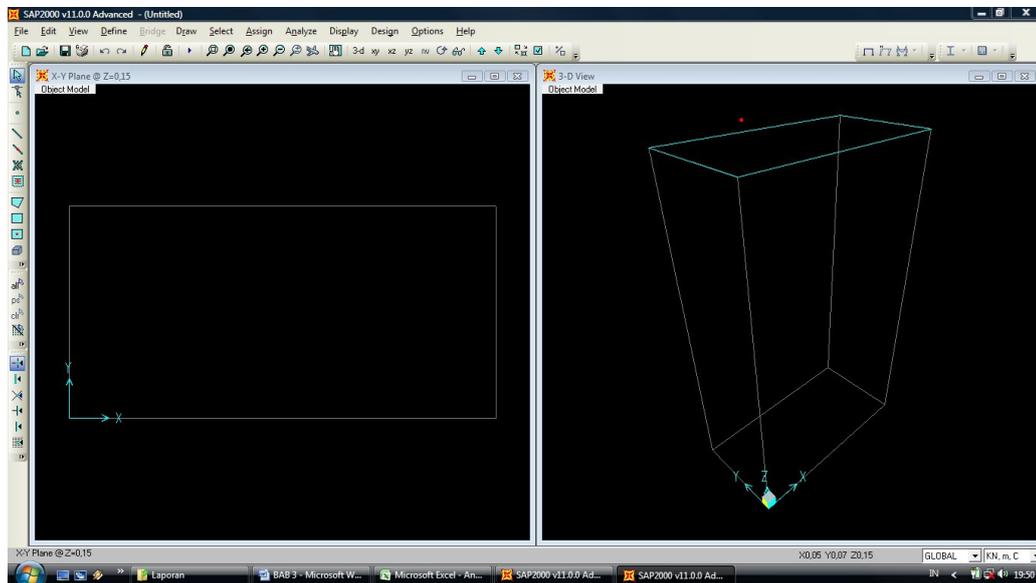
Gambar 3.15.a. Pembuatan model awal SAP 2000 v.11 dengan *gridline* b. (Kanan) Pembuatan model struktur dengan data koordinat garis bantu

Untuk penelitian ini digunakan pilihan *Grid Only*, pengguna memasukkan input data koordinat garis bantu (*gridline*) sebagai acuan penggambaran model struktur (**Gambar 3.14.b**). Data dimensi global arah panjang, lebar, dan tinggi ruang penggambaran model struktur dimasukkan sebagai input. Selanjutnya bila diperlukan, letak *gridline* tersebut dapat diubah-ubah baik ditambah, diubah jaraknya maupun dihapus (**Gambar 3.15**).

Setelah input data *grid* selesai, akan ditampilkan layar kerja seperti pada **Gambar 3.16**. Model struktur akan dibuat pada layar ini, termasuk untuk penampilan hasil analisis struktur. Secara *default* akan ditampilkan dua layar. Jumlah dan penempatan layar ini dapat diatur lewat menu *Options*, dan tiap layar dapat ditampilkan data model yang berbeda-beda (misal layar kanan tampilan perspektif 3D, layar kiri tampilan bidang X-Y).



Gambar 3.15. *Editing girddline* SAP2000 v.11



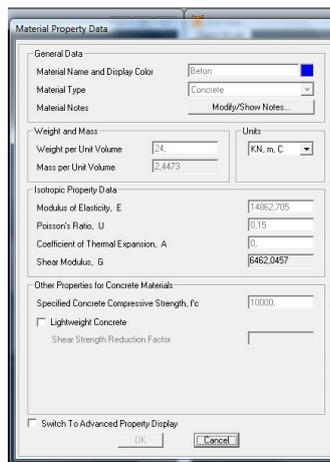
Gambar 3.16. Layar monitor SAP2000 v.11

3.3.2. Input data model

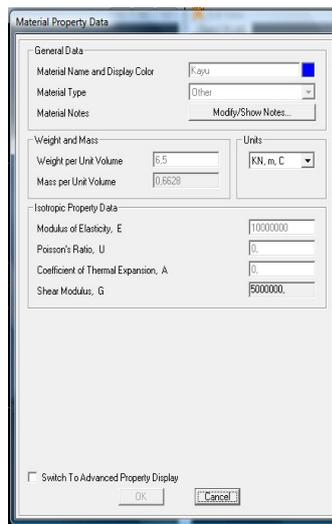
Untuk input data model Pondasi Tiang Pancang Kelompok pada program SAP 2000 v.11, yang diperlukan antara lain adalah data material dan *section* atau penampang berikut *properties*-nya (material yang dipakai, tipe elemen, faktor pengali, dll).

Pada input data material, sesuai material/bahan yang digunakan, *input* data antara lain seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.17**. Untuk memodelkan beton di dalam Tiang pancang digunakan elemen *solid*. Elemen *solid* tersebut dimasukkan hanya akan bekerja dalam hal inersia saja, dan tidak membebani struktur karena beratnya dianggap telah ditumpu oleh tanah yang ada di bawahnya. Untuk keperluan tersebut, pada isian input data material beton, nilai berat volume berat dan modulus elastis diisikan (**Gambar 3.17**)

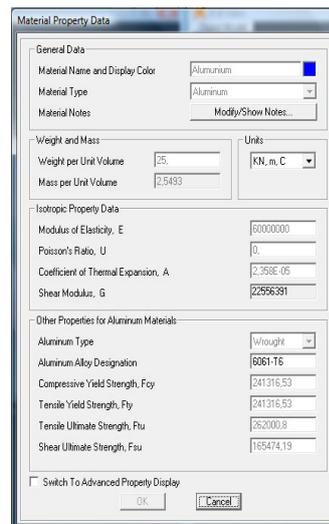
Untuk *input* tipe elemen, dalam hal ini digunakan elemen *shell* (untuk *pilecap* dan pipa/tiang pancang). *Input* penampang *shell*, seperti terlihat pada **Gambar 3.18**. Elemen jenis *shell* merupakan gabungan dari jenis *plate* dan *membrane*. Pilihan *thin* untuk pelat tipis dengan mengabaikan efek geser, dan untuk *thick* efek deformasi geser akan ikut diperhitungkan.



Gambar 3.17. *Input data material Beton dalam SAP 2000 v.11*



(a) Pelat/sheetpile



(b) Pipa/tiang pancang

Gambar 3.18.a (Kiri) *Input data elemen shell untuk pelat/sheetpile pada*

SAP 2000 v.11

b. (Kanan) *Input data elemen shell untuk tiang pancang pada*

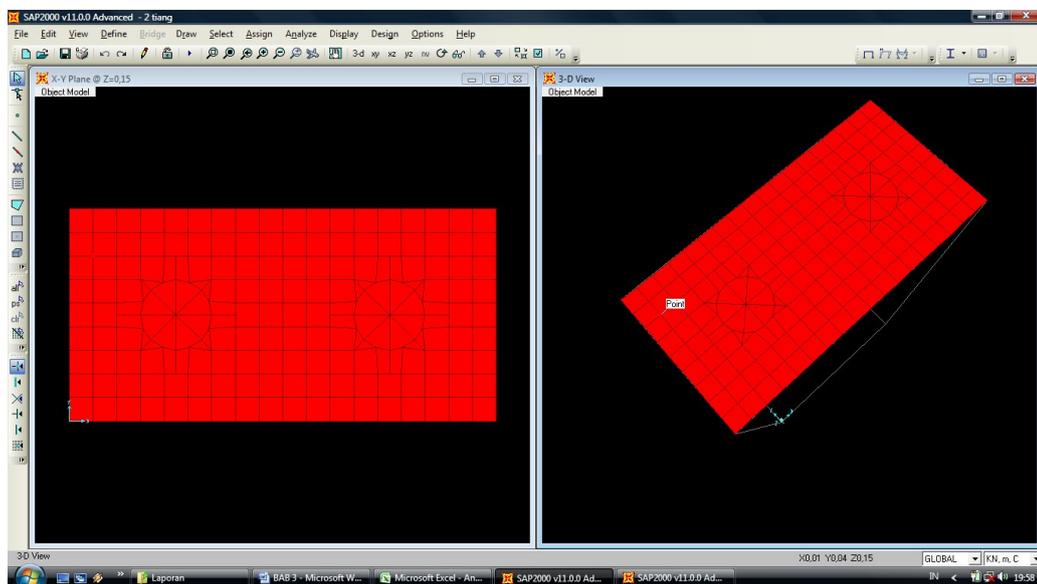
SAP 2000 v.11

3.3.3. Pembuatan/penggambaran model

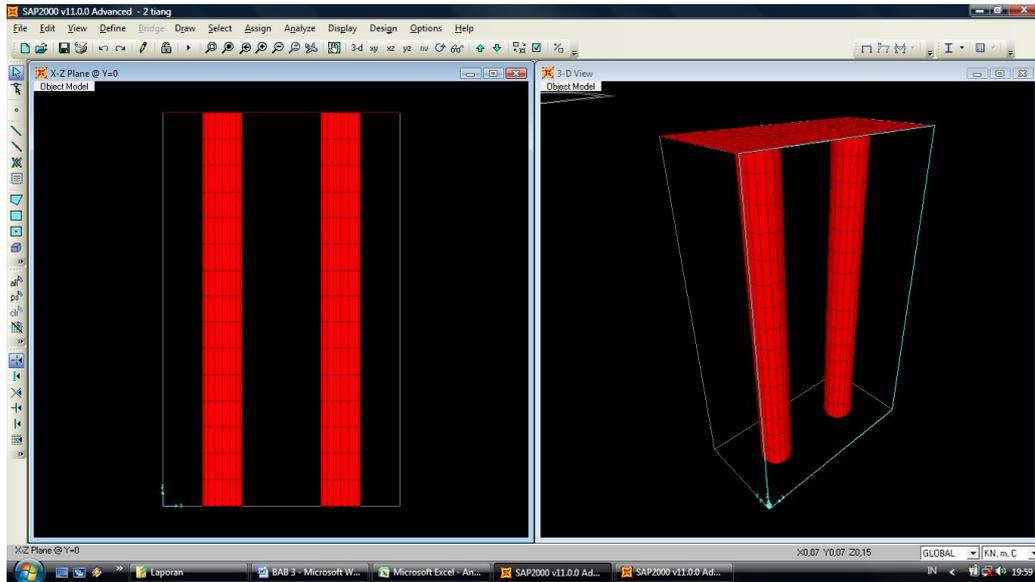
Pembuatan objek pelat beton dilakukan dengan penggambaran bentuk elemen *area* dalam bidang datar (XY) dengan *meshing* sedemikian rupa dan memperhatikan kaidah-kaidah sebagai berikut:

- a. Kontinuitas elemen, artinya elemen-elemen yang bertetangga harus terhubung satu sama lain pada setiap titik-titik *nodal*-nya (*joint*). Pada daerah yang dikenai beban, pembebanan harus memenuhi seluruh elemen.
- b. Pembagian (*discretizing*) elemen harus memperhatikan bentuk maupun ukuran model yang disesuaikan dengan bentuk *prototype*-nya. Misalnya pada daerah-daerah sambungan atau daerah-daerah sambungan atau daerah-daerah yang diperkirakan terjadi perubahan yang signifikan seperti daerah pembebanan, elemen harus dibuat lebih kecil daripada elemen-elemen utama. Dalam pemodelan ini digunakan kombinasi bentuk elemen segiempat dan segitiga.
- c. Kompatibilitas elemen, artinya bentuk dan ukuran elemen tidak jauh berbeda satu sama lain, terutama pada elemen-elemen yang berdekatan. Selain itu dalam satu elemen, ukuran sisi-sisinya dan sudut-sudutnya tidak boleh jauh berbeda.

Untuk pembuatan objek pipa tiang pancang, digunakan bantuan elemen *frame* yang berfungsi sebagai pembentuk bidang lingkaran sedangkan untuk objek tanah di dalam pipa tiang pancang menggunakan bantuan elemen *area* yang berfungsi sebagai pembentuk bidang segiempat pada bidang XY, yang selanjutnya dilakukan *extrusion* menjadi bidang *area* ke arah vertikal (Z), seperti pada **Gambar 3.19**.



Gambar 3.19. Penggambaran objek *pile cap* SAP 2000 v.11

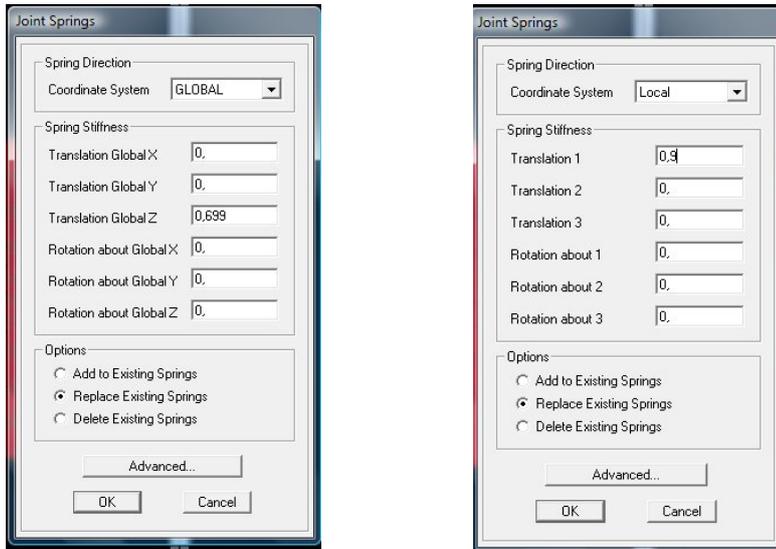


Gambar 3.20. Penggambaran objek pipa/tiang pancang dan beton dalam pipa SAP 2000 v.11

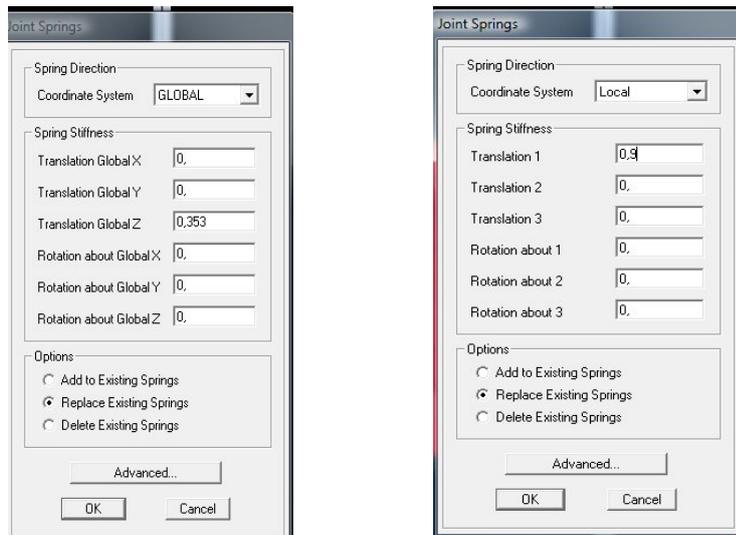
3.3.4. *Assignment modulus reaksi subgrade*

Pada model struktur pondasi tiang pipa yang telah dibuat diberikan properties berupa *modulus of subgrade reaction* dengan tipe dan nilai yang sesuai lewat *area spring*, nilai kekakuan spring ini mewakili luasan tertentu di sekitar nodal (luasan dari pias).

Nodal spring atau *joint spring* merupakan elemen spring yang diletakkan pada nodal-nodal titik pertemuan pias elemen model pipa.



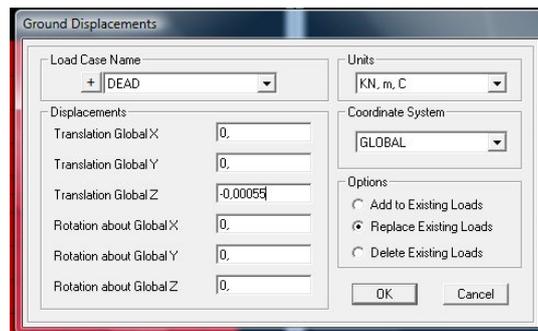
Gambar 3.21. a (Kiri) Input *joint spring* untuk elemen pias pada bagian *pile cap*
 b. (Kanan) Input *joint spring* arah horisontal (k_h) elemen *joint* pada bagian selimut pipa



Gambar 3.22. a (Kiri) Input *joint spring* arah vertikal / k_v pada bagian ujung pipa
 b. (Kanan) Input *joint spring* arah horisontal / k_h (*translation 1*) elemen *joint* pada bagian ujung pipa.

3.3.5. Pembebanan

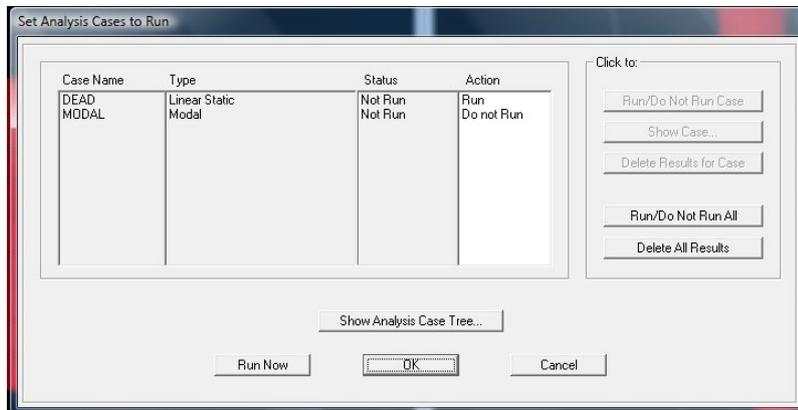
Pembebanan yang dilakukan adalah dengan memberikan penurunan pada ujung atas model pipa dengan memanfaatkan fasilitas *joint load > displacement*. Besaran dari nilai *displacement* yang diberikan yaitu sebesar 0,55 mm. Tipe analisis (*load case*) yang diberikan yaitu dengan menonaktifkan *self weight multiplier* (berat sendiri tiang pancang diabaikan)



Gambar 3.23. Input pembebanan

3.3.6. Tahap analisis (*analysis/running*)

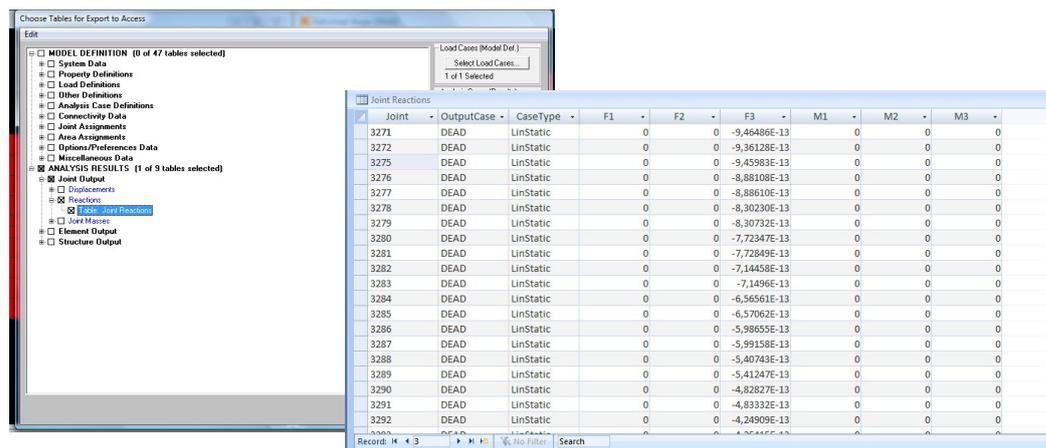
Setelah model struktur beserta properties dan pembebanan telah selesai dibuat, maka proses analisis sudah bisa dilaksanakan. Namun demikian sebelum dilakukan analisis sebaiknya dilakukan dahulu pemeriksaan kembali, terhadap model yang telah dibuat meliputi antara : dimensi model struktur, satuan yang digunakan, input data material, input dan *assignment spring*, serta pembebanan. Pemeriksaan ini bisa menghemat waktu terutama bila kemudian ditemukan beberapa kesalahan atau kekurangan dalam input data model, karena proses analisis dapat berjalan cukup lama, yang mana apabila terdapat kesalahan atau kekurangan baru diketahui setelah analisis terpaksa harus diulang lagi dari awal. Pada **Gambar 3.24.** terlihat *window* persiapan sebelum analisis (*run*) dilakukan. Pada tahap ini ditentukan *analysis case* yang mana saja yang akan dilakukan.



Gambar 3.24. Persiapan analisis SAP 2000 v.11

3.3.7. Tampilan Hasil dan Tabulasi Data Output

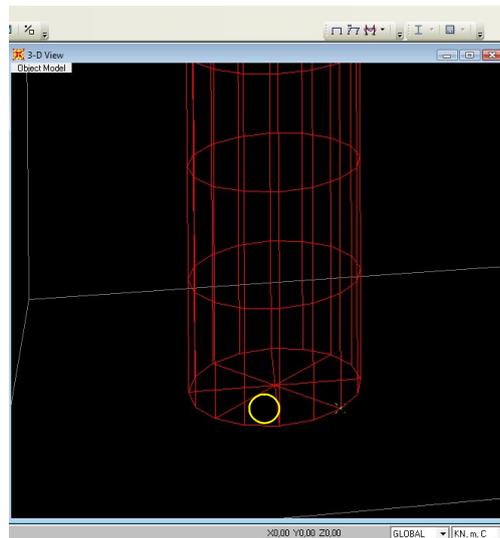
Setelah analisis selesai dilakukan dan tidak ditemukan adanya indikasi error ataupun *warning*, hasil output selanjutnya dapat ditampilkan dalam berbagai macam bentuk sesuai keperluan. Output dalam bentuk gambar semacam bentuk deformasi struktur maupun kontur tegangan dapat ditampilkan pada layar SAP 2000 v.11, dan bila diinginkan beberapa jenis output lain seperti *joint force* juga dapat diekspor ke program lain seperti *excel* ataupun *access*.



Gambar 3.25. Contoh output SAP 2000 v.11 berbentuk tabel

3.3.8. Pengambilan Data Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Penentuan nilai kapasitas dukung tiang kelompok dengan metode SAP 2000 v.11 dilihat dari *joint* yang memiliki nilai *force* terbesar yang dapat dilihat pada *output* tabel *joint reaction* (**Gambar 3.25**). Pada **Gambar 3.26** menunjukkan *joint* yang memiliki *force* terbesar yang berada pada ujung tiang. Gaya yang diterima pada *joint* tersebut yaitu k_v dan k_h serta memiliki *displacement* sebesar 0,55 mm.



Gambar 3.26. Joint yang digunakan sebagai kapasitas dukung tiang

3.4. Analisis dan Pengolahan Data

3.4.1. Daya Dukung Pondasi dari Pengujian Utama

Pengujian yang dilaksanakan akan menghasilkan hubungan antara *load dial reading* dengan nilai *displacement* yang terjadi pada model pondasi tiang pancang kelompok. Nilai *load dial reading* selanjutnya akan diubah menjadi nilai *force* dengan cara mengalikan nilai *load dial reading* dengan *load ring constanta*. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara *force* dan *displacement*.

3.4.2. Daya Dukung Pondasi dari Metode Analitis

Rumus kapasitas dukung pondasi tiang berdasarkan rumus Terzaghi (1943) yang termodifikasi oleh Meyerhof (1976) digunakan untuk menghitung kapasitas dukung ujung, dan rumus *Conversi-Labarre* untuk menghitung efisiensi tiang pancang kelompok. Dimensi pondasi, nilai besaran kuat geser *undrained*, dan kepadatan tanah digunakan sebagai masukan pada rumus tersebut.

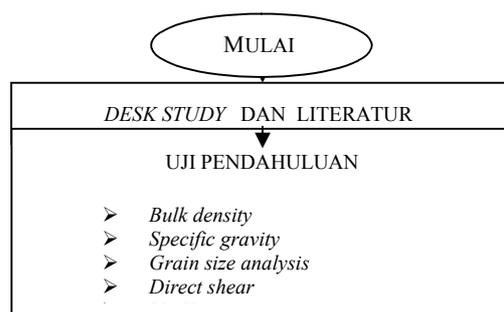
3.4.3. Daya Dukung Pondasi dari Metode Elemen Hingga (SAP 2000 v.11)

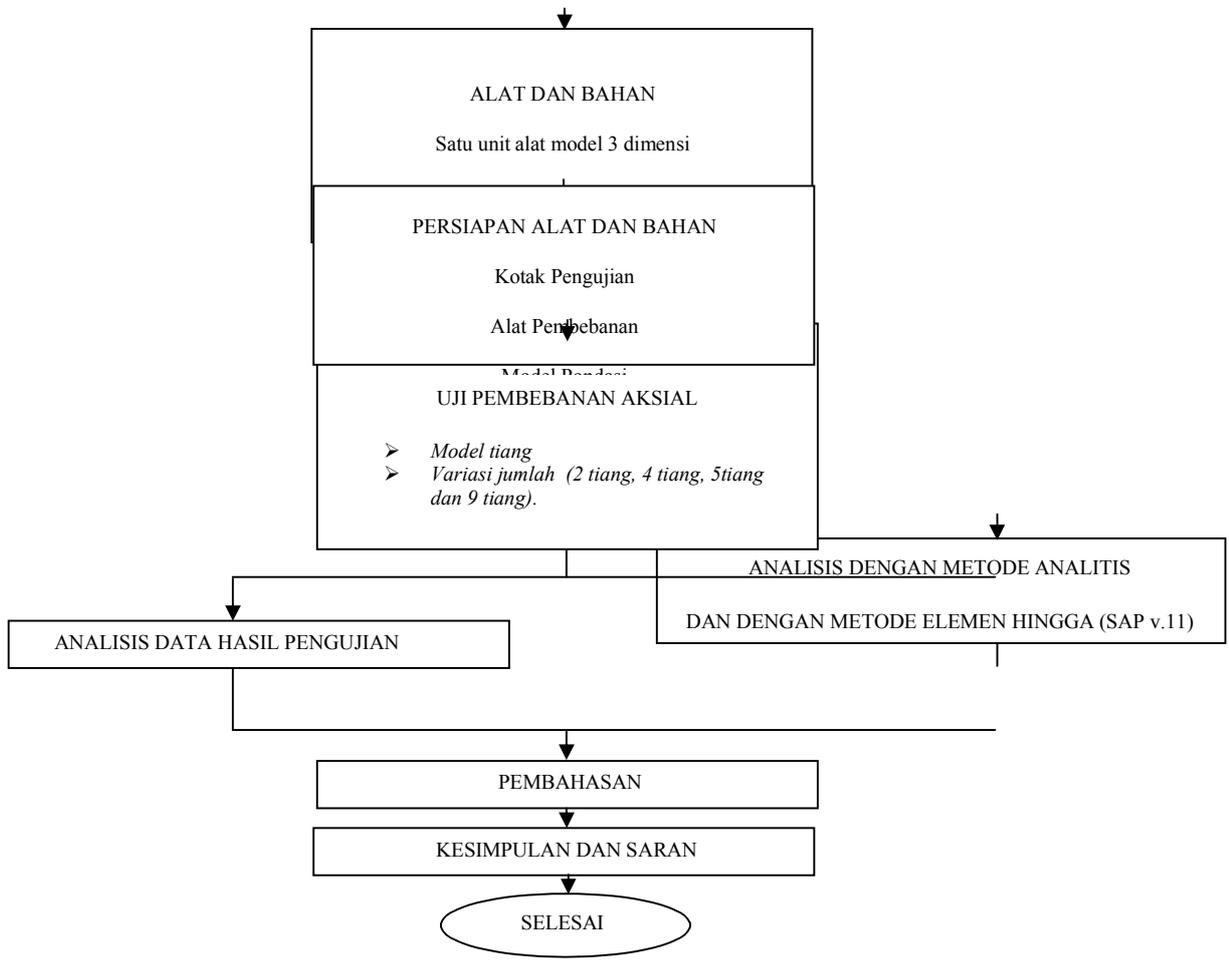
Program SAP 2000 (*Structural Analysis Program*) merupakan program analisis struktur produk dari CSI (*Computer and Structures, Inc*) Berkeley University, California, AS. Penelitian ini menggunakan SAP versi 11. Program yang berbasis grafis ini menyediakan fasilitas untuk keperluan analisis dengan elemen hingga (*finite elemen*) dan analisis non-linier, serta dukungan beberapa fitur dan pilihan yang memudahkan penggunaannya. Namun demikian program tersebut hanya merupakan alat bantu dalam melakukan analisis dan perhitungan struktur, sehingga akan tetap diperlukan kecermatan dari penggunaannya terhadap masukan (*input*), proses, maupun keluaran (*output*) dari program. Untuk mengakomodasi hal ini dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa hal, di antaranya adalah perbandingan *spring* pada nodal dan *area* (luasan) linier dan non linier, serta validasi model awal dengan data model di laboratorium yang telah dilakukan.

Penggunaan program SAP 2000 v.11 untuk pemodelan dan analisis pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup secara garis besar meliputi beberapa langkah sebagai berikut:

- a. Memulai (*start*) program SAP2000 v.11
- b. Pemasukan (*input*) data dan geometri model struktur, meliputi antara lain: definisi sistem satuan, sistem koordinat, material, elemen (*shell, area, nodal/joint, dll*) pembebanan, kombinasi beban, yang merupakan idealisasi dari struktur sebenarnya (model di laboratorium).
- c. Perhitungan daya dukung pondasi dari model yang telah dibuat. Semakin kompleks model suatu struktur maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk menganalisis dan semakin besar pula ukuran *file output* hasil analisis.
- d. Pengolahan data hasil perhitungan disajikan baik dalam bentuk tabel angka, grafik, gambar (kontur tegangan) maupun animasi dari deformasi struktur. Proses impor dan ekspor file dengan format berbeda untuk program lain juga dimungkinkan.

3.5. Alur Penelitian





Gambar 3.27. Diagram Alur Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Indeks Properties Tanah

Nilai dari indeks properties dapat memberikan gambaran tentang sifat-sifat fisik dari tanah pasir berlumpung yang merupakan media dalam penelitian ini. Indeks properties tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pengujian laboratorium yang telah dilakukan. Tabel berikut ini menunjukkan rekapitulasi penelitian parameter tanah.

Tabel 4.1. Rekapitulasi pengujian parameter tanah

Parameter	Satuan	Hasil
Kadar air (w)	%	24,45
Bulk Density (γ_b)	gram/cm ³	1,617
Kerikil (<i>gravel</i>)	%	0%
Pasir (<i>sand</i>)	%	75,38%
Lanau dan Lempung (<i>Finer / silt and clay</i>)	%	24,62%
Klasifikasi Tanah menurut ASTM	-	Tanah Pasir Campuran Lempung (SC)
Kohesi (c)	kg/cm ²	0,032
Sudut Geser Dalam (ϕ)	°	33,33

4.2. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang dengan Metode Uji Pemodelan

Pengujian model pondasi tiang kelompok ini dilakukan setelah 1 hari umur pemancangan, dilakukan dengan alat Load Test (modifikasi dari alat CBR laboratorium) dengan cara

menekan torak penetrasi pada pelat landasan yang diletakkan di atas model pondasi tiang kelompok, pondasi tiang kelompok tersebut selanjutnya ditekan dengan gaya tertentu dan diukur berapa besar penurunan (displacement) yang terjadi. Pengujian dihentikan sampai terjadi penurunan 55×10^{-2} mm.

Tabel 4.2. Hasil pengujian 2 tiang per cap diameter 1,5 cm panjang 15 cm

Load Dial Reading	Force (kN)	Displacement (10^{-2} mm)
0	0,0000	0
1	0,1464	5
2	0,2927	18
3	0,4391	29
4	0,5854	45
5	0,7318	55
4,5	06590	62

Tabel 4.2 memperlihatkan hubungan antara *load dial reading* (kolom 1) dan Displacement (kolom 3), sedangkan pada kolom 2 tabel tersebut memperlihatkan nilai force (gaya) yang terjadi.

Contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai force dari *load dial reading*

$$\begin{aligned}
 \text{Force} &= (\text{LDR} \times \text{LRC} \times 0.00445) \\
 &= (1 \times 32.9029 \times 0.00445) \\
 &= 0.146 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk masing-masing pipa baja dengan variasi jumlah tiang.

Tabel 4.3. Hasil pengujian 4 tiang per *cap* diameter 1,5 cm panjang 15 cm

Load Dial Reading	Force (kN)	Displacement (10^{-2} mm)
0	0,0000	0
1	0,1464	5
2	0,2927	7,5
3	0,4391	13,5
4	0,5854	17
5	0,7318	23,2
6	0,8781	30
7	1,0245	35
8	1,1708	41
9	1,3172	55
8,8	1,2880	63

Tabel 4.4. Hasil pengujian 5 tiang per *cap* diameter 1,5 cm panjang 15 cm

Load Dial Reading	Force (kN)	Displacement (10^{-2} mm)
0	0,0000	0
1	0,1464	2
2	0,2927	4,2
3	0,4391	8
4	0,5854	19
5	0,7318	21
6	0,8781	25,5
7	1,0245	31
8	1,1708	39
9	1,3172	42
10	1,4635	47
11	1,6099	55
10,65	1,5590	61

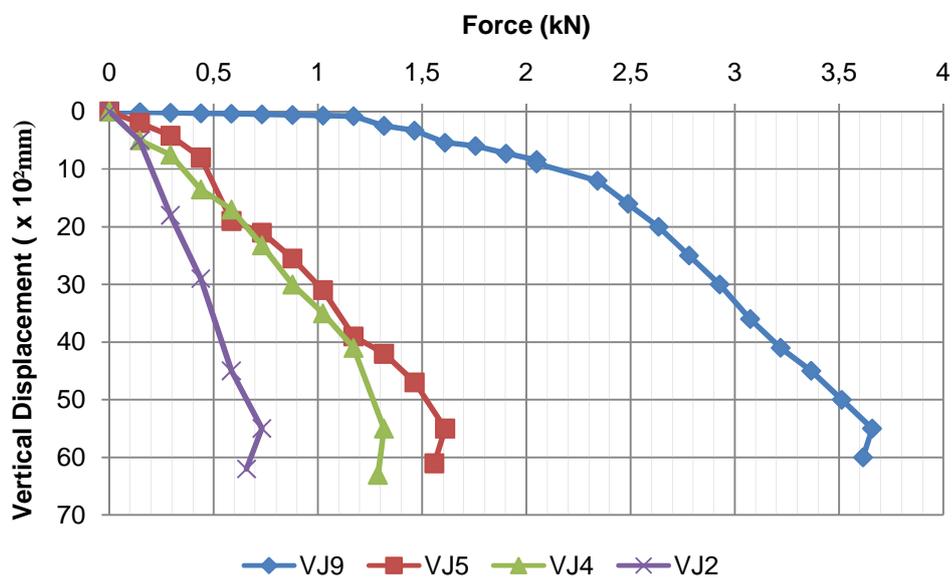
Tabel 4.5. Hasil pengujian 9 tiang per *cap* diameter 1,5 cm panjang 15 cm

Load Dial Reading	Force (kN)	Displacement (10^{-2} mm)
0	0,0000	0
1	0,1464	0,1
2	0,2927	0,2
3	0,4391	0,3
4	0,5854	0,4
5	0,7318	0,5
6	0,8781	0,6
7	1,0245	0,7
8	1,1708	0,8
9	1,3172	2,5
10	1,4635	3,3
11	1,6099	5,4
12	1,7562	6
13	1,9026	7,3
14	2,0489	8,4
14	2,0489	9
16	2,3416	12
17	2,4880	16
18	2,6343	20
19	2,7807	25
20	2,9270	30
21	3,0734	36
22	3,2197	41
23	3,3661	45
24	3,5125	50
25	3,6588	55
24,7	3,6150	60

Selanjutnya hasil rekapitulasi kapasitas ultimit tiang kelompok dengan diameter 1,5 cm dan panjang 15 cm pada umur pemancangan 1 hari dapat dilihat dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6. Rekapitulasi kapasitas ultimate model pondasi tiang kelompok diameter 1.5 cm dan panjang 15 cm.

No	Banyak Tiang per cap	Panjang Tiang (cm)	Diameter Tiang (cm)	Kapasitas Ultimate (kN)
1.	2 Tiang	15	1,5	0,7318
2.	4 Tiang	15	1,5	1,3172
3.	5 Tiang	15	1,5	1,6099
4.	9 Tiang	15	1,5	3,6588



Gambar 4.1. Hubungan gaya (*force*) dan perpindahan (*displacement*) model pondasi tiang kelompok diameter 1,5 cm panjang 15 cm dengan variasi jumlah tiang

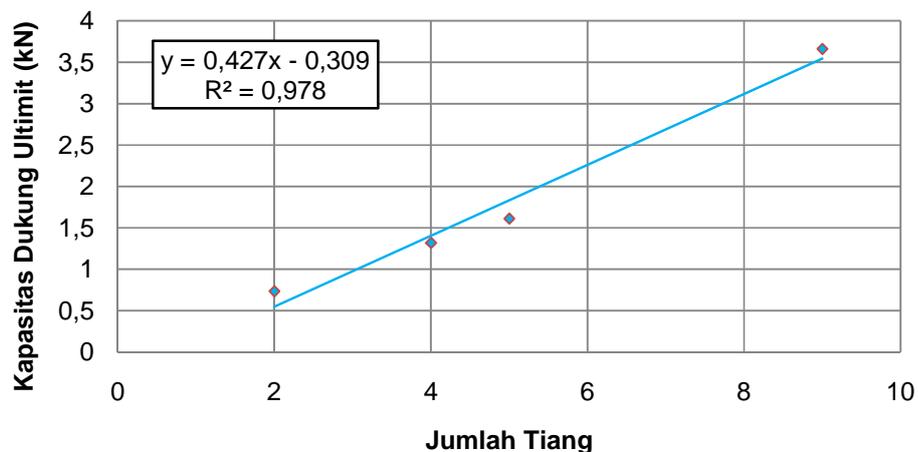
Keterangan:

VJ2 : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 2

- VJ4** : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 4
- VJ5** : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 5
- VJ9** : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 9

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara *force* dengan nilai penurunan / displacement yang terjadi. Kapasitas dukung ultimate model pondasi tiang kelompok dengan jumlah tiang 2 lebih kecil bila dibandingkan dengan model pondasi tiang kelompok dengan jumlah tiang 4. Hal ini mungkin disebabkan karena pengaruh banyak tiang per *cap* dari model pondasi tersebut yang mempengaruhi besarnya tahanan ujung dan selimut.

Hasil pada **Tabel 4.6** apabila diplotkan dalam sebuah grafik maka akan membentuk garis linear dengan persamaan $y = 0,427x - 0,309$. Berikut ini adalah gambar grafik persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode uji pemodelan. Persamaan diatas hanya dapat digunakan dengan $x \geq 1$



Gambar 4.2. Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode uji pemodelan

4.3. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang Metode Analitis

Perhitungan kapasitas dukung metode analitis ini menggunakan rumus teoritis. Perhitungan ini dilakukan untuk mencocokkan sejauh mana pengujian yang dilakukan bila dibandingkan dengan hasil uji model di lapangan. Perhitungan yang dilakukan dengan menganggap model

pondasi tiang pancang sebagai pondasi tunggal, terdiri dari kapasitas ultimate ujung tiang dan kapasitas ultimate kulit tiang. Pada model pondasi tiang pipa baja ujung terbuka kapasitas ultimate ujung tiang diabaikan dan dianggap hanya mempunyai tahanan friksi pada kulit tiang saja.

Tabel 4.7. Data tiang yang digunakan

No	Jumlah Tiang	Diameter Tiang (cm)	Panjang (cm)	Luas Ujung Tiang (cm ²)	Keliling selimut Tiang (cm)	Luas Selimut (cm ²)
1	2	1,5	15	1,1775	4,71	70,65
2	4	1,5	15	1,1775	4,71	70,65
3	5	1,5	15	1,1775	4,71	70,65
4	9	1,5	15	1,1775	4,71	70,65

Contoh perhitungan untuk kapasitas model pondasi tiang dengan metode analitis.

Untuk model pondasi kelompok tiang ujung tertutup diameter 1.5 cm panjang 15 cm jumlah 5 tiang.

a. Kapasitas ujung

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \gamma \cdot L; \text{ dengan } \gamma = 80 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 0,000177 \cdot 50 \cdot 33,380 \\
 &= 0,4649 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas selimut (kulit) model pondasi tiang

Friksi kulit tiang dengan tanah (f) dihitung berdasarkan nilai tegangan vertikal efektif tanah (σ'_v), nilai sudut gesek permukaan (ϕ), dan nilai Koefisien tekanan tanah (K)

$$\sigma'_v = \gamma \cdot L; \text{ dengan } L = \text{panjang tiang}; \gamma = \text{Berat jenis tanah basah}$$

$$f = \frac{2}{3} \sigma'_v \tan \phi; \text{ dengan } \phi = \text{Sudut gesek dalam}$$

$$K = (1 - 1,4)K_0, \text{ untuk tiang pancang } displacement \text{ kecil}$$

$$K = 1 \cdot K_o ; \text{ dengan } K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$K = 1 - \sin \varphi$$

$$= \dots \cdot \dots$$

$$= 0,4503 \cdot 1,2152 \cdot 0,4087$$

$$= 0,2237 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,007065 \cdot 0,2237$$

$$= 0,00158 \text{ kN}$$

- c. Kapasitas dukung pondasi tiang ujung tertutup dengan diameter 1.5 cm dan panjang 15 cm sebesar

$$= \dots +$$

$$= 0,4649 + 0,00158$$

$$= 0,46648 \text{ kN}$$

- d. Setelah didapat nilai kapasitas dukung ijin tiang tunggal, dapat dihitung nilai efisiensi kelompok tiang sebesar

$$E_g = 1 - \frac{(\dots)(\dots)}{\dots}; \quad \dots = \arctan \dots = 18,42753$$

$$E_g = 1 - 18,42753 \frac{(\dots)(\dots)}{\dots}$$

$$E_g = 0,8976$$

- e. Dari contoh perhitungan di atas dapat diketahui bahwa kapasitas dukung pondasi kelompok tiang ujung tertutup dengan diameter 1.5 cm dan panjang 15 cm dan jumlah tiang 5 tiang sebesar

$$Q_g = n \cdot Q_a \cdot E_g$$

$$Q_g = 2 \cdot 0,46648 \cdot 0,8976$$

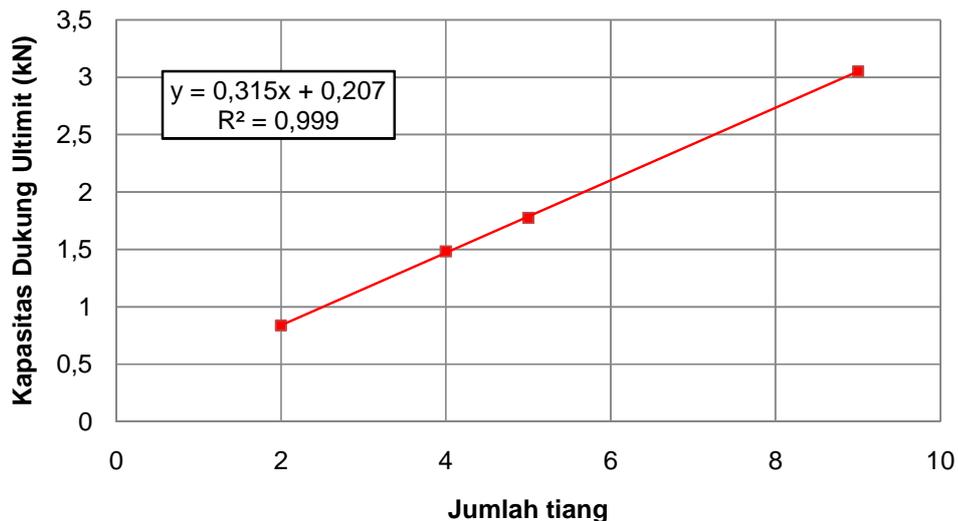
$$Q_g = 0,8374 \text{ kN}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung kapasitas dukung model pondasi dengan variasi yang lain, sehingga hasil dari keseluruhan perhitungan kapasitas dukung model pondasi kelompok dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8. Rekapitulasi perhitungan secara analitis kapasitas dukung model pondasi tiang kelompok.

No	Jumlah Tiang per <i>cap</i>	Panjang (cm)	Kapasitas Ulitimate (kN)
1	2	15	0,8374
2	4	15	1,4837
3	5	15	1,7751
4	9	15	3,0519

Hasil pada **Tabel 4.8** apabila diplotkan dalam sebuah grafik maka akan membentuk garis linear dengan persamaan $y = 0,315x + 0,207$. Berikut ini adalah gambar grafik persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode analitis Meyerhof (1976).



Gambar 4.3. Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode analitis Meyerhof (1976)

4.4. Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang dengan Metode elemen hingga SAP 2000 v.11

4.4.1. Koefisien Kekakuan Tanah

Dari hasil pengujian *Plate Loading Test* didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Luas pelat} = \pi \times \dots = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Displacemet} = 1.25 \text{ mm} = 0,00125 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban (load)} = Q &= (\text{LDR} \times \text{LRC} \times 0,00445) \\ &= (1,1 \times 32,9029 \times 0,00445) \\ &= 0,16106 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka kekakuan spring} &= \dots \\ &= \dots = 65618,31 \text{ kN/m}^3 \approx 65620 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Nilai kekakuan spring untuk joint spring k_v 65620 kN/m³, sedangkan untuk input model yang menggunakan *area spring*, input data kekakuan spring perlu diubah dahulu dalam bentuk *modulus subgrade reaction* pada *area spring*.

- Dimensi pipa :
- Diameter = 1,5 cm
 - Tinggi = 15 cm
 - D = Kedalaman tanah = 0,5 m

Mesh elemen (pembagian pias)

- Pilecap*
- = 18 x 9 (untuk = 2 tiang)
 - 18 x 18 (untuk = 4 tiang)
 - 21 x 21 (untuk = 5 tiang)
 - 27 x 27 (untuk = 9 tiang)
- Tiang
- = 15 x 16 (untuk = 2 tiang)
 - 15 x 16 (untuk = 4 tiang)
 - 15 x 16 (untuk = 5 tiang)
 - 15 x 16 (untuk = 9 tiang)

Untuk tiang dengan n = 2

a. *Pile cap*

$$\begin{aligned} \text{Luas tiap pias} &= \left(\frac{(\quad) (\quad)}{h} \right) \\ &= \frac{(0,045 \times 0,09)}{(18 \times 9)} \\ &= 2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Modulus of subgrade reaction (Joint spring)

$$\begin{aligned} \text{Joint Spring} &= \left(\frac{\quad \times \quad}{\quad} \right) \times D \\ &= 65620 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \times \quad \times 0,5 \\ &= 0,6994 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. *Tiang*

$$\begin{aligned} \text{Luas tiap pias} &= \left(\frac{(\quad) (\quad)}{h} \right) \\ &= \frac{(\quad \times 0,015 \times 0,15)}{(16 \times 15)} \\ &= 2,926 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Modulus of subgrade reaction (Joint spring)

$$\begin{aligned} \text{Joint Spring} &= \left(\frac{h \quad \times \quad}{\quad} \right) \times D \\ &= 65620 \cdot 2,926 \cdot 10^{-5} \times \quad \times 0,5 \\ &= 0,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. *Ujung tiang*

$$\begin{aligned} \text{Luas tiap pias} &= \left(\frac{(\quad) (\quad)}{h} \right) \\ &= \frac{(\quad \times 0,015^2)}{8} \\ &= 2,153 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Modulus of subgrade reaction (Joint spring)

$$\begin{aligned}
 \text{Joint Spring} &= (\quad \quad \quad x \longrightarrow) x D \\
 &= 65620 \quad 2,153.10 \quad x \text{ — } x 0,5 \\
 &= 0,353 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

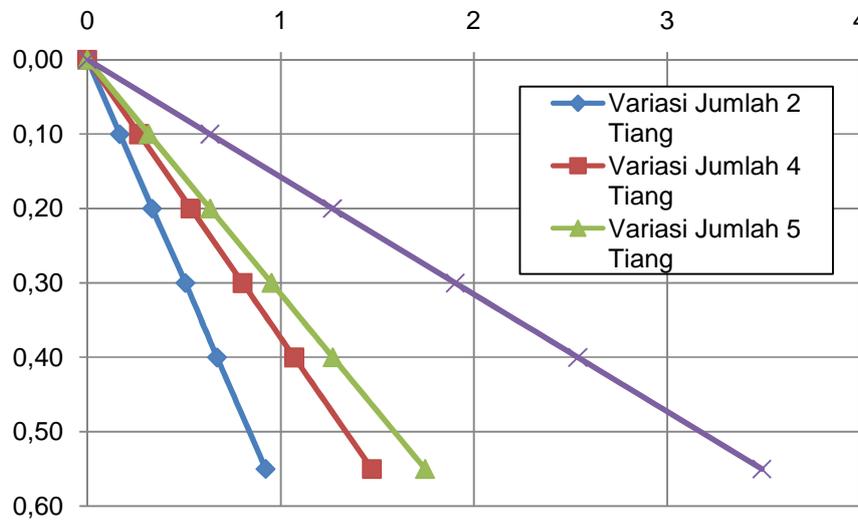
4.4.2. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pancang Kelompok dengan SAP 2000 v.11

Tahap 3.3.5. menjelaskan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk menganalisis kapasitas dukung model pondasi tiang kelompok dengan menggunakan variasi jumlah tiang. Penggunaan metode elemen hingga dengan menggunakan SAP 2000 v.11 dalam analisis kapasitas dukung pondasi tiang terbilang baru, sehingga pendekatan dan asumsi yang digunakan harus relevan dan mendekati keadaan (model) aslinya. Diperlukan ketelitian dalam pemasukan (*input*) dan pendefinisian pemodelan sehingga hasil yang dikeluarkan dari analisis SAP 2000 v.11 ini akurat dan sesuai dengan harapan.

Tabel dibawah merupakan tabel hubungan antara *displacement* dengan kapasitas dukung ultimit menggunakan metode SAP 2000 v.11.

Tabel 4.9. Hubungan *displacement* dengan kapasitas dukung tiang dengan metode SAP 2000 v.11.

<i>Displacement</i> (mm)	Kapasitas dukung			
	2 tiang	4 tiang	5 tiang	9 tiang
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,10	0,1678	0,2677	0,3179	0,6345
0,20	0,3356	0,5353	0,6358	1,2690
0,30	0,5077	0,8029	0,9535	1,9035
0,40	0,6710	1,0706	1,2705	2,5380
0,55	0,9229	1,4722	1,7483	3,4897



Gambar 4.4. Hubungan gaya (*force*) dan perpindahan (*displacement*) dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara *force* dengan nilai penurunan / displacement yang terjadi. Kapasitas dukung ultimate model pondasi tiang kelompok dengan jumlah tiang 2 lebih kecil bila dibandingkan dengan model pondasi tiang kelompok dengan jumlah tiang 4. Hal ini mungkin disebabkan karena pengaruh banyak tiang per *cap* dari model pondasi tersebut yang mempengaruhi besarnya tahanan ujung dan selimut.

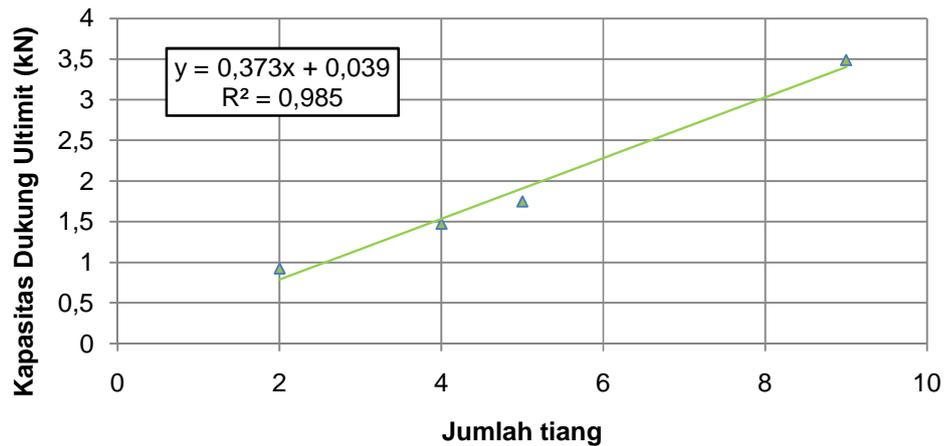
Hasil dari analisis metode elemen hingga untuk kapasitas dukung pondasi tiang kelompok variasi jumlah tiang dengan menggunakan SAP 2000 v.11 selengkapnya tersaji dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.10. Rekapitulasi kapasitas ultimate model pondasi tiang kelompok diameter 1.5 cm hasil analisis SAP 2000 v.11

No	Jumlah Tiang per Cap	Panjang (cm)	Diameter Tiang (cm)	Kapasitas Ulitimate (kN)
1	2	15	1,5	0,9229
2	4	15	1,5	1,4722
3	5	15	1,5	1,7483

4	9	15	1,5	3,4897
---	---	----	-----	--------

Hasil pada **Tabel 4.10** apabila diplotkan dalam sebuah grafik maka akan membentuk garis linear dengan persamaan $y = 0,373x + 0,039$. Berikut ini adalah gambar grafik persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11.



Gambar 4.5. Persamaan linear untuk kapasitas dukung tiang kelompok dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11

4.5. Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang Pancang Kelompok

Tabel 4.11. Perbandingan nilai kapasitas dukung ultimit model pondasi tiang pancang pipa baja dari berbagai metode

Jumlah Tiang per Cap	Rasio L/D	Efisiensi (conversi – labarre)	Kapasitas Dukung		
			Metode Pengujian Pemodelan	Metode Analisis Meyerhof	Metode SAP 2000 v.11
		(%)	(kN)	(kN)	(kN)
VJ2	100	89,7625	0,7318	0,8374	0,9229
VJ4	100	79,5250	1,3172	1,4837	1,4722

VJ5	100	76,1125	1,6099	1,7751	1,7483
VJ9	100	72,7000	3,6588	3,0519	3,4897

Keterangan:

VJ2 : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 2

VJ4 : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 4

VJ5 : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 5

VJ9 : Tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 9

Tabel 4.12. Persamaan hasil akhir

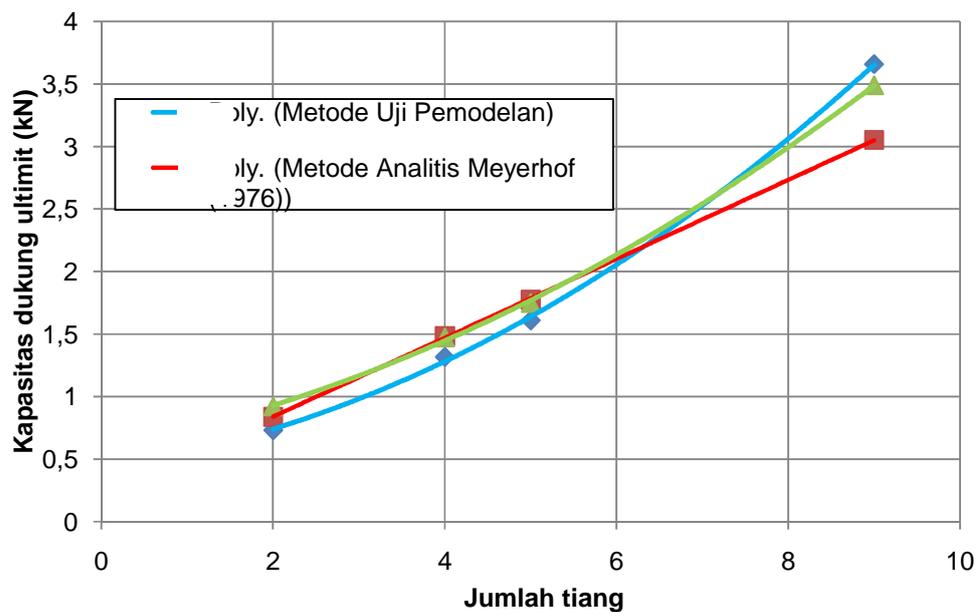
Metode	Persamaan Linier
pengujian pemodelan	$y = 0,427x - 0,309$
analitis Meyerhof (1976)	$y = 0,315x + 0,207$
SAP 2000 v.11	$y = 0,373x + 0,039$

Tabel 4.11 memperlihatkan bahwa daya dukung pondasi tiang kelompok dari ketiga metode menghasilkan angka yang mempunyai kecenderungan yang sama. Sebagai contoh untuk analisis kapasitas dukung model pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi jumlah tiang 4 (VJ4), dari hasil pengujian pemodelan (load test) didapatkan hasil bahwa nilai kapasitas dukung ultimit sebesar 1,3172 kN, sedangkan dengan metode analitis dengan menggunakan rumus Meyerhof (1976) didapatkan nilai kapasitas dukung sebesar 1,4837 kN, dari analisis menggunakan metode elemen hingga (SAP2000) dihasilkan nilai kapasitas dukung dari model pondasi tiang sebesar 1,4722 kN.

Hasil yang cukup berbeda muncul pada kapasitas dukung pondasi tiang pancang kelompok dengan jumlah tiang 9 (VJ9), terlihat bahwa dari hasil analisis pengujian pemodelan dihasilkan nilai kapasitas dukung ultimate sebesar 3,6588 kN, sedangkan dari hasil analisis metode analitis nilai kapasitas dukungnya sebesar 3,0519 kN, sedangkan hasil analisis dengan menggunakan metode SAP 2000 v.11 nilainya sebesar 3,4897 kN.

Perbedaan kapasitas dukung tersebut dimungkinkan terjadi karena dalam pengujian pemodelan yang dilakukan banyak terdapat variabel berpengaruh, seperti kurang terpantaunya kadar air dari sampel tanah dan sulitnya mencapai kepadatan yang ideal. Hal lain yang

kemungkinan menyebabkan terjadinya perbedaan hasil ketiga metode tersebut yaitu idealisasi yang dilakukan dalam analisis dengan metode elemen hingga dengan menggunakan SAP 2000 v.11 menyederhanakan tanah sebagai massa kontinum dan memukul rata efek makroskopisnya, sehingga hasil keluaran dari metode tersebut dapat saja berbeda apabila dibandingkan dengan metode yang lain.



Gambar 4.6. Perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang kelompok variasi jumlah tiang

Hasil Metode Uji Pemodelan pada **Gambar 4.6** menunjukkan grafik kapasitas dukung yang meningkat. Semakin banyak jumlah tiang per *cap*, maka kapasitas dukung yang di hasilkan semakin besar. sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah tiang berbanding lurus dengan kapasitas dukung kelompok yang dihasilkan. Hasil metode uji pemodelan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu bahan yang digunakan untuk pembuatan pondasi, jumlah tiang, karakteristik tanah.

Kapasitas dukung Metode Analitis Meyerhof (1976) pada **Gambar 4.6** menunjukkan grafik kapasitas dukung yang meningkat dan cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dari Metode Uji Pemodelan. Akan tetapi peningkatan kapasitas dukung yang terjadi pada Metode ini memiliki sedikit perbedaan pada nilai kapasitas dukung yang dihasilkan. Pada VJ9 (Variasi

Jumlah tiang 9) memiliki kapasitas dukung sebesar 3,6588 kN untuk metode uji pemodelan, sedangkan pada Metode Analitis Meyerhof memiliki kapasitas dukung sebesar 3,0519. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kapasitas dukung yang dihasilkan oleh VJ9 menggunakan metode Uji Pemodelan lebih besar dibandingkan VJ9 menggunakan Metode Analitis Meyerhof (1976). Selisih dari kedua metode tersebut yaitu 0,6069 kN.

Metode SAP 2000 v.11 pada **Gambar 4.6** menunjukkan grafik kapasitas dukung yang cenderung berada di tengah antara hasil Metode Uji Pemodelan dan Metode Analitis Meyerhof (1976). Pada VJ2 terdapat perbedaan dengan grafik yang lain yaitu besarnya kapasitas dukung yang dihasilkan metode SAP 2000 v.11 memiliki nilai yang paling besar diantara kapasitas dukung dengan menggunakan metode lain.

Hasil Selisih ketiga metode tersebut disajikan dalam bentuk prosentase seperti pada **Tabel 4.13**, **Tabel 4.14**, dan **Tabel 4.15**.

Tabel 4.13. Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan metode uji pemodelan

Jenis Tiang Pancang	Kapasitas Dukung			Ratio	
	Metode Uji Pemodelan	Metode Analitis Meyerhof (1976)	Metode SAP 2000 v. 11	Metode Analitis dengan Uji Pemodelan	Metode SAP 2000 v.11 dengan Uji Pemodelan
-	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)
VJ2	0,7318	0,8374	0,9229	14,4302	26,1137
VJ4	1,3172	1,4837	1,4722	12,6404	11,7674
VJ5	1,6099	1,7751	1,7483	10,2615	8,5968
VJ9	3,6588	3,0519	3,4897	-16,5874	-4,6217

Tabel 4.14. Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan metode analitis Meyerhof (1976)

Jenis Tiang Pancang	Kapasitas Dukung			Ratio	
	Metode Uji Pemodelan	Metode Analitis Meyerhof (1976)	Metode SAP 2000 v.11	Metode Uji Pemodelan dengan Analitis	Metode SAP 2000 v.11 dengan Analitis
-	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)
VJ2	0,7318	0,8374	0,9229	-12,6105	10,2102
VJ4	1,3172	1,4837	1,4722	-11,2219	-0,7751
VJ5	1,6099	1,7751	1,7483	-9,3065	-1,5098
VJ9	3,6588	3,0519	3,4897	19,8860	14,3452

Tabel 4.15. Prosentase selisih kapasitas dukung dengan acuan metode SAP 2000 v.11

Jenis Tiang Pancang	Kapasitas Dukung			Ratio	
	Metode Uji Pemodelan	Metode Analitis Meyerhof (1976)	Metode SAP 2000 v.11	Metode Uji Pemodelan dengan SAP 2000 v.11	Metode Analitis dengan SAP 2000 v.11
-	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)
VJ2	0,7318	0,8374	0,9229	-20,7065	-9,2643
VJ4	1,3172	1,4837	1,4722	-10,5285	0,7811
VJ5	1,6099	1,7751	1,7483	-7,9163	1,5329
VJ9	3,6588	3,0519	3,4897	4,8457	-12,5455

Perbedaan nilai kapasitas dukung pondasi yang diperlihatkan **Gambar 4.6** yaitu signifikan, dan menunjukkan adanya trend keseragaman, dapat dilihat dari **Gambar 4.6**, terlihat bahwa tidak adanya perbedaan yang jauh antara keempat hasil analisis dari tiga metode (metode analisis Meyerhof (1976), metode pengujian pemodelan, dan metode SAP 2000 v.11) yaitu memiliki selisih 0,0115-0,6069 kN. Jika dalam bentuk prosentase, maka selisih dari ketiga metode tersebut yaitu berkisar 1,1946-26,1137%. Secara keseluruhan dari ketiga metode yang dipakai baik itu dengan pengujian pemodelan (*loading test*), analisis dengan metode analisis (rumus kapasitas dukung Meyerhof (1976)) ataupun dengan metode elemen hingga kesemuanya memiliki dasar masing-masing yang saling mendukung satu sama lain.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Variasi jumlah tiang pada model pondasi tersebut berpengaruh sangat besar, hal ini terlihat dari hasil pengujian pemodelan yang menunjukkan bahwa kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 9 tiang memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 2 tiang. Hal ini dapat terlihat dari hasil pengujian yang menunjukkan bahwa kapasitas dukung tiang kelompok dengan jumlah 9 tiang apabila dibandingkan dengan tiang kelompok dengan jumlah 2 tiang sebesar 3,6588 kN berbanding 0,7318 kN.
2. Metode Uji pemodelan memiliki persamaan linear $y = 0,427x - 0,309$ dengan $x \geq 1$ yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya kapasitas ultimit tiang pancang kelompok variasi jumlah tiang dengan diameter tiang 1,5 cm, panjang 15 cm dan jarak antar tiang 4,5 cm dimana y (kN) adalah kapasitas ultimit dan x adalah jumlah tiang.
3. Metode Analitis Meyerhof (1976) memiliki persamaan linear $y = 0,315x + 0,207$ yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya kapasitas ultimit tiang pancang kelompok variasi jumlah tiang dimana y (kN) adalah kapasitas ultimit dan x adalah jumlah tiang.
4. Metode SAP 2000 v.11 memiliki persamaan linear $y = 0,373x + 0,039$ yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya kapasitas ultimit tiang pancang kelompok variasi jumlah tiang dimana y (kN) adalah kapasitas ultimit dan x adalah jumlah tiang.
5. Kapasitas dukung metode uji pemodelan, apabila dibandingkan dengan metode analitis dan metode elemen hingga (SAP 2000 v.11) menunjukkan kecenderungan yang positif, keluaran yang dihasilkan dari ketiga metode ini menunjukkan pola yang seragam, walaupun demikian terdapat selisih nilai kapasitas dukung yang signifikan. Hal ini

dimungkinkan karena perbedaan kepadatan, kurang optimalnya kontrol kadar air media tanah, dan kurang meratanya permukaan media tanah.

6. Perbedaan kepadatan tanah pada titik-titik tertentu pada persinggungan antara tanah dan pipa menyebabkan nilai kapasitas dukung ultimit tidak teratur pada tiap-tiap titik.
7. Tanah merupakan material non-homogen yang menyebabkan hubungan beban dan *displacement* sangat kompleks. Analisis dengan metode elemen hingga (SAP 2000 v.11) menyederhanakan media tanah dengan idealisasi tanah sebagai massa yang kontinum dan memukul rata efek makroskopisnya, sehingga hasil keluaran dari metode tersebut dapat saja berbeda apabila dibandingkan dengan hasil analisis dengan metode konvensional (pemodelan) dan metode analitis. Hal ini terlihat dari perbandingan nilai kapasitas dukung tiang kelompok untuk beberapa variasi berikut:
 - a) Kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 2 tiang dari hasil pengujian pemodelan, hasil metode analitis Meyerhof (1976) serta metode SAP 2000 v.11 nilainya berturut-turut sebagai berikut 0,7318; 0,8374; 0,9229 kN.
 - b) Kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 4 tiang hasilnya berturut-turut sebagai berikut 1,3172; 1,4837; 1,4722 kN.
 - c) Kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 5 tiang hasilnya berturut-turut sebagai berikut 1,6099; 1,7751; 1,7483 kN.
 - d) Kapasitas dukung tiang kelompok dengan variasi jumlah 9 tiang hasilnya berturut-turut sebagai berikut 3,6588; 3,0519; 3,4897 kN.

5.2. Saran

Penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih ditemukan beberapa kekurangan yang perlu disempurnakan lagi dan beberapa temuan yang masih perlu ditindaklanjuti. Untuk itu dikemukakan saran-saran untuk penelitian-penelitian lain dikemudian hari:

1. Variasi jumlah tiang model pondasi tiang pancang hendaknya dapat diperbanyak, dengan maksud supaya keluaran (*output*) yang dihasilkan dapat lebih kompleks sehingga perilaku pondasi tiang pancang pada tanah pasir berlempung dapat diketahui secara akurat.

2. Untuk menjaga supaya sampel tanah pasir berlempung tetap pada kondisi yang semula perlu dilakukan perlakuan-perlakuan khusus, dan dilakukan pengecekan parameter sehingga sampel tanah tetap terjaga konstan.
3. Pengembangan penelitian dengan mengubah jenis media tanah juga sangat dianjurkan agar dapat mengetahui perubahan daya dukung yang dialami oleh tiang pancang jika media tanah diganti.
4. Perlu pengembangan terhadap analisis metode elemen hingga yang telah dilakukan, seperti pemodelan yang lebih mendetail terhadap model pondasi tiang yang telah dilakukan, sehingga didapatkan hasil yang lebih mendekati hasil uji pemodelan ataupun hasil metode analitis.
5. Menambahkan variasi panjang tiang agar dapat diketahui perubahan daya dukung yang dialami oleh tiang pancang, serta dapat mengetahui rasio L/D.
6. Ketelitian dalam pemodelan harus diperhatikan, terutama dalam mendefinisikan *modulus of subgrade reaction*. Perlu dilakukan pengujian *plate loading test* di beberapa kedalaman yang berbeda dengan harapan, didapatkan nilai k_v representatif yang dapat mewakili keadaan sampel tanah sehingga hasil yang diperoleh juga lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1992, *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02*.
- Asa'd, S., 2007, *Materi Rekayasa Pondasi*, Surakarta.
- Azzaqy, A.U., 2009, *Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Pipa Baja Ujung Terbuka dengan Pondasi Tiang Pancang Pipa Baja Ujung Tertutup pada Tanah Lunak*, Tugas Akhir S-1 Jurusan Teknik Sipil, FT, UNS, Surakarta.
- Bowles, J. E., 1986, *Analisa dan Desain Pondasi*, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E., 1991, *Analisa dan Disain Pondasi, Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Gibson, J.E., 1980, *Thin Shells, Computing and Theory*, Pergamon Press, UK.
- Hardiyatmo, H.C., 2001, *Teknik Fondasi, Jilid 2*, Yogyakarta: Beta Offset.
- Iskandar, R., 2002. Beberapa Kendala Aplikasi Teori Perhitungan Daya Dukung Aksial Pondasi Dalam Medan: Jurusan Teknik Sipil USU.
- Nawangalam, P., 2008, *Pemodelan Elemen Hingga Sistem Cakar Ayam dengan Analisis Tanah Dasar Non-Linier*, Tesis S-2 Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Poulos, H.G. dan Davis, E.H., (1980), *Pile Foundation Analysis and Design*, John Willey, New York, United States of America
- Romadhoni, J., 2008, *Perilaku Perkerasan Sistem Cakar Ayam dengan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir S-1 Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT, UGM, Yogyakarta.
- Sardjono, HS, 1988, *Fondasi Tiang Pancang*, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- Setiawan, B., 2003, *Tinjauan Kapasitas Dukung Tiang dan Pola Alur Keruntuhan Model Tiang Tunggal pada Media Pasir*, Tesis S-2 Program Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, FT, UGM, Yogyakarta.
- Subekti, H.G., 2009, *Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Pipa Baja Ujung Terbuka pada Tanah Lunak (Uji Model laboratorium)*, Tugas Akhir S-1 Jurusan Teknik Sipil, FT, UNS, Surakarta.
- Suryolelono, B. K., 1994, *Teknik Fondasi Bagian II*, Nafiri, Yogyakarta.