

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH JARAK TIANG TERHADAP KAPASITAS  
DUKUNG PONDASI *BORED PILE* DENGAN METODE  
*REESE & O'NEIL, BROM, POULUS & DAVIS* DAN  
ELEMEN HINGGA**

(Studi kasus ; proyek pembangunan swiss-bell hotel solo)

**(*THE EFFECT OF PILE DISTANCE TO BEARING  
CAPACITY OF BORED PILE USING REESE & O'NEIL,  
BROM, POULUS & DAVIS AND FINITE ELEMENT  
METHOD*)**

(Case Study ; Swiss-bell Hotel Solo Project)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk memenuhi  
Persyaratan memperoleh derajat sarjana Teknik Sipil



**NIKMATUL FUADIZ ZIKRI  
14511263**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2019**

**PENGARUH JARAK TIANG TERHADAP  
KAPASITAS DUKUNG PONDASI *BORED PILE*  
DENGAN METODE *REESE & O'NEIL, BROM,  
POULUS & DAVIS* DAN ELEMEN HINGGA  
(Studi kasus ; proyek pembangunan swiss-bell hotel solo)  
*(THE EFFECT OF PILE DISTANCE TO BEARING  
CAPACITY OF BORED PILE USING REESE & O'NEIL,  
BROM, POULUS & DAVIS AND FINITE ELEMENT  
METHOD)***

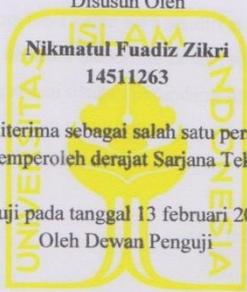
(Case Study ; Swiss-bell Hotel Solo Project)

Disusun Oleh

**Nikmatul Fuadiz Zikri  
14511263**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 13 februari 2019  
Oleh Dewan Penguji



Pembimbing I

Haniyadva Kusuma Artati, S.T., M.T  
NIK : 045110407

Penguji 1

Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng  
NIK : 135111101

Penguji 2

Akhmad Marzuko. Ir., M.T  
NIK : 885110107

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

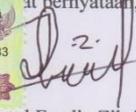
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.  
NIK : 885110101



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 20 februari 2019

at pernyataan,  
  
-2-



Nikmatul Fuadiz Zikri  
(14511263)

**BISMILLAHIRAHMANIRRAHIM**

**THIS RESEARCH PAPER IS**

**DEDICATED TO MY**

**PARENTS**

## KATA PENGANTAR

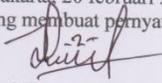
Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah diselesaikannya Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Dukung Pondasi Bore Pile dengan Metode Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis dan Elemen Hingga*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu (sarjana) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, tetapi berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan itu, diucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak,S.T.,M.Eng selaku dosen penguji 1.
3. Bapak Akhmad Marzuko,Ir.,M.T selaku dosen penguji 2.
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. P.T Sarana Bangun Perkasa yang telah memberikan data-data gedung Swiss-Bell Hotel Solo.
6. Bapak dan ibu penulis serta teman-teman dan berbagai pihak yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Akhirnya Tugas Akhir ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 20 februari 2019  
Yang membuat pernyataan,

  
Nikmatul Fuadiz Zikri  
(14511263)

## DAFTAR ISI

Halaman judul	
Halaman pengesahan	
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Daya Dukung dan Penurunan Pada Pondasi <i>Bore Pile</i>	5
2.2 Analisis Pondasi dan Elemen Hingga	5
2.3 Keaslian Penelitian	6
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Tanah	9
3.1.1 Modulus Elastisitas tanah	11
3.1.2 <i>Poisson Ratio</i>	12
3.2 Pondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> )	12

3.2.1 Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> )	14
3.3 Kapasitas Daya Dukung Menurut <i>Reese &amp; O'neil</i> (1989)	15
3.3.1 Tahanan Ujung Ultimit	16
3.3.2 Tahanan Gesek Ultimit	17
3.3.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor	18
3.3.4 Efisiensi Kelompok Tiang Bor	19
3.4 Kapasitas Daya Dukung Menurut <i>Broom</i> (1965)	20
3.4.1 Tahanan Ujung Ultimit	21
3.4.2 Tahanan Gesek Ultimit	22
3.5 Kapasitas Daya Dukung Menurut <i>Poulos &amp; Davis</i> (1998)	23
3.5.1 Tahanan Ujung Ultimit	23
3.5.2 Tahanan Gesek Ultimit	25
3.6 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang	26
3.6.1 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Keruntuhan Tunggal	26
3.6.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Keruntuhan Blok	26
3.7 Faktor Aman	29
3.8 Analisis Pembebanan dengan Menggunakan <i>Software</i> ETABS	30
3.9 PLAXIS 2D	30
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>35</b>
4.1 Metode Penelitian	35
4.2 Studi Pustaka	35
4.3 Pengumpulan Data	35
4.4 Tahapan Penelitian	36
3.5 Bagan Alir Penelitian	36
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>39</b>
5.1 Data Proyek	39
5.2 Data Karakteristik Tanah	39
5.3 Analisis Data	44
5.3.1 Analisis pembebanan	44

5.3.2 Analisis Data dengan Metode <i>Reese &amp; O'neil</i>	47
5.3.3 Analisis Data dengan Metode <i>Broom</i>	60
5.3.4 Analisis Data dengan Metode <i>Poulos &amp; Davis</i>	73
5.3.5 Analisis Data dengan menggunakan PLAXIS 2D V8.6	85
5.4 Pembahasan	99
5.4.1 Pengaruh variasi jarak (s) terhadap daya dukung kelompok tiang pondasi	99
5.4.2 Perbandingan hasil antara analisis metode <i>Reese &amp; O'neil</i> , <i>Broom, Poulos &amp; Davis dan PLAXIS 2D V8.6</i>	101
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	105
6.1 Kesimpulan	105
6.2 Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	7
Tabel 3.1	Berat Jenis Tanah	10
Tabe 3.2	Derajat Kejenuhan dan Kondisi Tanah	11
Tabel 3.3	Nilai Perkiraan modulus elastisitas tanah	12
Tabel 3.4	Hubungan jenis tanah dan <i>poisson ratio</i>	12
Tabel 3.5	Nilai-nilai $K/K_0$ untuk Tiang Bor (kulhawy,1991)	18
Tabel 3.6	Nilai-nilai $\delta/\phi$ untuk Tiang Bor (kulhawy,1991)	18
Tabel 3.7	Nilai $k_d$ untuk Tiang Pada Tanah Granuler (broom,1965)	23
Tabel 3.8	Sudut Gesek Antara Dinding Tiang Pada Tanah Granuler	23
Tabel 3.9	Faktor Aman Yang Disarankan (Reese & O'neill,1989)	30
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Tanah Dilaboratorium titik BH 1	40
Tabel 5.2	Korelasi Berat tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) Untuk Tanah non Kohesif	41
Tabel 5.3	Data parameter Tanah Tiap-tiap Lapisan	44
Tabel.5.4	Data Struktur Proyek Swiss-Hotel Solo	44
Tabel 5.5	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tekanan <i>Overburden</i>	50
Tabel 5.6	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung kelompok Tiang Bor Berdasarkan Keruntuhan Tunggal	54
Tabel 5.7	Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor	57
Tabel 5.8	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok	59
Tabel 5.9	Data Parameter tanah Perhitungan kapasitas Dukung Kelompok Taing Metode Broom	61
Tabel 5.10	Perhitungan $K_d \text{ tg } \delta$	63
Tabel 5.11	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Tunggal	66
Tabel 5.12	Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor	70
Tabel 5.13	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok	72

Tabel 5.14	Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Ultimit	77
Tabel 5.15	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Tunggal	79
Tabel 5.16	Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor	82
Tabel 5.17	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor	84
Tabel 5.18	Parameter Tanah	85
Tabel 5.19	Rekapitulasi hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Dengan <i>Software</i> PLAXIS 2D V8.6	95
Tabel 5.20	Rekapitulasi Besarnya Penurunan Hasil Kalkulasi <i>Software</i> PLAXIS 2D V8.6	98
Tabel 5.21	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor Dengan Metode Manual dan PLAXIS	101
Tabel 5.22	Rekapitulasi Perbandingan Hasil Perhitungan PLAXIS 2D dengan Metode <i>Reese &amp; O'neil, Broom, dan Poulos &amp; Davis</i>	102
Tabel 5.23	Rekapitulasi perbandingan Hasil Analisis menggunakan Metode <i>Reese &amp; O'neil, Broom, dan Poulos &amp; Davis</i>	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Tiga fase elemen tanah	8
Gambar 3.2	Skematik Mobilisasi Tekanan Yang Digambarkan dalam Bentuk Diagram keruntuhan Berupa Gelembung (buld)	20
Gambar 3.3	Hubungan $\phi$ dengan N-SPT	21
Gambar 3.4	Hubungan $N_q$ dan $\phi$	22
Gambar 3.5	Distribusi Vertikal disekitar Tiang Pada Tanah Pasir	24
Gambar 3.6	Hubungan $z_c/d$ dan $k_d \text{ tg } \delta$ untuk Tanah Pasir	25
Gambar 3.7	Tiper Keruntuhan Dalam Kelompok Tiang	28
Gambar 3.8	Kelompok Tiang Yang Bekerja Sebagai Blok	28
Gambar 3.9	Kekuatan Geser Tanah Menurut Mohr-Coulumb	32
Gambar 4.1	Lokasi Proyek Swiss-Bell Hotel Solo	35
Gambar 4.2	Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir	37
Gambar 5.1	Geometri Struktur dan Lapisan Tanah	40
Gambar 5.2	Permodelan Struktur pada <i>Software</i> ETABS	45
Gambar 5.3	Tampak Atas Basemant 1 pada <i>Software</i> ETABS	46
Gambar 5.4	Tampak Atas geometri pondasi type PC 4a	47
Gambar 5.5	Potongan Melintang Pondasi Tipe 4a	47
Gambar 5.6	Rekapitulasi kapasitas Dukung Keruntuhan tunggal dan Kapasitas Dukung Keruntuhan Blok	60
Gambar 5.7	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung tiang Bor dengan Metode <i>Reese &amp; O'neil</i>	60
Gambar 5.8	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung ijin kelompok tiang bor dengan Metode <i>Broom</i>	72
Gambar 5.9	Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Tungga ( $Q_g$ ) Dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Blok ( $Q_{ug}$ )	84
Gambar 5.10	Kapasitas Dukung kelompok Tiang Bor dengan Metode <i>Poulos &amp; Davis</i>	85
Gambar 5.11	Geometri Struktur dan Lapisan Tanah Pada Titik BH 1	87

Gambar 5.12	Geometri Struktur pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D	88
Gambar 5.13	Hasil Penyusunan Jaringan Elemen pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D	89
Gambar 5.14	Kondisi Awal dan Letak Muka Air Tanah kedalaman 0,2 m pada Variasi jarak 2,5D	90
Gambar 5.15	Tekanan Air Pori kedalaman 0,2 m Pada variasi Jarak Tiang (s) 2,5D	91
Gambar 5.16	Tegangan Awal Pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D	92
Gambar 5.17	Titik Kurva	93
Gambar 5.18	Nilai $\Sigma$ -Msf yang diperoleh dari PLAXIS 2D	94
Gambar 5.19	Rekapitulasi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang dengan <i>Software</i> PLAXIS 2D V8.6	96
Gambar 5.20	Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi	96
Gambar 5.21	Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan <i>Pilecap</i>	97
Gambar 5.22	Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan	97
Gambar 5.23	Kurva Displacement vs Loading PLAXIS 2D pada Variasi Jarak tiang (s) 2,5D	98
Gambar 5.24	Faktor Efisiensi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang	99
Gambar 5.25	Peningkatan Nilai $\Sigma$ -Msf Terhadap Variasi Jarak Tiang	100
Gambar 5.26	Kapasitas Dukung Tiang Bor dengan Beberapa Metode	101

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Lokasi Proyek Swiss-Bell Hotel

Lampiran 2 Data Tanah

Lampiran 3 Gambar Struktur dan Perencanaan

Lampiran 4 Hasil Kalkulasi Menggunakan Software PLAXIS 2D V8.6

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AP	= luas penampang tiang
Q <sub>ull</sub>	= Kapasitas daya dukung tiang maksimum
Q <sub>b</sub>	= Kapasitas daya dukung ujung yang didapat dari tanah dibawah ujung fondasi
Q <sub>c</sub>	= Kapasitas daya dukung yang didapat dari gaya gesekan atau gaya adhesi antara tiang pancang dan tanahnya
Q <sub>all</sub>	= Kapasitas daya dukung tiang ijin
$\sigma_r$	= Tegangan referensi
d	= Diameter tiang
H <sub>w</sub>	= Tinggi muka air
L	= Panjang
$\gamma_w$	= Berat volume air
n	= Jumlah tiang
s	= Jarak antar tiang
m	= Jumlah tiang dalam 1 kolom
n	= Jumlah tiang dalam 1 baris
$z_c$	= Kedalaman Kritis
$\Sigma$ -M <sub>sf</sub>	= Hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi
SF	= Faktor keamanan ( <i>safety factor</i> )
N <sub>q</sub>	= Faktor daya dukung untuk tanah di bawah ujung tiang (untuk gesek $\emptyset$ = 0 didapat N <sub>q</sub> = 1)
P <sup>o'</sup>	= <i>overburden pressures</i>
$\phi$	= sudut gesek dalam
$\delta$	= $\angle$ geser efektif antara tanah dan material tiang
q <sub>b</sub>	= tahanan ujung
f <sub>s</sub>	= tahanan gesekan persatuan luas

- $f_b$  = tahanan ujung persatuan luas
- $N_{60}$  = nilai rata-rata SPT pada ujung bawah tiang bor sampai 2d di bawahnya
- $E_g$  = Efisiensi kelompok tiang
- $W_p$  = berat tiang

## ABSTRAK

Pembangunan Gedung Swiss-Bell Hotel Solo direncanakan menggunakan pondasi *bored pile* ukuran diameter 1 m dengan jarak antar tiang 2,5D. Pondasi *bored pile* merupakan jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk mendukung beban di atasnya dan menyalurkan ke tanah sesuai dengan kriteria aman dan ekonomis. Analisis kapasitas dukung pondasi dilakukan dengan memperhatikan data penyelidikan tanah, beban yang dipikul pondasi, dimensi tiang, jarak antar tiang, mutu beton dan kedalaman pondasi. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi besarnya kapasitas dukung kelompok tiang *bored pile* adalah jarak antar tiang.

Pada penelitian ini, kapasitas dukung kelompok tiang akan diperhitungkan berdasarkan jarak antar tiang (s) dengan menggunakan variasi jarak tiang (s) 2,5D, 4D, dan 5D. Analisis dilakukan dengan menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu metode analisis numerik dan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisis metode numerik yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Reese & O'neil*, *Brom* dan *Poulos & Davis*. Sedangkan analisis metode elemen hingga dilakukan dengan menggunakan *software* PLAXIS 2D V8.6 untuk mengetahui besarnya kapasitas dukung pondasi tiang bor serta membandingkan dengan hasil analisis dengan metode numerik sesuai dengan rumusan masalah Penelitian ini.

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, menunjukkan jika jarak antar tiang (s) semakin besar maka semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang bor. Besarnya kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode *Reese & O'neil* pada variasi jarak tiang (s) berturut-turut sebesar 7888,922 kN, 8787,164 kN, dan 9102,53 kN. Dari hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode *Brom* pada variasi jarak tiang (s) berturut-turut sebesar 13930,197 kN, 15516,30 kN, dan 16073,375 kN. Dari hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode *Poulos & Davis* pada variasi jarak tiang (s) berturut-turut sebesar 11384,94 kN, 12681,250 kN, dan 13136,37 kN. Kemudian berdasarkan hasil analisis metode elemen hingga dengan menggunakan *software* PLAXIS 2D V8.6 didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang bor pada variasi jarak tiang (s) berturut-turut sebesar 10916,49 kN, 13085,184 kN, dan 14399,54 kN.

**Kata kunci :** *Reese & O'neil*, *brom*, *Poulos & Davis*, PLAXIS, jarak antar tiang

## **ABSTRACT**

*The construction of the Swiss-Bell Hotel Solo Building is planned to use a bored pile foundation measuring 1 m in diameter with a 2.5D distance between pile. Bored pile foundation is a type of deep foundation which functions to support the load on it and deliver it to the soil in accordance with the criteria of safe and economical. Base bearing capacity analysis is carried out by observing soil investigation data, load borne by foundation, pile dimensions, distance between pile, concrete quality and foundation depth. One important factor that influences the carrying capacity of bored pile pole groups is the distance between piles.*

*In this study, the bearing capacity of the pile group will be calculated based on the distance between the piles (s) using variations in the distance of the pile (s) 2.5D, 4D, and 5D. The analysis was carried out using two different methods, namely numerical analysis and analysis methods using the finite element method. The numerical method analysis used in this study is the method of Reese & O'neil, Brom and Poulos & Davis. While the finite element method analysis was carried out using PLAXIS 2D V8.6 software to find out the amount of bearing capacity of the bearing capacity of group bore pile and compare the results of analysis with numerical methods in accordance with the formulation of the problem of this research.*

*Based on the results of the analysis has done, it shows that if greater of distance between piles(s) the greater the bearing capacity of group pile. The amount of bearing capacity of group bore pile with the Reese & O'neil method in the variation of distance between piles (s) respectively were 7888.922 kN, 8787.164 kN, and 9102.53 kN. From the results of the analysis of the bearing capacity of group bore pile with the Brom method on variations of distance between piles (s) respectively 13930,197 kN, 15516.30 kN, and 16073,375 kN. From the results of the analysis of the bearing capacity of group bore pile with the Poulos & Davis method on variations of distance between piles (s) respectively 11384,94 kN, 12681,250 kN, and 13136,37 kN. Then based on the results of finite element analysis using PLAXIS 2D V8.6 software, the bearing capacity of the group bore pile on the variation of distance between piles (s) respectively were 10916.49 kN, 13085,184 kN and 14399.54 kN.*

**Key Words:** *Reese & O'neil, brom, Poulos & Davis, PLAXIS, distance between piles*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada umumnya suatu struktur bangunan dibedakan menjadi dua bagian yaitu struktur bagian atas (*up structure*) dan struktur bagian bawah (*sub structure*). Struktur bawah berupa pondasi yang menyalurkan beban yang diterima dari bangunan ke tanah keras. Pondasi sangat menentukan stabil tidaknya struktur bangunan yang berdiri di atasnya, bangunan akan stabil apabila tanah mampu mendukung beban dari pondasi tersebut.

Pondasi sebagai suatu struktur bawah secara umum dibagi menjadi 2 macam yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung beban secara langsung, seperti : pondasi telapak (*footplate*), pondasi rakit, dan pondasi memanjang. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu besar yang berada relatif jauh dibawah permukaan tanah , seperti : pondasi sumuran, pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor (*bored pile*). Setiap pondasi dituntut untuk mampu mendukung beban sampai batas keamanan tertentu, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak dibawah kedalaman 10 meter dari permukaan tanah adalah fondasi tiang (Sosrodarsono dan Kazuto,1994).

Pada pembangunan proyek Swiss-Bell Hotel Solo memiliki 20 lantai dan 3 lantai *basement* dengan jenis tanah Pasir campuran dan pasir kasar. Elevasi dasar *basement* berada pada kedalaman 12 meter dari permukaan tanah asli. Untuk mendukung beban aksial yang terjadi dari bangunan diperlukan pondasi dalam agar bangunan dapat berdiri stabil. Dalam pemilihan jenis pondasi dalam tergantung dari kondisi lapangan dan kemudahan dalam pelaksanaan dilapangan.

Pada proyek Swiss-Bell hotel Solo digunakan pondasi tiang bor (*Bored pile*). pemilihan pondasi tiang bor dikarenakan lokasi bangunan yang berdekatan dengan bangunan disekitarnya, karena dikhawatirkan jika digunakan pondasi tiang pancang dapat mempengaruhi kesetabilan bangunan yang berada disekitar proyek akibat getaran saat pemancangan. Pemilihan pondasi tiang bor juga mempunyai daya dukung yang lebih besar , biaya yang relatif kecil dan getaran yang ditimbulkan relatif rendah (Thasnanipan et al,1998). Salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas dukung kelompok tiang bored pile adalah jarak antar tiang.

Jenis tanah tiap lapisan pada proyek Swiss-Bell berupa lapisan berpasir, maka perhitungan kapasitas pondasi juga mengikuti tata cara perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah berpasir (granuler). Pada penelitian ini digunakan metode *Reese and O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* pada tanah pasir. Dalam perhitungan Kapasitas dukung kelompok tiang bor dipengaruhi oleh jarak antar tiang (s), menentukan jarak antar tiang dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti fungsi pile, klasifikasi tanah, dan peraturan-peraturan bangunan berdasarkan daerah masing-masing. Dari tinjauan latar belakang diatas maka penulis mencoba untuk mempelajari, menganalisis tentang '*Pengaruh jarak antar tiang terhadap kapasitas dukung pondasi bored pile dengan metode Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis, dan PLAXIS 2D*'.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Berapa besar kapasitas dukung pondasi kelompok *bored pile* diameter 1 meter dengan variasi jarak tiang (s) 2,5D, 4D dan 5D pada gedung Swiss-Bell hotel Solo dengan metode *Reese and O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* ?.
2. Berapa besar kapasitas dukung pondasi kelompok *bored pile* diameter 1 meter dengan variasi jarak tiang (s) 2,5D, 4D dan 5D pada gedung Swiss-Bell hotel Solo dengan *software* PLAXIS 2D V8.6 ?.

3. Bagaimana pengaruh jarak antar tiang terhadap kapasitas dukung kelompok *bored pile* ?.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi maksud dan tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kapasitas dukung pondasi kelompok *bored pile* diameter 1 meter dengan variasi jarak tiang (s) 2,5D, 4D dan 5D pada gedung Swiss-Bell hotel Solo dengan metode *Reese and O'neil, Brom, dan Poulos & Davis* .
2. Mengetahui kapasitas dukung pondasi kelompok *bored pile* diameter 1 meter dengan variasi jarak tiang (s) 2,5D, 4D dan 5D pada gedung Swiss-Bell hotel solo dengan *software* PLAXIS 2D V8.6 .
3. Mengetahui pengaruh jarak antar tiang terhadap kapasitas dukung kelompok *bored pile* .

#### 1.4.1 Manfaat Penelitian

Dari hasil yang diperoleh, diharapkan dapat memberikan pemahaman khususnya untuk penulis mengenai kapasitas *bored pile* dan pengaruh pemilihan jarak antar tiang (s) terhadap kapasitas *bored pile*. Serta dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dalam analisis pondasi *bored pile* pada umumnya.

### 1.5 Batasan Penelitian

Agar mendapatkan hasil yang optimal dan baik dalam penelitian ini maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. data tanah dan struktural diambil dari pembangunan Swiss-Bell hotel Solo.
2. pondasi yang dianalisis daya dukungnya adalah pondasi kelompok tiang

pc 4a atau kolom C16 dengan jumlah tiang bor 4 buah dan data tanah yang dipakai adalah uji laboratorium pada titik BH 1.

3. data material pondasi dan *pile cap* untuk setiap variasi jarak tiang sama dengan pondasi tipe pc 4a.
4. analisis kapasitas dukung pondasi berdasarkan data uji laboratorium menggunakan metode *Reese and O'neil, Brom, Poulos & Davis* dan PLAXIS 2D.
5. analisis struktur atas mengacu pada “tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726 tahun 2012)”
6. distribusi beban dan gaya pada struktur menggunakan *software* ETABS
7. tiang bor (*bored pile*) yang digunakan adalah diameter 1 m dengan variasi jarak antar tiang (s) yaitu 2,5D, 4D, dan 5D.
8. ketebalan *Pilecap* dianggap sama dengan pc 4a untuk tiap variasi jarak tiang.
9. analisis Penurunan pondasi menggunakan *software* PLAXIS 2D V8.6.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengaruh jarak Tiang Terhadap Daya Dukung dan Penurunan Pada Pondasi *Bored Pile***

Firdaus (2011) dalam penelitiannya yang berjudul Studi Perilaku Tiang Pancang kelompok Menggunakan PLAXIS 2D Pada Tanah Lunak. Pada penelitiannya perbandingan kapasitas dan penurunan digunakan variasi formasi tiang 2, 3, 4, 6, dan 8 tiang, sedangkan untuk jarak tiang (s) digunakan 2D, 3D, dan 4D. dari penelitiannya menyatakan akibat berubahnya jarak antar tiang pancang berupa penambahan kemampuan tiang pancang dalam menahan beban aksial dan lateral. Untuk beban yang sama, dengan penambahan jarak antar tiang dapat mengurangi difleksi dan penurunan tiang pancang.

Yusuf (2006) dalam penelitian yang berjudul program Untuk Perhitungan Daya Pondasi tiang Pancang Kelompok Dengan Memperhitungkan Faktor Efisiensi membandingkan faktor efisiensi (Eg) dengan metode Converse labre dengan Terzaghi Peck. Dari penelitiannya diperoleh perbedaan nilai faktor efisiensi kelompok tiang (Eg) tidak terlalu besar untuk kedua metode tersebut dan mengalami kenaikan seiring bertambahnya jarak tiang.

#### **2.2 Analisis Pondasi dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Haq (2018) dalam penelitiannya Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Dalam penelitiannya bertujuan untuk mendapatkan kapasitas dukung pondasi dari variasi diameter tiang 70 cm, 80 cm, dan 90 cm. Perhitungan membandingkan metode statis dan metode elemen hingga ( PLAXIS 2D V8.5). Dari hasil analisa diperoleh kapasitas dukung pondasi dengan PLAXIS V8.5 diperoleh untuk diameter tiang 70 cm, 80 cm, dan 90 cm berturut-turut adalah 6856,523 kN, 7194,681 kN, dan 7457,132 kN. Dari penelitiannya diperoleh kenaikan kapasitas dukung pondasi seiring bertambah diameter tiang.

Komarudin (2016) dalam penelitiannya yang berjudul Analisa Deformasi Fondasi Tiang Bor Dengan Metode Elemen Hingga Pada Tanah *Stiff Clay*, dimana tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada pondasi bor dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini mempelajari pengaruh tebal rakit dan jarak 2 tiang terhadap deformasi. Berdasarkan hasil analisa , semakin besar jarak tiang maka semakin kecil deformasi yang terjadi, sedangkan jika semakin tebal rakit maka semakin besar deformasi yang terjadi, deformasi yang terjadi pada penelitian tersebut adalah 0,95% hingga 2,31%.

### **2.3 Keaslian Penelitian**

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada penelitian ini terdapat perbedaan yang akan berguna untuk melengkapi kekurangan - kekurangan pada penelitian sebelumnya. Untuk lebih jelasnya perbandingan antara penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian – Penelitian terdahulu

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Wildan Firdaus (2011)	Muhammad Yusuf (2006)	Dhiya'ul Haq (2018)	komarudin (2015)	Nikmatul Fuadiz Zikri (2018)
Judul Penelitian	Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan PLAXIS 2D pada Tanah Lunak	Program Komputer Untuk Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok dengan Memperhitungkan Faktor Efisiensi	Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga	Analisa Deformasi Fondasi Tiang Bor dengan Metode Elemen Hingga pada Tanah <i>Soft Clay</i>	Efektifitas Jarak Tiang Terhadap Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Menggunakan Metode Reese & O'neil, Broom, Poulus & Davis, dan Elemen Hingga
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh formasi tiang dan jarak tiang (s) terhadap daya dukung pondasi	Untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung pondasi dengan Program Bantu <i>CIVIL ITS Group</i> dengan metode manual dan pengaruh nilai(Eg)	Untuk mengetahui pengaruh diameter tiang bor terhadap daya dukung pondasi kelompok	Untuk mengetahui Deformasi Tiang berdasarkan Variasi Jarak Tiang (s) dan Formasi Tiang	Untuk mengetahui pengaruh jarak tiang terhadap daya dukung kelompok pondasi tiang bor

(Sumber : Firdaus(2011), Yusuf (2006), Haq (2018), Komarudin (2015))

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian-Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Wildan Firdaus (2011)	Muhammad Yusuf (2006)	Dhiya'ul Haq (2018)	Komarudin (2015)	Nikmatul Fuadiz Zikri (2018)
Metode Penelitian	Metode manual dan Elemen Hingga PLAXIS 2D V8	Metode manual ( Andina Philipohant dan Nottingham-Schtmertmann) dan Program Bantu <i>CIVIL ITS Group</i>	Metode Manual (SPT dan Laboratorium) dan PLAXIS 2D V8.5	Metode Manual (reese & wright) dan PLAXIS 3D	Metode Manual (Reese & O'neil, Broom, Poulus & Davis, dan PLAXIS 2D V8.6)
Hasil Penelitian	Jarak antar tiang dapat mengurangi penurunan dan difleksi tiang	Nilai Faktor Efisiensi (EG) semakin besar seiring bertambahnya jarak tiang pondasi	Kapasitas Dukung kelompok tiang bor semakin besar seiring bertambahnya diameter tiang	semakin besar jarak tiang maka deformasi semakin kecil	

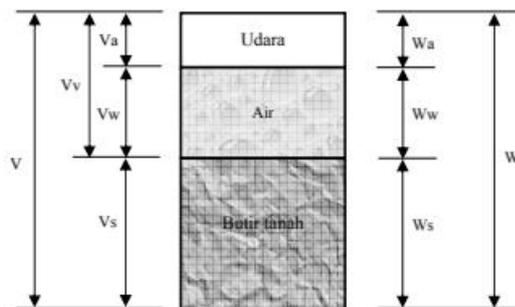
(Sumber : Firdaus(2011), Yusuf (2006), Haq (2018), Komarudin (2015))

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*) (Hardiyatmo, 1992). Istilah pasir, lempung, lanau ataupun lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Seperti tanah lempung yang memiliki sifat kohesif dan plastis, dan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Tanah menurut Braja M. Das didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) serta zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu : butiran padat (*solid*), air dan udara sesuai Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Tiga Fase Elemen Tanah**  
(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

Dari gambar diatas, maka dapat dibentuk hubungan antar masing – masing persamaan, sebagai berikut :

1. berat volume basah dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma = \frac{G_s \cdot \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (3.1)$$

2. berat volume jenuh air (S=100%)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \quad (\%) \quad (3.2)$$

3. untuk tanah kering sempurna, Berat volume kering dinyatakan oleh persamaan :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (3.3)$$

4. bila tanah terendam air, berat volume apung atau berat volume efektif dinyatakan sebagai  $\gamma'$ , dengan

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1+e} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (3.4)$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

5. hubungan penting antara derajat kejenuhan S,e,w dan  $G_s$

$$S e = w G_s \quad (3.5)$$

**Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah ( $G_s$ )**

Macam tanah	Berat jenis ( $G_s$ )
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau anorganik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65

Sumber :Hardiyatmo (2012)

**Lanjutan Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah (Gs)**

Macam tanah	Berat jenis (Gs)
Lempung anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber :Hardiyatmo (2012)

**Tabel 3.2 Derajat Kejenuhan dan Kondisi Tanah**

Keadaan tanah	Derajat kejenuhan (S)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	>0 – 0,25
Tanah lembab	0,26 – 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
Tanah basah	0,76 – 0,99
Tanah jenuh air	1

Sumber :Hardiyatmo (2012)

### 3.1.1 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai *modulus young* (E) menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. M. Das (2010) menyarankan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas tanah pasir menggunakan korelasi dari pengujian N-SPT dan CPT dapat menggunakan persamaan *Schmermaan* (1970) sebagai berikut :

$$E_s = 766 \times N\text{-SPT} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.6)$$

$$E_s = 2 q_c \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.7)$$

**Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

Jenis Tanah	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>LEMPUNG</b>	
· Sangat lunak	3 – 30
· Lunak	20 – 40
· Sedang	45- 90
· Berpasir	300-425
<b>PASIR</b>	
· Berlanau	50-200
· Tidak padat	100-250
· Padat	500-1000
<b>PASIRDAN KERIKIL</b>	
· Padat	800-2000
· Tidak padat	500-1400
<b>LANAU</b>	20-200
<b>LOSES</b>	150-600
<b>CADAS</b>	1400-14000

Sumber : Bowles (1997)

### 3.1.2 Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dan Poisson Rasio**

Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i>
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

Sumber : M.Das (1995)

## 3.2 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Pondasi tiang bor yaitu Pondasi yang dipasang kedalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sampai kedalaman yang diinginkan, kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Pondasi tiang bor memiliki kedalaman dan diameter yang bervariasi, sehingga baik digunakan pada beban ringan maupun untuk struktur berat ,seperti :bangunan bertingkat tinggi, jembatan, menara tinggi, stabilitas lereng (*soldier pile*) , dan konstruksi lainnya. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu pondasi tiang adalah sebagai berikut :

1. beban yang diterima oleh pondasi tidak boleh melebihi daya dukung tanah maupun kekuatan bahan tiang untuk menjamin keamanan tiang pondasi tersebut.
2. deformasi yang terjadi pada fondasi tiang, baik deformasi aksial maupun lateral, tidak boleh melebihi deformasi maksimum yang disyaratkan sehingga tidak merusak struktur.
3. pengendalian atau pencegahan efek dari metode konstruksi pondasi seperti getaran saat pemancangan, galian atau pekerjaan pondasi yang lain untuk membatasi pergerakan bangunan atau struktur lain disekitarnya.

Menurut Hardiyatmo(2008). Penggunaan tiang bor mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian,antara lain :

keuntungan penggunaan tiang bor :

1. tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
2. kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
4. tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah berupa lempung atau batu lunak.
5. penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

kerugian penggunaan tiang bor :

1. pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil

- 2.pencoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
- 3.air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
- 4.pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.

### 3.2.1 Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor (*bored pile*)

Menurut *Bowles* (1991) .ada 3 metode dasar yang digunakan dalam pelaksanaan fondasi tiang bor seperti berikut ini.

#### 1. Metode Kering

Metode ini sangat tepat bila digunakan pada tanah yang kohesif, pertamanya sumuran digali dengan dasarnya dibentuk seperti lonceng jika diperlukan. Kemudian diisi dengan campuran beton, lalu tulangan dimasukkan dan dengan demikian sumuran telah selesai dikerjakan. Harap diingat bahwa tulangan tidak boleh dimasukkkan sampai kedasar lubang karena diperlukan pelindung beton yang minimum. Metode ini memerlukan keadaan tanah yang tidak berlekuk dan muka air tanah berada dibawah dasar lubang sumuran.

#### 2. Metode Acuan

Metode ini dipakai pada keadaan tanah yang memungkinkan terjadinya lekukan atau deformasi lateral yang berlebihan pada rongga lubang bor.Metode ini juga dipakai sebagai sambungan perapat lubang terhadap masuknya air tanah.sebelum memasukkan *casing*, suatu adonan spesi perlu dimasukkan untuk mempertahankan dinding lubang, dan setelah acuan dimasukkan,adonan tadi dikeluarkan kembali. Ada dua macam *casing* yang digunakan yaitu *partial casing* dan *full casing*. Pemakaiannya tergantung pada sejauh mana dinding lubang bor bersifat mudah runtuh. Sebagai mana kita ketahui, keadaan lapisan tanah tidak selalu homogen pada suatu daerah tertentu, oleh karena itu *casing* hanya perlu dipasang pada lapisan tanah yang mudah runtuh. Kadang kala, kita hanya perlu memasang *casing* pendek (*partial casing*), namun kadang kita juga harus memasang *casing* sampai kedalaman yang hampir sedalam lubang bor (*full*

*casing*). Pada pelaksanaannya, *casing* dapat dikeluarkan kembali ataupun tidak dikeluarkan. Namun, bila *casing* tidak dikeluarkan maka ditepi-tepi antara *casing* dengan dinding bor perlu di *grouting*, yaitu dengan menginjeksi adukan encer dengan tekanan keruang melingkar antara *casing* dengan dinding lubang.

### 3. Metode Adonan

Metode ini bisa diterapkan pada semua keadaan yang membutuhkan acuan. Penggunaan ini juga mampu menahan air agar tidak masuk kedalam rongga sumuran. Penggunaan mineral *slurry (betonite muds)* sangat populer dalam mengatasi keadaan tanah yang mudah runtuh pada pekerjaan tiang bor. Campuran *betonite* dan air dengan komposisi tertentu yang kemudian dimasukkan kedalam lubang bor akan membentuk lapisan pengikat pada dinding lubang bor. Namun pada perkembangannya penggunaan *betonite* menjadi kurang praktis karena sulit untuk didaur ulang dan bersifat polutan bagi lingkungan sekitar pekerjaan, maka akhir-akhir ini dikembangkan suatu bahan menggantikan *betonite* yaitu *polymer* yang lebih praktis penggunaannya dan lebih ramah lingkungan. Salah satu yang cukup populer dalam pelaksanaan fondasi bor yaitu *super mud/quick mud*.

### 3.3 Kapasitas Daya Dukung Menurut Reese & O'neil (1989)

Kapasitas dukung tiang dibedakan oleh kapasitas dukung ujung dan kapasitas dukung gesek. Kapasitas dukung harus dibagi dengan angka keamanan dan kapasitas yang dieproleh harus lebih besar dari beban yang terjadi.

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (3.8)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (3.9)$$

dimana :

$Q_{ult}$  = Kapasitas daya dukung tiang maksimum (kN)

$Q_b$  = Kapasitas daya dukung ujung yang didapat dari tanah dibawah ujung pondasi (kN)

$Q_s$  = Kapasitas daya dukung yang didapat dari gaya gesekan atau gaya adhesi

antara tiang pancang dan tanahnya (kN)

$Q_{all}$  = Kapasitas daya dukung tiang ijin (kN)

$SF$  = Faktor keamanan (*safety factor*)

### 3.3.1 Tahanan Ujung Ultimit

Reese & O'neil (1989) dalam Hardiyatmo (2010) merekomendasikan tahanan ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada pasir yang dapat dilihat pada persamaan 3.10 berikut :

$$fb = 0,60\sigma_r N_{60} = 60 N_{60} \leq 4500 \text{ kpa} \quad (3.10)$$

dengan :

$fb$  = tahanan ujung neto persatuan luas (kN/m<sup>2</sup>)

$N_{60}$  = nilai koreksi SPT terhadap nilai pengujian

$\sigma_r$  = tegangan referensi = 100 kpa

sedangkan persamaan tahanan ujung ultimit dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Q_b = A_b \times fb \quad (3.11)$$

dengan :

$Q_b$  = tahanan ujung ultimit tiang bor (kN)

$A_b$  = luas dasar tiang bor (m<sup>2</sup>)

Jika tiang bor dasarnya lebih dari 1200 mm, maka besarnya  $fb$  dapat menyebabkan penurunan lebih besar dari 25 mm. Untuk memenuhi syarat penurunan izin Reese & O'neil (1989) dalam Hardiyatmo (2010) menyatakan  $fb$  direduksi menjadi  $f_{cr}$ , dengan menggunakan persamaan 3.12 berikut ini.

$$f_{cr} = 4,17 \frac{dr}{db} fb ; \text{bila } d_b \geq 1200 \text{ mm} \quad (3.12)$$

dengan :

$d_r$  = lebar referensi = 300 mm

$d_b$  = lebar ujung bawah tiang bor (m)

### 3.3.2 Tahanan Gesek Ultimit (*friction*)

Tahanan gesek tiang bor satuan luas serta nilai koefisien  $\beta$  dalam tanah granuler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13, persamaan 3.14 dan persamaan 3.15 berikut ini.

$$f_s = \beta \times p_o' \quad (3.13)$$

$$p_o' = \gamma \times H \quad (3.14)$$

$$\beta = K \tan \delta \quad (3.15)$$

dengan :

$f_s$  = tekanan gesek satuan luas ( $\text{kN/m}^2$ )

$p_o'$  = tekanan overburden ditengah-tengah lapisan tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\delta$  = sudut gesek antara tanah dan tiang (derajat)

metode diatas disebut dengan metode  $\beta$ . Nilai  $K/K_o$  ditunjukkan pada Tabel 3.5, kemudian untuk rasio  $\delta/\phi'$  dapat dilihat pada Tabel 3.6. koefisien  $\beta$  juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang disarankan oleh *Reese & O'neil* (1989) dalam *Hardiyatmo* (2010) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.16a, Persamaan 3.16b dan Persamaan 3.16c berikut ini.

$$\beta = 1,5 - 0,135 \sqrt{\frac{z}{dr}} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3.16a)$$

Bila lebar referensi  $d_r = 300$  mm dan nilai  $N_{60} > 15$  maka disubsitusikan ke persamaan 3,26b berikut ini.

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3.16b)$$

Bila lebar referensi  $d_r = 300$  mm dan nilai  $N_{60} < 15$  maka disubsitusikan ke persamaan 3,26c berikut ini.

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3.16c)$$

**Tabel 3.5 Nilai-nilai  $K/K_o$  untuk tiang bor (Kulhawy,1991)**

Metode pelaksanaan	$K/K_o$
Pelaksanaan kering dengan gangguan dinding lubang bor kecil pengecoran cepat	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja baik	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja buruk	0,67
Dengan pipa selubung dibawah air	0,83

Sumber : Hardiyatmo (2015)

**Tabel 3.6 Nilai-nilai  $\delta/\phi$  untuk tiang bor (Kulhawy,1991)**

Metode pelaksanaan	$K/K_o$
Lubang terbuka atau dengan pipa selubung sementara	1
Metode dengan cairan ( <i>Slurry method</i> ) – <i>minimum slurry cake</i>	1
Metode dengan cairan ( <i>Slurry method</i> ) – <i>slurry cake</i> banyak	0,8
Pipa selubung permanen	0,7

Sumber : Hardiyatmo (2015)

Tahanan gesek ultimit dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.17 berikut ini :

$$Q_s = A_s \times \beta \times p'_{\text{rata-rata}} \quad (3.17)$$

dengan :

$A_s$  = selimut tiang ( $m^2$ )

### 3.3.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor

Kapasitas dukung tiang bor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.18 berikut ini.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.18)$$

Dengan :

$W_p$  = berat tiang (kN)

$Q_b$  = tahanan ujung tiang (kN)

$Q_s$  = tahanan gesek tiang (kN)

Besarnya nilai kapasitas dukung ultimat tiang bor dapat dipengaruhi oleh muka air tanah, maka dapat menggunakan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$Q_u = Q_b + Q_s - Wp' \quad (3.19)$$

Pada persamaan diatas, *Reese & O'neil* mengatakan nilai  $Wp'$  merupakan hasil pengaruh dari adanya muka air tanah yang memberikan gaya angkat pada fondasi. Berat tiang bor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.20, Persamaan 3.21, dan Persamaan 3.22 berikut ini.

$$Wp' = Wp - U \quad (3.20)$$

$$Wp = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}} \quad (3.21)$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - Hw) \times \gamma_w \quad (3.22)$$

Dengan :

$d$  = Diamter tiang (m)

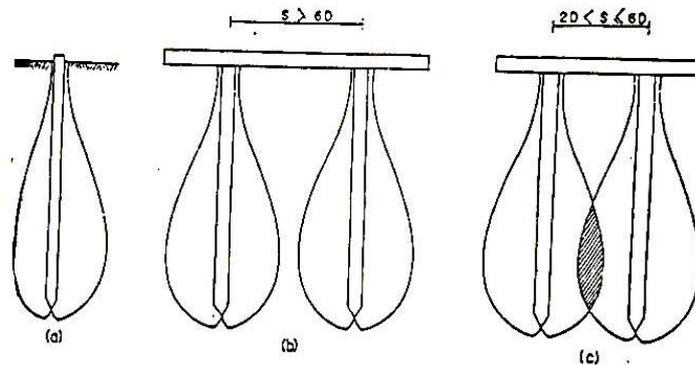
$L$  = Panjang tiang (m)

$Hw$  = Tinggi muka air (m)

$\gamma_w$  = Berat volume air ( $\text{kN/m}^3$ )

#### 3.3.4 Efisiensi Kelompok Tiang Bor

Apabila pengaturan tiang pada poer (*pile cap*) telah mengikuti persyaratan, maka kapasitas dukung tiang tidak sama dengan kapasitas satu tiang dikalikan dengan banyak tiang, tetapi didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas daya dukung satu tiang dengan banyaknya tiang dikalikan lagi efisiensi kelompok tiang. Pengaruh jarak antar tiang terhadap daya dukung kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Skematik mobilisasi tekanan yang digambarkan dalam bentuk diagram keruntuhan berupa gelembung (*Buld*). (a) Gambar mobilisasi tegangan untuk keruntuhan tiang tunggal (b) Mobilisasi tegangan tidak saling potong (c) Mobilisasi tegangan yang saling berpotong.**

(Sumber : Sidharta Dkk, 1997)

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan metode *Converst – labarre* adalah sebagai berikut:

$$E_g = 1 - Q \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.23)$$

Dengan :

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$Q$  = arc tg  $d/s$  , dalam derajat

$n$  = banyak tiang dalam 1 baris

$m$  = banyaknya tiang dalam 1 kolom

$d$  = diameter dari tiang (m)

$s$  = spacing jarak (jarak antara tiang )

### 3.4 Kapasitas Daya Dukung Menurut *Brom* (1965)

Perhitungan kapasitas pondasi berdasarkan metode *Brom* (1965) dalam *Hardiyatmo* (2008) diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan gesek tiang.

### 3.4.1 Tahanan Ujung Ultimit

Dalam perhitungan kapasitas dukung tahanan ujung pada tanah non kehesif, besarnya kohesi ( $c$ ) nol dan diameter tiang relatif sangat kecil dibanding dengan panjangnya, maka suku persamaan  $c_h N_c = \text{nol}$  dan  $0,5\gamma dN_\gamma$  dapat diabaikan, maka persamaan yang digunakan dalam kapasitas dukung ujung ultimit pondasi sesuai Persamaan 3.24 berikut :

$$Q_b = A_h P_h' N_q \quad (3.24)$$

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad (3.25)$$

Dengan :

$Q_h$  = tahanan ujung ultimit (kN)

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

$P_h'$  = tekanan vertikal efektif tanah pada dasar tiang. Bila panjang tiang lebih besar dari pada kedalaman kritis  $z_c$ , maka  $P_h'$  diambil sama dengan tekanan vertikal efektif pada kedalaman  $z_c$ .

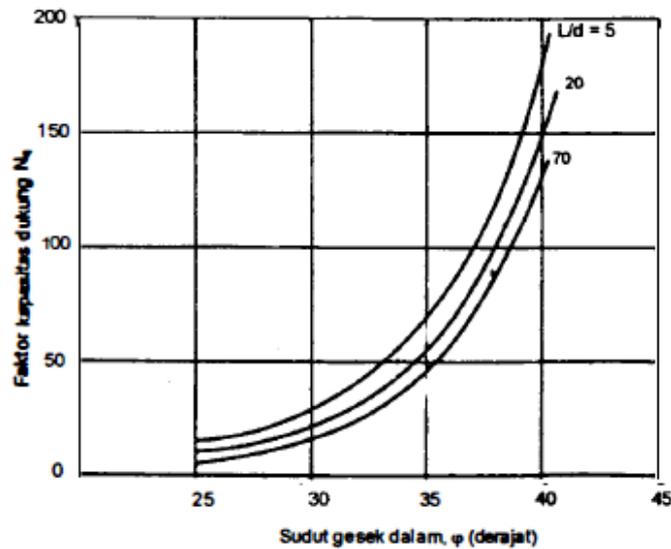
$N_q$  = faktor kapasitas dukung

$f_b$  = Tahanan ujung persatuan luas ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

Nilai  $N_q$  dapat diperoleh dengan menggunakan Gambar 3.4 yang diusulkan oleh Berezantzev (1961) dalam Hardiyatmo (2008) dan nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dapat diperoleh dari hubungan  $\phi$  dengan N-SPT yang disarankan oleh Peck,dkk.(1974) dalam Hardiyatmo (2008) ditunjukkan dalam Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Hubungan  $\phi$  dengan N-SPT (peck,dkk.1974)  
(Sumber: Hardiyatmo,2008)



Gambar 3.4 Hubungan  $N_q$  dan  $\phi$  (Berezantzev, 1961)  
(Sumber: Hardiyatmo,2008)

### 3.4.2 Tahanan Gesek Ultimit ( $Q_s$ )

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan gesek ultimit ( $Q_s$ ) dengan metode *Brom*.

$$Q_s = \sum A_s K_d \text{tg } \delta P_o' \text{ rata-rata} \quad (3.26)$$

$$f_s = K_d \text{tg } \delta P_o' \quad (3.27)$$

dengan :

$K_d$  = Koefisien tanah yang bergantung pada tekanan tanah

$\delta$  =  $\varphi$  = sudut gesek dinding tiang antara sisi tiang dan tanah

$A_s$  = Luas selimut tiang ( $m^2$ )

$P_o'_{rata-rata}$  = tekanan vertikal efektif tanah, yang besarnya sama dengan tekanan overbouden efektif untuk kedalaman  $z \leq z_c$

$z$  = Kedalaman titik dari permukaan tanah (berkisar dibawah  $-20d$ ) (m)

$z_c$  = kedalaman kritis, yang mana tekanan efektif tanah sama (konstan) dengan tekanan efektif maksimum pada kedalaman  $z$  (m)

$f_s$  =  $K_d \text{ tg } \delta P_o'$  = adalah tahanan gesek persatuan luas ( $kN/m^2$ )

*Borm*(1965) menyarankan hubungan  $K_d$  dengan tipe bahan untuk tiang didalam tanah granuler seperti Tabel 3.7 dan nilai  $\delta$  dapat menggunakan Tabel 3.8 berikut ini.

**Tabel 3.7 Nilai  $K_d$  untuk tiang pada tanah granuler (*brom*, 1965)**

bahan tiang	Kd	
	pasir tak padat	pasir padat
Baja	0,5	1
Beton	1	2
Kayu	1	4

Sumber : Hardiyatmo (2008)

**Tabel 3.8 Sudut Gesek antara Dinding Tiang Pada Tanah Granuler ( $\delta$ ) (*Aas*,1966)**

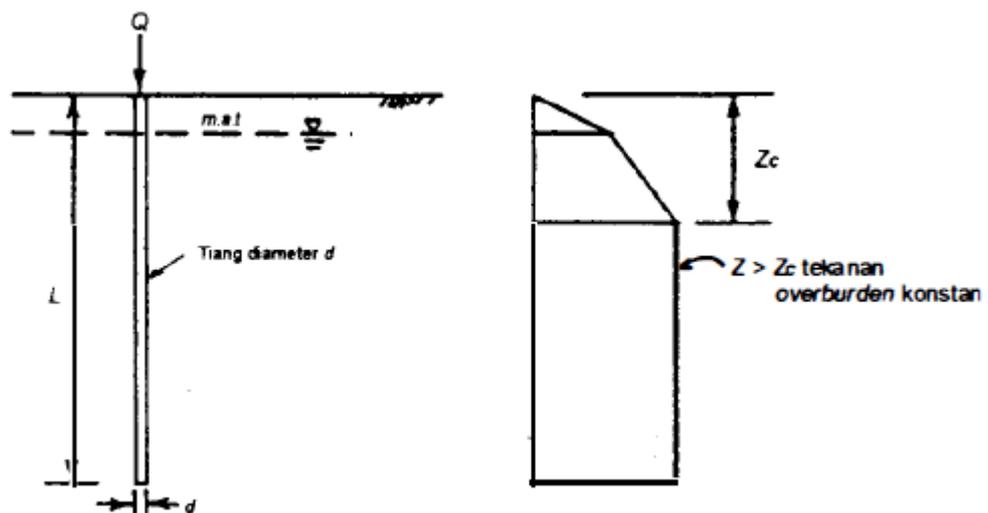
Bahan tiang	$\delta = \varphi_d'$
Baja	$20^\circ$
Beton	$0,75 \varphi'$
Kayu	$0,66 \varphi'$

Sumber : Hardiyatmo (2008)

### 3.5 Kapasitas Daya Dukung Menurut *Poulos & Davis* (1998)

#### 3.5.1 Tahanan Ujung Ultimit

Berdasarkan pengamatan Vesic (1967) dalam Hardiyatmo (2008), untuk tanah non kohesif (granuler) *Poulos & Davis* (1980) dalam Hardiyatmo (2008) menyarankan bentuk variasi distribusi tegangan vertikal efektif dan kedalaman, seperti pada Gambar 3.5. Disini terlihat bahwa tekanan efektif vertikal bertambah sampai mencapai kedalaman tertentu ( $z_c$ ), sesudah itu konstan (yaitu tekanan efektif sama dengan tekanan efektif pada kedalaman  $z_c$ ). Distribusi tekanan efektif (*overburden* efektif) dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Distribusi tegangan vertikal disekitar tiang pada tanah pasir (poulos dan Davis,1980)**  
(Sumber : Haridyatmo, 2008)

Tahanan ujung ultimit dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.28 dan Persamaan 3.29. Dalam menentukan tahanan ujung terdapat batasan tahanan ujung persatuan luas maksimum ( $f_b < 10700 \text{ kN/m}^2$ ).

$$Q_b = A_b \times P'_b \times N_q \quad (3.28)$$

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad (3.29)$$

dengan :

$Q_b$  = Tahanan ujung ultimit (kN)

$A_b$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$P_b'$  = Tekanan vertikal efektif tanah pada ujung bawah tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$N_q$  = Faktor daya dukung

$f_b$  = Tahanan ujung persatuan luas (kN/m<sup>2</sup>)

Untuk nilai  $N_q$  diperoleh sama seperti cara *Brom* dengan menggunakan Gambar 3.4 hubungan sudut gesek dalam ( $\varphi$ ) dengan nilai faktor daya dukung ( $N_q$ ). Nilai sudut gesek dalam ( $\varphi$ ) untuk menentukan  $N_q$  dan  $z_c/d$  pada tiang bor direduksi menggunakan Persamaan 3.30.

$$\varphi = \varphi' - 3^\circ \quad (3.30)$$

### 3.5.2 Tahanan Gesek Ultimit

Dalam menentukan tahanan gesek ultimit terdapat batasan tahanan gesek persatuan luas maksimum ( $f_s$ ) 107 kN/m<sup>2</sup>. Tahanan gesek dihitung menggunakan Persamaan 3.31 dan Persamaan 3.32 sebagai berikut ini.

$$Q_s = A_s \times P_o' \times k_d \times \text{tg } \delta \quad (3.31)$$

$$f_s = k_d \times \text{tg } \delta \quad (3.32)$$

dengan :

$Q_s$  = Tahanan gesek dinding ultimit (kN)

$A_s$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

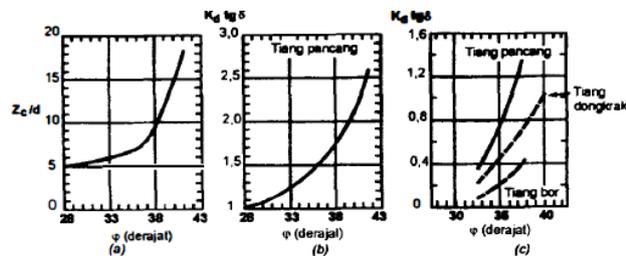
$P_o'$  = Tekanan vertikal efektif, yang besarnya sama dengan tekanan *overburden* efektif untuk  $z \leq z_c$ , dan sama besarnya tekanan vertikal kritis untuk  $z > z_c$

$z$  = Kedalaman yang ditinjau dari permukaan tanah

$z_c$  = Kedalaman kritis, yaitu dimana tekanan *overburden* efektif dihitung dari titik yang telah dianggap konstan

Dengan berdasarkan hasil pengujian Vesic (1967) dalam Hardiyatmo (2008), Poulos dan Davis (1980) mengevaluasi nilai-nilai hubungan  $k_d \times \text{tg } \delta$  dan

$z_c/d$  (dengan  $d$  adalah diameter tiang pondasi) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.6 berikut ini.



**Gambar 3.6 hubungan  $z_c/d$  dan  $k_d \text{ tg } \delta$  untuk tanah pasir (Poulos dan Davis, 1980)**

(Sumber : Hardiyatmo, 2008)

Untuk tiang bor  $z_c/d$  diambil dari Persamaan 3.29 dan Gambar 3.6a.  $k_d \text{ tg } \delta$  diambil dari Gambar 3.6c, yang didasarkan pada sudut gesek dalam tanah asli ( $\phi$ )

### 3.6 Kapasitas Dukung Kelompok tiang

#### 3.6.1 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Keruntuhan Tiang Tunggal

Kapasitas dukung kelompok tiang bor dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 3.33 dan 3.34 berikut ini.

$$Q_{all} = Q_u/SF \quad (3.33)$$

$$Q_g = Q_{all} \times n \times E_g \quad (3.34)$$

Dengan :

$Q_{all}$  = Kapasitas dukung izin tiang (kN)

$Q_u$  = Kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

$n$  = Jumlah tiang bor

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang bor

#### 3.6.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Keruntuhan Tiang Blok

Untuk menghitung kapasitas tiang yang berkaitan dengan keruntuhan blok *Terzaghi & Peck* (1948) dalam *Hardiyatmo* (2008) mengambil asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. pelat penutup tiang (*pile cap*) sangat kaku
2. Tanah yang berada didalam kelompok tiang-tiang berkelakuan seperti blok padat.

Dengan, asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai fondasi dalam (Gambar 3.8). Dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh Persamaan 3.35 menurut *Tomlinson* (1994) dalam *Hardiyatmo* (2010) berikut ini.

$$\Sigma Q_{ug} = L_g B_g q_p + \Sigma 2 (L_g + B_g) f_s \Delta L \quad (3.35)$$

Dengan :

$\Sigma Q_{ug}$  = Kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui  $nQ_u$  (dengan  $n$  = jumlah tiang dalam kelompoknya ) (Kn)

$q_p$  = Tahanan ujung persatuan luas (Kn/m<sup>2</sup>)

$B_g$  = Lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang (m)

$L_g$  = Panjang kelompok tiang

$\Delta L$  = Kedalaman tiang (m)

$f_s$  = Tahanan gesek per satuan luas

Menurut *Tomlinson* (1994) dalam *Hardiyatmo* (2010) nilai tahanan ujung persatuan luas ( $q_p$ ) dan nilai tahanan gesek persatuan luas ( $f_s$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.36 dan Persamaan 3.37 berikut ini.

$$q_p = Q_p / A_p \quad (3.36)$$

$$f_s = Q_s / (p \times \Delta L) \quad (3.37)$$

dengan :

$Q_p$  = Tahanan ujung ultimit tiang (kN)

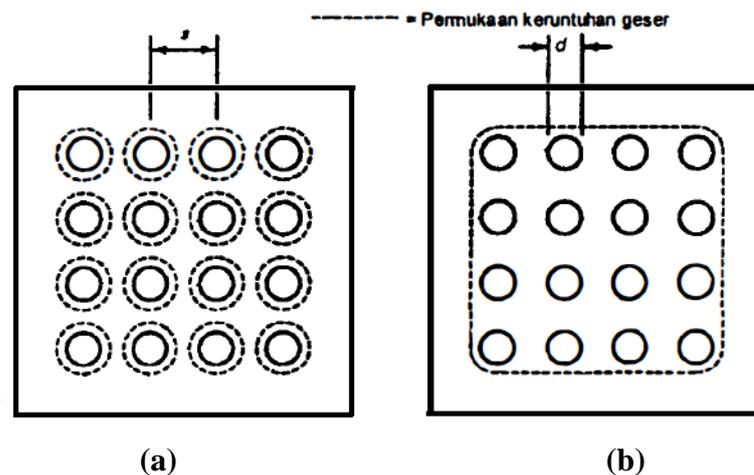
$A_p$  = Luas penampang ujung bawah tiang (m<sup>2</sup>)

$Q_s$  = Tahanan gesek ultimit tiang (kN)

$p$  = Keliling tiang (m)

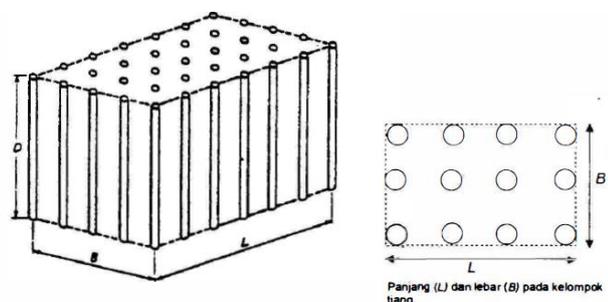
$\Delta L$  = Kedalaman tiang (m)

Tipe keruntuhan pada tiang tunggal dan kelompok yang terjadi, serta kelompok tiang yang bekerja sebagai blok dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8. Untuk jarak tiang yang kurang dari jarak kritisnya, keruntuhan terjadi dengan bidang runtuh yang mengelilingi kelompok tiang-tiang (Gambar 3.7b). Untuk jarak tiang yang besar, keruntuhan terjadi dengan masing-masing tiang menembus lapisan tanah, sehingga terjadi gerakan relatif antara tanah dan tiang-tiang (Gambar 3.7a). Tipe keruntuhan tiang yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 berikut ini.



**Gambar 3.7 Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang : (a)Tiang tunggal, dan (b) Kelompok tiang**

(Sumber:Hardiyatmo,2010)



**Gambar 3.8 Kelompok tiang yang bekerja sebagai Blok**

(Sumber :Hardiyatmo,2010)

Menurut Hardiyatmo (2010), dalam hitungan kapasitas kelompok tiang maka dipilih dari hal-hal berikut :

1. jika kapasitas kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ) lebih kecil dari pada kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiang ( $Q_g$ ), maka kapasitas dukung pondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompoknya ( $Q_{ug}$ )
2. sebaliknya, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ) lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiangnya ( $Q_g$ )

Umumnya, model keruntuhan blok terjadi bila rasio jarak tiang dibagi diameter tiang ( $s/d$ ) kurang dari 2. Whitaker(1957) dalam Hardiyatmo (2010) memperlihatkan bahwa keruntuhan blok terjadi pada jarak  $1,5d$  untuk kelompok tiang yang berjumlah  $3 \times 3$ , dan lebih kecil dari  $2,225d$  untuk tiang yang berjumlah  $9 \times 9$ . Untuk jarak yang lebih besar, keruntuhan yang terjadi oleh akibat runtuhnya tiang tunggal.

### 3.7 Faktor Aman

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan angka faktor aman. Faktor aman diberikan agar :

- a) Untuk memberikan keamanan terhadap ketidak pastian metode hitungan yang digunakan.
- b) Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompreseibilitas tanah.
- c) Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman mendukung beban yang bekerja.
- d) Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi
- e) Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.

Untuk faktor aman tiang bor dengan dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter  $d < 2$  m, maka :

$$Qa = \frac{Qu}{2,5} \quad (3.38)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran dibagian bawahnya, maka :

$$Qa = \frac{Qu}{2} \quad (3.39)$$

*Reese and O'neil* (1989) dalam Hardiyatmo (2010) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan fondasi tiang sesuai dengan tabel 3.9 berikut ini.

**Tabel 3.9 Faktor Aman yang Disarankan (*reese & O'neil, 1989*)**

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

Sumber : Hardiyatmo (2010)

### 3.8 Analisis Pembebanan dengan Menggunakan *Software* ETABS

ETABS adalah program aplikasi komputer untuk menganalisis dan merancang status struktur terutama pada bidang teknik sipil. Dari analisis program ETABS ini dapat diketahui gaya aksial, gaya geser, momen lentur, momen torsi dan simpangan.

Langkah awal yang dilakukan dalam pengoperasian program aplikasi komputer ETABS yaitu permodelan struktur, diantaranya :

1. penentuan koordinat *joint*
2. penentuan orientasi elemen dalam koordinat struktur
3. penentuan sifat penampang elemen dan elastisitas
4. penentuan pembebanan struktur (gaya yang bekerja pada struktur)

5. penentuan jenis analisis yang digunakan

Prosedur input data pada program ETABS adalah sebagai berikut :

1. pengidentifikasi *joint frame, restraint* dan *constraint*
2. pengidentifikasi karakteristik material *frame section*
3. pengidentifikasi beban (*load*) yaitu beban mati (DL) ,beban hidup (LL), beban gempa (EL), dan beban kombinasi (*combo*)
4. analisis struktur dengan cara RUN

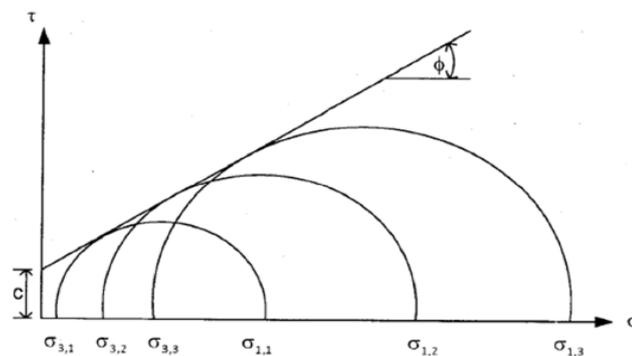
### 3.9 PLAXIS 2D

PLAXIS 2D adalah program elemen hingga dua-dimensi, yang dikembangkan untuk analisis deformasi , stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik . PLAXIS 2D adalah bagian dari rangkaian produk-produk PLAXIS , paket program elemen hingga yang digunakan diseluruh dunia untuk desain dan rekayasa geoteknik. Perkembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Delft University of Technology sebagai inisiatif dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Pengelolaan Air (Rijkswaterstaat) Belanda. Tujuan semula adalah untuk mengembangkan kode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk analisis tanggul sungai di tanah lunak dari dataran rendah Belanda. Dalam beberapa tahun berikutnya, PLAXIS telah diperluas untuk mencakup sebagian besar wilayah lain untuk rekayasa geoteknik. Karena aktifitas terus berkembang, perusahaan PLAXIS (Plaxis bv) dibentuk pada tahun 1993. Pada tahun 1998, pertama kali PLAXIS 2D untuk Windows dirilis.

Dengan PLAXIS 2D geometri model dapat dengan mudah didefinisikan dalam mode tanah dan struktur, setelah model padat independen secara otomatis dapat dipotong dan menyatu. Modus konstruksi dipentaskan memungkinkan untuk simulasi proses konstruksi dan penggalian dengan mengaktifkan dan menonaktifkan cluster tanah dan obyek struktural. Perhitungan kernel memungkinkan simulasi realistis dari linear, waktu perilaku non tergantung dan anisotropik tanah dan / atau rock. Karena tanah merupakan bahan multi-fase, prosedur khusus memungkinkan untuk perhitungan yang berhubungan dengan tekanan hidrostatik pori hidrostatik dan non dalam tanah. Output terdiri dari

rangkaian lengkap dari alat visualisasi untuk memeriksa rincian model tanah-struktur 2D bawah tanah. Aplikasi PLAXIS umum termasuk: menilai pemindahan permukaan jalan selama pembangunan terowongan, analisis konsolidasi tanggul, pemindahan tanah di sekitar pit penggalian, bendungan stabilitas selama tingkat air yang berbeda, dan banyak lagi.

Model Mohr-Coulomb adalah salah satu model yang digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis pada permukaan terowongan, beban atas pada pondasi dan lain-lain. Model Mohr-Coulomb melibatkan lima parameter masukan, yaitu :modulus modulus E,Poisson  $\nu$  ( $\nu$ ), kohesi ( $c$ ), sudut gesekan  $\phi$  ( $\phi$ ), dan sudut dilatasi  $\psi$  ( $\psi$ ).



**Gambar 3.9 Kekuatan Geser Tanah Menurut Mohr-Coulomb**

(Sumber :Budi, 2011)

Setelah data tanah serta pembebanan diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis daya dukung serta penurunan dengan menggunakan bantuan *software* Plaxis 2D *Foundations*. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk pemodelan menggunakan *software* Plaxis 2D *Foundations* adalah sebagai berikut :

#### 1. PLAXIS *input*

PLAXIS *input* merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk melakukan pemodelan geometri tanah, menentukan kondisi batas, meshing model serta menentukan kondisi awal dari model yang akan dibuat.

- a. Menentukan model struktur yang akan dilakukan analisis, model struktur dibagi menjadi dua jenis yaitu *Plane Strain* dan *Aximetry*

- b. Menentukan elemen-elemen jaringan segitiga tak berhingga dan tak beraturan dalam beberapa titik nodal (*node*). PLAXIS memberikan 2 pilihan yaitu 6 atau 15
  - c. Pembuatan model geometri konstruksi yang akan dilakukan analisis, dimana *geometry line toolbar* menggambarkan konstruksi dan bidang batas pada lembar kerja dengan koordinat x dan y
  - d. Menetapkan boundary conditions menjadi geometri terkekang, pada kondisi ini sebagai batas perpindahan deformasi yang terpengaruh beban secara horizontal dan vertikal
  - e. *General material setting* ,pada tahapan ini akan dilakukan input tipe material, berat volume tanah, permeabilitas tanah, parameter setting nilai kekakuan bahan, properties tanah seperti kohesi (c), sudut gesek dalam ( $\phi$ ), dan sudut dilatansi ( $\psi$ ).*Interface setting* struktur merupakan interaksi struktur dengan tanah, pilih *rigid interface* jika keberadaan material mempengaruhi kekuatan tanah
  - f. Tahap tipe konstruksi yang digunakan adalah model pelat (*plate*), parameter input untuk pelat adalah nilai modulus elastisitas material pelat dengan luas pelat, sedangkan untuk *flexural rigidity* yaitu modulus elastisitas pelat dengan inersia pelat
  - g. Menentukan beban luar, beban luar yang diaplikasikan pada konstruksi dapat berupa beban terbagi merata ataupun beban titik,
  - h. *Mesh generation*, pada tahap ini konstruksi yang dibagi menjadi elemen-elemen segitiga yang lebih kecil, dan hasil geometri berupa *meshing* yang tidak teratur.
  - i. Kondisi awal (*initial condition*) merupakan tahap penentuan awal sebelum dilakukan analisis. Kondisi ini dibagi menjadi dua yaitu kondisi awal tekanan air pori (*initial water pressure*) dan kondisi tegangan air pori (*initial stresses*).
2. PLAXIS *calculation*  
 Pada tahap ini akan ditinjau apakah model yang telah didefinisikan dan di *input* siap untuk dianalisis.
  3. PLAXIS *output*

Merupakan pemaparan hasil analisis proses hitungan dari olaxis calculation yang terdiri dari geometry, deformasi dan stresses. Output dari PLAXIS dapat ditampilkan dalam bentuk gambar, angka dan kurva.

Nilai daya dukung kelompok tiang didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.3 dan persamaan 3.3 berikut ini .

$$Q_{all} = p_{all} = Q_u / (\Sigma - M_{sf}) \quad (3.40)$$

$$Q_u = p_{all} \times \Sigma - M_{sf} \quad (3.41)$$

Dengan :

$Q_{all}$  =  $p_{all}$  = Daya dukung izin tiang

$Q_u$  = Daya dukung ultimit (KN)

$\Sigma - M_{sf}$  = Hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian adalah suatu cara untuk mengambil, menganalisis dan mengidentifikasi variabel yang dilakukan untuk mencari jawaban atau pemecahan dari pokok permasalahan yang akan diambil terhadap penelitian yang akan dilakukan. Analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah analisis efektifitas jarak tiang terhadap kapasitas dukung pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan metode *Reese and O'neil* , *Brom, Poulus & Davis* dan PLAXIS 2D V8.6.

### **4.2 Studi Pustaka**

Studi pustaka adalah landasan teori bagi analisis yang mengacu pada buku-buku, media informasi teknologi (internet), pendapat atau teori-teori parah ahli yang berhubungan dengan penelitian. Studi pustaka pada penelitian ini dibahas pada bab tersendiri

### **4.3 Pengumpulan Data**

Data yang diperlukan diperoleh langsung dari proyek Swiss-bel hotel solo yang berlokasi di Jl.Akhmad Yani No.243, Gilingan, Solo. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Lokasi Proyek Swiss-Bell hotel Solo**  
(Sumber: Google map,2018)

Data yang diambil dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data hasil penyelidikan tanah dan Data struktur proyek pada proyek Swiss-Bel hotel Solo.
2. Data yang digunakan pada penelitian ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah gambar rencana, serta data tanah yang merupakan hasil dari penyelidikan dilapangan *Standart Penetration Test* (SPT) dan pengujian laboratorium.

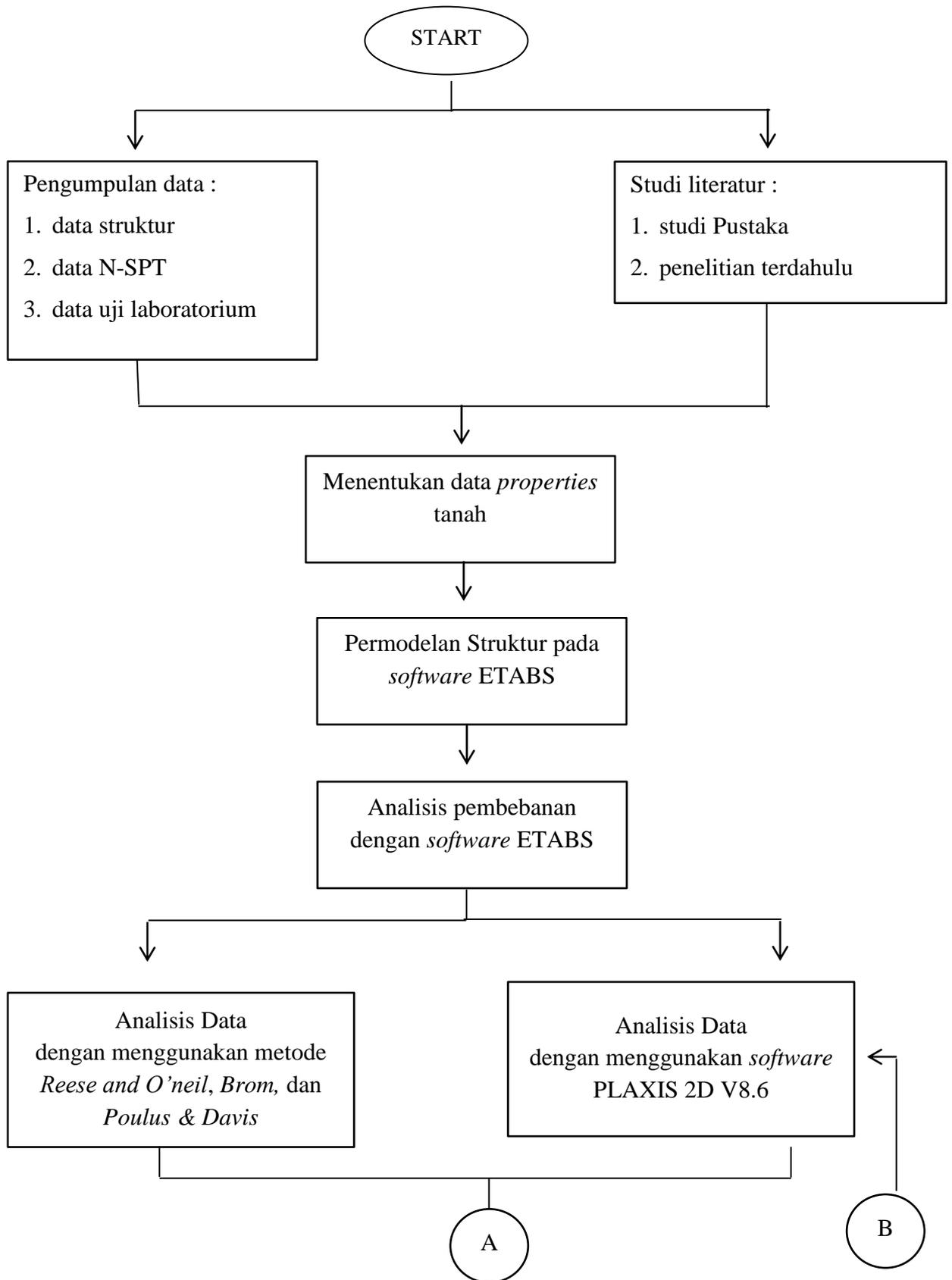
#### **4.4 Tahapan Penelitian**

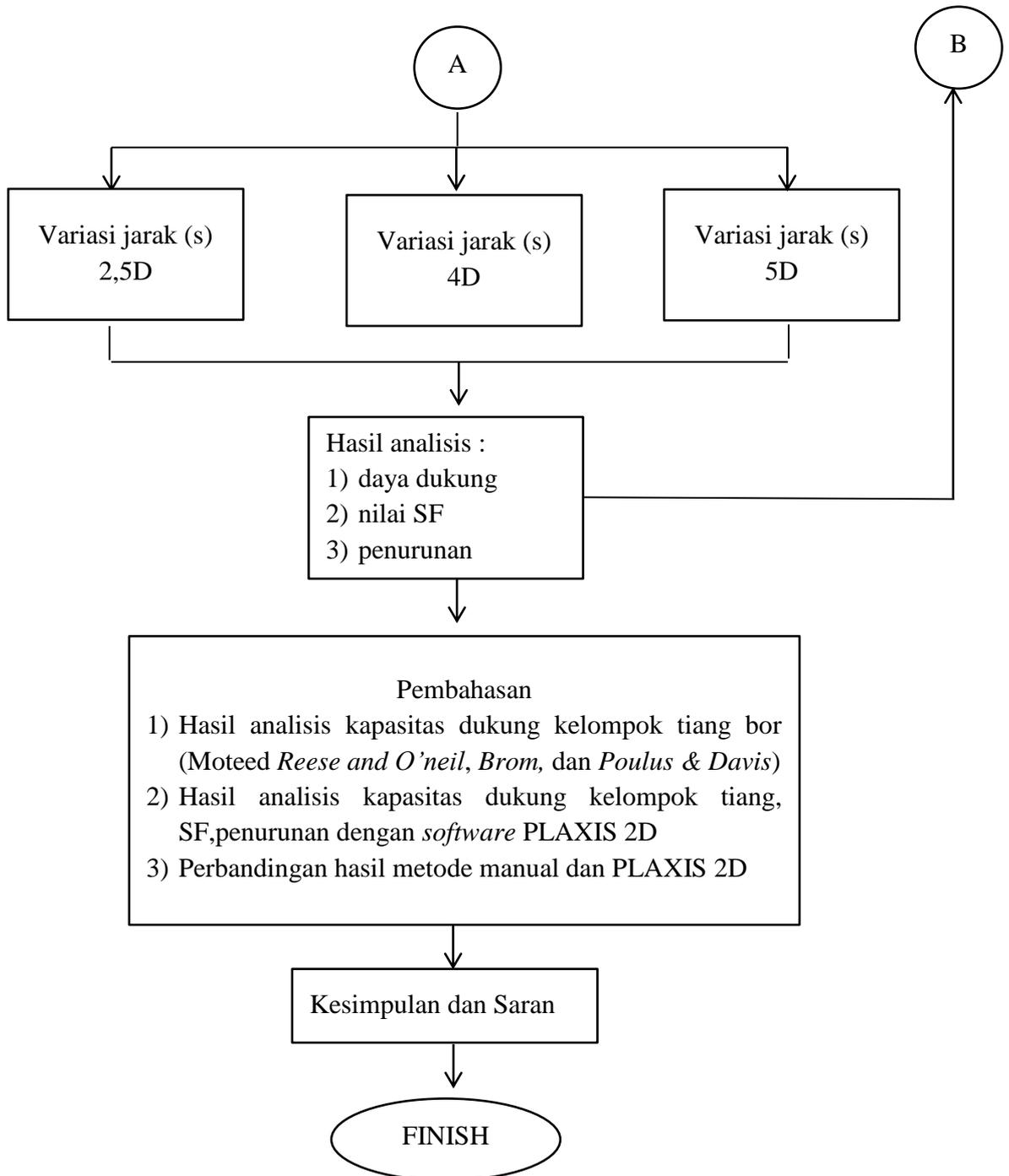
Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilewati untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, adapun langkah penelitian adalah sebagai berikut ini

1. Mempelajari dan mencari literature yang berkaitan dengan penelitian ini,
2. Pengumpulan data, yaitu tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam analisis, berupa data sekunder ataupun data primer,
3. Merumuskan permasalahan dan tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini,
4. Melakukan permodelan struktur pada *software* ETABS untuk analisis pembebanan,
5. Menentukan parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode manual dan PLAXIS 2D
6. Tahapan penulisan dan penarikan kesimpulan, pada tahap ini meliputi penulisan laporan berdasarkan aturan yang berlaku dan hasil pengolahan data. Pada tahap ini juga didapatkan kesimpulan dan saran.

#### **4.5 Bagan Alir penelitian**

Bagan alir (flowcar) merupakan langkah-langkah yang ditempuh dalam proses penelitian. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.





**Gambar 4.2 Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Data Proyek**

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh secara langsung dari pihak kontraktor Pelaksana proyek Swiss-Bell Hotel solo yaitu PT Sarana Bangun Perkasa. Adapun data sekunder yang digunakan pada penelitian ini antara lain data struktural berupa gambar rencana, data parameter tanah pengujian di laboratorium dan data penyelidikan tanah dilapangan dengan SPT (*standard Penetration Test*). Data parameter tanah pengujian di laboratorium dan data penyelidikan SPT dapat dilihat pada lampiran 2, sedangkan data struktural dapat dilihat pada lampiran 3.

Pada penelitian ini ,pondasi *bored pile* yang akan dilakukan analisis adalah kolom titik C16 atau pondasi tipe pc4a. Sebelum dilakukan analisis permodelan PLAXIS 2D dan perhitungan manual dengan menggunakan metode *Reese and O'neil, Broom* dan *Poulus & Davis*. Untuk itu diperlukan perhitungan pembebanan struktural untuk memperoleh besarnya gaya aksial kolom pada kolom titik C16. Gaya aksial kolom C16 didapatkan dengan melakukan analisis pembebanan menggunakan *software* ETABS.

#### **5.2 Data Karakteristik Tanah**

Penyelidikan tanah dilakukan berdasarkan penyelidikan tanah dilapangan dan pengujian *sample* tanah dilaboratorium. Pengujian dilapangan dilakukan dengan metode *Standart Penetration Test* (SPT) dibeberapa titik tertentu. Pada penelitian ini data SPT yang digunakan adalah data SPT pada titik BH1. Hasil penyelidikan tanah dilapangan dan hasil pengujian sample tanah dilaboratoirum dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Hasil pengujian tanah dilaboratorium titik BH 1**

Depth (m)	Titik BH1					
	w (%)	G	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	Direct Shear Test	
					C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (deegre)
-5.00	25,03	2,38	10,98	7,16	16,5	12.10
-10.00	32,72	2,67	15,79	11,47	5,88	26.94
-15.00	20,2	2,66	17,06	13,36	4,805	25
-20.00	35	2,65	18,34	14,2	4,906	36

depth (m)	deskripsi tanah	NV	kedalaman (m)	Sketsa kedalamn pondasi tiang
1	Pasir Berlempung (coklat, hitam)		2	
2		2		
3	Lanau kepasiran (coklat, hitam)		5	
4		3		
5				
6		17		
7				
8	Pasir Kasar (coklat, hitam)	28	4	
9				
10		26		
11				
12	Lanau Kepasiran (Coklat, hitam)	21	10	
13				
14		30		
15				
16		28		
17				
18		28		
19				
20		32		
21				
22	Pasir (coklat, abu-abu)	29	8	
23				
24		38		
25				
26		42		
27				
28		43		
29				
30	Pasir sedikit lempung (coklat, abu-abu)	48	3	
31				
32		50		
33	Pasir Kasar (coklat, abu-abu)		2	
34		58		
35				
36	Pasir kelanauan (coklat, abu-abu)	59	5	
37				
38		60		
39				

**Gambar 5.1 Geometri Struktur dan Lapisan Tanah Titik BH 1**

Dari gambar 5.1 pondasi berada pada kedalaman -12 m dibawah basemant. Dari tabel 5.1 tidak semua lapisan panah mempunyai data parameter tanah, sedangkan data yang diperlukan untuk analisis kapasitas dukung pondasi bore pile dengan metode Reese and O'neil, metode Broom, Poulus & Davis dan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) diantaranya :  $\gamma$  (berat volume basah),  $\gamma_{sat}$  (berat volume jenuh),  $\phi$  (sudut gesek dalam), modulus elastisitas (E), poisson ratio ( $\nu$ ), kohesi (c), permeabilitas (k) dan sudut dilatasi ( $\Psi$ ). Sehingga perlu dilakukan perhitungan secara teoritis dan pendekatan untuk mendapatkan data parameter tanah yang dibutuhkan.

**Tabel 5.2 Korelasi Berat Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk Tanah Non Kohesif**

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
N-SPT					
Fine	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	-
Medium	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	>40
Coorse	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	>45
$\phi$					
Fine	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	-
Medium	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	<50
Coorse	28 - 30	30 - 34	33 - 34	40 - 45	-
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

Sumber : Whitman dan Robert (1962)

Perhitungan parameter tiap lapisan tanah dapat dilakukan sebagai berikut :

1) Lapisan 1 -12 sampai 15 m (Lanau Kepasiran)

$$\text{Berat volume kering } (\gamma_d) = 13,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat volume basah } (\gamma) = 17,06 \text{ kN/m}^2$$

$$w (\%) = 40,2$$

$$G = 2,66$$

$$e = \frac{(G_s \times \gamma_w) - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{(2,66 \times 9,81) - 13,36}{13,36} = 0,953$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} = \frac{(2,66 \times 0,953) - 9,81}{1 + 0,953} = 18,147 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan 2 -15 sampai 20 m (Pasir)

$$\text{Berat volume kering } (\gamma_d) = 14,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat volume basah } (\gamma) = 18,34 \text{ kN/m}^2$$

$$w (\%) = 30$$

$$G = 2,65$$

$$e = \frac{(G_s \times \gamma_w) - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{(2,65 \times 9,81) - 14,2}{14,2} = 0,830$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} = \frac{(2,65 \times 0,830) - 9,81}{1 + 0,839} = 18,651 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan 3 -20 sampai 29 m (Lanau kepasiran)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh ( $\gamma_{\text{sat}}$ ) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah ( $G_s$ ) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan ( $S$ ) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,67$$

$$N\text{-SPT} = 38$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 19 - 9,81 = 9,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,67 - 1)9,81) - 9,19}{9,19} = 0,783$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,793}{2,67} = 22 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1 + e} = \frac{2,67 \times 9,81 (1 + 0,222)}{1 + 0,793} = 17,966 \text{ kN/m}^3$$

4) Lapisan 4 -29 sampai 32 m (Pasir sedikit lempung)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh ( $\gamma_{\text{sat}}$ ) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah ( $G_s$ ) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan ( $S$ ) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,674$$

$$N\text{-SPT} = 49$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 21 - 9,81 = 11,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,674 - 1)9,81) - 11,19}{11,9} = 0,468$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,468}{2,674} = 13,29 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1+e} = \frac{2,674 \times 9,81 (1+0,132)}{1+0,468} = 20,25 \text{ kN/m}^3$$

5) Lapisan 4 -29 sampai 32 m (Pasir sedikit lempung)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh ( $\gamma_{\text{sat}}$ ) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah ( $G_s$ ) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan ( $S$ ) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,68$$

$$N\text{-SPT} = 59$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 23 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 23 - 9,81 = 13,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,68 - 1)9,81) - 13,19}{13,19} = 0,249$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,249}{2,68} = 7,1 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1+e} = \frac{2,68 \times 9,81 (1+0,071)}{1+0,249} = 22,530 \text{ kN/m}^3$$

setelah didapatkan data parameter tanah yang dibutuhkan untuk analisis kapasitas dukung tiang bor pada tiap lapisan, maka analisis kapasitas dukung tiang bor dengan metode *Reese and O'neil*, *Brom* dan *PLAXIS 2D V8.6* dapat dilakukan. Data parameter tanah pada tiap lapisan dapat dilihat pada tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Data Parameter Tanah pada Tiap-Tiap Lapisan**

Titik BH1				
Depth (m)	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\varphi$ (degree)
-3	18,14744	17,06	4,806	25
-8	18,65151	18,34	4,905	36
-17	19	17,96632	4,806	35,5
-20	21	20,2499	4,806	41
-23	23	22,52989	4,806	43

### 5.3 Analisis Data

#### 5.3.1 Analisis Pembebanan

Data struktur yang digunakan pada proses analisis pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.4a dan Tabel 5.4b.

**Tabel 5.4a Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo**

Jumlah Lantai	11	Tingkat
Jumlah portal arah x	4	Buah
Jumlah portal arah y	7	Buah
Total tinggi bangunan	34,2	M
Tipikal balok	14	Buah
Tipikal kolom	30	Buah
Berat jenis beton	24	kN/m <sup>3</sup>
W	10	kN/m <sup>3</sup>
Struktur atas	30	Mpa
Pondasi	30	Mpa

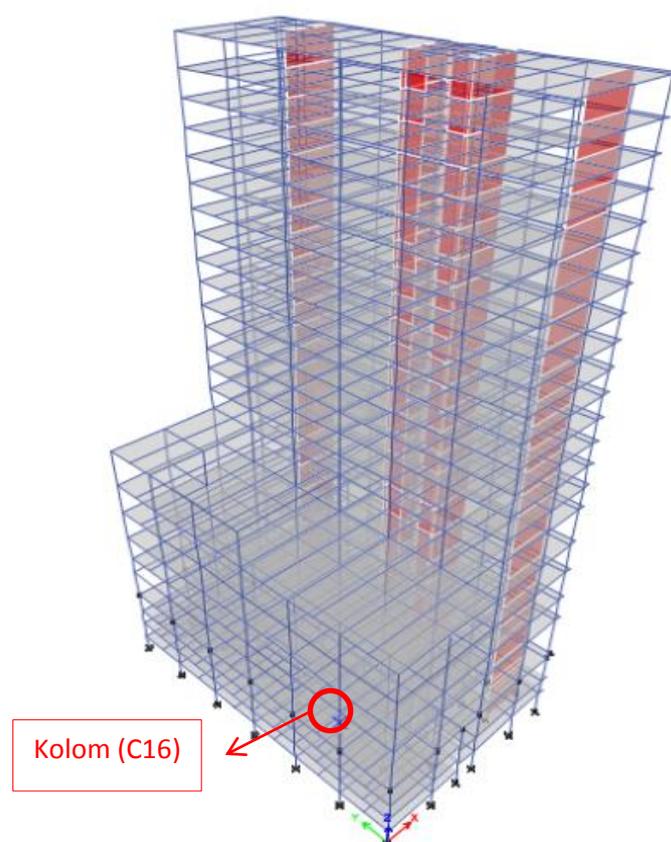
**Tabel 5.4b Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo**

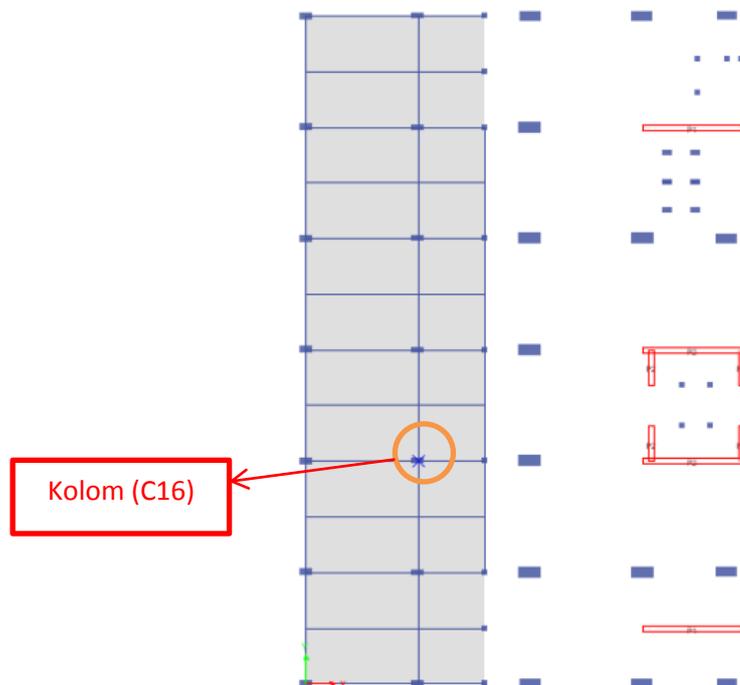
variasi jarak (s)	Rekapitulasi	A (m <sup>2</sup> )	I	EA	EI
			(m <sup>4</sup> )	(kN)	(kNm <sup>2</sup> )
2,5D	Pile cap	20,25	34,171	521294944,1	879685218
	Bore pile	1,57	0,05159	40416447,52	1328300,02
2D	Pile cap	16	21,333	411887363,2	549183151
	Bore pile	1,57	0,0806	40416447,52	2075468,78

**Lanjutan Tabel 5.4b Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo**

variasi jarak (s)	Rekapitulasi	A (m <sup>2</sup> )	I	EA	EI
			(m <sup>4</sup> )	(kN)	(kNm <sup>2</sup> )
4D	Pile cap	36	108	926746567,3	2780239702
	Bore pile	1,57	0,0201	40416447,52	518867,195
5D	Pile cap	49	200,083	1261405050	5150737287
	Bore pile	1,57	0,01289	40416447,52	332075,005

Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban aksial kolom pada kolom titik C16. Pada proses analisis pembebanan digunakan pedoman SNI-1727 2013 tentang peraturan pembebanan indonesia untuk gedung dan bangunan lain. Permodelan serta analisis pembebanan dengan menggunakan *software* ETABS dapat dilihat pada Gambar 5.2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.3.

**Gambar 5.2 Permodelan Struktur pada *Software* ETABS**



**Gambar 5.3 Tampak Atas Basemant 1 pada *Software* ETABS**

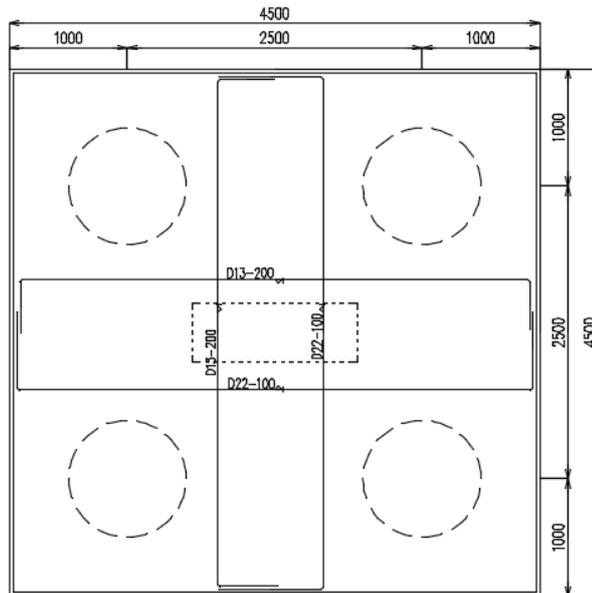
Dari hasil output ETABS diperoleh gaya-gaya maksimum akibat kombinasi beban pada kolom (c16).

Beban aksial (P) = 6084,74 kN

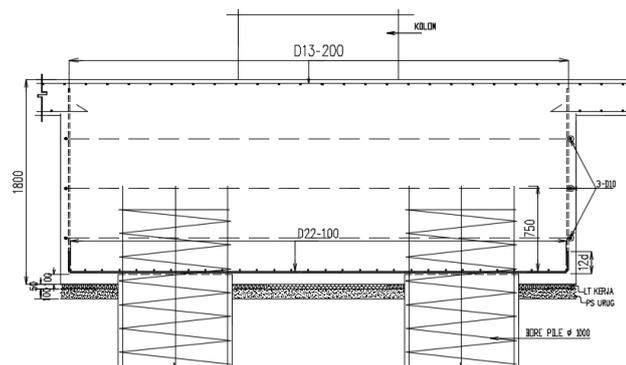
Gaya geser (V) = 89,459 kN

Moment (M) = 98,689 kN.m

Setelah didapatkan gaya-gaya maksimum pada titik yang ditinjau, dilakukan pengecekan pada gambar struktur untuk mengetahui geometri pondasi yang berada tepat dititik tersebut. Sehingga nantinya geometri pada kolom titik C16 tersebutlah yang digunakan pada analisis daya dukung pondasi. Geometri pondasi pada kolom titik C16 dengan menggunakan tipe pondasi PC4a dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



**Gambar 5.4 Tampak Atas Geometri Pondasi Tipe PC 4a**



**Gambar 5.5 Potongan Melintang Pondasi Tipe PC 4a**

### 5.3.2 Analisis Data dengan Metode Reese & O'neil

#### 1. Tahanan ujung ultimit

Berdasarkan metode Reese & O'neil, perhitungan tahanan ujung neto tiang bor dengan menggunakan Persamaan 3.10 dan perhitungan besarnya tahanan ujung ultimit dengan menggunakan Persamaan 3.11.

##### a. Luas dasar tiang (Ab)

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_b = 0,785 \text{ m}^2$$

b. Tahanan ujung neto per satuan luas

$$fb = 0,6 \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$fb = 0,6 \times 100 \times 54$$

$$fb = 3240 \text{ kN/m}^2$$

c. Tahanan ujung ultimit

$$Q_b = A_b \times fb$$

$$Q_b = 0,785 \times 3240$$

$$Q_b = 2543,4 \text{ kN}$$

Perhitungan tahanan ujung tiap variasi jarak didapatkan hasil yang sama. Hal ini disebabkan karena diameter tiang tiang bor yang digunakan untuk perhitungan masing-masing variasi jarak sama.

2. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan tahanan gesek satuan menggunakan persamaan 3.13 dan besarnya tahanan gesek ultimit menggunakan persamaan 3.17.

a. Luas selimut tiang ( $A_s$ )

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times h$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$A_s = \pi \times d \times (h_2 - h_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 3)$$

$$A_s = 15,7 \text{ m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$A_s = \pi \times d \times (h_3 - h_2)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (17 - 8)$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$A_s = \pi \times d \times (h_4 - h_3)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (20 - 17)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$A_s = \pi \times d \times (h_5 - h_4)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

b. Tekanan *overburden* di tengah-tengah lapisan tanah

Perhitungan tekanan *overburden* menggunakan persamaan 3.14.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$p'_{0-3} = h_1 \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)$$

$$p'_{0-3} = 3 \times (18,15 - 9,81)$$

$$p'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$p'_{3-8} = (h_2 - h_1) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{0-3}$$

$$p'_{3-8} = (8 - 3) \times (18,65 - 9,81) + 25,02$$

$$p'_{3-8} = 69,22 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$p'_{8-17} = (h_3 - h_2) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{3-8}$$

$$p'_{8-17} = (17 - 8) \times (19 - 9,81) + 69,22$$

$$p'_{8-17} = 151,93 \text{ kN/m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$p'_{17-20} = (h_4 - h_3) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{8-17}$$

$$p'_{17-20} = (20 - 17) \times (21 - 9,81) + 151,93$$

$$p'_{17-20} = 185,5 \text{ kN/m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$p'_{20-23} = (h_5 - h_4) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{17-20}$$

$$p'_{20-23} = (23 - 20) \times (23 - 9,81) + 185,5$$

$$p'_{20-23} = 225,07 \text{ kN/m}^2$$

c. Tekanan *overburden* di tengah lapisan tanah rata-rata

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{0-3}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 25,02$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 12,51 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{0-3} + p'_{3-8}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 25,02 + 69,22$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 47,12 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{3-8} + p'_{8-17}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 69,22 + 151,93$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 110,575 \text{ kN/m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{8-17} + p'_{17-20}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 151,93 + 185,5$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 168,715 \text{ kN/m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{17-20} + p'_{20-23}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 185,5 + 225,05$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 205,285 \text{ kN/m}^2$$

untuk perhitungan tekanan overburden dan luas selimut tiap-tiap variasi didapatkan sama. Hal ini disebabkan karena diameter dan tinggi muka air tiap variasi jarak (s) adalah sama. Rekapitulasi perhitungan luas selimut dan tekanan *overburden* dapat dilihat pada tabel 5.5.

**Tabel 5.5 Rekapitulasi perhitungan tekanan *overburden***

Kedalaman (m)	As (m <sup>2</sup> )	P'o (kN/m <sup>2</sup> )	P'o rata-rata (kN/m <sup>2</sup> )
3	9,42	25,02	12,51
8	15,7	69,22	47,12
17	28,26	151,93	110,57
20	9,42	185,5	168,71
23	9,42	225,07	205,285

d. Perhitungan koefisien  $\beta$

Perhitungan koefisien  $\beta$  tiap lapisan tanah akan digunakan persamaan 3.16a

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{1,5}$$

$$\beta = 1,999$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{5,5}$$

$$\beta = 0,925$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{12,5}$$

$$\beta = 0,633$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{18,5}$$

$$\beta = 10,446$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{21,5}$$

$$\beta = 0,363$$

e. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan nilai tahanan gesek ultimit dengan menggunakan persamaan 3.17 adalah sebagai berikut.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,199 \times 12,51$$

$$Q_s = 141,405 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 15,7 \times 0,925 \times 47,12$$

$$Q_s = 684,613 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 28,26 \times 0,633 \times 110,575$$

$$Q_s = 1980,511 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,446 \times 168,715$$

$$Q_s = 709,167 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,363 \times 205,285$$

$$Q_s = 703,862 \text{ kN}$$

Karena variasi jarak tiang tidak berpengaruh terhadap perhitungan koefisien  $\beta$  dan tahanan gesek ultimit, sehingga bersamanya nilai koefisien  $\beta$  dan tahanan gesek ultimit adalah sama.

3. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

a. Efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ )

perhitungan efisiensi tiang ( $E_g$ ) dengan menggunakan persamaan 3.23.

1) Variasi jarak ( $s$ ) 2,5D

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

$$E_g = 1 - \left( \text{arc tg } \frac{1}{2,5} \right) \times \frac{(2-1) 2 + (2-1) 2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$E_g = 0,757$$

2) Variasi jarak ( $s$ ) 2D

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

$$Eg = 1 - (\text{arc tg } \frac{1}{2}) \times \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,7048$$

3) Variasi jarak (s) 4D

$$Eg = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$Eg = 1 - (\text{arc tg } \frac{1}{4}) \times \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,844$$

4) Variasi jarak (s) 5D

$$Eg = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$Eg = 1 - (\text{arc tg } \frac{1}{5}) \times \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,874$$

b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.20 dan Persamaan 3.22.

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 23 \times 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - H_w) \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times (23 - 0) \times 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$W_p' = 433,32 - 177,119$$

$$W_p' = 256,2005$$

c. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan Persamaan 3.19. dan perhitungan faktor aman menggunakan Persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - Wp'$$

$$Q_u = 2543,4 + 4219,561 - 256,2005$$

$$Q_u = 6506,761 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{(6506,761)}{2,5}$$

$$Q_{all} = 2602,704 \text{ kN}$$

d. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal menggunakan Persamaan 3.33. Variasi jarak (s) 2,5D

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

$$Q_g = 2602,704 \times 4 \times 0,750$$

$$Q_g = 7888,171 \text{ kN}$$

**Tabel 5.6 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal**

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
2,5D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,75	2602,7	7888,92	aman
4D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,84	2602,7	8787,16	aman
5D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,87	2602,7	9102,53	aman

4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang (s/d), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 4 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

## a. Variasi jarak 2,5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$$

## b. Variasi jarak 4D

- 1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

1. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$$

## c. Variasi jarak 5D

2. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

3. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok.

Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geometri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.3.

d. Mencari luas ujung tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

e. Mencari luas selimut tiang ( $A_s$ )

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

f. Mencari nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan *overburden* tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan *overburden* untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal. Rekapitulasi besar nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah dapat dilihat pada tabel 5.5.

g. Perhitungan tahanan gesek tiang

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 12,51$$

$$Q_s = 25,12 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 47,12$$

$$Q_s = 197,568 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 110,575$$

$$Q_s = 450,654 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 168,117$$

$$Q_s = 921,925 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 205,285$$

$$Q_s = 1236,704 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D, dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor**

variasi jarak (s)	z (m)	AS (m <sup>2</sup> )	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5D	3	14	25,125	2831,98
	8	14	197,568	
	17	14	450,654	
	20	14	921,925	
	23	14	1236,7	
4D	3	20	35,893	4045,68
	8	20	282,24	
	17	20	643,792	
	20	20	1317,07	
	23	20	1766,18	

**Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor**

variasi jarak (s)	z (m)	AS (m <sup>2</sup> )	Qs (kN)	Qs total (kN)
5D	3	24	43,07	4854,82
	8	24	338,68	
	17	24	772,55	
	20	24	1580,44	
	23	24	2120,06	

h. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (qp)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Qp) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dan didapatkan hasil Qp sebesar 2543,4 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / S_f$$

$$q_p = \frac{2543,4}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 1296 \text{ kN/m}^2$$

i. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas (fs)

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d + \Delta L) + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d + \Delta L} / S_f$$

$$f_s = \frac{2831,978}{\pi \times 1 + 23} / 2,5$$

$$f_s = 15,685 \text{ kN/m}^2$$

j. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-*

*labarre* pada persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ ) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada tabel 5.6.

Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = L_g \times B_g \times q_p + (\Sigma 2 \times (L_g + B_g) \times \Delta L \times f_s)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 3,5 \times 3,5 \times 1296 + (\Sigma 2 \times (3,5 + 3,5) \times 23 \times 15,685)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 20926,662 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

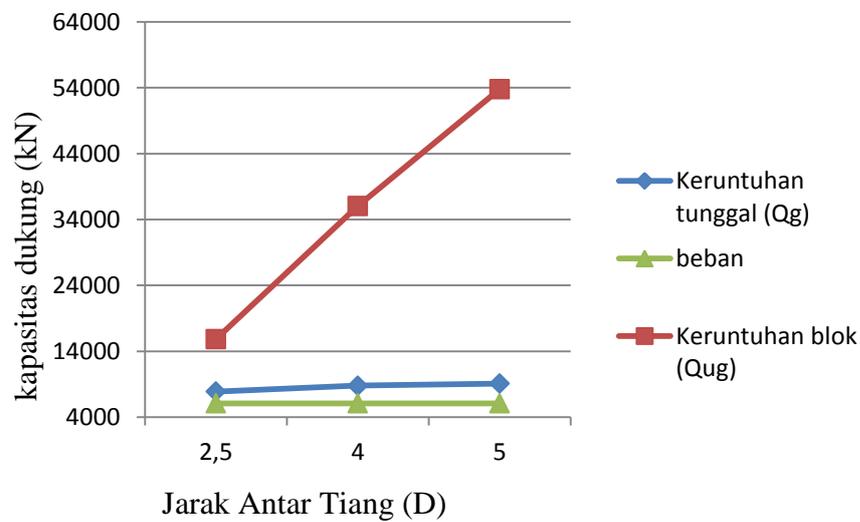
$$Q_{ug} = 20926,662 \times 0,757$$

$$Q_{ug} = 15857,431 \text{ kN}$$

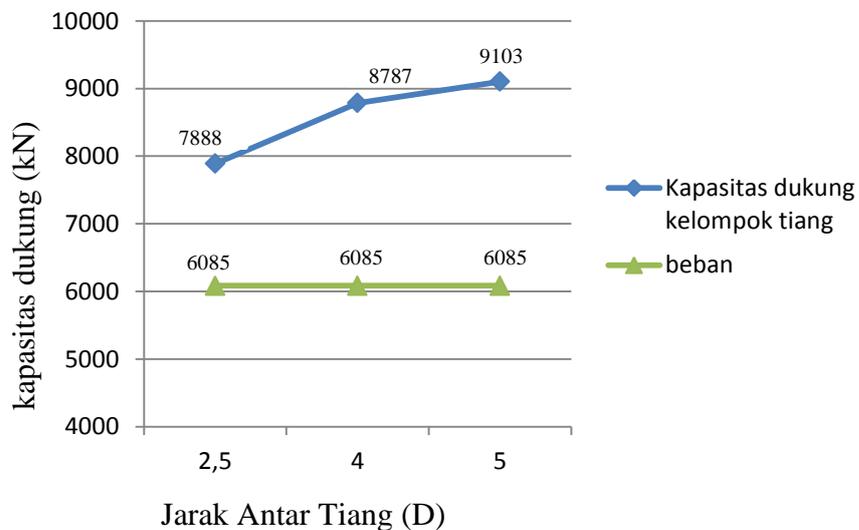
Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.6.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok**

variasi (s)	Nilai		perbandingan	digunakan	Ket
2,5D	Qg(Kn)	7888,92	Qug > Qg	Qg	Aman
	Qug(Kn)	15857,4			
4D	Qg(Kn)	8787,16	Qug > Qg	Qg	Aman
	Qug(Kn)	36046,9			
5D	Qg(Kn)	9102,53	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	53770,5			



**Gambar 5.6 Rekapitulasi Kapasitas Dukung keruntuhan Tunggal dan Kapasitas Dukung Keruntuhan Blok**



**Gambar 5.7 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode Reese and O'neil**

### 5.3.3 Analisis Data Dengan Metode Brom

Parameter data tanah dan gambar geometri struktur yang digunakan pada perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang dengan menggunakan rumus Brom

dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.1. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada variasi jarak 2,5D.

**Tabel 5.9 Data Parameter tanah perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang metode Brom**

kedalaman (m)	lapisan tanah	$\phi$ (degree)	$\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )
3	lanau kepasiran	25	17,06	18,15
8	lanau kepasiran	36	18,36	18,65
17	Pasir	35,5	17,96	19
20	pasir sedikit lempung	41	20,25	21
23	pasir kasar	43	22,53	23

#### 1. Tahanan ujung ultimit

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit dengan metode *Brom* digunakan Persamaan 3.24. besarnya nilai  $N_q$  didapat dari gambar 3.4 dan nilai tekanan *overburden* dihitung sampai kedalaman kritis ( $z_c$ ). Nilai tahanan ujung satuan ( $f_b$ ) tidak boleh melebihi maksimum 10700 kN/m<sup>2</sup>. Berikut perhitungan tahanan ujung ultimit pada variasi jarak 2,5D.

##### 1) Luas dasar tiang ( $A_b$ )

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_b = 0,785 \text{ m}^2$$

##### 2) Perhitungan tekanan *overburden* dengan kedalaman 7D

###### 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$P'_{0-3} = h_1 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

$$P'_{0-3} = 3 \times (18,15 - 9,81)$$

$$P'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

###### 2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$p'_{3-7} = (h_2 - h_1) \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) + p'_{0-3}$$

$$p'_{3-7} = (7-3) \times (18,65 - 9,81) + 25,02$$

$$p'_{3-7} = 60,38 \text{ kN/m}^2$$

3) Tahanan ujung ultimit (Qb)

$$N_q = 165$$

$$Q_b = A_b \times p_b' \times N_q$$

$$Q_b = 0,785 \times 60,38 \times 165$$

$$Q_b = 7820,72 \text{ kN}$$

Cek terhadap batasan tahanan ujung satuan maksimum

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$f_b = \frac{7820,72}{0,785}$$

$$f_b = 9962,7 \text{ kN/m}^2 \leq 10700 \text{ kN/m}^2$$

Dari perhitungan diatas, besarnya tahanan ujung satuan tidak melebihi tahanan ujung satuan maksimum. Sehingga tahanan ujung ultimit (Qb) = 7820,72 kN dapat dipakai. Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit pada variasi jarak (s) 4D dan 5D didapat hasil yang sama.

2. Tahanan gesek ultimit

Berikut tahapan perhitungan tahanan gesek ultimit dengan cara *broom* menggunakan persamaan 3.26.

a. Luas selimut tiang

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times h$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$A_s = \pi \times d \times (h_2 - h_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (7 - 3)$$

$$A_s = 12,56 \text{ m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-19 sampai -20)

$$A_s = \pi \times d \times (h_3 - h_2)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 7)$$

$$A_s = 3,14 \text{ m}^2$$

- 4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-20 sampai -29)

$$A_s = \pi \times d \times (h_4 - h_3)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (17 - 8)$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}^2$$

- 5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 m (-29 sampai -32)

$$A_s = \pi \times d \times (h_5 - h_4)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (20 - 17)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

- 6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 m (-32 sampai -35)

$$A_s = \pi \times d \times (h_6 - h_5)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

Untuk perhitungan luas selimut tiang pada variasi 4D dan 5D diperoleh hasil yang sama, karena diameter tiang yang digunakan sama.

- b. Perhitungan  $K_d \text{ tg } \delta$

Nilai - nilai dari  $\delta$  dan  $K_d$  diperoleh dari pendekatan pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8. Perhitungan  $K_d \text{ tg } \delta$  dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5.10 Perhitungan  $K_d \text{ tg } \delta$**

kedalaman (m)	Kepdatan	$\phi$	Kd	Reduksi $\phi$	$\delta$ (degree)	$K_d \text{ tg } \delta$
3	Padat	25	2	0,75 $\phi$	18,75	0,678909
7	Padat	36	2	0,75 $\phi$	27	1,019051
8	Padat	36	2	0,75 $\phi$	27	1,019051
17	Padat	35,5	2	0,75 $\phi$	26,625	1,002617
20	Padat	41	2	0,75 $\phi$	30,75	1,189875
23	sangat padat	43	2	0,75 $\phi$	32,25	1,261906

- c. Perhitungan tahanan gesek ultimit ( $Q_s$ )

Perhitungan tahanan gesek ultimit menggunakan persamaan 3.26

- 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times (0,5 \times p'_{0-3})$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,678 \times (0,5 \times 25,02)$$

$$Q_s = 80,005 \text{ kN}$$

- 2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times (0,5 \times (p'_{0-3} + p'_{3-7}))$$

$$Q_s = 12,56 \times 1,019 \times (0,5 \times (25,02 + 60,38))$$

$$Q_s = 546,529 \text{ kN}$$

- 3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-19 sampai -20)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 3,14 \times 1,019 \times 60,38$$

$$Q_s = 193,205 \text{ kN}$$

- 4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-20 sampai -29)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 28,26 \times 1,002 \times 60,38$$

$$Q_s = 1710,805 \text{ kN}$$

- 5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 m (-29 sampai -32)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,189 \times 60,38$$

$$Q_s = 676,776 \text{ kN}$$

- 6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 m (-32 sampai -35)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,261 \times 60,38$$

$$Q_s = 717,746 \text{ kN}$$

Cek terhadap tahanan gesek ultimit maksimum

$$f_s = K_d \times \text{tg } \delta \times \overline{P_0}$$

$$f_s = 1,261 \times 60,38$$

$$f_s = 76,193 \text{ kN/m}^2 \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan diatas diperoleh total tahanan gesek ultimit ( $\Sigma Q_s$ ) sebesar 3925,067 kN. Untuk variasi jarak 4D dan 5D dapat hasil tahanan gesek ultimit yang sama karena tidak dipengaruhi oleh jarak antar tiang.

### 3. Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal

#### a. Efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ )

Perhitungan efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ ) menggunakan rumus *converst – labarre* yang dapat dilihat pada persamaan 3.23. Berikut contoh perhitungan efisiensi kelompok tiang bor pada variasi 2,5D. Untuk nilai efisiensi kelompok tiang ( $E_g$ ) pada variasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.11.

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

$$E_g = 1 - \left( \text{arc tg } \frac{1}{2,5} \right) \times \frac{(2-2)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$E_g = 0,757$$

#### b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang bor dilakukan menggunakan Persamaan 3.20 dan Persamaan 3.21.

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 23 \times 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - H_w) \times \gamma_w$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times (23 - 0) \times 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$Wp' = 433,32 - 177,119$$

$$Wp' = 256,2005$$

c. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.19 dan perhitungan faktor aman menggunakan persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - Wp'$$

$$Q_u = 7820,72 + 3925,067 - 256,2005$$

$$Q_u = 11489,59 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{11489,59}{2,5}$$

$$Q_{all} = 4595,835 \text{ kN}$$

4) Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Perhitungan kapasitas kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dilakukan menggunakan persamaan 3.38. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal pada variasi ajrak 2,5D.

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

$$Q_g = 4595,835 \times 4 \times 0,750$$

$$Q_g = 13930,2 \text{ kN}$$

Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dapat dilihat pada tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal**

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
2,5D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,75	4595,8	13930,2	aman

**Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal**

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
4D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,84	4595,8	15516,3	aman
5D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,87	4595,8	16073,2	aman

4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang ( $s/d$ ), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

a. Variasi jarak 2,5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$$

b. Variasi jarak 4D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 \times 1$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$

c. Variasi jarak 5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5d$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 \times 1$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok. Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geometri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada tabel 5.3

a. Mencari luas ujung tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

b. Mencari luas selimut tiang ( $A_s$ )

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

c. Mencari nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan overburden tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan overburden untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal.

d. Perhitungan tahanan gesek tiang

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 12,51$$

$$Q_s = 25,12 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-19)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 42,7$$

$$Q_s = 179,03 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 60,38$$

$$Q_s = 153,166 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 (-29)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 60,38$$

$$Q_s = 246,08 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 60,38$$

$$Q_s = 329,94 \text{ kN}$$

6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 60,38$$

$$Q_s = 363,748 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi perhitungan tahanan gesek tiang bor**

variasi jarak (s)	z (m)	As (m <sup>2</sup> )	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5	3	14	25,12	1397,1
	7	14	179,036	
	8	14	253,16	
	17	14	246,08	
	20	14	329,94	
	23	14	364,748	
4	3	20	35,893	1995,86
	7	20	255,765	
	8	20	361,666	
	17	20	351,546	
	20	20	471,34	
	23	20	519,64	
5	3	24	43,07	2395,03
	7	24	306,918	
	8	24	433,99	
	17	24	421,855	
	20	24	565,612	
	23	24	623,56	

e. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (qp)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Qp) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dab didapatkan hasil Qp sebesar 7820,72 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / SF$$

$$q_p = \frac{7820,7}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 3985,08 \text{ kN/m}^2$$

- a. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas ( $f_s$ )

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d) + \Delta L + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d \times \Delta L} / SF$$

$$f_s = \frac{1397,099}{\pi \times 1 \times 23} / 2,5$$

$$f_s = 8,920 \text{ kN/m}^2$$

- b. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-labarre* pada Persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ ) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada tabel 5.11.

- c. Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = L_g \times B_g \times q_p + (\Sigma 2 \times (L_g + B_g) \times \Delta L \times f_s)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 2,5 \times 2,5 \times 3986,08 + (\Sigma 2 \times (2,5 + 2,5) \times 23 \times 8,920)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 26958,43 \text{ kN}$$

- d. Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

$$Q_{ug} = 26958,43 \times 0,757$$

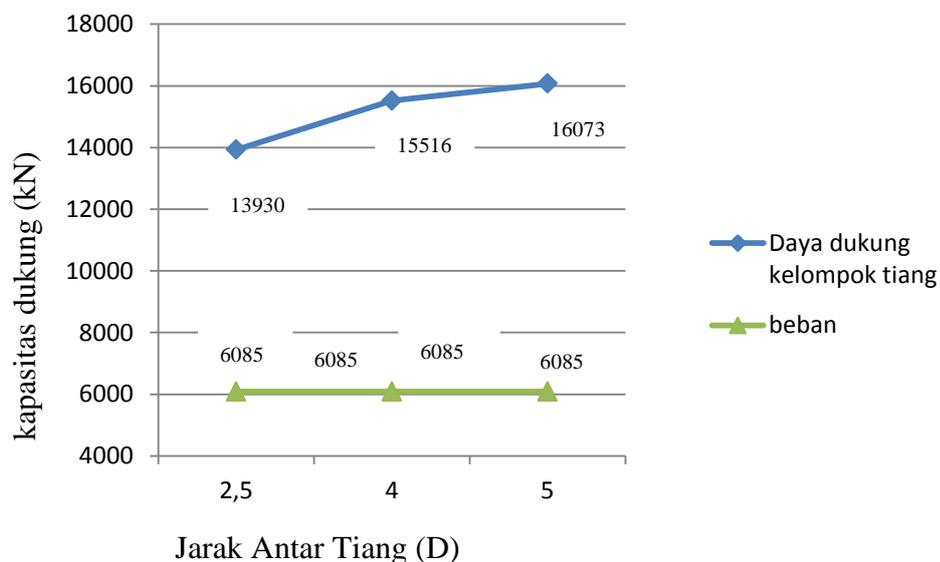
$$Q_{ug} = 20428,08 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapsitas dukung

kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Gambar 5. 8.

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok**

variasi jarak (s)	Nilai		perbandingan	Digunakan	Ket
2,5D	Qg(kN)	13930,2	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	38879,9			
4D	Qg(kN)	15516,3	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	88381,2			
5D	Qg(kN)	16073,2	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	131837			



**Gambar 5.8 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung ijin kelompok tiang bor dengan metode *Brom***

### 5.3.4 Analisis Data dengan Metode *Poulos dan Davis*

#### 1. Tahanan ujung ultimit

##### a. Mencari nilai $\phi'$

Untuk penentuan  $N_q$  dan  $z_c/d$  nilai sudut gesek tanah asli ( $\phi$ ) untuk tiang bor direduksi dengan menggunakan Persamaan 3.30.

##### 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 25 - 3^\circ$$

$$\phi' = 22^\circ$$

##### 2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 36 - 3^\circ$$

$$\phi' = 33^\circ$$

##### 3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 35,5 - 3^\circ$$

$$\phi' = 21,5^\circ$$

##### 4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 41 - 3^\circ$$

$$\phi' = 38^\circ$$

##### 5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 43 - 3^\circ$$

$$\phi' = 40^\circ$$

##### b. Mencari nilai tekanan *overburden*

Nilai  $z_c/d$  didapat dari Gambar 3.6 hubungan  $z_c/d$  dengan  $\phi'$ . Setelah didapat nilai  $z_c/d$  kemudian dilakukan perhitungan kedalaman kritis untuk tiap lapisan tanah.

##### 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 5 \times 1$$

$$z_c = 5 \text{ m}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 6 \times 1$$

$$z_c = 6 \text{ m}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 5,9 \times 1$$

$$z_c = 5,9 \text{ m}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 8,3 \times 1$$

$$z_c = 8,3 \text{ m}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 14,1 \times 1$$

$$z_c = 14,1 \text{ m}$$

Nilai  $z_c/d$  untuk perhitungan tekanan *overburden* digunakan kedalaman kritis sebesar 8,3 m.

c. Luas selimut tiang ( $A_s$ )

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times H$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$A_s = \pi \times d \times (H_2 - H_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 3)$$

$$A_s = 15,7 \text{ m}$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$A_s = \pi x d x \text{ (H3-H2)}$$

$$A_s = \pi x 1 x \text{ (17-8)}$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}$$

4. Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$A_s = \pi x d x \text{ (H4-H3)}$$

$$A_s = \pi x 1 x \text{ (20-17)}$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

5. Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$A_s = \pi x d x \text{ (H5-H4)}$$

$$A_s = \pi x 1 x \text{ (23-20)}$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

- d. Perhitungan tekanan *overbudren*

Perhitungan tekanan *overdurden* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.14.

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$P'_{0-3} = (\gamma_t - \gamma_w) \times H$$

$$P'_{0-3} = (18,15 - 9,81) \times 3$$

$$P'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$P'_{3-8} = (\gamma_t - \gamma_w) \times (H_2 - H_1) + P'_{0-3}$$

$$P'_{3-8} = (18,65 - 9,81) \times (8 - 3) + 25,02$$

$$P'_{3-8} = 69,22 \text{ kN/m}^2$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 8,3 m (-20,3)

$$P'_{8-8,3} = (\gamma_t - \gamma_w) \times (H_3 - H_2) + P'_{3-8}$$

$$P'_{8-8,3} = (19 - 9,81) \times (8,3 - 8) + 69,22$$

$$P'_{3-8} = 71,977 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan Gambar 3.5 tekanan *overburden* bertambah sampai kedalaman kritis ( $z_c$ ) kemudian untuk kedalaman dibawah  $z_c$  nilai *overburden* efektifnya konstan (yaitu sama dengan tekanan *overburden* efektif pada kedalaman  $z_c$ ).

e. Perhitungan tahanan ujung ultimit

Perhitungan tahanan ujung ultimit dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.28. Nilai  $N_q$  diperoleh dari perbandingan  $\phi$  dan  $N_q$  pada Gambar 3.4. Besarnya nilai  $N_q$  yang digunakan adalah 148

$$Q_b = A_b \times P'_b \times N_q$$

$$Q_b = 0,785 \times 71,977 \times 148$$

$$Q_b = 8362,288 \text{ kN}$$

Cek terhadap batasan tahanan ujung per satuan luas maksimum menggunakan Persamaan 3.29

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$f_b = \frac{8362,288}{0,785}$$

$$f_b = 10652,6 \text{ kN/m}^2 \leq 10700 \text{ kN/m}^2$$

Untuk tahanan ujung ultimit untuk variasi jarak 4D, dan 5D diperoleh hasil yang sama karena jarak tiang ( $s$ ) tidak berpengaruh untuk perhitungan tahanan ujung ultimit.

2. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan tahanan gesek ultimit dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.31

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 25,02 \times 0,15$$

$$Q_s = 35,353 \text{ kN}$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 15,7 \times 69,22 \times 0,21$$

$$Q_s = 228,218 \text{ kN}$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times P_o' \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 28,26 \times 71,977 \times 0,2$$

$$Q_s = 406,814 \text{ kN}$$

4. Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times P_o' \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 71,977 \times 0,4$$

$$Q_s = 271,209 \text{ kN}$$

5. Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times P_o' \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 71,977 \times 0,4$$

$$Q_s = 271,209 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek ultimit tiap variasi jarak 4D, dan 5D diperoleh hasil yang sama, karena jarak tiang tidak berpengaruh dalam perhitungan tahanan gesek ultimit tiang. Rekapitulasi perhitungan tahanan gesek ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Ultimit**

z (m)	$\varphi$	Kd tg $\delta$	As (m <sup>2</sup> )	Po' (kN/m <sup>2</sup> )	Qs (kN)	$\Delta$ Qs (kN)
3	25	0,25	9,42	25,02	35,353	1212,804
8	36	0,21	15,7	69,22	228,218	
17	35,5	0,2	28,26	71,977	406,814	
20	41	0,4	9,42	71,977	271,209	
23	43	0,4	9,42	71,977	271,209	

3. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal
- a. Efisiensi kelompok tiang bor (Eg)

Perhitungan efisiensi tiang bor ( $E_g$ ) dilakukan dengan cara yang sama seperti metode Reese & O'neil dan Brom sehingga didapatkan hasil yang sama.

b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.20 dan persamaan 3.21.

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 23 \times 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - H_w) \times \gamma_w$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times (23 - 0) \times 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$W_p' = 433,32 - 177,119$$

$$W_p' = 256,2005$$

d. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.19 dan perhitungan faktor aman menggunakan persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p'$$

$$Q_u = 8362,288 + 1212,804 - 256,2005$$

$$Q_u = 9318,892 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{9318,892}{2,5}$$

$$Q_{\text{all}} = 3727,557 \text{ kN}$$

5) Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Perhitungan kapasitas kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dilakukan menggunakan persamaan 3.38. berikut contoh perhitungan  $Q_g$  pada variasi jarak (s) 2,5D

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

$$Q_g = 3727,557 \times 4 \times 0,75$$

$$Q_g = 11298,4$$

Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal pada variasi 4D dan 5D dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang berdasarkan Keruntuhan Tunggal**

Variasi jarak (s)	$Wp'$ (kN)	$Q_b$ (kN)	$Q_s$ (kN)	$Q_{ult}$ (kN)	$E_g$	$Q_{all}$ (kN)	$Q_g$ (kN)	KET
2,5D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,75	3727,5	11298,4	aman
4D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,84	3727,5	12584,5	aman
5D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,87	3727,5	13036,5	aman

#### 4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang ( $s/d$ ), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

##### a. Variasi jarak 2,5D

##### 1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

##### 2) Jarak kritis

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5d$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 \times 1$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$

b. Variasi jarak 4D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

2) Jarak kritis

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5d$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 \times 1$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$

c. Variasi jarak 5D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

2) Jarak kritis

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5d$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 \times 1$

Jarak kritis tiang  $3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok. Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geometri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.3.

d. Mencari luas ujung tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

e. Mencari luas selimut tiang ( $A_s$ )

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

f. Mencari nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan *overburden* tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan *overburden* untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal.

g. Perhitungan tahanan gesek tiang

6) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 25,02$$

$$Q_s = 50,251 \text{ kN}$$

7) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 69,22$$

$$Q_s = 290,231 \text{ kN}$$

8) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 71,977$$

$$Q_s = 293,346 \text{ kN}$$

9) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 71,977$$

$$Q_s = 393,31 \text{ kN}$$

10) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 71,97$$

$$Q_s = 433,612 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor**

variasi jarak (s)	z (m)	AS (m <sup>2</sup> )	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5D	3	14	50,251	1460,7
	8	14	290,231	
	17	14	293,346	
	20	14	393,31	
	23	14	433,612	
5D	3	24	86,14	2504,14
	8	24	497,53	
	17	24	502,87	
	20	24	674,24	
	23	24	743,33	
4D	3	20	71,787	2086,78
	8	20	414,61	
	17	20	419,06	
	20	20	561,87	
	23	20	619,066	

h. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (qp)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Qp) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dan didapatkan hasil Qp sebesar 8362,28 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / SF$$

$$q_p = \frac{8362,28}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 4261,038 \text{ kN/m}^2$$

- i. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas ( $f_s$ )

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d) + \Delta L + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d + \Delta L} / SF$$

$$f_s = \frac{1460,75}{\pi \times 1 + 23} / 2,5$$

$$f_s = 8,09 \text{ kN/m}^2$$

- j. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-labarre* pada persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor ( $E_g$ ) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada Tabel 5.15.

- k. Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = L_g \times B_g \times q_p + (\Sigma 2 \times (L_g + B_g) \times \Delta L \times f_s)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 3,5 \times 3,5 \times 4261,03 + (\Sigma 2 \times (3,5 + 3,5) \times 23 \times 8,09)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 54802,88 \text{ kN}$$

- l. Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

$$Q_{ug} = 54802,88 \times 0,757$$

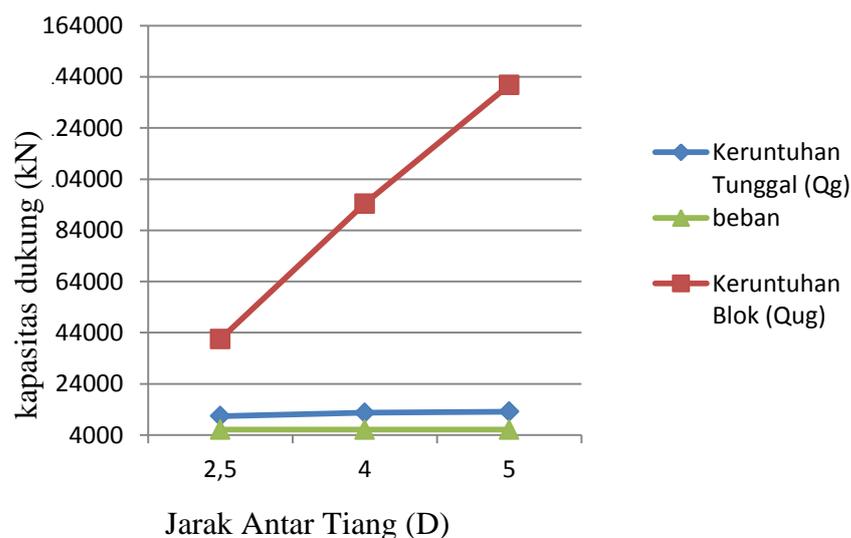
$$Q_{ug} = 41527,55 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang

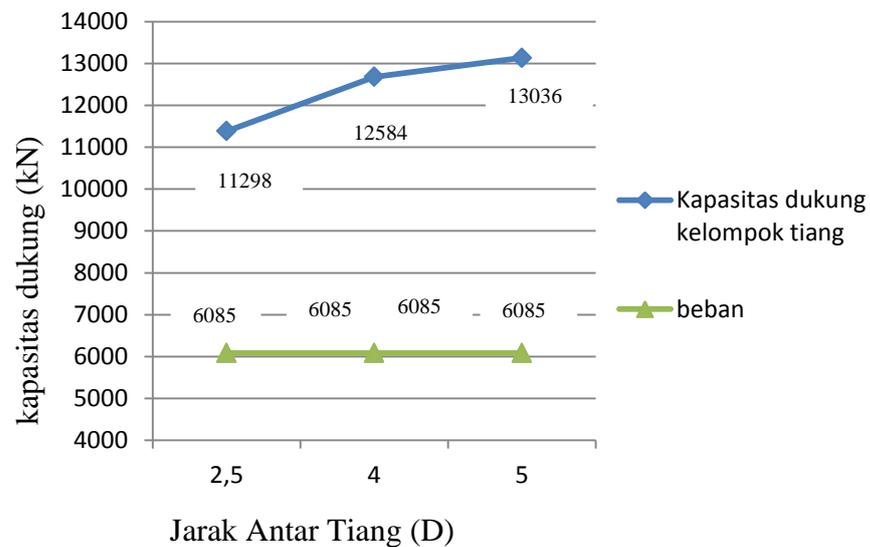
berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.9. Hasil kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode Poulus & Davis dapat dilihat pada Gambar 5.10.

**Tabel 5.17 Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor**

variasi (s)	Nilai		perbandingan	Digunakan	Ket
2,5D	Qg(Kn)	11298,4	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	41527,55			
4D	Qg(Kn)	12584,85	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	94399,84			
5D	Qg(Kn)	13036,52	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	140814,5			



**Gambar 5.9 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Tunggal (Qg) dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Blok (Qug)**



**Gambar 5.10 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Metode Poulos dan Davis**

#### 5.3.5 Analisis Data dengan Menggunakan PLAXIS V8.6

Analisis menggunakan PLAXIS V8.6 merupakan simulasi pembebanan pondasi tiang sesuai dengan keadaan dilapangan. Dalam analisis daya dukung pondasi tiang kelompok, dilakukan beberapa variasi jarak (s) yaitu 2,5D, 4D dan 5D dengan panjang tiang 23 m dan dibebani oleh kolom di atasnya sebesar 6084.74 kN.

Parameter tanah serta geometri struktur yang digunakan pada analisis dengan menggunakan PLAXIS 2D dapat dilihat pada Tabel 5.18 Dan Gambar 5.8.

**Tabel 5.18 Parameter Tanah**

Identifikasi tanah	Lanau kepasiran	lanau kepasiran	Pasir	pasir sedikit lempung	pasir kasar
Model material	MC	MC	MC	MC	MC
Jenis material	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Yunsat ( $\text{Kn}/\text{m}^3$ )	17,06	18,34	17,97	20,25	22,53

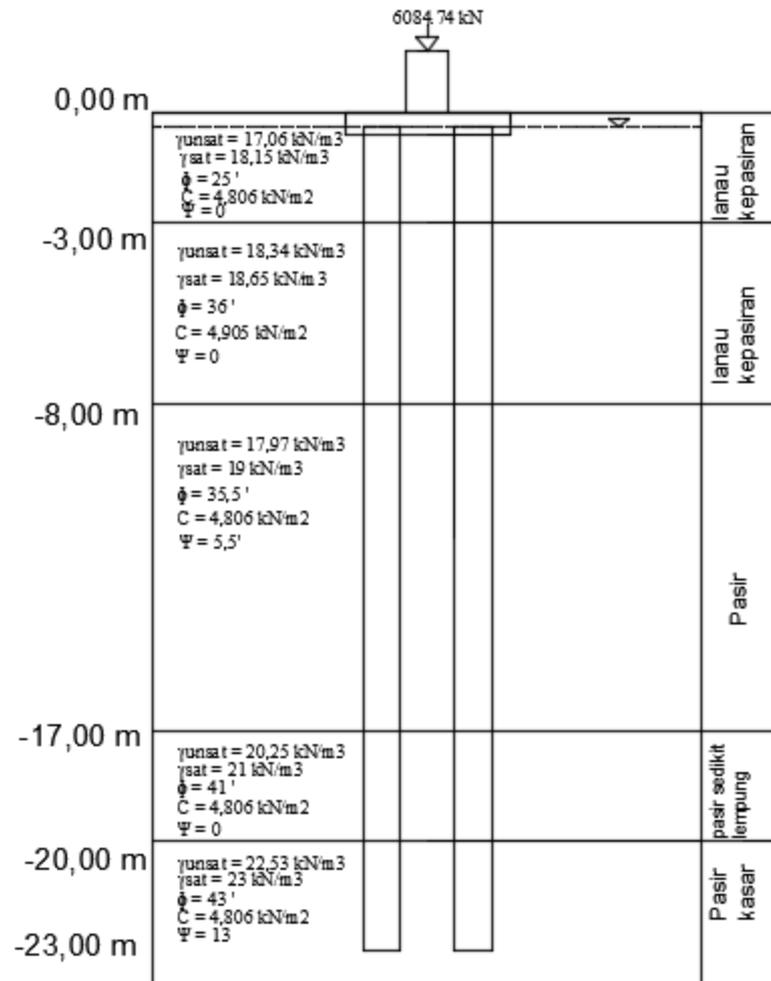
**Lanjutan Tabel 5.18 Parameter Tanah**

Identifikasi tanah	Lanau kepasiran	lanau kepasiran	Pasir	pasir sedikit lempung	pasir kasar
$\gamma_{sat}$ (Kn/m <sup>3</sup> )	18,15	18,65	19	21	23
$K_x$ (m/hari)	0,1	0,1	1	0,01	1
$K_y$ (m/hari)	0,1	0,1	1	0,01	1
$E$ (Kn/m <sup>2</sup> )	21448	22214	29108	36002	41364
$V$	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1
$C$ (Kn/m <sup>3</sup> )	4,806	4,905	4,806	4,806	4,806
$\phi$ (deegre)	25	36	35,5	41	43
$\Psi$ (deegre)	0	0	5,5	0	13

Berikut ini langkah-langkah untuk analisis menggunakan PLAXIS V8.6 sebagai berikut.

1. Permodelan Geometri Struktur

Permodelan struktur pada pondasi ini berupa konfigurasi tiang dan jarak antar tiang dapat dilihat pada gambar 5.4. Data geometri tanah yang digunakan untuk permodelan struktur merupakan pengujian *borehole* pada titik BH 1 sama seperti perhitungan dengan metode manual yang dapat dilihat pada Tabel 5.18. Permodelan struktur pondasi dan *pile cap* digunakan model material pelat, kemudian digambarkan pada *node* yang telah ditentukan. Penggambaran pondasi pada studi kasus ini sampai kedalaman 23m, sedangkan untuk pembebanan digunakan beban terpusat. Beban terpusat diletakkan diatas *pile cap* pada pusat bidang. Berikut adalah contoh model struktur variasi muka air tanah dengan kedalaman 0,20m yang dapat dilihat pada gambar 5.11.



**Gambar 5.11 Geometri Struktur dan Lapisan Tanah pada Titik BH 1**

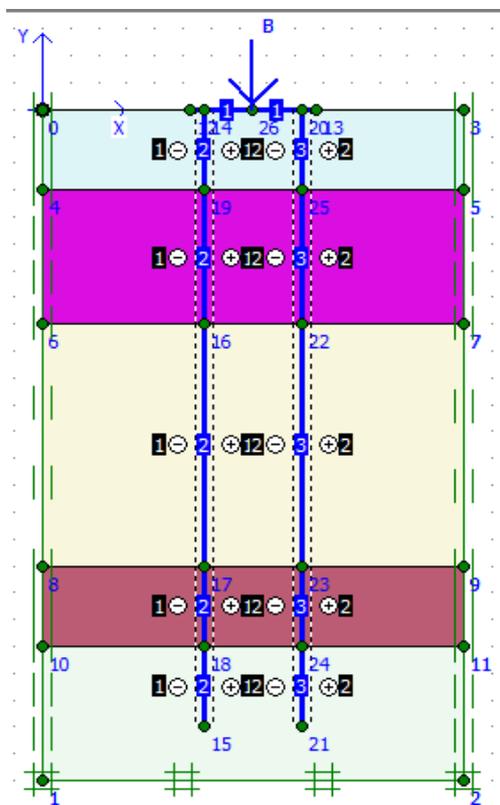
Jenis metral yang digunakan pada analisis ini yaitu model *Mohr-Coulomb*, dan parameter-parameter tanah yang akan digunakan pada program ini antara lain : berat isi jenuh dan berat isi tak jenuh ( $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_{unsat}$ ), permeabilitas ( $k_x$  dan  $k_y$ ), modulus elastisitas ( $E$ ), angka poisson ( $\nu$ ), kohesi ( $c$ ), dan sudut gesr ( $\phi$ ). Untuk modulus elastisitas tanah dan *poisson ratio* didapat dari Persamaan 3.6 dan Tabel 3.3.

2. Input data material yang digunakan

a. Model geometri

Analisa pondasi dapat dilakukan dengan menggunakan model regangan bidang (*plane strain*) dengan titik 15 nodal. Regangan bidang digunakan

untuk penampang geometri dengan penampang melintang yang kurang lebih seragam dengan kondisi tegangan dan kondisi beban yang cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang tersebut (arah z ). Satuan dasar yang digunakan untuk panjang, gaya, dan waktu adalah m, kN, dan hari. Pada permodelan studi kasus ini geometri struktur tanah memiliki perbedaan pada variasi jarak antar tiang (s) . Sebelum dilakukan permodelan pada *software* PLAXIS 2D terlebih dahulu dilakukan konversi bentuk pondasi dan *pilecap* kedalam bentuk 2 dimensi. Konversi dilakukann dengan mencari nilai diameter dan luasan pondasi baru. Kemudian setelah konversi selesai dilakukan barulah permodelan pondasi pada *software* PLAXIS 2D dapat dilakukan. Contoh permodelan geometri pondasi yang telah dikonversi dalam bentuk dua dimensi pada PLAXIS 2D dapat dilihat pada Gambar 5.12. untuk tampilan geometri lainnya dapat dilihat pada lampiran 4.



**Gambar 5.12 Geometri Struktur pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D**

b. Kondisi Batas

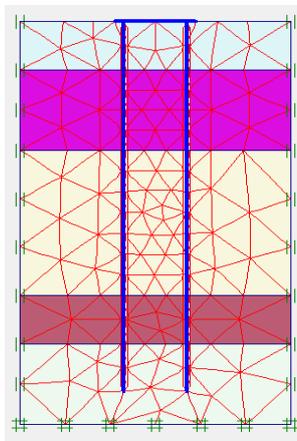
Selanjutnya membentuk kondisi batas, yaitu dengan mengklik tombol yang bersangkutan pada *toolbar* atau melalui *sub menu* beban. PLAXIS ada menerapkan kondisi batas umum pada model secara otomatis.

c. *Input* material yang digunakan

Data yang digunakan untuk material tanah dan juga struktur pondasi pada PLAXIS 2D dapat dilihat pada Tabel 5.18. *input* material tanah dan struktur pondasi dilakukan dengan cara menarik material tanah atau struktur yang digunakan sampai ke profil struktur atau kluster.

d. Penyusunan jaringan elemen

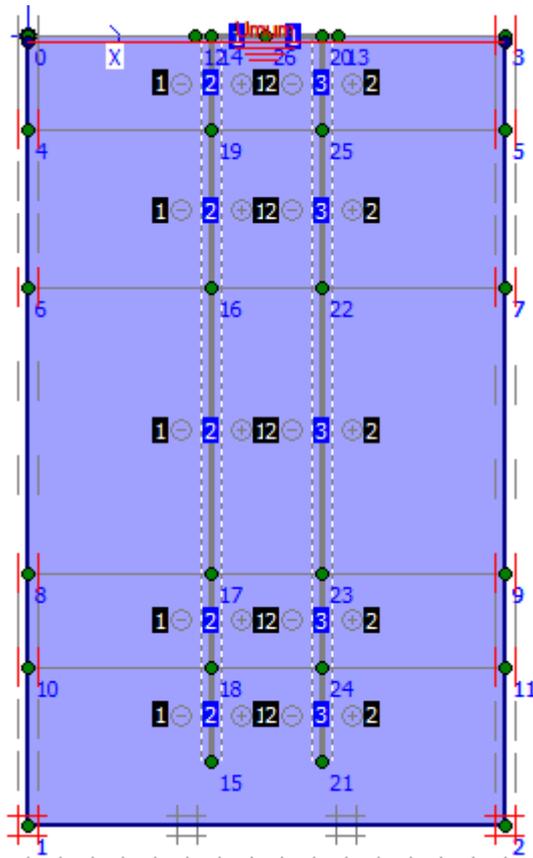
Setelah model geometri telah didefinisikan secara lengkap dan sifat material telah dimasukkan keseluruhan struktural dan kluster, maka geometri harus dibagi menjadi elemen-elemen untuk melakukan perhitungan elemen hingga. Penyusunan elemen hingga dilakukan dengan mengklik *generate mesh* pada *toolbar*, kemudian PLAXIS 2D akan secara otomatis membentuk jaringan elemen-elemen dan antar muka yang secara otomatis ditentukan agar tetap kompatibel dengan jenis elemen tanah. Contoh penyusunan jaringan elemen pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada gambar 5.13. untuk tampilan hasil penyusunan jaringan elemen pada variasi lain dapat dilihat pada lampiran 4.



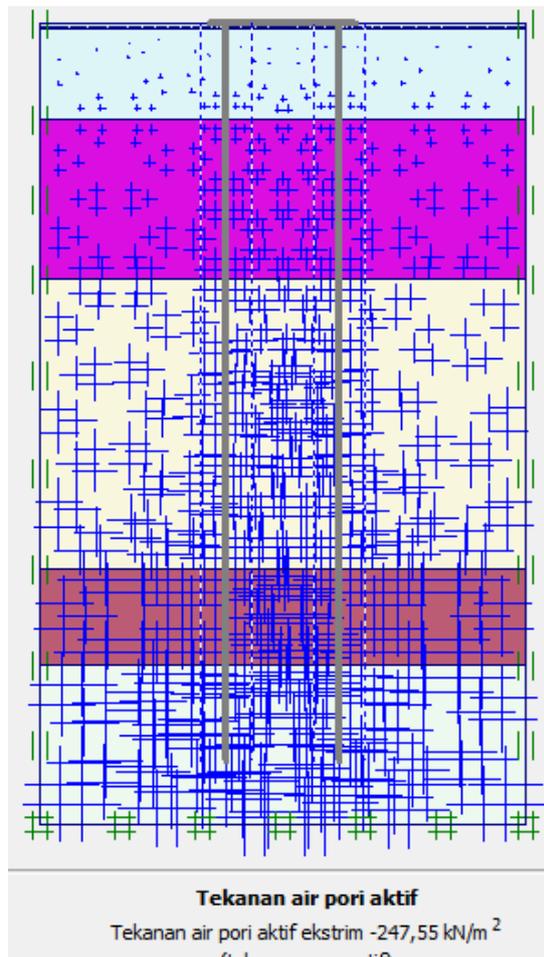
**Gambar 5.13 Hasil Penyusunan Jaringan Elemen pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D**

e. Kondisi awal

Dalam kondisi awal (*initial condition*) ditetapkan berat isi air sebesar  $10 \text{ kN/m}^3$ . Tekanan air sepenuhnya adalah tekanan hidrostatik berdasarkan garis phreatic global. Kemudian menentukan posisi muka air, yang umumnya PLAXIS digunakan untuk analisis tegangan efektif dimana ada perbedaan yang jelas antara tekanan pori aktif dan tegangan efektif. Kemudian klik tombol hitung tekanan air (*generate water pressure*). Contoh gambar penentuan posisi muka air tanah serta perhitungan tekanan air tanah pada variasi 2,5D dengan kedalaman muka air tanah sedalam 0,2 m dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15. Untuk tampilan hasil perhitungan tekanan air tanah pada variasi model geometri lain dapat dilihat pada lampiran 4.



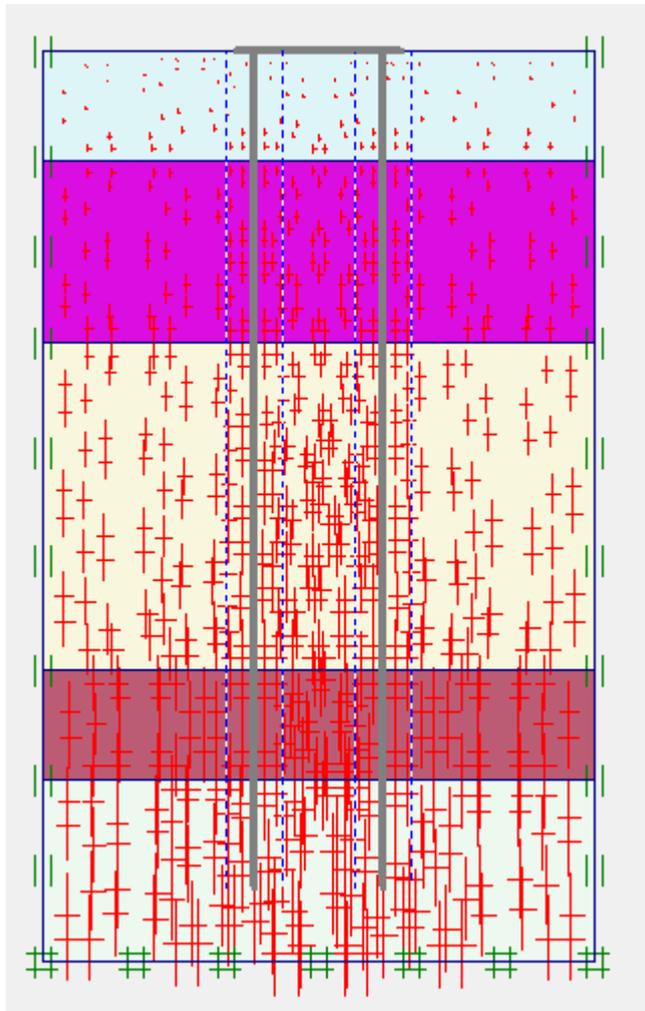
**Gambar 5.14 Kondisi Awal dan Letak Muka Air Tanah Kedalaman 0,2 m pada Variasi Jarak 2,5D**



**Gambar 5.15 Tekanan Air Pori Kedalaman 0,2 m pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D**

f. Tegangan awal

Setelah tekanan air pori diaktifkan, selanjutnya klik menu tekanan air pori awal (*initial pore pressures*) pada *toolbar* untuk mengetahui tegangan awal, perhitungan awal dari model elemen hingga telah selesai. Contoh gambar tegangan awal pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.16. untuk gambar tegangan awal pada variasi lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.



**Gambar 5.16 Tegangan Awal pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D**

### 3. Perhitungan

Perhitungan yang akan dilakukan terdiri dari empat tahap, yaitu tahap pemasangan pondasi, tahap pemasangan *pile cap*, tahap pembebanan, dan tahap mencari nilai angka keamanan. Berikut definisi dari tahapan perhitungan yang dilakukan.

#### a. Tahapan pemasangan pondasi

Pemasangan pondasi yaitu pada *tab general*, *loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan pondasi dengan cara mengklik tentukan (*define*) kemudian mengklik satu kali struktur pondasi hingga struktur pondasi berwarna.

b. Tahapan pemasangan *pile cap*

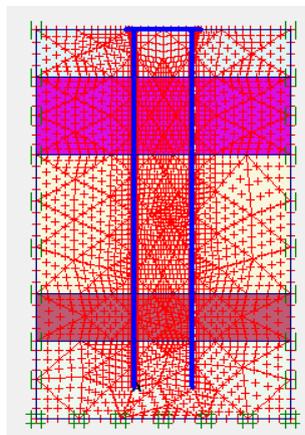
Pemasangan *pile cap*, yaitu pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan *pile cap* dengan cara mengklik tentukan (*difine*) kemudian mengklik satu kali struktur *pile cap* hingga struktur *pile cap* berwarna.

c. Tahapan Pembebanan

Setelah dilakukan pemasangan pondasi dan *pile cap*, kemudian tahapan pembebanan yaitu, pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan beban dengan cara mengklik tentukan (*difine*) kemudian mengklik dua kali beban diatas *pile cap*, kemudian mengisi beban arah y sebesar -6085 kN. Beban akan aktif bila sudah berwarna biru.

d. Angka keamanan

Pada tahapan angka keamanan (SF) yaitu pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *phi/c reduction* dengan jenis kalkulasi *incremential multiplier*. Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu dilakukan pemilihan titik kurva yang berguna untuk mengetahui penurunan serta pembebanan yang terjadi . untuk penempatan titik kurva dapat dilihat pada Gambar 5.17.



**Gambar 5.17 Titik Kurva**

#### 4. Output data

Setelah tahapan perhitungan selesai, maka hasil keluaran dapat dilihat pada program keluaran (*output*). Jendela keluaran akan menampilkan jaringan terdeformasi pada kondisi setelah pemasangan pondasi, *pile cap*, dan pembebanan dilakukan. Contoh gambar jaringan terdeformasi vertikal saat pemasangan pondasi, *pile cap*, dan pembebanan pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.20, Gambar 5.21, dan Gambar 5.22. Untuk gambar jaringan terdeformasi pada variasi lainnya dapat dilihat pada lampiran 4.

Hasil dari program keluaran (*output*) juga diperoleh besarnya angka keamanan dan penurunan yang terjadi terhadap beban yang terjadi. Contoh kurva penurunan dan beban pada model geometri pondasi pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.19. Untuk gambar kurva penurunan dan beban pada variasi lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan menggunakan PLAXIS 2D pada variasi 2,5D. Berdasarkan hasil perhitungan PLAXIS 2D diperoleh nilai  $\Sigma$ -Msf pada geometri pondasi variasi jarak 2,5D yang dapat dilihat pada Gambar 5.18.

Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0,0000	$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	$\Sigma$ -Msf:	2,9957

**Gambar 5.18 Nilai  $\Sigma$ -Msf yang Diperoleh dari PLAXIS 2D**

Dari nilai  $\Sigma$ -Msf yang diperoleh, dapat dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor. Perhitungan kapasitas dukung ultimit, izin dan kelompok tiang bor pada PLAXIS 2D dapat dihitung dengan menggunakan

Persamaan 3.41, Persamaan 3.33, dan Persamaan 3.34. Berikut contoh perhitungan nilai kapasitas dukung kelompok tiang pada PLAXIS 2D pada variasi jarak 2,5D.

a. Kapasitas dukung ultimit tiang

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma - M_{sf}$$

$$Q_u = 6085 \times 2,99$$

$$Q_u = 18194,15 \text{ kN}$$

b. Kapasitas dukung izin tiang

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{7277,66}{2,5}$$

$$Q_{all} = 7131,62 \text{ kN}$$

c. Kapasitas dukung kelompok tiang bor

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

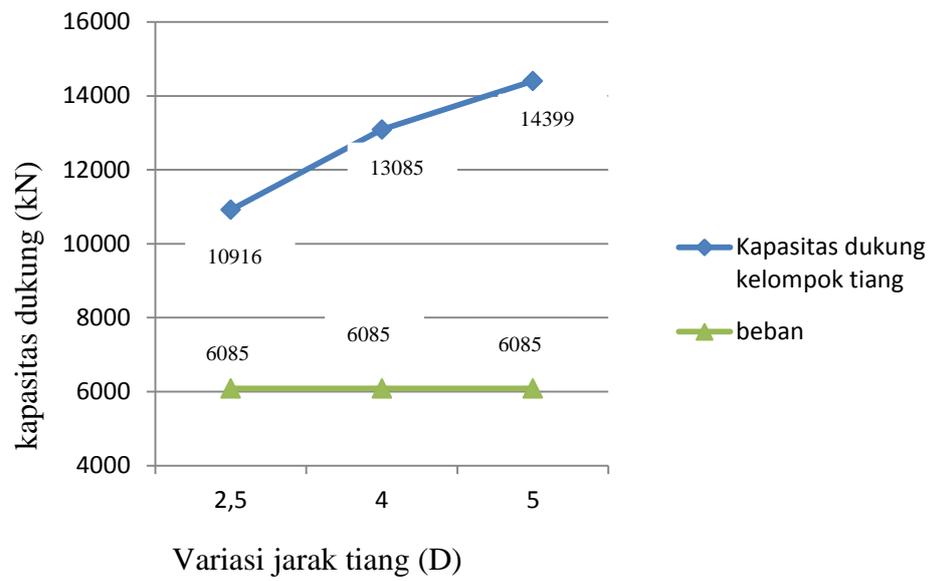
$$Q_g = 0,75 \times 2 \times 7131,62$$

$$Q_g = 10916,49 \text{ kN}$$

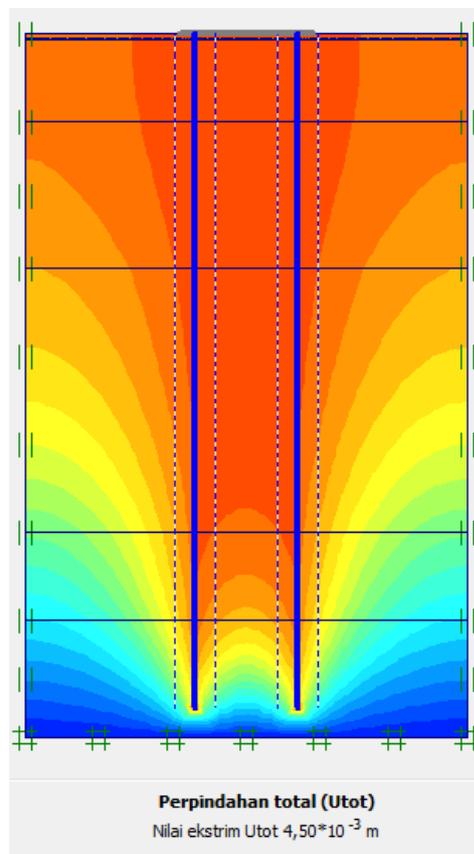
Perhitungan kapasitas dukung pada variasi jarak (s) 4D 5D dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor tiap variasi jarak dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.19.

**Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang dengan *software* PLAXIS 2D v8.6**

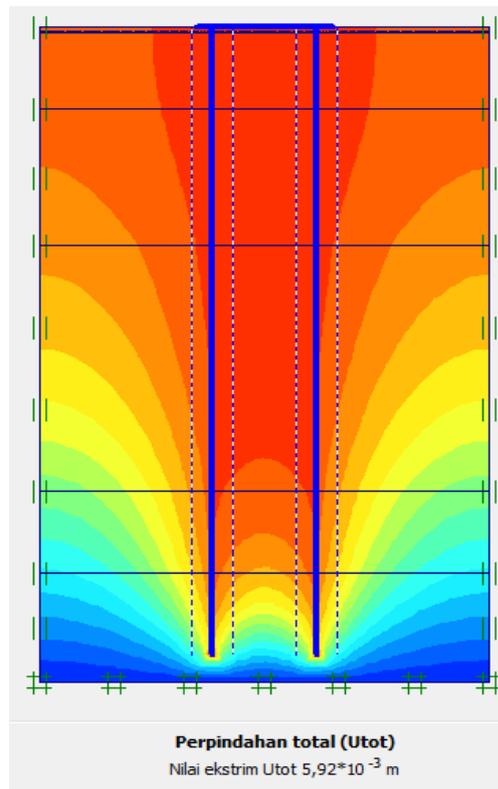
Variasi jarak (s)	Msf	Pall (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)	Eg	Qg (kN)
2,5 D	2,99	6085	18194,15	7277,66	0,75	10916,49
4 D	3,2	6085	19472	7788,8	0,84	13085,18
5 D	3,4	6085	20689	8275,6	0,87	14399,54



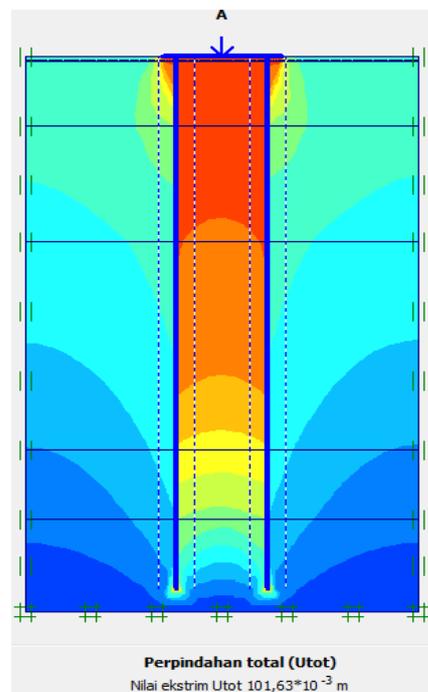
**Tabel 5.19 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang dengan software PLAXIS 2D v8.6**



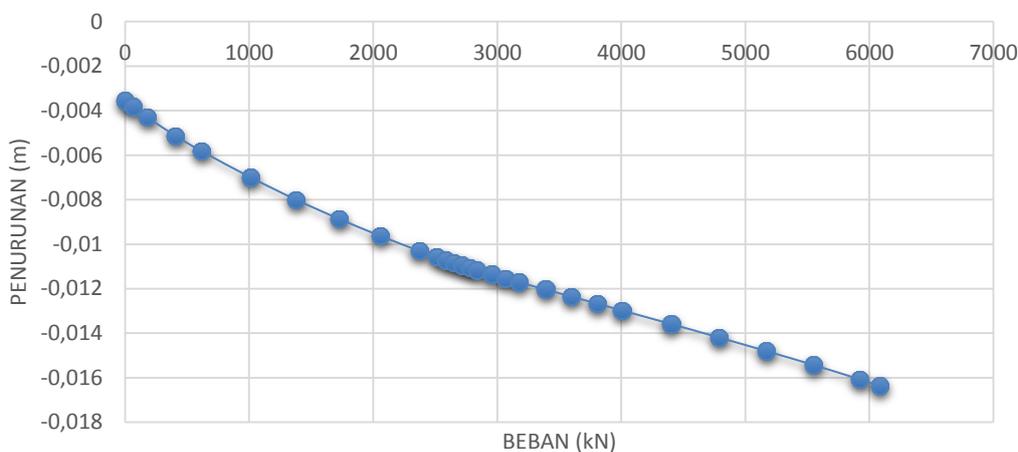
**Gambar 5.20 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi**



**Gambar 5.21 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan *Pilecap***



**Gambar 5.22 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan**



**Gambar 5.23 Kurva Displacement vs Loading PLAXIS 2D pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D**

Berdasarkan grafik penurunan dan beban pada PLAXIS 2D didapatkan total penurunan untuk variasi jarak 2,5D sebesar -0,016 m. Grafik beban dan penurunan untuk variasi jarak lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4. Rekapitulasi hasil penurunan pada tiap-tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.20.

**Tabel 5.20 Rekapitulasi Besarnya Penurunan Hasil Kalkulasi *software* PLAXIS 2D V8.6**

Variasi Jarak (s)	penurunan (m)
2,5 D	-0,01637
4 D	-0,01556
5 D	-0,01499

Berdasarkan hasil rekapitulasi penurunan yang terjadi pada tiap-tiap variasi jarak diatas, dapat dilakukan pengecekan syarat penurunan yang diijinkan untuk pondasi tiang pada tanah pasir. Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan hasil penurunan pada PLAXIS 2D dengan nilai toleransi yang rekomendasikan oleh Reese & O'neil (1989) yaitu sebesar 5% dari diameter tiang.

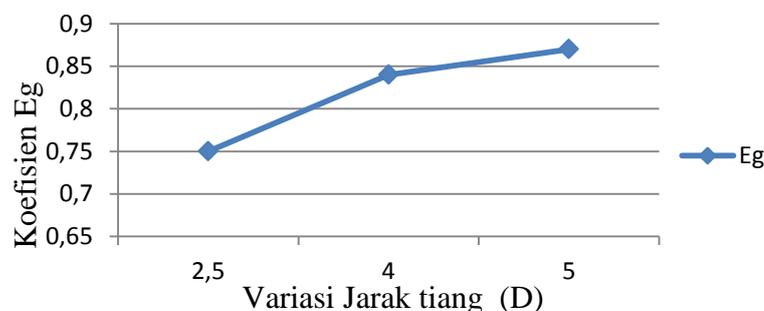
Dari hasil perbandingan dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi pada variasi 2,5D 4D, dan 5D aman atau dibawah dari 0,05 m dan penurnan semakin kecil dengan bertambahnya jarak antar tiang (s) akibat tanah disekitar tiang tidak terganggu oleh tiang lainnya.

#### 5.4 Pembahasan

Dalam perencanaan suatu bangunan gedung tidak lepas dari perencanaan pondasi. Setiap pondasi dituntut untuk dapat mendukung beban sampai batas keamanan yang direncanakan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Dalam analisis kapasitas dukung suatu pondasi, yang perlu diperhatikan adalah data penyelidikan tanah, beban yang dipikul oleh pondasi, dimensi tiang, jarak tiang, data material pondasi, kedalaman pondasi, dan besarnya penurunan yang terjadi.

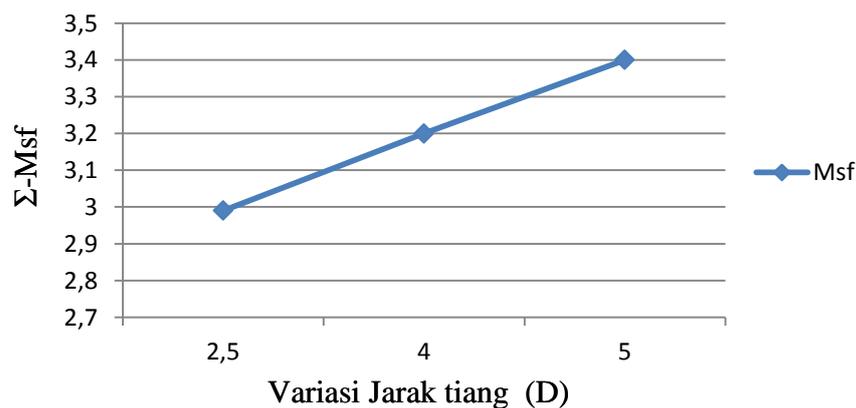
Gedung Swiss-Bell hotel Solo telah melakukan penyelidikan tanah di Lapangan dan Laboratorium guna menentukan stratigrafi dan sifat fisik tanah, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan perencanaan pondasi, pemeliharaan pondasi dan menghasilkan kapasitas dukung pondasi yang lebih akurat. Penyelidikan dilakukan sebanyak 3 titik dengan pengujian *standard Ppenetration Test* (SPT) menggunakan bor mesin dengan interval kedalaman 2 meter.

##### 5.4.1 Pengaruh variasi jarak tiang (s) terhadap daya dukung kelompok tiang pondasi



**Gambar 5.24 Faktor Efisiensi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang**

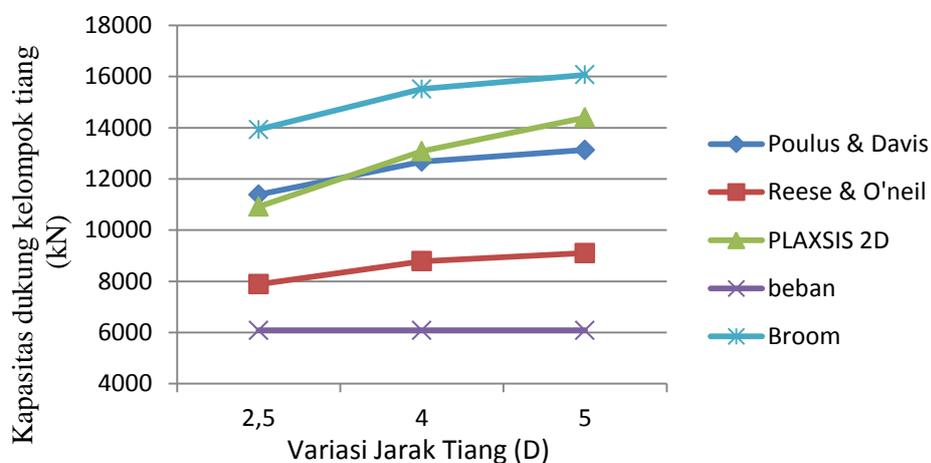
Dari grafik diatas, hasil diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 3.23 dengan variasi jarak antar tiang ( $s$ ) 2,5D, 4D, dan 5D. Dari gambar 5.24 terlihat besarnya faktor efisiensi kelompok tiang ( $E_g$ ) bertambah seiring bertambahnya jarak antar tiang ( $s$ ), hal ini disebabkan jika jarak antar tiang ( $s$ ) besar maka mobilisasi tegangan yang terjadi pada tanah disekitar tiang tidak akan mempengaruhi tanah disekitar tiang lainnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.2, jika jarak antar tiang ( $s$ ) dekat, maka *bulb preassure* (diagram tegangan) antar tiang akan berpotong sehingga kapasitas dukung kelompok tiang tidak dapat sepenuhnya 100% karena ada satu tegangan milik bersama sehingga adanya faktor efisiensi kelompok tiang. Kapasitas dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) menjadi jumlah tiang dikalikan kapasitas dukung satu tiang dikalikan faktor efisiensi kelompok tiangnya. Begitu juga dengan hasil perhitungan kapasitas dukung dengan metode PLAXIS 2D, dimana nilai  $\Sigma$ -Msf yang diperoleh meningkat seiring bertambahnya jarak antar tiang ( $s$ ). Nilai  $\Sigma$ -Msf dapat dilihat pada Gambar 5.25. Hasil analisis perhitungan pengaruh jarak antar tiang ( $s$ ) terhadap daya dukung kelompok tiang dengan menggunakan metode *Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis*, dan PLAXIS 2D V8,6 dapat dilihat pada tabel 5.21.



**Gambar 5.25 Peningkatan Nilai  $\Sigma$ -Msf Terhadap Variasi Jarak Tiang**

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor dengan Metode Manual dan PLAXIS**

Variasi	Kapasitas dukung kelompok tiang (kN)			
	Reese & O'neil	Broom	Poulus & Davis	PLAXIS 2D
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)
2,5D	7888,922661	13930,197	11384,9475	10916,49
4D	8787,164013	15516,305	12681,25006	13085,184
5D	9102,532064	16073,179	13136,37541	14399,54



**Gambar 5.26 Kapasitas Dukung Tiang Bor dengan Beberapa Metode**

Dari tabel 5.21 terlihat analisis kapasitas dukung kelompok tiang dengan variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D dengan menggunakan metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis*, dan *PLAXIS 2D* mengalami kenaikan kapasitas dukung kelompok tiang. Hal ini dapat disimpulkan, semakin besar jarak antar tiang (s) maka semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang yang diperoleh.

#### 5.4.2 Perbandingan Hasil Antara Analisis Metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis*, dan *PLAXIS 2D*

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perbedaan hasil metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis* serta *software PLAXIS 2D V8.6*. Rekapitulasi perbandingan hasil perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor *software PLAXIS 2D V8.6* dengan metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis* dapat

dilihat pada Tabel 22 dan Gambar 5.26. Sedangkan perbandingan metode teoritis dapat dilihat pada Tabel 5.23

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Perhitungan PLAXIS 2d V8.6 dengan Metode Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis**

Variasi jarak (s)	Kapasitas dukung kelompok tiang (kN)				selisih kapasitas dukung (%)		
	<i>Reese &amp; O'neil</i>	<i>Brom</i>	<i>Poulus &amp; Davis</i>	PLAXIS 2D	<i>Reese &amp; O'neil</i>	<i>Brom</i>	<i>Poulus &amp; Davis</i>
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)			
2,5D	7888,92	13930,19	11384,94	10916,49	27,7	-27,6	-4,3
4D	8787,16	15516,30	12681,25	13085,184	32,8	-18,6	3,1
5D	9102,53	16073,17	13136,37	14399,54	36,8	-11,6	8,8

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Analisis Menggunakan Metode Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis**

Variasi jarak (s)	Reese & O'neil	Brom	Poulus & Davis	selisih <i>Reese &amp; O'neil</i> vs <i>Poulus &amp; Davis</i> (%)	selisih <i>Reese &amp; O'neil</i> vs <i>Brom</i> (%)	selisih <i>Brom</i> vs <i>Poulus &amp; Davis</i> (%)
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)			
2,5D	7888,923	13930,2	11384,95	-44,316	-43,368	18,271
4D	8787,164	15516,3	12681,25	-44,316	-43,368	18,271
5D	9102,532	16073,18	13136,38	-44,316	-43,368	18,271

Selisih kapasitas dukung kelompok tiang antara PLAXIS dengan metode *Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* dapat dilihat pada tabel 5.22. Selisih kapasitas dukung terbesar antara *Reese & O'neil* dengan PLAXIS adalah pada perhitungan variasi jarak tiang 5D yaitu sebesar 36,8%. Untuk selisih kapasitas dukung PLAXIS dengan metode *Brom* adalah pada perhitungan variasi jarak tiang (s) 2,5D yaitu sebesar -27,6%. Sedangkan selisih kapasitas dukung kelompok tiang PLAXIS dengan metode *Poulus & Davis* yang terbesar adalah pada variasi jarak (s) 5D yaitu sebesar 8,8 %.

Perbedaan hasil analisis antara *software* PLAXIS 2D dengan metode manual yaitu *Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pada analisis menggunakan *software* PLAXIS dimasukkan nilai

permeabilitas tanah ( $k$ ) yang diasumsikan sesuai dengan kondisi tanah dilapangan dimana akibat dari pembebanan akan menyebabkan air pori keluar sehingga tanah akan semakin rapat dan menyebabkan nilai permeabilitas tanah akan menurun. Berbeda pada analisis manual, pada analisis PLAXIS 2D juga dimasukkan parameter-parameter tanah yang sangat berpengaruh terhadap hasil kapasitas dukung kelompok tiang tetapi tidak dipakai pada analisis manual, seperti nilai angka *poisson* ( $\nu$ ), modulus young ( $E$ ), dan juga sudut dilatasi ( $\Psi$ ). Model material tanah yang digunakan pada PLAXIS 2D yaitu model material *Mhor-Coulumb*. Model material ini merupakan model material yang sangat sesuai untuk pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.

Kemudian perbandingan metode manual antara metode *Reese & O'neil*, *Brom*, dan *Poulos & Davis* dapat dilihat pada Tabel 5.23. Selisih perbedaan metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* adalah sebesar -43,36%, artinya hasil *Reese & O'neil* lebih kecil dari hasil perhitungan metode *Brom*. Sedangkan selisih perbedaan Metode *Reese & O'neil* dengan metode *Poulos & Davis* adalah sebesar -44,31%. Perbedaan yang besar antara metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* dan *Poulos & Davis* disebabkan oleh beberapa faktor.

Pada analisis dengan menggunakan metode *Reese & O'neil* pengaruh muka air tanah secara langsung dapat mengurangi kekuatan tahanan gesek tiang, yang disebabkan oleh adanya pengurangan nilai tekanan *overburden* ditengah-tengah lapisan tanah. Namun, nilai tekanan *overburden* akan bertambah seiring bertambahnya kedalaman tiang pada lapisan tanah. Sedangkan pada metode *Brom* dan *poulos & Davis* nilai tahanan gesek tiang juga akan mengalami penurunan akibat muka air tanah. Hal ini juga disebabkan karena berkurangnya nilai tekanan *overburden* pada tanah. Tetapi pada metode *Brom* dan *poulos & Davis* nilai tekanan *overburden* akan bernilai konstan apabila mencapai kedalaman kritis. Faktor lain yang menyebabkan terjadinya perbedaan hasil antara metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* dan *Poulos & Davis* yaitu besarnya tahanan ujung tiang. Tahanan ujung tiang pada metode *Reese & O'neil* besarnya konstan, hal ini disebabkan oleh nilai tegangan serta dimensi tiang yang digunakan pada perhitungan tiap variasi jarak tiang ( $s$ ) adalah sama. Pada perhitungan metode

*Brom* dan *poulos & Davis* nilai tahanan ujung tiang akan terus bertambah seiring bertambahnya kedalaman lapisan tanah. Penambahan nilai tahanan ujung dipengaruhi oleh bertambahnya tegangan tanah jika kedalaman tiang semakin dalam.

Kemudian perbedaan hasil metode *Brom* dengan metode *poulos & Davis* adalah sebesar 18,2%, artinya hasil metode *Brom* lebih besar dari metode *Poulos & Davis*. Sebenarnya persamaan yang digunakan dalam menentukan tahanan ujung dan tahanan gesek ultimit dari kedua metode ini sama. Perbedaannya disebabkan oleh penentuan nilai kedalaman kritis ( $z_c$ ) dan nilai  $k_d \tan \delta$ . Pada metode *Poulos & Davis* kedalaman kritis ( $z_c$ ) ditentukan dari grafik hubungan  $z_c/d$  dengan  $\phi$  (Gambar 3.6a) dan nilai  $k_d \tan \delta$  ditentukan dari grafik hubungan  $k_d \tan \delta$  dengan  $\phi$  (Gambar 3.6c). Sedangkan pada metode *Brom* nilai  $z_c$  dipakai bebas dengan maksimum 20D kemudian tahanan ujung persatuan luas ( $f_b$ ) dan tahanan gesek persatuan luas ( $f_s$ ) tidak boleh melebihi maksimum, yaitu tahanan ujung persatuan luas sebesar  $10700 \text{ kN/m}^2$  dan tahanan gesek persatuan luas ( $f_s$ ) sebesar  $107 \text{ kN/m}^2$ . Pada metode *Brom* dalam menentukan nilai  $k_d \tan \delta$  ditentukan dari pendekatan dari tabel  $k_d$  dan  $\delta$  yang direkomendasikan oleh *Brom* ( tabel 3.8 dan 3.9)

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya yang berkaitan dengan pengaruh jarak antar tiang terhadap daya dukung kelompok tiang bor pada tanah granuler pasir, diperoleh sebagai berikut.

1. Besar kapasitas dukung kelompok tiang bor dari hasil analisis metode *Reese & O'neil* pada variasi 2,5D, 4D, dan 5D berturut-turut diperoleh sebesar 7888,92 kN, 8787,16 kN, dan 9102,53 kN. Besar kapasitas dukung kelompok tiang bor dari hasil analisis metode *Brom* pada variasi jarak tiang 2,5D, 4D, dan 5D berturut-turut diperoleh sebesar 13930,19 kN, 15516,30 kN, dan 16073,17 kN. Dari hasil analisis metode *Poulos & Davis* besar kapasitas dukung kelompok tiang bor pada variasi jarak tiang 2,5D 4D, dan 5D berturut-turut diperoleh sebesar 11384,94 kN, 12681,25 kN, dan 13136,37 kN.
2. Berdasarkan hasil analisis *software* PLAXIS 2D V8.6 didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang bor pada variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D berturut-turut sebesar 10916,49 kN, 13085,184 kN, dan 14399,54 kN.
3. Selisih kapasitas dukung kelompok tiang bor terbesar yang diperoleh dari analisis metode *Reese & O'neil* dengan PLAXIS 2D adalah sebesar 36,79 % pada variasi jarak tiang 5D. Selisih Kapasitas dukung kelompok tiang bor terbesar metode *brom* dengan PLAXIS 2D adalah -27,6 % pada variasi jarak tiang 2,5D. Sedangkan selisih kapasitas dukung kelompok tiang bor terbesar metode *Poulos & Davis* dengan PLAXIS 2D adalah 8,7 % pada variasi jarak tiang 5D. Berdasarkan dari analisis yang dilakukan, menunjukkan semakin besar jarak antar tiang (s) maka semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang bor.

### 3.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor, maka memberikan saran-saran sebagai berikut.

1. Dibutuhkan ketelitian dalam menentukan nilai parameter data tanah untuk input material pada *software* PLAXIS 2D. Hasil PLAXIS 2D dapat dibandingkan dengan *software* geotek lainnya dalam menghitung kapasitas dukung tiang kelompok pondasi seperti L-pile, Geo Studio dan program lainnya.
2. Dalam analisis perlu diperhatikan letak muka air, metode yang paling relevan untuk digunakan dalam perencanaan pondasi untuk kedalaman muka air tanah sangat tinggi adalah metode *Poulos & Davis*.
3. Perlu dilakukan analisis dimensi *pilecap* pada setiap variasi jarak tiang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan menggunakan *software* PLAXIS 2D.
4. Agar hasil analisis yang lebih lengkap didapatkan, maka perlu dilakukan perhitungan manual penurunan pondasi yang terjadi.

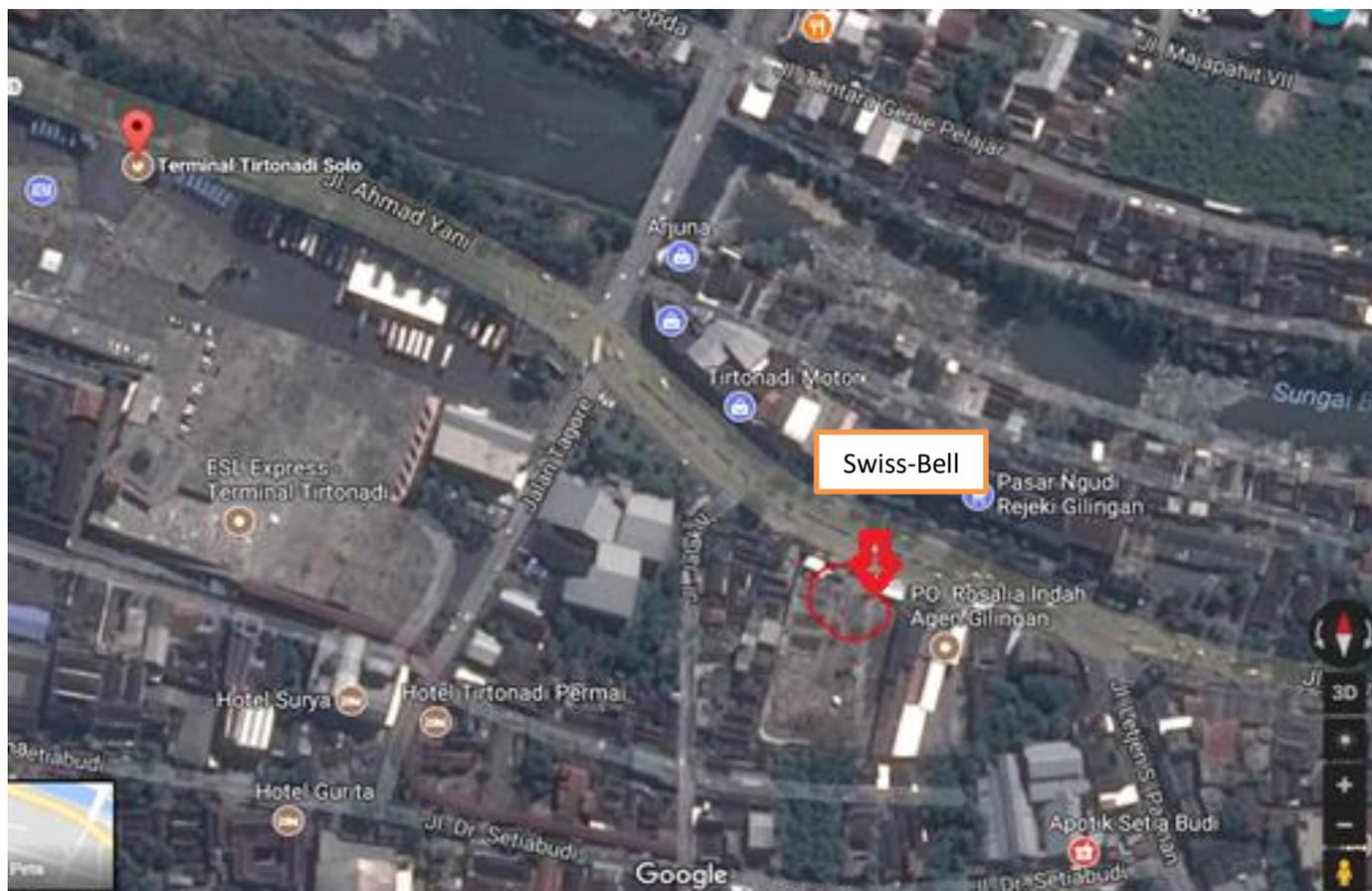
## DAFTAR PUSTAKA

- Brinkgreve, R.J.B. 2002. Reference Manual V.8 Pakis (manual Plaxis). A. A balkema. Jakarta.
- Bowles, J.E 1991. *Analisis dan desain pondasi*. Jakarta :Erlangga, Ed 4<sup>th</sup> Jilid 1 Erlangga Jakarta
- Bowles,J.E 1997. *Foundation Analisis and Design*, Ed 5<sup>th</sup> McGraw - Hill
- Das. Braja M, 1988. *Mekanika Tanah Jilid 1*.Terjemahan oleh Noor Endah mochtar dan Indrasurya B. Mochtar, E , Surabaya :Erlangga
- Das. Braja M, 1994. *Mekanika Tanah Jilid 2*.Terjemahan oleh Noor Endah mochtar dan Indrasurya B. Mochtar, Surabaya :Erlangga
- Das. Braja M, 2010. *Principle of Geotechnical Engineering*. Ed 4<sup>th</sup> . California State University, Sacramento
- Firdaus, w 2011. Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan PLAXIS 2d Pada Tanah Lunak *Soft Soil*. (<http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100011044062/16490>. Diakses November 2018).
- Haq, D.2018. Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. (<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/5720>. Diakses November 2018)
- Hardiyatmo, H.C 1992. *Mekanika Tanah I*. Jakarta :Gamedika
- Hardyatmo, H.C. 2006. *Mekanika Tanah I* .Yogyakarta : Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardyatmo, H.C. 2006. *Teknik Pondasi II* . Yogyakarta : Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardyatmo, H.C. 2008.*Teknik Pondasi 2*, 4<sup>th</sup> ed. Jakarta.
- Hardyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah I* 6<sup>th</sup> ed.Yogyakarta : Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardyatmo, H.C. 2015.*Teknik Pondasi II* 2<sup>th</sup> ed. Beta Offset. Jakarta.
- Hardyatmo, H.C. 2015. *Analisis dan Perencanaan Pondasi 2*, 3<sup>th</sup> ed. Gajah Mada University Press. Yogyakarta

- Hardyatmo, H.C. 2015. *Analisis dan Perencanaan Pondasi 2*, 3<sup>th</sup> ed. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo Hary C 1996. *Mekanika Tanah* . Jakarta :Gramedia
- Hariska,Ricky 2011. *Perbandingan kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang bor pada proyek pembangunan balai pelatihan kesehatan Batam*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia ,Tugas akhir
- Komarudin. 2015.Analisa Deformasi Pondasi Tiang Bor dengan menggunakan Model Elemen Hingga Pada Tanah Stiff Clay. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*. Vol 1 Nomor 1. Bandung
- Nakazawa, K., Sosrodarsono, S. 1983. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Terjemahan oleh L.Taulu dkk.2000. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sidharta, S.K .,1997. *Rekayasa Fondasi II*. Jakarta : Universitas Gunadarma
- Poulos, H.G., dan Davis,E.H., 1980. *Pile Foundation Analisis and Disign*. John Wiley and Sons, Inc.Canada.
- Redana I Wayana 2009. *Teknik Pondasi* . Denpasar :Udayana University Press
- Ralp B. Peck 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3<sup>th</sup> Ed. Karl Terzhagi and Gholamreza Messri Canada
- Sardjono, H.S. 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2*. Sinar Wijaya.Surabaya
- Sosrodarsono, Suryono,Nakazawa,kazuto.1994.*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi* Jakarta : PT Pradnya Paramita
- Thasnanipan, N., Teparaksa, W ., Maung, A. W ., Shixin, W. 1998. *Prediction and Performances of Short Embedded Cast in-Situ Diaphragm Wall for Deep Excavation in Bangkok Subsoil. Proceedings: Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, St.Louis, Missouri, March 9-12, 1998.

# **Lampiran 1**

Lampiran 1 : Peta Lokasi Proyek



## **Lampiran 2**



#### D.HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

Hasil pengujian Laboratorium adalah sebagai berikut :

Depth (m)	Titik BH1					
	Water Content (%)	Specific Gravity G	Moisture Unit Weight $\gamma_b$ ( $gr/cm^3$ )	Dry Unit Weight $\gamma_k$ ( $gr/cm^3$ )	Direct Shear Test	
					C ( $Kg/cm^2$ )	$\phi^o$
-5.00	25.03	2.38	1.12	0.79	0.17	12.10
-10.00	32.72	2.67	1.61	1.17	0.06	26.94
-15.00	20.20	2.66	1.74	1.26	0.045	25
-20.00	35.00	2.65	1.87	1.45	0.05	36

Depth (m)	Titik BH2					
	Water Content (%)	Specific Gravity G	Moisture Unit Weight $\gamma_b$ ( $gr/cm^3$ )	Dry Unit Weight $\gamma_k$ ( $gr/cm^3$ )	Direct Shear Test	
					C ( $Kg/cm^2$ )	$\phi^o$
-5.00	30.70	2.10	1.42	0.95	0.16	13.19
-10.00	38.00	2.69	1.81	1.31	0.02	32.94
-15.00	33.65	2.46	1.67	1.25	0.07	26.35
-20.00	36.72	2.41	1.52	1.11	0.06	26.94

Depth (m)	Titik BH3					
	Water Content (%)	Specific Gravity G	Moisture Unit Weight $\gamma_b$ ( $gr/cm^3$ )	Dry Unit Weight $\gamma_k$ ( $gr/cm^3$ )	Direct Shear Test	
					C ( $Kg/cm^2$ )	$\phi^o$
-5.00	30.73	2.25	1.19	0.82	0.16	13.95
-10.00	37.00	2.65	1.84	1.34	0.03	96.24
-15.00	27.20	2.35	1.64	1.13	0.05	23.17
-20.00	30.40	2.65	1.97	1.40	0.06	32

Dari data hasil core drill (boring) dapat diinformasikan lapisan tanah di lokasi proyek adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Kedalaman dan Jenis tanah titik core drill BH1

Kedalaman dari permukaan tanah setempat (m)	N1	Jenis tanah (pengamatan dilapangan)	Relative Density
0,00 s/d 2,00	2	Pasir Berlempung	Lunak
2,00 s/d 4,00	3	Lanau Kepasiran	Lunak
4,00 s/d 6,00	17	Lanau Kepasiran	Sedang
6,00 s/d 8,00	28	Lanau Kepasiran	Sedang
8,00 s/d 10,00	26	Pasir Kasar	Sedang
10,00 s/d 12,00	21	Pasir Kasar	Sedang
12,00 s/d 14,00	30	Lanau Kepasiran	Padat
14,00 s/d 16,00	28	Lanau Kepasiran	Sedang
16,00 s/d 18,00	28	Lanau Kepasiran	Sedang
18,00 s/d 20,00	32	Lanau Kepasiran	Padat
20,00 s/d 22,00	29	Lanau Kepasiran	Sedang
22,00 s/d 24,00	38	Pasir	Padat
24,00 s/d 26,00	42	Pasir	Padat
26,00 s/d 28,00	43	Pasir	Padat
28,00 s/d 30,00	48	Pasir sedikit Lempung	Padat
30,00 s/d 32,00	50	Pasir sedikit Lempung	Sangat Padat
32,00 s/d 34,00	58	Pasir Kasar	Sangat Padat
34,00 s/d 36,00	59	Pasir Kelanauan	Sangat Padat
36,00 s/d 38,00	60	Pasir Kelanauan	Sangat Padat
38,00 s/d 40,00	60	Pasir Kelanauan	Sangat Padat
40,00 s/d 42,00	60	Pasir Kasar	Sangat Padat
42,00 s/d 44,00	59	Pasir Kasar	Sangat Padat
44,00 s/d 46,00	59	Pasir Kasar	Sangat Padat
46,00 s/d 48,00	60	Pasir Berlempung	Sangat Padat
48,00 s/d 50,00	60	Pasir Berlempung	Sangat Padat

Note: hubungan antara kepadatan relative dan N value (peck.meyerhof)

Catatan : pengamatan dilapangan, lanau kemungkinan bisa seperti pasir halus atau pasir kasar



SOIL MECHANIC LABORATORY  
 CIVIL ENGINEERING PROGRAM  
 FACULTY OF ENGINEERING UAJY  
 44 BABARSARI STREET, YOGYAKARTA 55281  
 Tel +62-274-487711 ext.2052  
 Fax: +62-274-487748

Boring number:  
 BH-1

**BOR LOG**

CLIENT: PT Delta Merlin Dunia Properti  
 PROJECT CONTRACT NUMBER:  
 DATE STARTED: 12 DESEMBER 2015  
 DATE COMPLETED: 12 DESEMBER 2015  
 DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH.LAB.UAJY  
 DRILLING METHOD: POTARY SPINDLE, SKID MOUNTED TYPE  
 LOGGED BY: Mukarob, CS  
 CHECKED BY: SOIL MECH.LAB.UAJY

PROJECT TITLE :Hotel gilingan  
 PROJECT LOCATION Jl.Ahmad Yani RT 002 RW.006 Gilingan,Banjarsari  
 GROUND ELEVATION -1,00 m from road level  
 HOLE SIZE : 7,295 cm  
 GROUND WATER LEVEL -8,30 mfrom ground level  
 WEATHER CONDITION FINE  
 ESTIMATED SEASONAL HIGH

depth (m)	Graph log	Material Description (field observation)	Contact Depth (m)	Sample number	Blow Counts (Nvalue)				Water Level Elevation (m)	SPT Value													
					N1	N2	N3	NV		0	10	20	30	40	50								
1		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	2																				
2					1	1	1	2															
3																							
4		Lanau kepasiran (coklat, hitam)	5	I																			
5						1	1	2	3														
6						5	7	10	17														
7		Pasir Kasar (coklat, hitam)	4	II																			
8						7	12	16	28														
9						7	12	14	26														
10		Lanau Keras (Coklat, hitam)	10	III																			
11						6	9	12	21														
12						7	14	1	30														
13																							
14																							
15																							
16		Pasir (coklat, abu-abu)	8	IV																			
17						9	15	13	28														
18						7	14	14	28														
19						8	17	15	32														
20																							
21																							
22		Pasir sedikit lempung (coklat, abu-abu)	3																				
23						9	15	14	29														
24						10	17	21	38														
25		Pasir Kasar (coklat, abu-abu)	2																				
26						10	17	25	42														
27						11	18	25	43														
28		Pasir kelanauan (coklat, abu-abu)	5																				
29						12	19	29	48														
30						12	21	29	50														
31		Pasir Kasar (coklat, abu-abu)	6																				
32						14	21	37	58														
33																							
34		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	5																				
35						17	23	36	59														
36						19	24	36	60														
37		Pasir Kasar (coklat, abu-abu)	6																				
38						19	25	35	60														
39						20	26	36	60														
40		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	5																				
41						18	23	36	59														
42						18	24	35	59														
43		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	5																				
44						20	25	35	60														
45																							
46		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	5																				
47						18	24	35	59														
48						20	25	35	60														
49		Pasir Berlempung (coklat, hitam)	5																				
50						21	27	33	60														

Catatan : pada pengamatan di lapangan, lanau bisa tampak seperti pasir halus atau pasir sangat halus

# **Lampiran 3**





LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.1
			TULANGAN		
LT. ATAP ↑ LT. 15 ↓		40	DIMENSI	400x1000	
			TULANGAN	22 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 15 ↑ LT. 10 ↓		40	DIMENSI	500x1200	
			TULANGAN	32 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 5H 1V	
LT. 10 ↑ LT. 6 ↓		40	DIMENSI	600x1200	
			TULANGAN	32 D25	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 5H 1V	
LT. 6 ↑ LT. 4 ↓		40	DIMENSI	600x1500	
			TULANGAN	40 D25	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 6H 2V	
LT. 4 ↑ BASEMENT 2 ↓		40	DIMENSI	700x1500	
			TULANGAN	50 D25	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 8H 2V	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.2
			TULANGAN		
LT. ATAP LIFT ↑ LT. 14 ↓		40	DIMENSI	400x900	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 14 ↑ LT. 12 ↓		40	DIMENSI	400x1000	
			TULANGAN	22 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 12 ↑ LT. 8 ↓		40	DIMENSI	500x1000	
			TULANGAN	24 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 8 ↑ LT. 4 ↓		40	DIMENSI	500x1200	
			TULANGAN	32 D25	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 5H 1V	
LT. 4 ↑ BASEMENT 2 ↓		40	DIMENSI	600x1200	
			TULANGAN	32 D25	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 5H 1V	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.3
			TULANGAN		
LT. ATAP LIFT ↑ LT. 14 ↓		40	DIMENSI	400x800	
			TULANGAN	18 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 2H -	
LT. 14 ↑ LT. 12 ↓		40	DIMENSI	400x800	
			TULANGAN	18 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 2H -	
LT. 12 ↑ LT. 8 ↓		40	DIMENSI	400x900	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 8 ↑ LT. 6 ↓		40	DIMENSI	400x1000	
			TULANGAN	22 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H -	
LT. 6 ↑ BASEMENT 2 ↓		40	DIMENSI	500x1000	
			TULANGAN	24 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10 3H 1V	

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM MILIMETER KECUALI YANG TERCANTUM DALAM GAMBAR.
2. BETON.  
MUTU BETON BALOK, PELAT= f'c 30 Mpa  
KOLOM, SHEARWALL -> LIHAT TABEL
3. BAJA TULANGAN.  
ULUR : D13 fy = 400 MPa  
POLOS : Ø fy = 240 MPa
4. KONSTRUKSI BAJA.  
BAJA PROFIL : ASTM - A36  
BAUT STRUKTUR : A-325 & A-307  
MUTU LAS : E - 70 XX

NO	KETERANGAN	TGL

PROYEK  
**swiss-belhotel**  
 Jalan Ahmad Yani- Solo

MANAJEMEN KONSTRUKSI

ARSITEKTUR  
**MEGATIKA**  
 INFORMATIKA  
 Jl. Raya Kencana Timur Blok 2000 Komplek Garuda, Jakarta  
 Telp. (021) 5209 8200 Fax. (021) 520 8211  
 E-mail : megatikainfo@indosat.net.id megatikainfo@indosat.net.id

STRUKTUR  
**CIPTA SUKSES, PT.**  
 ENGINEERING CONSULTANT & CONTRACTOR  
 Gedung Pradigi Blok No 11, Taman Paksi Selatan  
 Jl. Raya Kencana Timur Blok 2000 Komplek Garuda, Jakarta  
 Telp. (021) 5209 8200 Fax. (021) 520 8211  
 E-mail : ciptasukses@indosat.net.id ciptasukses@indosat.net.id

SEKORAN, & ELEKTIRIKAL

APPROVED BY OWNER

PT. DELTA MERLIN DUNIA PROPERTI

DISETUIJI  
 KEPALA DTRK-KOTA SURAKARTA

Ir. Endah Sitaresmi Suryandari  
 Pembina Tingkat II  
 NIP. 19620204 198812 2 001

JUDUL GAMBAR	
TABEL KOLOM	

PERHATIAN  
 Gambar jangan dikopi, keef angka ukuran-ukuran  
 Semua ukuran harus diukur di lapangan, setiap perubahan  
 yang ditemukan harus diberitahukan kepada Perencana dengan segera  
 Gambar ini harus dibuat dalam hal-hal yang berkaitan dengan spesifikasi  
 Perencana dan syarat-syarat kontrak, untuk setiap perubahan  
 Catatan ini merupakan hak milik Perencana, dan harus dikembalikan  
 kepada Perencana setelah pekerjaan selesai.

ARSITEK :	DISETUIJI :	SKALA :
STEPHANE D	JULIUS WOODO	NTS
DIGAMBAR :	DIPERIKSA :	N.O. REVISI :
Herman S.	Mochrus, ST	
NO. PROYEK	NO. GAMBAR	
S-2016-035	S.02.2	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.4
			TULANGAN		
LT. 6 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	400x800	
			TULANGAN	18 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	400x900	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.5
			TULANGAN		
LT. 5 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	500x800	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	500x900	
			TULANGAN	22 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.5a
			TULANGAN		
LT. 6 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	500x800	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	500x900	
			TULANGAN	22 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.6
			TULANGAN		
LT. 3 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	400x800	
			TULANGAN	18 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	400x900	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.6a
			TULANGAN		
LT. 5 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	400x800	
			TULANGAN	18 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	400x900	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.7
			TULANGAN		
LT. DASAR ↑ BASEMENT 1		40	DIMENSI	400x400	
			TULANGAN	16 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
BASEMENT 1 ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	400x400	
			TULANGAN	16 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		KL.1
			TULANGAN		
LT. ATAP ↑ LT. 10		40	DIMENSI	400x400	
			TULANGAN	12 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. 10 ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	400x400	
			TULANGAN	16 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f'c (MPa)	TIPE KOLOM		K.8
			TULANGAN		
LT. 4 ↑ LT. DASAR		40	DIMENSI	300x700	
			TULANGAN	16 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	
LT. DASAR ↑ BASEMENT 2		40	DIMENSI	350x700	
			TULANGAN	20 D19	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10	

CATATAN

- SEMUA DIMENSI DALAM MILIMETER KEUALI YANG TERCANTUM DALAM GAMBAR.
- BETON:  
MUTU BETON BALOK, PELAT= f'c 30 Mpa  
KOLOM, SHEARWALL -> LIHAT TABEL
- BAJA TULANGAN:  
ULUR : D13 fy = 400 MPa  
POLOS : Ø fy = 240 MPa
- KONSTRUKSI BAJA:  
BAJA PROFIL : ASTM - A36  
BAUT STRUKTUR : A-325 & A-307  
MUTU LAS : E - 70 XX

NO	KETERANGAN	TGL

PROYEK

**swiss-belhotel**  
Jalan Ahmad Yani- Solo

MANAJEMEN KONSTRUKSI

ARSITEKTUR

**MEGATIKA**  
INTEKNOLOGI  
KORPORASI ARSITEKTUR, PERENCANAAN DAN KONSTRUKSI  
Jl. Raya Kencana Timur Blok Cendek Gunung - Jakarta  
Telp: (021) 5249 8263 Fax: (021) 5249 8261  
E-mail: [corporate@megatika.com](mailto:corporate@megatika.com), [engineering@megatika.com](mailto:engineering@megatika.com)

STRUKTUR

**CIPTA SUKSES, PT.**  
ENGINEERING CONSULTANT & CONTRACTOR  
Blok Puri Blok No 11, Taman Puri Indah  
Jl. Raya Kencana Timur Blok Cendek Gunung - Jakarta  
Telp: (021) 5249 8263 Fax: (021) 5249 8261  
E-mail: [corporate@ciptasukses.com](mailto:corporate@ciptasukses.com), [engineering@ciptasukses.com](mailto:engineering@ciptasukses.com)

SEWANJA, & ELEKTRIKAL

APPROVED BY OWNER

PT. DELTA MERLIN DUNIA PROPERTI

DISETUI

KEPALA DTRK-KOTA SURABAYA

Ir. Endah Sitaresmi Suryandari  
Pembina Tingkat 2 001  
NIP. 19670204 198012 2 001

JUDUL GAMBAR

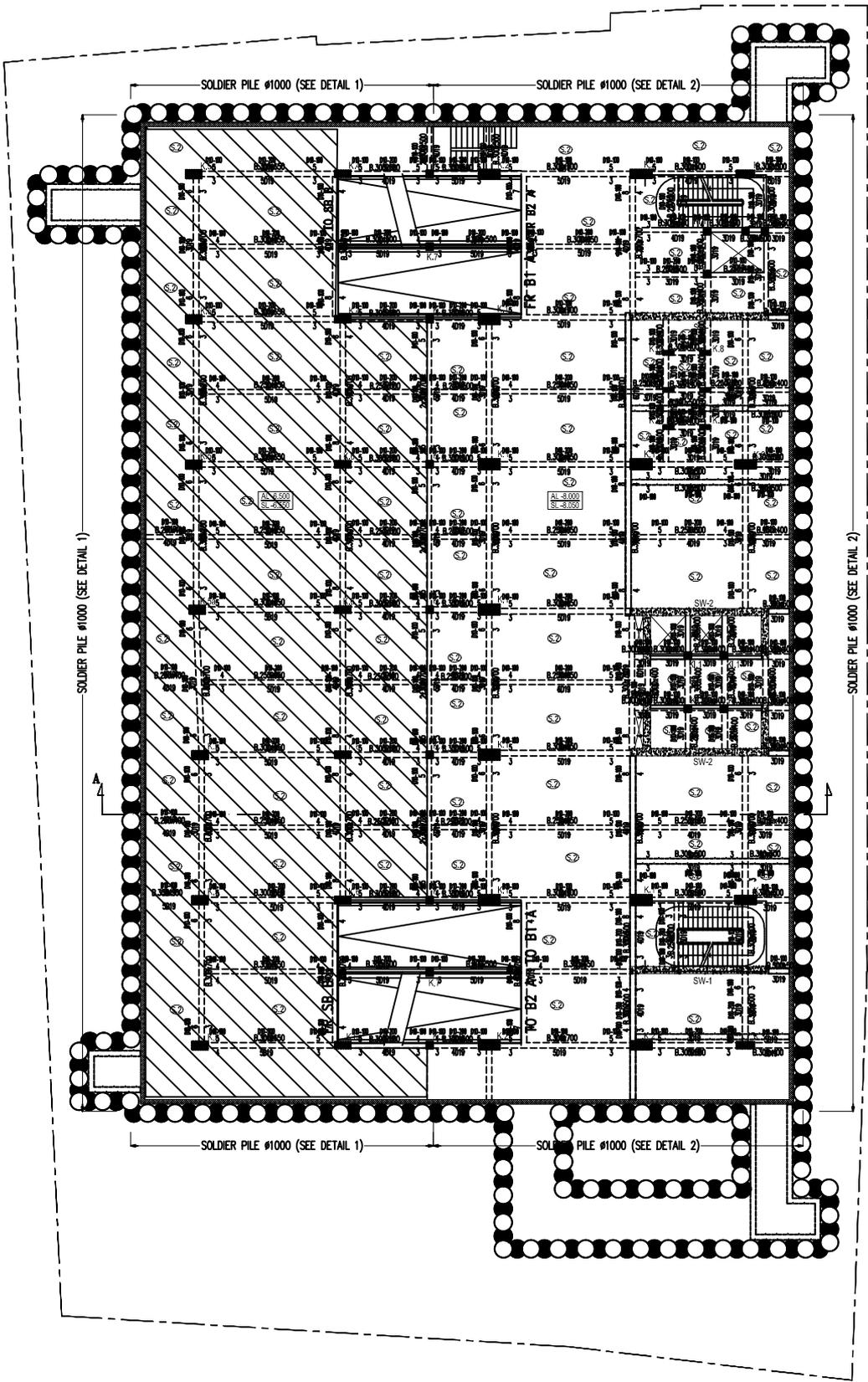
**TABEL KOLOM**

PERHATIAN  
Gambar jangan diukir, buat angka ukuran-ukuran  
Semua ukuran harus diukur di lapangan, setiap perubahan  
yang ditemukan harus diberitahukan kepada Perencana dengan segera  
Gambar ini harus dibuat dalam hal-hal yang berkaitan dengan spesifikasi  
Perencana dan syarat-syarat kontrak, untuk dengan spesifikasi  
Catatan ini merupakan hak milik Perencana, dan harus dibentengi  
setelah Perencana selesai pekerjaan selesai.

ARSITEK : DISETUI : SKALA :  
STEPHANE D JOELIUS WOODO NTS

DIGAMBAR : DIPERIKSA : NO. REVISI  
Herman S. Mochrus, ST

NO. PROYEK : NO. GAMBAR  
S-2016-035 S.02.3



- CATATAN
1. SEMUA MENGENAI DUKAN MENTERI KEDUA
  2. KETIKA
  3. BAHAN TILAMAH
  4. KONSTRUKSI BAWAH
  5. BAHAN ROOF
  6. BAHAN LAIN

NO	KETERANGAN	TGL

**ES swiss-hotel**  
Jalan Ahmad Yani-Sido

**PERENCANA**

**M**  
**PERENCANA**  
PT. PERTAMINA

**SIKILAS**

**CIPRA SUKSES, PT.**  
KONSTRUKSI DAN PERENCANAAN  
Jl. Raya Siliwangi No. 100, Bandung  
Telp. (022) 2500000

**PROJEKSI**

**BASEMANANT**

1:100

**DATA UMUM**

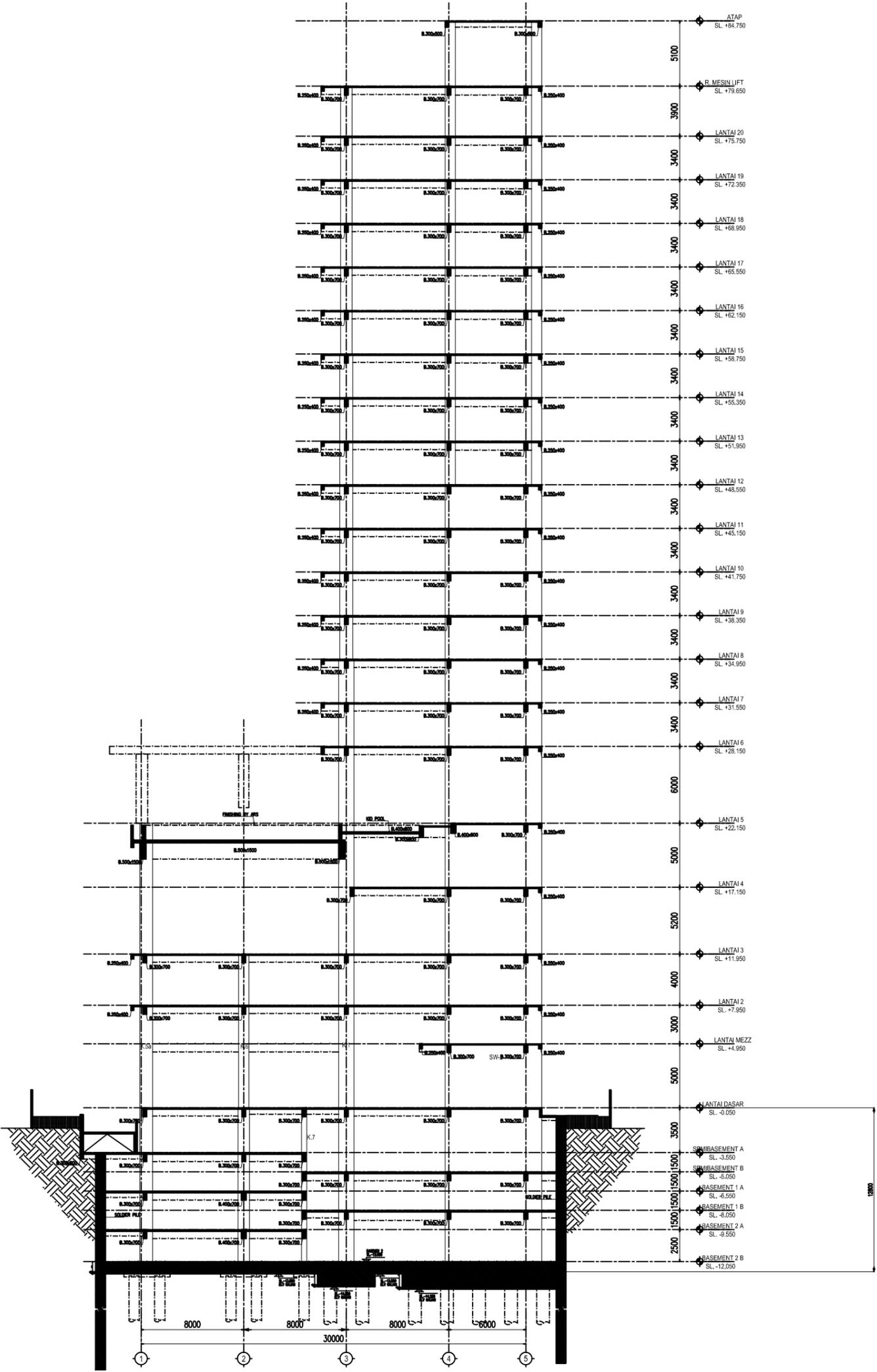
**BASEMANANT**

1:100

S-2016-036

S011

1. SEMUA DIMENSI DALAM NUMERER KECILAU YANG BERGAMBAR DALAM GAMBAR.
2. BETON KUALITAS BLOK PELAT- c' 30 Mpa KUALITAS SEMENML -> URAH TABEL
3. BUAH TUKANGKA  
UR : 013 f<sub>y</sub> = 400 Mpa  
FOLLS : 8 f<sub>y</sub> = 240 Mpa
4. KONSTRUKSI BAH.  
BAH PROFIL : ASTM - A36  
BAUT STRUKTUR : A-325 & A-307  
MUTU LAS : E - 70 XX



**PROJEK**  
swiss-hotel  
Jalan Alimard Yani, Solo

**STRUKTUR**  
CIPTA SUKSES, PT.  
ENGINEERING CONSULTANT & CONTRACTOR  
Jl. Raya Karang Ombak No. 100 Karang Ombak, Sukoharjo  
Email : transp@ciptasukses.com, info@ciptasukses.com

**REVISI**  
NO. REVISI :  
REVISI :  
REVISI :  
REVISI :

**APROVED BY OWNER**  
PT. DELTA MERLIN DUNIA PROPERTI  
KEPALA DITRAK KOTA SURABAYA

**DISITUI**  
Ia, Ender Sitaresmi Suryandari  
NIP. 6607024 198911 1 001

**JUDUL GAMBAR**  
TAMPAK SAMPIING

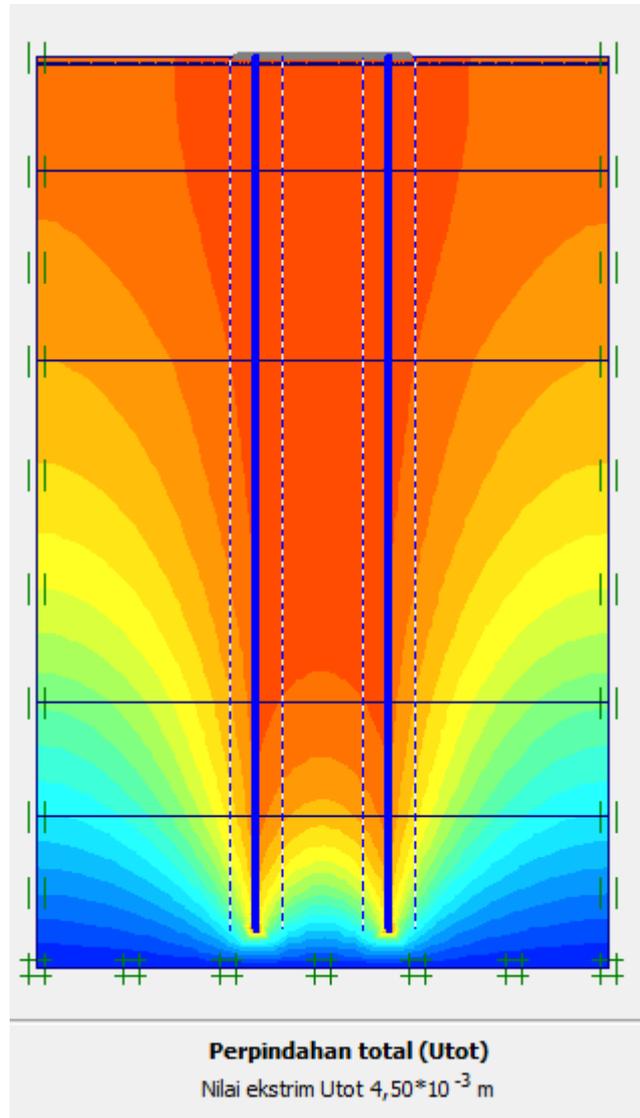
**SKALA**  
1:100

**NO. GAMBAR**  
S-2016-035

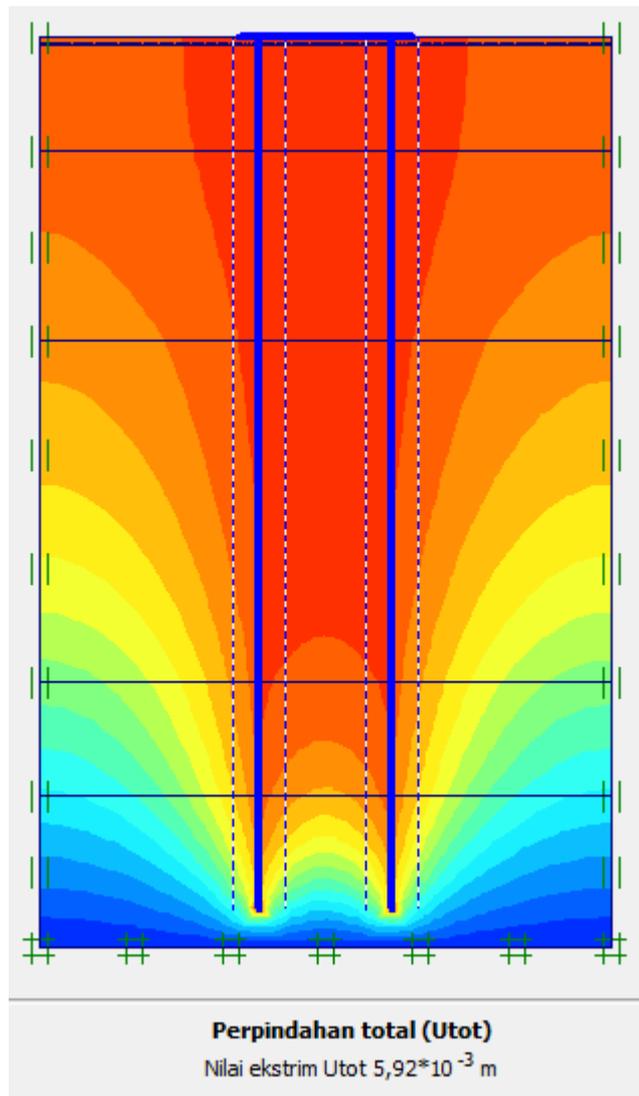
# **Lampiran 4**

Lampiran 4 : Gambar hasil kalkulasi PLAXIS 2D

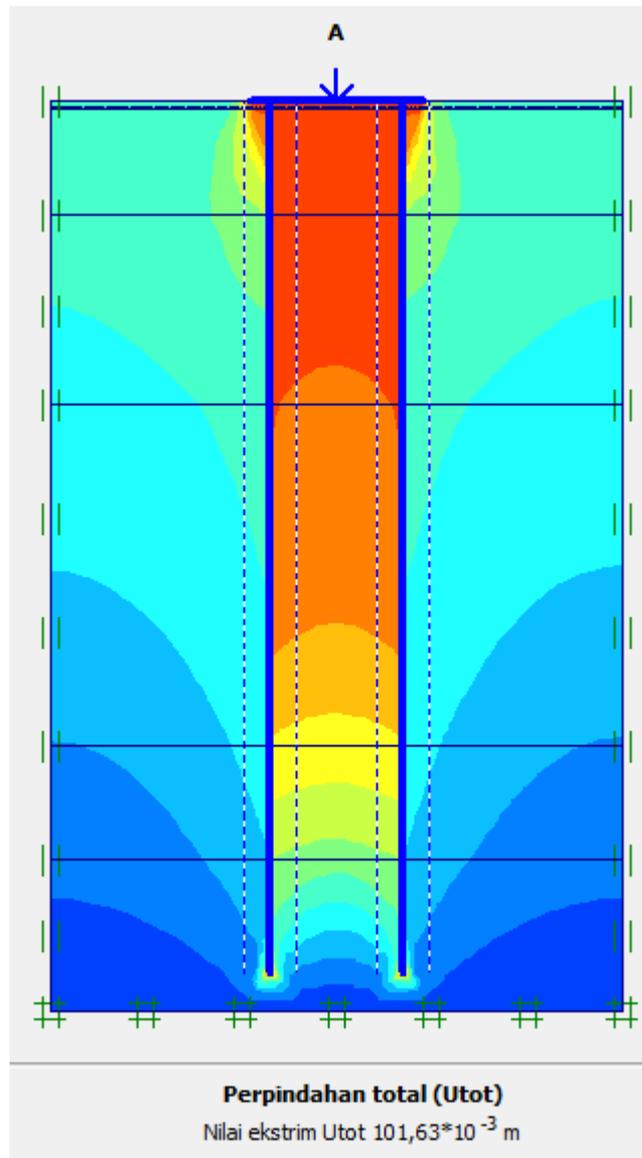
1. Variasi jarak tiang 2,5D



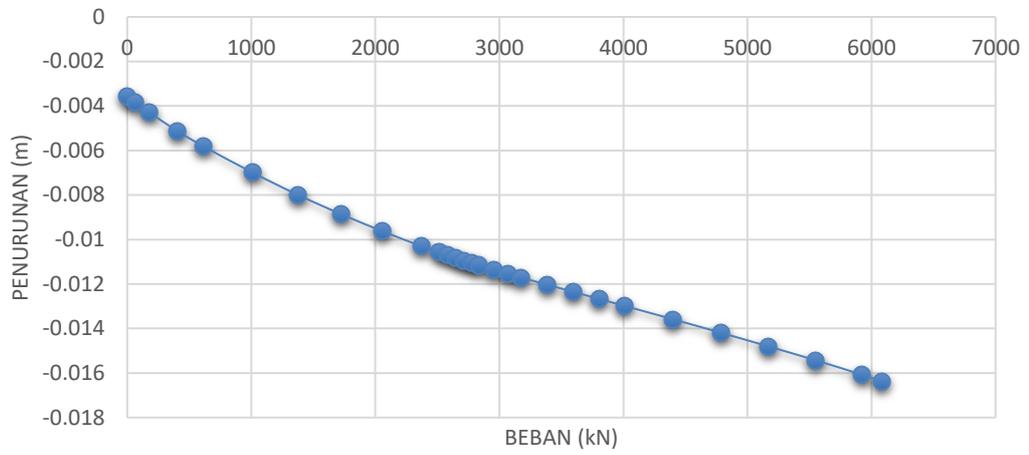
**Gambar 1 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi**



**Gambar 2 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan**  
*Pilecap*



**Gambar 3 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan**

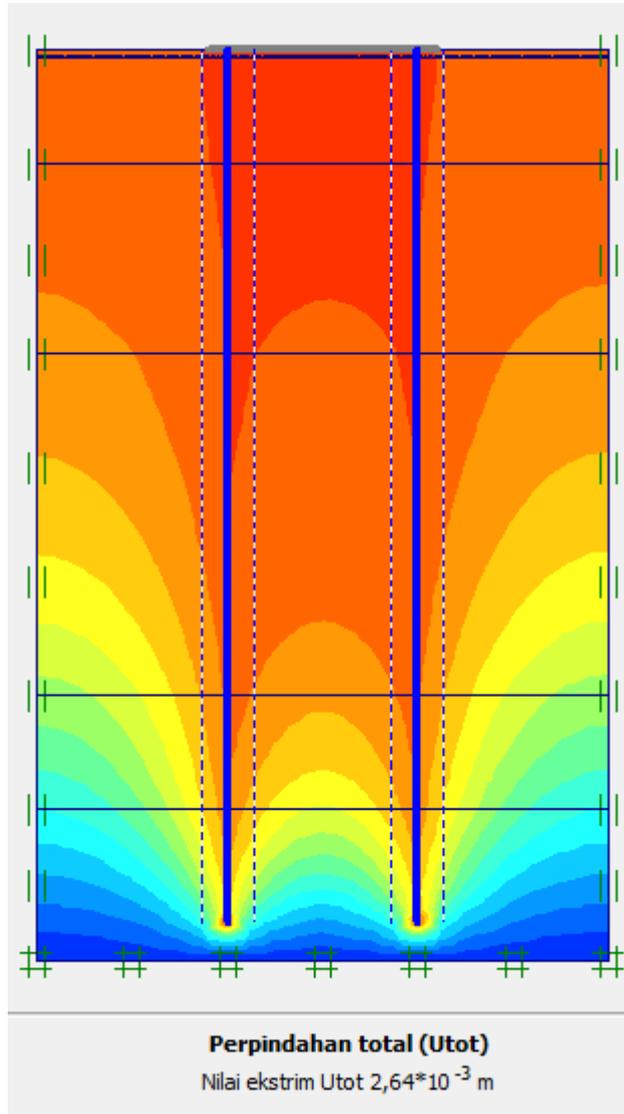


**Gambar 4 Kurva Displacement vs Loading**

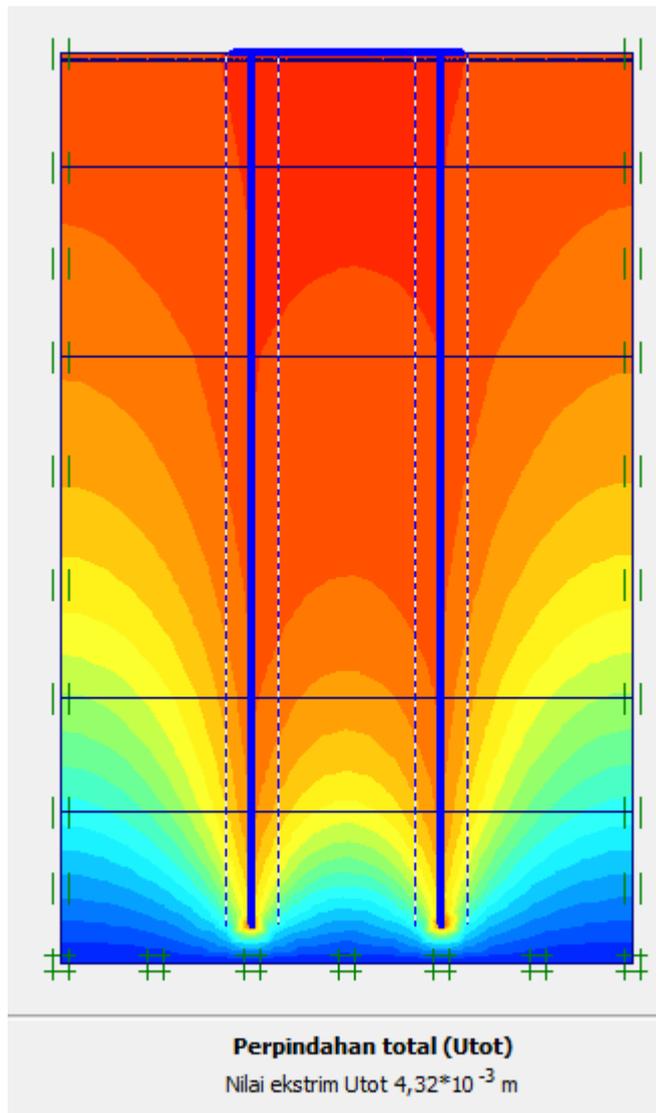
Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0,0000	$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	$\Sigma$ -Msf:	2,9957

**Gambar 5 Nilai  $\Sigma$  M-Sf**

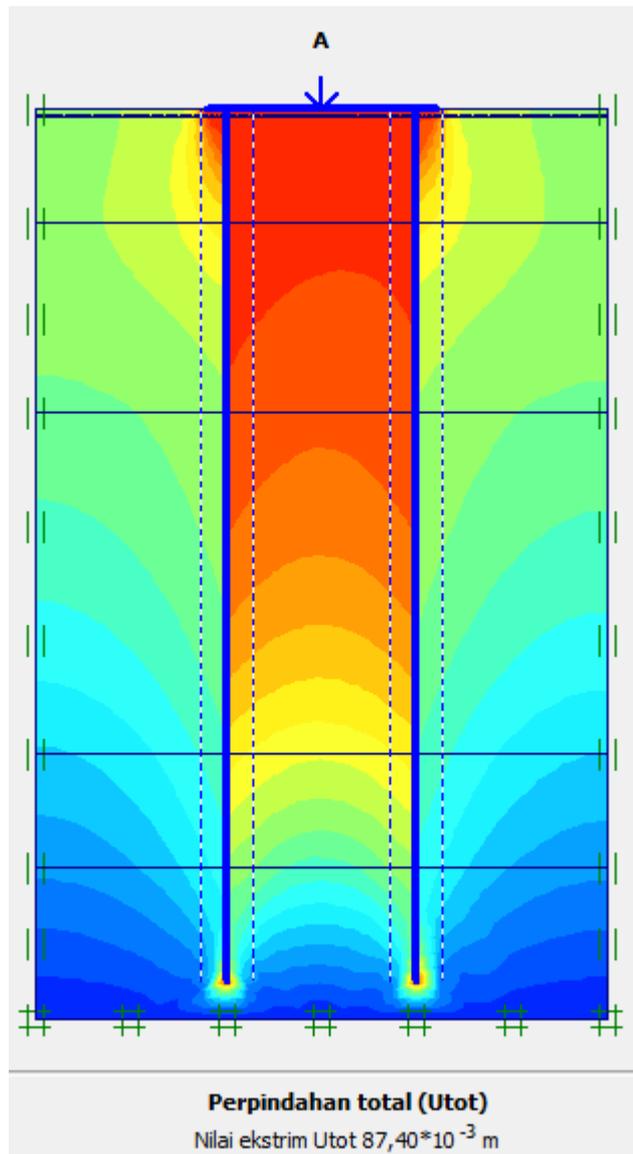
## 2. Variasi Jarak Tiang 4D



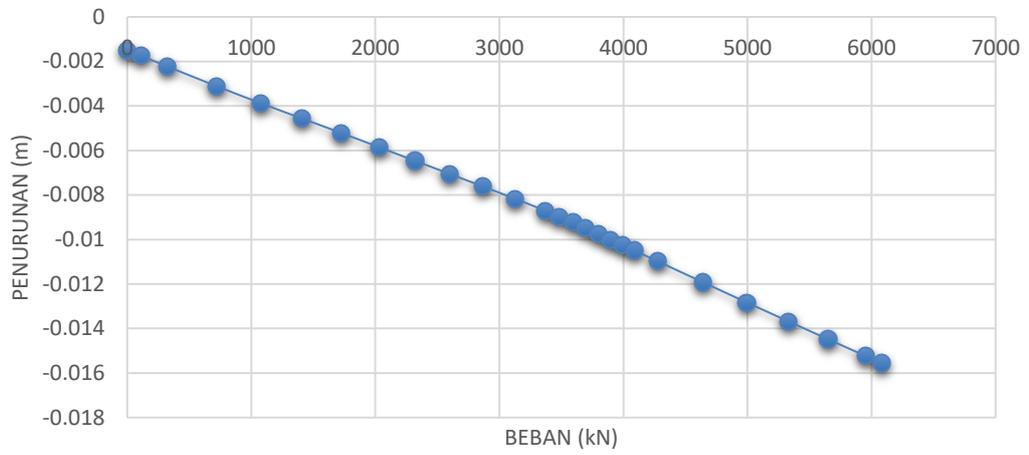
**Gambar 1 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi**



**Gambar 2 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan**  
*Pilecap*



**Gambar 3 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan**

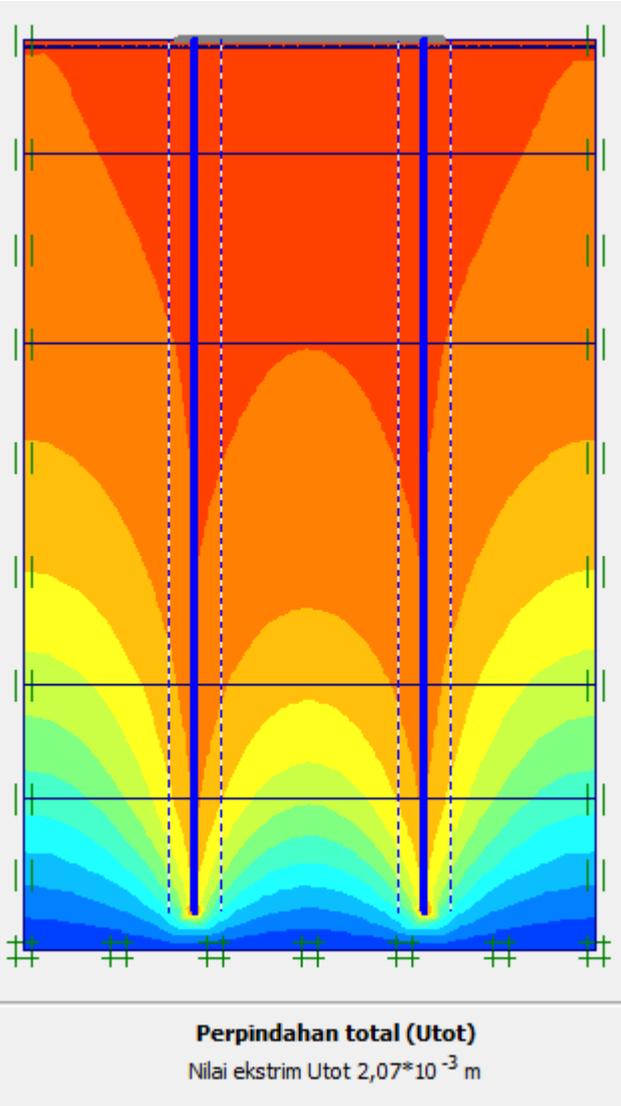


**Gambar 4 Kurva Displacement vs Loading**

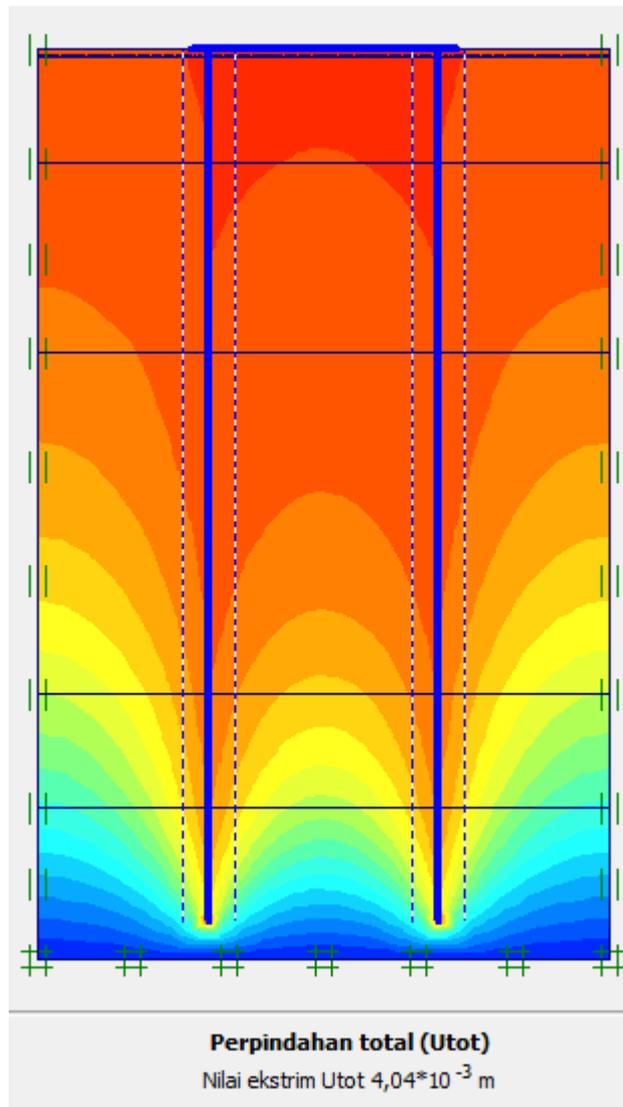
Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0,0000	$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	$\Sigma$ -Msf:	3,2097

**Gambar 5 Nilai  $\Sigma$  M-Sf**

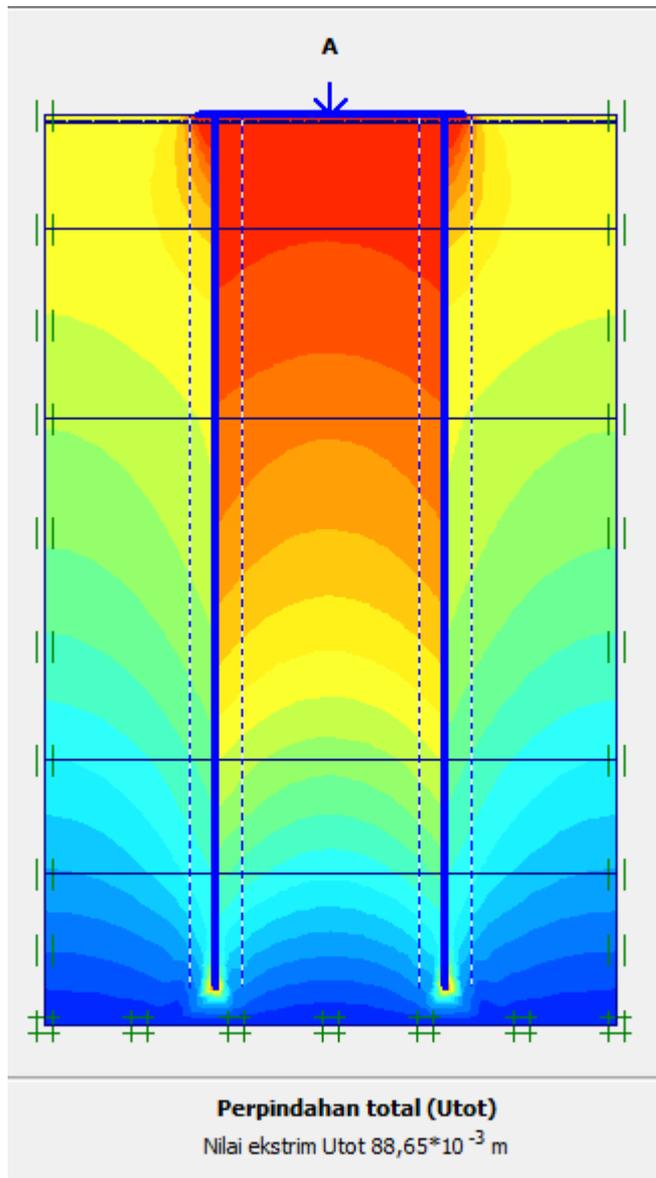
3. Variasi jarak Tiang 5D



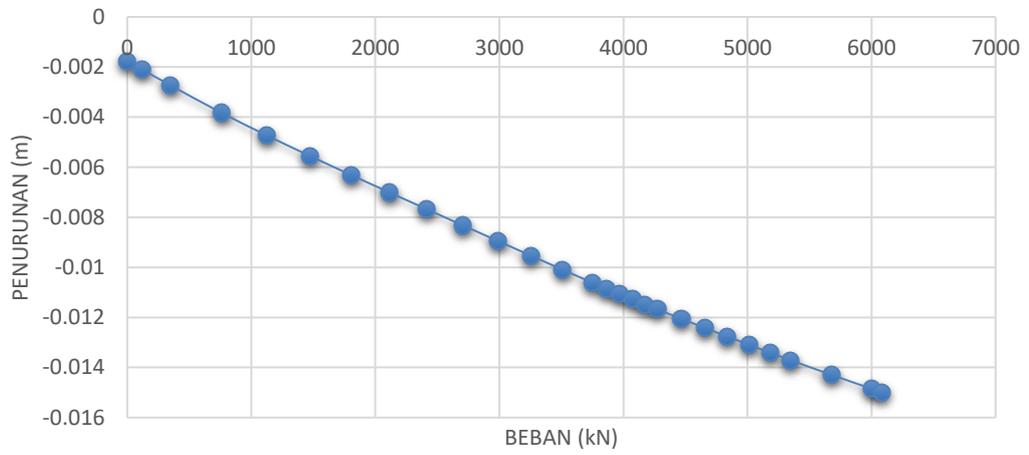
Gambar 1 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi



**Gambar 2 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan**  
*Pilecap*



**Gambar 3 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan**



**Gambar 4 Kurva Displacement vs Loading**

Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0,0000	$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	$\Sigma$ -Msf:	3,4084

**Gambar 5 Nilai  $\Sigma$  M-Sf**