TUGAS AKHIR (RC14-1501)

PERENCANAAN TURAP / *RETAINING WALL* PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL – PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575

MARBONO WIDYA DIPUTRA
NRP 3114 105 006

Dosen Pembimbing
Musta'in Arif, S.T., M.T.
Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT (RC14-1501)

SHEET PILE / RETAINING WALL DESIGN FOR GEMPOL - PANDAAN HIGHWAY CONSRUCTION IN STA 6 + 518 TO 6 + 575

MARBONO WIDYA DIPUTRA
NRP 3114 105 006

Supervisor
Musta'in Arif, S.T., M.T.
Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

PERENCANAAN TURAP/ *RETAINING WALL* PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL – PANDAAN STA 6 + 518 s/d 6+575

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MARBONO WIDYA DIPUTRA
Nrp. 3114 105 006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing I :
1. Musta'in Arif, ST., MT ..... 1.

Pembimbing II :
2. Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT ..... 2.

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL

SURABAYA
JUNI, 2016

PERENCANAAN TURAP/ *RETAINING WALL*
PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL – PANDAAN
STA 6 + 518 s/d 6+575

Nama Mahasiswa	**: Marbono Widya Diputra**
NRP	**: 3114105006**
Jurusan	**: Teknik Sipil FTSP – ITS**
Dosen Konsultsi	**: Musta'in Arif, ST., MT**
	Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT

Abstrak

Jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain. Salah satunya di Jawa Timur yaitu dilakukan pembangunan jalan Tol Pandaan – Gempol sebagai kelanjutan dari ruas jalan Tol Surabaya – Porong dan Porong – Gempol yang akan terhubung dengan jalan Tol Pandaan – Malang. Jalan tol Gempol - Pandaan ini merupakan ruas jalan tol yang menghubungkan Surabaya dan Malang.

Pada stasioning Sta 6+518 s/d 5+575 terdapat galian sedalam 18 meter dengan desain lereng bersusun pada samping badan jalan untuk menghidari kelongsoran. Namun pada salah satu sisi jalan desain lereng bersusun tidak dapat dilakukan karena terbatasnya lahan akibat adanya bangunan eksisting milik pabrik kaca. Karena pembebasan lahan milik pabrik kaca terlalu mahal, maka pada sisi ini digunakan galian tegak. Dalam perencanaan ini, direnanakan suatu kontruksi yang mempunyai fungsi sebagai perkuatan untuk menahan tanah galian tegak sedalam 18 m dari kelongsoran yang efektif dan ekonomis. Ada dua macam analisa pada perencanaan perkuatan tanah ini yaitu perencanaan perkuatan dengan mengguakan data tanah sesuai kondisi aslinya dan perencanaan perkuatan menggunakan data tanah yang dianggap sebagai pasir (behaving like sand). Hal ini dikarenakan pada lokasi yang tidak jauh dari pabrik terjadi kelongsoran walaupun tanah disekitar lokasi tersebut relatif padat/ keras.

Dari hasil perhitungan perkuatan menggunakan data tanah behaving like sand menghasilkan dimensi perkuatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan data tanah asli. Pada turap kantilever dimensi yang didapatkan untuk perkuatan menggunakan Stee Pipe Pile yaitu 0,8 m dengan panjang total 26 m untuk kondisi tanah asli dan 1,1 m dengan panjang total 32 m untuk kondisi behaving like sand. Sedangkan turap yang dikombinasikan dengan ground anchor didapatkan dimensi bored pile 0,7 m dengan panjang total 16 m untuk kondisi tanah asli dan 0,9 m dengan panjang total 20 m untuk kondisi behaving like sand.. Pemasangan subdrain diletakkan dibelakang turap agar lereng tetap daam kondisi kering.

Kata kunci: Galian, Turap, Retaining Wall, Stabilitas Lereng, Behaving Like Sand, Sheet Pile, Subdrain, Plaxis.

SHEET PILE / RETAINING WALL DESIGN FOR GEMPOL - PANDAAN HIGHWAY CONSRUCTION IN STA 6 + 518 TO 6 + 575

Student Name : Marbono Widya Diputra
Student Number (NRP): 3114105006
Departement : Teknik Sipil FTSP – ITS
Supervisor : Musta'in Arif, ST., MT
Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT

Abstract

Highway is a freeway that aims to shorten the distance and time from one place to another. One of them is in Jawa Timur (East Java), Pandaan - Gempol Highway built as a continuation of Surabaya - Porong Highway and Porong - Gempol Highway which will be connected with Pandaan - Malang Highway. Gempol - Pandaan Highway is a toll roads which connecting Surabaya and Malang.

In Sta 6 + 518 to Sta 5 + 575, there is an excavation with deep about 18 meters with counterweigh slope design on the roadside in order to avoid sliding. But on the one segment of the roads, the counterweigh slope design could not be implemented because of the limited space due to existing building of glass factory which is located here. Due to the high over cost for the acquisition of glass factory , then the un-slope cutting method will be implement on this location there need to design the reinforcement method which has a effective function and economic.. There are two types of analysis on this soil reinforcement design, which are reinforcement design using soil based on laboratory and reinforcement design using soil data that is considered as the sand (behaving like sand). This analyasis is used because soil sliding happened at a site located not far from the factory although the soil is relatively hard concistency.

The result show that reinforcement dimension using behaving like sand data is larger than using soil data based on laboratory

test. On cantilever sheet pile, the dimensions obtained for reinforcement using Stee Pipe Pile is 0.8 m with a total length of 26 m for the original soil conditions and 1.1 m with a total length of 32 m for the condition of behaving like sand. While the dimension of bored pile which is combined from both sheet pile and ground anchor is 0.7 m with a total length of 16 m for the original soil conditions and 0.9 m with a total length of 20 m for the condition of behaving like sand. The subdrain is placed behind the sheet pile in order to make the slopes remain in dry conditions

Key words: Cut, Sheet pile, Retaining Wall, Slope Stability, Behaving Like Sand, Subdrain, Plaxis.

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Title Page ii
Lembar Pengesahan iii
Abstrak v
Abstract vii
Kata Pengantar ix
Daftar Isi xi
Daftar Gambar xv
Daftar Tabel xix
Daftar Lampiran xxi

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Perencanaan 4
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat Perencanaan 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Korelasi *Standard Penetration Test* (SPT) 5
2.2 Tekanan Tanah Lateral 8
2.2.1 MenurutTeori Rankine (1987) 9
2.3 Turap 11
2.3.1 Fungsi Turap 11
2.3.2 Jenis-jenis Turap 11
2.3.3 Tipe-tipe Dinding Turap 13
2.3.4 Perancangan Dinding Turap 15
2.3.5 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif. 20
2.3.6 Momen Reduksi Rowe 22
2.3.7 Perhitungan Kedalaman Turap 24
2.3.8 Defleksi Tiang Vertikal 26

2.3.8.1 Panjang Jepitan Kritis Tanah Terhadap Tiang Pondasi (Dc) 28
2.3.8.2 Beban Vertikal Kritis 29
2.3.8.3 Metode Tomlinson 30
2.4 Blok Angker 31
2.4.1 Blok Angker Memanjang di Dekat Permukaan Tanah 33
2.4.2 Metode Bowles 34
2.4.3 Blok Angker Pada Kedalaman Besar 36
2.4.4 Letak Angker 36
2.4.5 Batang Pengikat dan Balok Horizontal 37
2.5 PLAXIS 38
2.6 Saluran Bawah Permukaan pada Lereng (*Subdrain*) 40
2.7 Tanah *Behaving Like Sand* 40

BAB III METODOLOGI 43
3.1 Bagan Alir 43
3.2 Studi Literatur 44
3.3 Pengumpulan Data 45
3.4 Pengolahan Data Tanah 45
3.5 Perencanaan Turap 45
3.6 Analisa Perbandingan Biaya 45
3.7 Perencanaan Saluran Bawah Permukaan (*Subdrain*) 45
3.8 Kesimpulan 46

BAB IV DATA DAN ANALISA 47
4.1 Data Tanah 47
4.1.1 Lokasi Pengambilan Data Tanah 47
4.1.2 Data *Standard Penetration Test* (SPT) 47
4.1.3 Data Tanah Asli 48
4.1.4 Data Tanah *Behaving Like Sand* 49
4.1.5 Penentuan Poisson's Ratio (μ) 49
4.1.6 Modulus Elastisitas Tanah (E_s) 50

4.1.7 Rekapitulasi Data Tanah 51
4.2 Data Spesfikasi Bahan 51
4.2.1 *Steel Pipe Pile* (SPP)..... 51
4.2.2 *Bored Pile* 51
4.2.3 Kabel Tendon..... 52

BAB V PERENCANAAN 53
5.1 Analisa Stabilitas Lereng 53
5.2 Model Geometri Turap/ *Retaining Wall* 53
5.3 Perencanaan *Subdrain* Pada Lereng..... 54
5.4 Perencanaan Turap Kantilever 55
5.4.1 Tanah Asli..... 55
5.4.1.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*) 60
5.4.1.2 Perencanaan *Bored Pile* 64
5.4.2 Tanah *Behaving Like Sand* 70
5.4.2.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*) 76
5.4.2.2 Perencanaan *Bored Pile* 80
5.4.3 Hasil Perhitungan Turap Kantilever 86
5.5 Perencanaan Turap Berangkur..... 87
5.5.1 Tanah Asli..... 87
5.5.1.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*) 93
5.5.1.2 Perencanaan *Bored Pile* 101
5.5.2 Tanah *Behaving Like Sand* 110
5.5.2.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*) 116
5.5.2.2 Perencanaan *Bored Pile* 124
5.5.3 Hasil Perhitungan Turap Berangkur 133
5.6 Perhitungan Harga Bahan dari Alternatif Perkuatan 133
5.6.1 Analisa Harga Turap Kantilever 133
5.6.2 Analisa Harga Turap Berangkur 134

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 137
6.1 Kesimpulan 137
6.2 Saran 139

Daftar Pustaka 141

Lampiran..... 143
Biodata Penulis..... 169

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi Nilai N pada tanah *Cohesionless* 5
Tabel 2.2 Korelasi Nilai N pada tanah *Cohesive*..... 5
Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah 7
Tabel 2.4 Perkiraan Nilai Poisson's Ratio..... 7
Tabel 2.5 Nilai-nilai n_h untuk tanah granuler (c = 0)..... 27
Tabel 2.6 Nilai-nilai n_h untuk tanah kohesif..... 27
Tabel 2.7 Kiteria tiang kaku dan tiang tidak kaku untuk tiang ujung bebas..... 28
Tabel 4.1 Data Tanah Asli..... 49
Tabel 4.2 Data Tanah *Behaving Like Sand* 49
Tabel 4.3 Perkiraan Nilai Poisson's Ratio..... 50
Tabel 4.4 Perkiraan Modulus Elastisitas tanah..... 50
Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Tanah Asli..... 51
Tabel 4.6 Rekapitulasi Data Tanah *Behaving Like Sand*..... 51
Tabel 4.7 Dimensi *Bored Pile* yang Digunakan..... 52
Tabel 5.1 Data Perencanaan Turap Kantilever Tanah Asli ... 55
Tabel 5.2 Gaya Turap Kantilever Tanah Asli..... 60
Tabel 5.3 Data Perencaaan Turap Kantilever Tanah *Behaving Like Sand*..... 71
Tabel 5.4 Gaya Turap Kantilever *Behaving Like Sand* 75
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Turap Kantilever..... 86
Tabel 5.6 Data Perencanaan Turap Berangkur Tanah Asli ... 87
Tabel 5.7 Gaya Turap Berangkurr Tanah Asli 92
Tabel 5.8 Data Perencanaan Turap Berangkur Tanah *Behaving Like Sand*..... 110
Tabel 5.9 Gaya Turap Berangkur *Behaving Like Sand* 115
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Turap Berangkur..... 133
Tabel 5.11 Harga Perkuatan Turap Kantilever..... 134
Tabel 5.12 Harga Perkuatan Turap Berangkur..... 135
Tabel 6.1 Hasil Analisa Turap Kantilever dan Turap Berangkur dengan Metode Konvensional..... 137
Tabel 6.2 Hasil Analisa Turap Kantilever dan Turap Berangkur dengan PLAXIS 138

Tabel 6.3 Rekapitulasi Harga Perkuatan 138

“

DAFTAR GAMBAR, GRAFIK, DAN DIAGRAM

Gambar 1.1 Layout Perencanaan, Ruas Jalan Tol Gempol - Pandaan Sta 6+518 s/d Sta 6+575 2
Gambar 1.2 Potongan Melintang Ruas Jalan Tol Gempol - Pandaan Sta 6+518 s/d Sta 6+575 2
Gambar 2.1 Jenis Tekanan Tanah Berdasarkan Arah Pergerakan Dinding..... 8
Gambar 2.2 *Steel Pipe Pile* 12
Gambar 2.3 Jenis Tiang Bor yang Dipakai untuk Turap 13
Gambar 2.4 Dinding Turap Kantilever..... 14
Gambar 2.5 Dinding Turap Diangker 15
Gambar 2.6 Tekanan Tanah Pada Turap Kantilever..... 15
Gambar 2.7 Pengaruh Kedalaman Turap Pada Distribusi Tekanan Dan Perubahan..... 17
Gambar 2.8 Variasi Defleksi Dan Momen Pada Turap Berjangkar Metode *Free Earth Support*..... 18
Gambar 2.9 Turap Jangkar Tertanam Pada Pasir..... 18
Gambar 2.10 Turap Jangkar Tertanam Pada Lempung 19
Gambar 2.11 Variasi defleksi dan momen pada turap berjangkar metode metode *fixed earth support*..... 20
Gambar 2.12 Tekanan Tanah Padaturap Kantilever 21
Gambar 2.13 Diagram Tekanan Tanah Pasif 21
Gambar 2.14 *Moment Reduction Factor for Graular Soil* (a & b) *and Cohesive Soil in Long-Term* (c) , Rowe & NAVFAC 23
Gambar 2.15 *Moment Reduction Factor For Cohesive Soil (short-term)* Rowe & TENG 24
Gambar 2.16 Diagram distribusi tekanan tanah aktif dan pasif 25

Gambar 2.17 Perlengkungan tiang panjang yang mendukung beban vertikal dan horizontal di kepala tiang (Tomlinson, 1977) 30
Gambar 2.18 Tiang Mengalami Beban Lateral *H* (Tomlison, 1977)..... 31
Gambar 2.19 Macam-Macam Cara Pengangkeran..... 32
Gambar 2.20 Kapasitas Blok Angker..... 33
Gambar 2.21 Gaya-Gaya Pada Blok Angker 35
Gambar 2.22 Penempatan Angker 37
Gambar 2.23 Pemasangan Batang Pengikat (*Tie Rod*) Dan Balok Horizontal (*Wale*) 38
Gambar 2.24 Saluran Bawah Pada Permukaan Lereng..... 40
Gambar 2.25 Keretakan Tanah..... 41
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir 44
Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Data..... 47
Gambar 4.2 Grafik Boring Log 48
Gambar 5.1 Perencanaan Geometri Lereng 53
Gambar 5.2 Rencana *Subdrain*..... 54
Gambar 5.3 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Kantilever Kondisi Tanah Asli 59
Gambar 5.4 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap SPP Kantilever Tanah Asli 63
Gambar 5.5 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah Asli 65
Gambar 5.6 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah Asli..... 69
Gambar 5.7 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Kantilever Kondisi *Behaving Like Sand* 75
Gambar 5.8 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap Kantilever SPP *Behaving Like Sand*..... 79

Gambar 5.9 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah *Behaving Like Sand*. 81
Gambar 5.10 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap Kantilever *Bored Pile Behaving Like Sand* 85
Gambar 5.11 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Berangkur Kondisi Tanah Asli 91
Gambar 5.12 Gaya *Tie Back* SPP Tanah Asli 95
Gambar 5.13 Posisi *Ground Anchor* SPP Tanah Asli..... 96
Gambar 5.14 Defleksi SPP dengan *Ground Anchor* Tanah Asli 98
Gambar 5.15 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada SPP Turap Berangkur Tanah Asli 99
Gambar 5.16 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Berangkurr Tanah Asli 101
Gambar 5.17 Gaya *Tie Back* SPP *Behaving Like Sand*..... 104
Gambar 5.18 Posisi *Ground Anchor Bored Pile Tanah Asli*.. 105
Gambar 5.19 Defleksi *Bored Pile* Tanah Asli dengan *Ground Anchor* 107
Gambar 5.20 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada *Bored Pile* Turap Berangkur Tanah Asli..... 108
Gambar 5.21 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Berangkur Kondisi *Behaving Like Sand* 114
Gambar 5.22 Gaya *Tie Back* SPP *Behaving Like Sand*..... 118
Gambar 5.23 Posisi *Ground Anchor* SPP *Behaving Like Sand* 119
Gambar 5.24 Defleksi SPP *Behaving Like Sand* dengan *Ground Anchor* 121
Gambar 5.25 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada SPP Turap Berangkur Tanah Asli 122

Gambar 5.26 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Berangkurr Tanah *Behaving Like Sand*..... 124
Gambar 5.27 Gaya *Tie Back Bored Pile Behaving Like Sand* 126
Gambar 5.28 Posisi *Ground Anchor Bored Pile Behaving Like Sand*..... 128
Gambar 5.29 Defleksi *Bored Pile Behaving Like Sand* dengan *Ground Anchor*..... 130
Gambar 5.30 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada *Bored Pile* Turap Berangkur *Behaving Like Sand* 131

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Tanah	143
Lampiran 2	Data Spesifikasi Bahan.....	144
Lampiran 3	Analisa Harga Bahan.....	152
Lampiran 4	Hasil Gambar Perencanaan	159
Lampiran 5	Lembar Asistensi Tugas.....	165

"*Halaman ini sengaja dikosongkan"*

BAB I
PENDAHULUAN

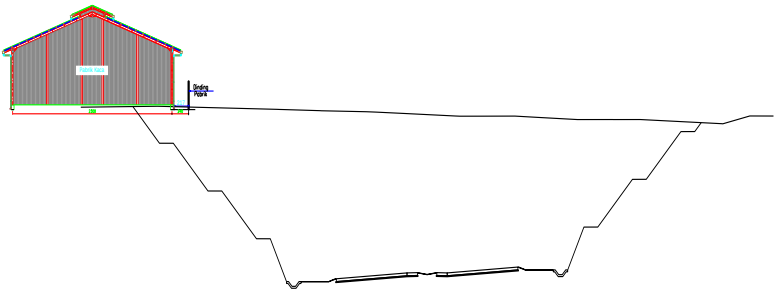
1.1 Latar Belakang

Jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain. Saat ini perkembangannya begitu pesat seiring meningkatnya jumlah kendaraan dan aktifitas transportasi. Perkembangan ini ditanggapi positif oleh pemerintah dengan dibangunnya akses-akses jalan tol baru untuk menghubungkan kota-kota di Indonesia melalui jalur darat.

Surabaya dan Malang merupakan dua kota besar yang berada di Jawa Timur. Jalur transportasi kedua kota tersebut sangat penting karena merupakan salah satu urat nadi kehidupan sosial, pendidikan dan ekonomi bagi Jawa Timur. Pada April 2012 dilakukan pembangunan jalan Tol Pandaan – Gempol sepanjang 13,61 km sebagai kelanjutan dari ruas jalan Tol Surabaya – Porong dan Porong – Gempol yang akan terhubung dengan jalan Tol Pandaan – Malang. Jalan tol Gempol Pandaan ini merupakan ruas jalan tol yang menghubungkan Surabaya dan Malang. Jalur ini terletak di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Secara topografis letak jalan tol berada pada daerah perbukitan yang mengakibatkan adanya pekerjaan galian untuk memenuhi kebutuhan perencanaan jalan yang tidak terlalu terjal.

Pada stasioning Sta 6+518 s/d 5+575 terdapat galian sedalam 18 meter dengan desain lereng bersusun pada samping badan jalan untuk menghidari kelongsoran. Namun pada salah satu sisi desain lereng bersusun tidak dapat dilakukan karena terbatasnya lahan akibat adanya bangunan eksisting milik pabrik kaca seperti yang terlihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2. Karena pembebasan lahan milik pabrik kaca terlalu mahal, maka pada sisi ini digunakan galian tegak. Lapisan tanah di lokasi relatif padat/keras sehingga tidak dapat digunakan perkuatan tanah dari *Prestressed Concrete* (PC).

Gambar 1.1 Layout Perencanaan, Ruas Jalan Tol Gempol - Pandaan Sta 6+518 s/d Sta 6+575



Gambar 1.2 Potongan Melintang Ruas Jalan Tol Gempol - Pandaan Sta 6+518 s/d Sta 6+575

Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, diperlukan suatu kontruksi yang mempunyai fungsi sebagai perkuatan untuk menahan tanah galian tegak sedalam 18 m dari kelongsoran yang efektif dan ekonomis. Dalam hal ini akan dianalisis stablilitas lereng tegak dengan perkuatan turap / *retaining wall* untuk menahan lereng tegak dari keruntuhan akibat massa tanah dan

bangunan diatasnya. Ada dua macam kondisi pada perencanaan perkuatan tanah ini yaitu perencanaan perkuatan dengan mengguakan data tanah asli dan perencanaan perkuatan menggunakan data tanah yang dianggap sebagai pasir *(behaving like sand)*. Hal ini dikarenakan pada lokasi yang tidak jauh dari pabrik terjadi kelongsoran walaupun tanah disekitar lokasi tersebut relatif padat/keras.

Sebelumnya Sianipar (2016) telah melakukan perencanaan dilokasi yang sama dengan perkuatan *soldier pile* dengan material *bored pie*. Dalam perenencanaanya perhitungan turap dilakukan dengan mengasumsikan tanah *behaving like sand* dan dikontrol menggunakan metode cerucuk.

Tugas akhir ini mencoba untuk melakukan perencanaan perkuatan galian tegak menggunakan metode konvensional yang dikombinasikan dengan PLAXIS untuk memberikan alternatif perencanaan sebagai solusi untuk mengatasi stabilitas galian, keterbatasan lahan dan biaya pada ruas jalan Tol Gempol – Pandaan Sta 6+518 s/d 5+575. Jenis perkuatan yang akan dijadikan alternatif dalam tugas ini adalah turap / *retaining wall* dengan menggunakan material *bored piles* dan *Stell Pipe Pile* (SPP). Tugas akhir ini juga membahas pemasangan *subdrain* di belakang lereng untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi kering.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas, masalah yang harus diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah merencanakan perkuatan tanah serta *subdrain* dibelakang turap. Pada tugas akhir ini yang akan dibahas :

1. Bagaimana perkuatan turap pada galian dengan menggunakan data tanah asli dengan metode konvensional ?
2. Bagaimana perkuatan turap pada galian dengan menggunakan data tanah asli dengan program bantu PLAXIS ?
3. Bagaimana perkuatan turap pada galian dengan menggunakan data tanah *behaving like sand* dengan metode konvensional ?

4. Bagaimana perkuatan turap pada galian dengan menggunakan data tanah *behaving like sand* dengan program bantu PLAXIS ?
5. Bagaimana perbandingan dari kedua kondisi tanah dasar dan besarnya biaya yang diperlukan?

1.3 Tujuan Perencanaan

Tujuan perhitungan perkuatan galian tegak menggunakan PLAXIS dan metode konvensional pada ruas jalan Gempol – Pandaan Sta 6+518 s/d 6+575 adalah untuk memperoleh alternatif perkuatan galian yang tepat, efisien dan ekonomis agar tidak mengganggu badan jalan dan bangunan disekitarnya.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi perencanaan hanya sepanjang pabrik kaca.
2. Tidak menghitung RAB, hanya menghitung kebutuhan bahan dan harga bahan.
3. Tidak membahas stabilitas galian diseberang jalan.
4. Tidak membahas tentang metode pelaksanaan.

1.5 Manfaat Perencanaan

Manfaat yang dapat diperoleh dari perencanaan ini adalah didapat perbandingan keamanan dan kestabilan galian tegak agar tidak terjadi longsor yang diakibatkan beban besar yang berada disekitarnya. Serta didapatkan solusi untuk mengatasi keterbatasan lahan dan perencanaan yang ekonomis.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korelasi *Standard Penetration Test* (SPT)

Korelasi SPT digunakan pada tugas akhir ini karena data tanah yang didapat adalah hasil dari SPT. Bowles (1983) mengemukakan bahwa ada korelasi antara nilai pukulan (N) pada SPT dengan parameter tanah lainnya, terlihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.1 Korelasi Nilai N pada tanah *Cohesionless*

N	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	>50
γ (kN/m^3)	-	16 - 25	14 - 18	16 - 20	18 - 23
ϕ	0	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>33
State	*Very Loose*	*Loose*	*Medium*	*Dense*	*Very Dense*
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100

Sumber: Bowles (1983)

Tabel 2.2 Korelasi Nilai N pada tanah *Cohesive*

N	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	>25
γ (kN/m^3)	14 - 16	16 - 18	16 - 18	16 - 20	18 - 23
q_u (kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	>100
Consistency	*Very Soft*	*Soft*	*Medium*	*Stiff*	*Hard*

Sumber: Bowles (1983)

Beberapa tokoh yang mengemukakan tentang korelasi parameter tanah:

1. Meyerhof, korelasi Dr dan Ø.
   Ø = 25 + 0.35 Dr
   (jika kandungan pasir dan lanau > 5%)
   Ø = 35 + 0.15 Dr
   (jika kandungan pasir dan lanau <5%)

2. Dunham
   $Ø = (12\ N)^{0.5} + 25$
3. Osaki
   $Ø = (20\ N)^{0.5} + 15$
4. Marcusson dan Bieganowky (1977), korelasi N, Dr, Ø, dan C_u.
   $Dr = 0.086 + 0.0083\ (2311 + 222\ N - 711\ (OCR) - CI\ \sigma_v)^{0.5}$
   Dimana:
   CI : 7.7 untuk σ_v kPa dan 63 untuk psi units
   OCR : Over Consolidation = $\frac{\sigma v\ terdahulu}{\sigma v\ sekarang}$
5. Fardis dan Venezano (1981), korelasi antara N dan C.
   $Ln\ N = C_2 + 2.06\ ln\ Dr + C_3\ ln\ \sigma_v$
   Dimana:
   C_2 : fungsi kedalaman yang ditentukan di lapangan dengan pengukuran N, Dr
   C_3 : 0.22 untuk σ_v dalam kPa dan 0.442 untuk psi unit.
6. Schults dan Mezenback (1982), korelasi N dan Dr.
   $Ln\ Dr = 0.478\ ln\ N - 0.262\ ln\ \sigma_v + 2.84$
   Dimana:
   σ_v : tegangan vertikal tanah efektif dalam bars atau 100 kPa
7. Terzaghi dan Peck (1943), korelasi N dan C_u untuk tanah lempung. C_u dalam kPa.
   Untuk lempung plastis : $C_u = 12.5\ N$
   Untuk lempung berlanau : $C_u = 10\ N$
   Untuk lempung berpasir : $C_u = 6.7\ N$

Nilai E (Modulus Young) dapat ditentukan dengan cara menkorelasikan konsistensi tanah dari tiap lapisan dengan tabel yang disajikan berikut ini (Lihat Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Es (kN/m^2)
Lempung	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 20000
Loses	15000 - 60000
Cadas	140000 - 1400000

Sumber: Bowles (1983)

Poisson Ratio didefenisikan sebagai perbandingan antara regangan lateral dan longitudinal. Tabel 2.4 di bawah ini merupakan Poisson's Ratio untuk beberapa material :

Tabel 2.4 Perkiraan Nilai Poisson's Ratio (Bowles, 1977)

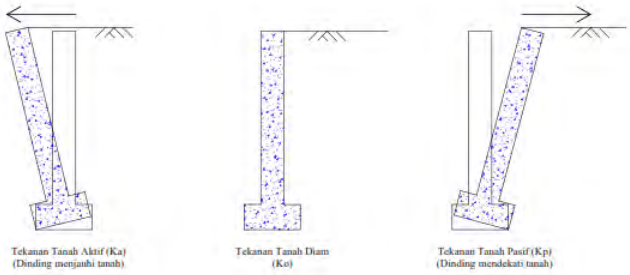
Jenis Tanah	Poisson's Ratio μ
Lempung jenuh	0.40 - 0.50
Lempung tak jenuh	0.10 - 0.30
Lempung berpasir	0.20 - 0.30
Lanau	0.30 - 0.35
Pasir padat	0.20 - 0.40
Pasir kasar	0.15
Pasir halus	0.25
Batu	0.10 - 0.40
Loess	0.10 - 0.30
Beton	0.15

2.2 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan Tanah lateral adalah sebuah parameter perencanaan yang penting di dalam sejumlah persoalan teknik pondasi. Dinding penahan dan dinding turap (*sheet pile wall*), galian yang diperkokoh (*braced excavation*) dan galian tidak diperkokoh (*unbraced excavation*), tekanan tanah (*grain pressure*) pada dinding diafragma, dan lain-lain. Semuanya ini memerlukan perkiraan tekanan lateral secara kuantitatif pada pekerjaan konstruksi, baik untuk analisa perencanaan maupun analisa stabilitas (Joseph E. Bowles,1988). Tekanan tanah lateral dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

a. Jika dinding tidak bergerak K menjadi koefisien tekanan tanah diam (K_0)
b. Jika dinding bergerak menekan kearah tanah hingga runtuh, koefisien K mencapai nilai maksimum yang disebut tekanan tanah pasif (K_p)
c. Jika dinding menjauhi tanah, hingga terjadi keruntuhan, maka nilai K mencapai minimum yang disebut tekanan tanah aktif (K_a)

Pergerakan dari 3 jenis tekanan tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 seperti yang di bawah ini.



(Sumber: Weber, 2010)

Gambar 2.1 Jenis Tekanan Tanah Berdasarkan Arah Pergerakan Dinding

2.2.1 Menurut Teori Rankine (1987)

Teori Rankine berasumsi bahwa :

- Tidak ada adhesi atau friksi antar dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan)
- Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertical 90^{o}.
- Kelongsoran terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah ($\emptyset$).
- Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding.
- Resultan gaya bersifat pararel terhadap permukaan urugan.

a. Tekanan Tanah Aktif (K_a)

Tekanan tanah aktif (dengan kohesi nol, C=0)

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horizontal, tekanan tanah dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tekanan tanah K_a. Untuk mendapatkan tekanan tanah horizontal K_a adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertikal tersebut menjadi tekanan horizontal. Oleh karena itu tekanan horizontal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathrm{Pa} = \frac{1}{2}\mathrm{Ka}\,\gamma\,\mathrm{H}^2 \qquad (2.1)$$

Dimana harga K_a

Untuk tanah datar adalah :

$$\mathrm{Ka} = \frac{1-\sin\emptyset}{1+\sin\emptyset} = \tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2}) \qquad (2.2)$$

Tekanan tanah aktif berkohesi

Kohesi (kelekatan tanah) mempunyai pengaruh mengurangi tekanan aktif tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$. Jadi dapat dirumuskan menjadi seperti berikut ini :

$$\mathrm{Pa} = \mathrm{Ka}\,\gamma\,\mathrm{H}^2 - 2\mathrm{c}\sqrt{\mathrm{K_a}} \qquad (2.3)$$

b. Tekanan Tanah Pasif (K_p) Menurut Rankine

Pada dinding penahan tanah menerima tekanan tanah pasif yang dapat menahan tekanan tanah aktif. Tekanan tanah pasif (K_p) yang besarnya sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1-\sin \emptyset}{1+\sin \emptyset} = \tan^2(45 + \frac{\emptyset}{2}) \quad (2.4)$$

Maka tahanan pasif suatu tanah datar tanpa kohesi (C=0)

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (2.5)$$

Tahanan pasif suatu tanah datar dengan kohesi

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2c\sqrt{K_p} \quad (2.6)$$

c. Tekanan Tanah dalam keadaan diam (K_0)

Pada saat dinding penahan tanah dalam keadaan diam, yaitu saat dinding tidak bergerak kesalah satu arah horizontal, maka massa tanah berada dalam keadaan keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*). Rasio tekanan arah horizontal dan vertical dinamakan "koefisien tanah dalam keadaan tanah diam (*coefficient of earth preassure at rest*),K_0, atau

$$K_0 = \frac{\sigma h}{\sigma v} \quad (2.7)$$

Karena $\sigma_v = \gamma Z$, maka $\sigma_v = K_0 \gamma Z$

Untuk tanah berbutir, keadaan tanah dalam keadaan diam dapat dihitung oleh hubungan empiris yang diperkenalkan oleh Jaky (1944).

$$K_0 = 1 - \sin\emptyset \quad (2.8)$$

Brooker dan Jreland (1965) mengemukakan hubungan empiris untuk menghitung K_0 dari tanah lempung yang terkonsolidasi normal

$$K_0 = 0{,}95 - \sin\emptyset \quad (2.9)$$

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, persamaan empiris yang lain untuk K_0 juga di kemukakan oleh Alpan (1967):

$$K_0 = 0{,}19 + 0{,}223 \text{ Log (PI)} \quad (2.10)$$

Keterangan : PI = Indeks Plastis

2.3 Turap

Turap adalah konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah disekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya. Konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng.

2.3.1 Fungsi Turap

Fungsi turap adalah :

1. Struktur penahan tanah, misalnya pada tebing jalan raya atau tebing sungai
2. Struktur penahan tanah pada galian
3. Struktur penahan tanah yang berlereng atau curam agar tanah tersebut tidak longsor
4. Konstruksi bangunan yang ringan, saat kondisi tanah kurang mampu untuk mendukung dinding penahan tanah.

2.3.2 Jenis – jenis Turap

Berdasarkan material yang digunakan dikenal beberapa jenis dinding turap, seperti turap kayu, turap beton, atau turap baja. Penentuan jenis material dinding turap bergantung dari penggunaannya.

A. Turap Baja

Turap baja adalah jenis paling umum yang digunakan, baik digunakan untuk bangunan permanen atau sementara karena beberapa sifat-sifatnya sebagai berikut :

1. Turap baja kuat menahan gaya-gaya benturan pada saat pemancangan.
2. Bahan turap relatif tidak begitu berat.
3. Turap dapat digunakan berulang-ulang.
4. Turap baja mempunyai keawetan yang tinggi.
5. Penyambungan mudah, bila kedalaman turap besar.

Biasanya pada setiap pabrik akan disedikan berbagai macam bentuk tipe penampang.

Gambar 2.2 *Steel Pipe Pile*

Secara umum daya dukung tiang *steel pipe* yang berdiri sendiri sebagai berikut :

$Q_{ult} = Q_e + Q_f - W$

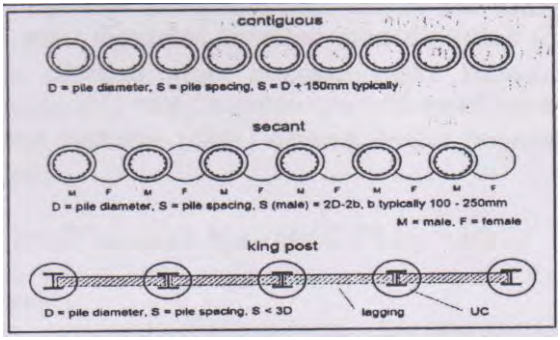
dimana,

Q_{ult} = kapasitas tiang ultimit/ maksimal
Q_e = kapasitas ujung tiang
Q_r = kapasitas gesekan tiang
W = berat tiang

B. Turap Beton (Dinding *Bored Pile*)

Pada dasarnya tiang bor atau *bored pile* digunakan untuk mengistilahkan tiang fondasi yang dicor ditempat (*cast in place pile*) dengan cara mengebor lubang kemudian mengecornya dengan beton. Pada umumnya tiang bor berdiameter diatas 750 mm. badan tiang umumnya berdiameter sama atau *straight shaft*

atau terdapat perembesan didasar tiang. *Bored pile* yang memiliki spasi sangat erat dapat digunakan untuk membentuk dinding penahan tanah, bias digunakan untuk pembangunan ruang bawah tanah, atau digunakan dalam metode *cut* and *cover* suatu terowongan.



Gambar 2.3 Jenis Tiang Bor yang Dipakai untuk Turap

Perhitungan daya dukung *bored pile* didasarkan pada dua hal, yaitu tahanan ujung (*friction bearing capacity*) dan tahanan gesekan tiang (*friction bearing capacity*). Secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$Q_{ult} = Q_e + Q_f$

dimana,

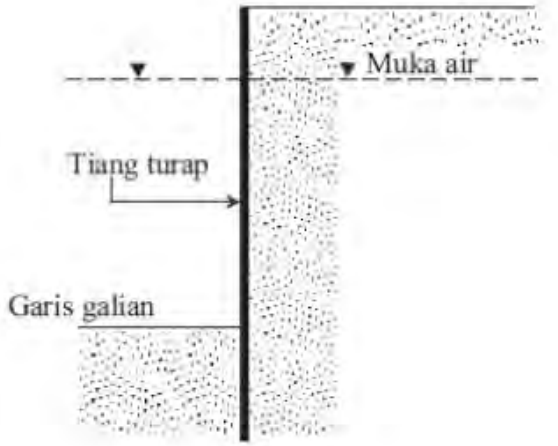
Q_{ult} = kapasitas tiang ultimit/ maksimal
Q_e = kapasitas ujung tiang
Q_r = kapasitas gesekan tiang

2.3.3 Tipe-tipe Dinding Turap

A. Dinding Turap Kantilever

Dinding turap kantilever merupakan turap yang dalam menahan beban lateral mengandalkan tahanan tanah didepan dinding. Defleksi lateral yang terjadi relatif besar pada pemakaian turap kantilever. Karena luas tampang bahan turap yang

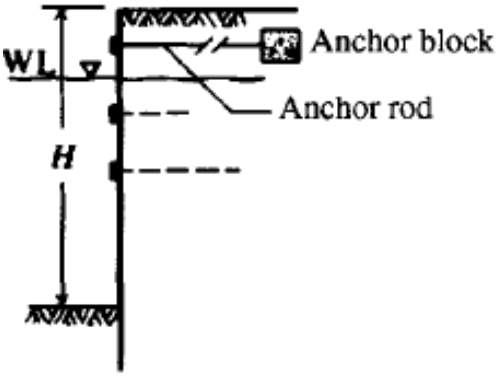
dibutuhkan bertambah besar dengan ketinggian tanah yang ditahan (akibat momen lentur yang timbul). Turap kantilever hanya cocok untuk menahan tanah denga ketinggian/kedalaman yang sedang.



Gambar 2.4 Dinding Turap Kantilever

B. Dinding Turap Diangker

Dinding turap diangker cocok untuk menahanan tebing galian yang dalam, tetapi masih juga bergantung pada kondisi tanah (Gambar 2.5). Dinding turap ini menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan tanah pada bagian turap yang terpancang ke dalam tanah dengan dibantu oleh angker yang dipasang pada bagian atasnya. Kedalaman turap menembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah. Untuk dinding turap tinggi, diperlukan turap baja dengan kekuatan tinggi. Stabilitas dan tegangan-tegangan pada turap yang diangker bergantung pada banyak faktor, misalnya: kekakuan relatif bahan turap, kedalaman penetrasi turap, kemudah-mampatan tanah, kuat geser tanah, keluluhan angker dan lain-lainnya.

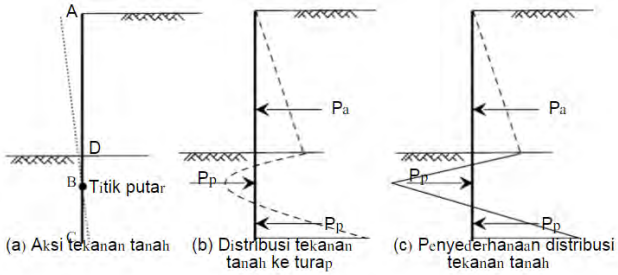


Gambar 2.5 Dinding Turap Diangker
(Sumber: Rowe,1952)

2.3.4 Perancangan Dinding Turap

A. Prinsip Umum Perangan Turap Kantilever

Perilaku dinding turap kaku sempurna akibat tekanan tanah lateral dibelakangnya dijelaskan dalam Gambar 2.6 (Teng, 1962).



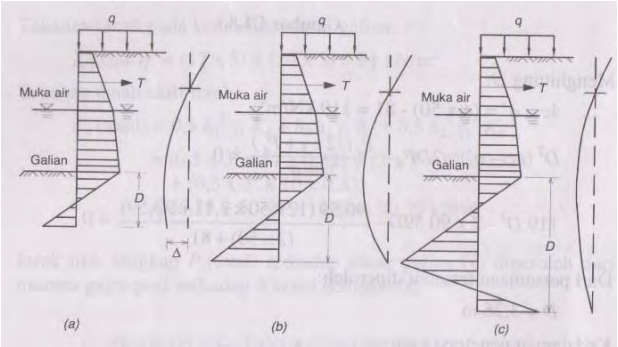
Gambar 2.6 Tekanan Tanah Pada Turap Kantilever
(Teng, 1962)

Akibat tekanan tanah aktif tanah dibelakang turap, turap bergerak ke kiri dan berputar pada titik B (Gambar 2.6 a). Pada kondisi ini, tekanan tanah yang terjadi pada bagian bawah garis galian, yaitu disebelah kiri BD dan di kanan BC akan berupa

tekanan tanah pasif, sedangkan di kiri BC dan kanan BA, bekerja tekanan tanah aktif. Pada titik rotasi B,karena tanah tidak bergerak, maka titik ini akan mendapatkan tekanan tanah yang sama dari depan dan belakang (yaitu tekanan tanah lateral saat diam). Jadi, tekanan tanah lateral pada titik B tersebut akan sama dengan nol. Gambar 2.6 b menunjukan distribusi tekanan tanah neto (tekanan tanah pasif dikurangi tekanan tanah pasif) pada turap, dan Gambar 2.6c adalah penyerdehanaan dari Gambar 2.6 b untuk maksud hitungan stabilitasnya. Distribusi tekanan tanah lateral pada dinding turap tidak sama, bergatung pada jenis tanah, yaitu tanah kohesif atau granuler.

B. Turap Diangker

Untuk menahan beban-beban lateral yang besar, yaitu bila tanah yang ditahan oleh turap sangat tinggi, maka dinding turap diperkuat dengan suatu plat jangkar (*anchor plates*), dinding jangkar (*anchor walls*), atau tiang jangkar (*anchor piles*), yang letaknya dekat dengan puncak turap. Cara dengan perkuatan jangkar ini disebut dengan tiang turap berjangkar (anchored sheet piling) atau sekatan berjangkar (*anchored bulkhead*). Jangkar akan mengurangi kedalaman penetrasi yang diperlukan oleh turap dan juga akan mengurangi luas penampang dan berat yang diperlukan dalam konstruksi. Antara turap dan jangkar dihubungkan oleh batang penguat (*tie rods*). Distribusi tekanan pada turap diangker menjadi tidak sama dengn distribusi tekanan dinding turap kantilever. Hubungan antara kedalaman penembusan turap,distribusi tekanan lateral, dan garis perubahan bentuknya diperlihatkan dalam Gambar 2.7.



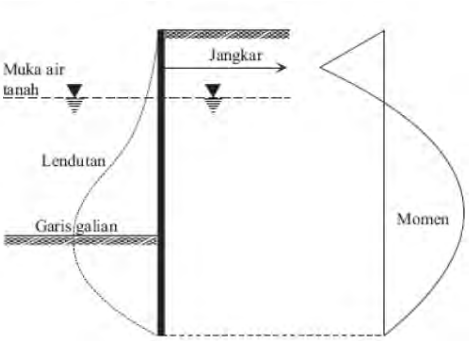
Gambar 2.7 Pengaruh Kedalaman Turap Pada Distribusi Tekanan Dan Perubahan
(Sumber: Hardiyatmo,2010)

Ada dua metode dasar dalam membangun dinding turap berjangkar:

1. metode ujung bebas
2. metode ujung tetap

1. Metode Ujung Bebas

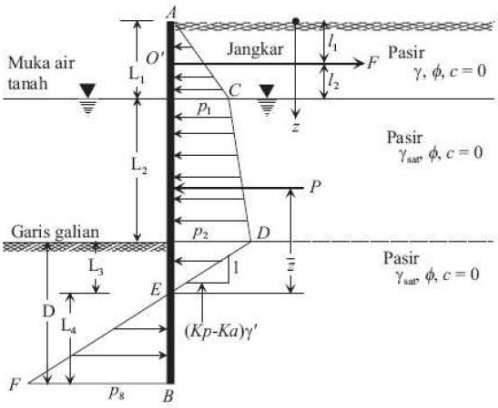
Pada metode ujung bebas (*free end method*) atau disebut juga metode tanah bebas (free earth method), kedalaman turap didasar galian dianggap tidak cukup untuk menahan tekanan tanah yang terjadi pada bagian atas dinding turap. Karena itu, keruntuhan terjadi oleh akibat rotasi dinding turap terhadap ujung bawahnya.



Gambar 2.8 Variasi Defleksi Dan Momen Pada Turap Berjangkar Metode *Free Earth Support*

a. Metode *Free Earth Support* pada Pasir

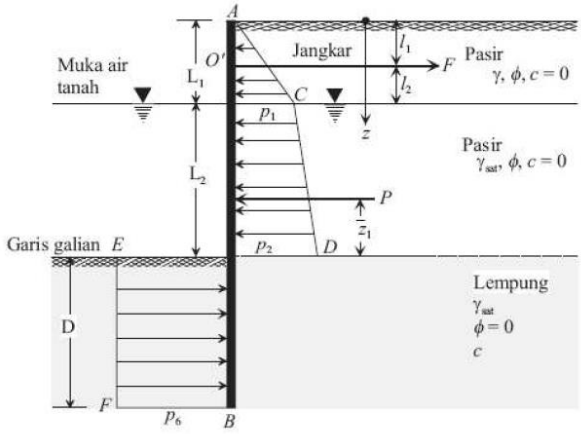
Gambar 2.9 menunjukkan sebuah turap jangkar dengan tanah di belakang turap adalah pasir dan juga tiang turap disorong ke dalam tanah pasir. Batang penguat (*tie rod*) menghubungkan turap dengan jangkar ditempatkan pada kedalaman di bawah puncak turap.



Gambar 2.9 Turap Jangkar Tertanam Pada Pasir

b. Metode *Free Earth Support* pada Lempung

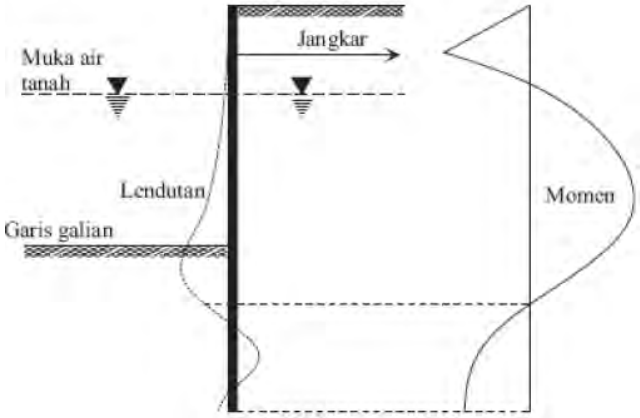
Gambar 2.10 menunjukkan sebuah turap berjangkar yang ditanamkan pada lapisan lempung, sedangkan tanah di belakang turap adalah tanah granular.



Gambar 2.10 Turap Jangkar Tertanam Pada Lempung

2. Metode Ujung Tetap

Metode ujung tetap (*fixed end metho*d) atau metode tanah tetap (*fixed earth method*) didasarkan pada pertimbangan bahwa kedalaman penetrasi turap sudah cukup dalam, sehngga tanah dibawah dasar galian mampu memberikan tahanan pasif yang cukup untuk mencegah ujung bawah turap berotasi.



Gambar 2.11 Variasi defleksi dan momen pada turap berjangkar metode metode *fixed earth support*

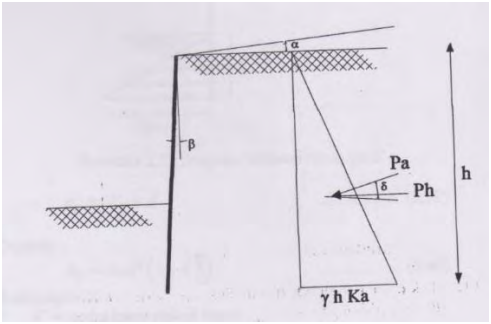
2.3.5 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Pada perhitungan turap akan digunakan teori dari Coulomb, yang mana menganggap bahwa bidang longsor adalah rata. Gesekan antara dinding dengan tanah dibelakang dinding ikut diperhitungkan. Prinsip umum dari penurunan teori tekanan tanah menurut Coulomb untuk tanah sering tak berkohesi (kekuatan gesernya dinyatakan dengn persamaan $\tau_f = \sigma \tan \Phi$ (Das 1987)

a. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif terdiri dari beban vertical yang bekerja dibelakang turap baik berupa beban tambahan (*surcharge*) maupun tekanan horizontal tanah sendiri. Adapun persamaan Tekanan Tanah Aktif adalah sebagai berikut:

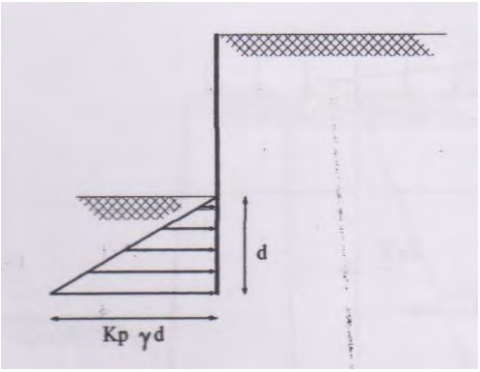
$$\sigma_a = K_a \gamma H \qquad (2.19)$$



Gambar 2.12 Tekanan Tanah Padaturap Kantilever (Teng, 1962)

b. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif berupa tekanan horizontal tanah pada bagian depan struktur yang terbenam (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Diagram Tekanan Tanah Pasif

$$\sigma_p = K_p \gamma d \qquad (2.20)$$

Dimana :

$$Kp = \tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right)$$

Keterangan :
φ = sudut geser dalam tanah
γ = berat volume tanah
d = panjang turap yang terbenam tanah

2.3.6 Momen Reduksi Rowe

Turap adalah lentur. Akibat kelenturannya ini, turap akan meleleh (yaitu berpindah secara lateral). Pelelehan ini menghasilkan pendistribusian kembali tekanan tanah lateral. Perubahan ini akan cenderung mengurangi momen lentur maksimum. Atas dasar alasan inilah, Rowe (1952, 1957) menggagas sebuah prosedur untuk mereduksi momen maksimum yang diperoleh dari metode free earth support. Bagian berikut ini akan membicarakan prosedur reduksi momen yang diajukan oleh Rowe.

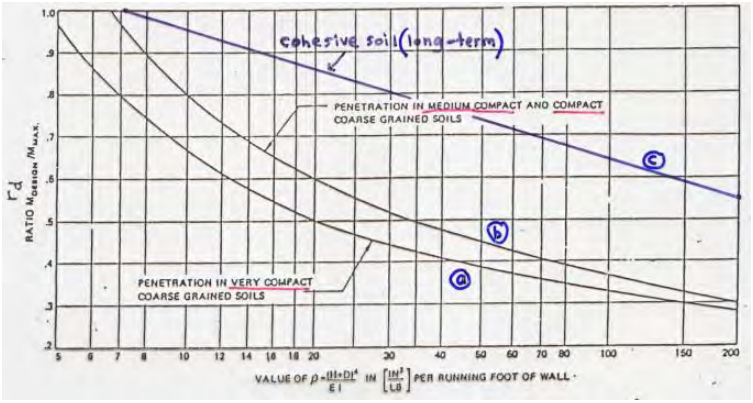
a. Turap pada Pasir

Pada Gambar 2.14, yang berlaku untuk kasus turap yang tertanam di dalam tanah granuler dan tanah kohesif *long-term*, notasi berikut ini akan digunakan:

1. H' = tinggi total tiang (yaitu H + D_{aktual})
2. Kelenturan relatif (*relatif flexibility*) tiang,

$$\rho = \frac{H'^4}{EI} \qquad (2.21)$$

   dimana H dalam m, E = modulus Young bahan tiang (MN/ m^2) dan I = momen inersia penampang tiang per kaki *(foot)* dinding (m^4/m dinding)
3. M_d = momen rencana
4. M_{max} = momen maksimum teoritis
   dimana H dalam m, E = modulus Young bahan tiang dan I = momen inersia penampang tiang kaki per kaki (foot) dinding.



Gambar 2.14 *Moment Reduction Factor for Graular Soil* (a & b) *and Cohesive Soil in Long-Term* (c) , Rowe & NAVFAC

b. Turap pada Lempung

Momen reduksi untuk turap yang tertanam pada tanah kohesif dapat dihitung dengan menggunakan Gambar 2.15, dengan notasi sebagai berikut:

1. Angka stabilitas (*stability number*) dapat dinyatakan sebagai,

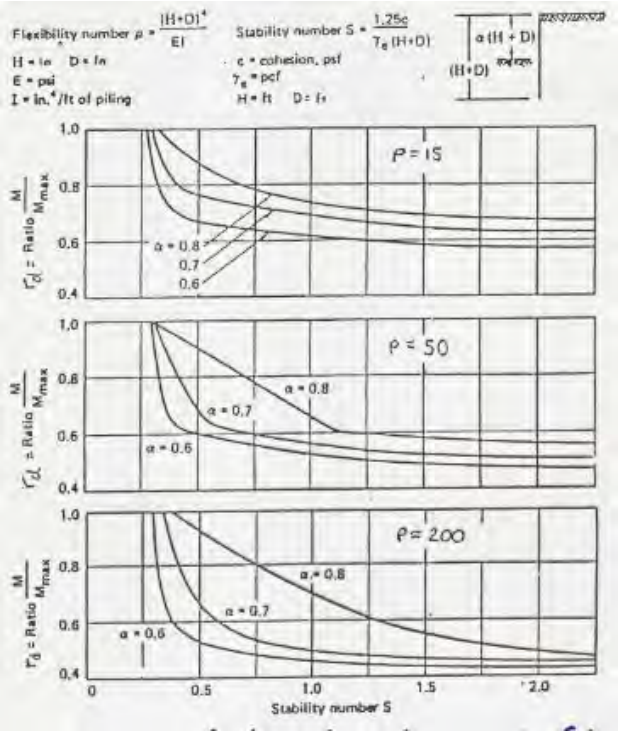
$$S = \frac{cr}{\gamma H + q_w - \gamma_w H_w} \qquad (2.22)$$

dimana, γ = berat volume tanah.
H = tinggi turap diatas *drege level*
q_s = uniform surcharge
γ = unt weight of water
h_w = tinggi ar didepan dinding

α dinyatakan sebagai,

$$\alpha = \frac{H}{H + D_{aktual}} \qquad (2.23)$$

2. Angka kelenturan (*flexibility number*), [lihat Pers. (2.21)].
3. M_d = momen rencana dan M_{max} = momen maksimum teoretis.



Gambar 2.15 *Moment Reduction Factor For Cohesive Soil (short-term)* Rowe & TENG

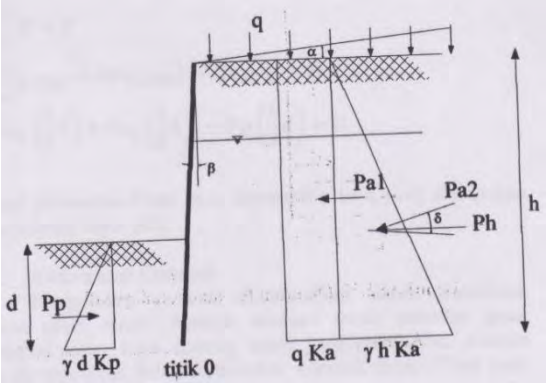
2.3.7 Perhitungan Kedalaman Turap

Distribusi tekanan tanah dan distribusi momen pada turap ditampilkan pada Gambar 2.16. adapun tahapan perhitungan turap adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah

$$Ka = \frac{\cos^2(\emptyset-\beta)}{\cos^2\beta\,\cos(\delta+\beta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\emptyset+\delta).\,\sin(\emptyset-\alpha)}{\cos(\delta+\beta).\cos(\alpha-\beta)}}\right]^2}$$

$$Kp = \tan^2\left(45+\frac{\emptyset}{2}\right)$$



Gambar 2.16 Diagram distribusi tekanan tanah aktif dan pasif

b. Perhitungan Tekanan Tanah
   $\sigma_1 = q\ K_a$
   $\sigma_2 = \gamma\ h1\ K_a$ dan
   $\sigma_2 = \gamma\ d\ K_p$
c. Perhitungan Pa dan Pp
   $Pa = q\ K_a\ h$
   $Pa_2 = ½\ K_a\ h^2$
   $Pp = ½\ K_p\ d^2$
d. Perhitungan kedalaman Turap
   Untuk mendapatkan kedalaman turap yang ditanam (d) harus diperhitungkan momen terhadap titik 0 yang disebabkan oleh Pa maupun Pp.
   $\sum M = 0$
   $[Mo_{1(pa1)} + Mo_{2(pa2)}] - Mo_{3(pp)} = 0$
   $[Pa_1\ (\frac{1}{2}\ h) + Pa_2(\frac{1}{3}\ h)] - Pp\left(\frac{1}{3}d\right) = 0$
   Dari persamaan diatas akan diperoleh nilai d yang merupakan kedalaman sheet pile.

2.3.8 Defleksi Tiang Vertikal

Dalam perancangan fondasi tiang, tiang-tiangtidak diperbolehkan mengalami defleksi lateral terlalu besar. Hal ini, karena jika kemiringan tiang terlalu besar, maka akan membahayakan stabilitas jangka panjang bangunan yang didukungnya. Ketika perpindahan lateral tiang kecil, maka kekuatan tanah masih belum termbilisasi sepenuhnya, sehingga persamaan-persamaan perpindahan tiang kea arah lateral umumnya didasarkan pada elatis.

Untuk menentukan besarnya defleksi tiang yang mendukung beban lateral, perlu diketahui factor kekakuan tiang, yang dapat ditentukan dengan menghitung faktor-faktor kekakuan R dan T. Faktor-faktor kekakuan tersebut, dipengaruhi olehekakuan tiang (EI) dan kompresibilitas tanah yang dinyatakan dalam modulus tanah, K (*soil modulus*) yang tidak konstan untuk sembarang tanah, tapi bergantung pada lebar dan kedalaman tanah yang dibebani.

Jika tanah berupa lempung kaku terkonsolidasi berlebihan (stiff over consolidated clay), modulus tanah umumnya dapat dianggap konstan diseluruh kedalamannya. Faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan (R) dinyatakan oleh persamaan :

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{K}} \qquad (2.24)$$

dengan :

K = k_hd =k1/1.5 = modulus tanah

k_1 = modulus reaksi subgrade dari Terzaghi

= (tekanan plat/perpindahan horizontal)

E = modulus elastis tiang

I = momen inersia tiang

d = lebar atau diameter tiang

Faktor kekakuan untuk modulus tanah tidak kostan (T), dinyatakan oleh persamaan :

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad (2.25)$$

dengan modulus tanah :

$$K = n_h z \quad (2.26)$$

dan modulus reaksi subgrade horizontal :

$$k_h = n_h z / d \quad (2.27)$$

Koefisien varisi modulus (n_h) diperoleh terzaghi secara langsung dari uji beban tiang dalam tanah pasir yang terendam air. Nilai-nilai n_h yang disarankan oleh terzaghi ditunjukan dalam Tabel 2.5. Nilai-nilai n_h yang lain, ditunjukan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Nilai-nilai n_h untuk tanah granuler (c = 0)

Kerapatan relatif (Dr)	Satuan	Tak padat	Sedang	Padat	
Pasir kering atau lembab	kN/m^3	2425	7275	19400	Terzaghi
Pasir terendam air	kN/m^3	1386 5300	4850 16300	11779 34000	Terzaghi Reese dkk

Tabel 2.6 Nilai-nilai n_h untuk tanah kohesif (Poulos dan Davis,1980)

Tanah	Referensi	n_h (kN/m^3)
Lempung terkonsolidasi normal lunak	Reese dan Matlock (1956)	166-3518
	Davisson-Prakash (1963)	277-554
Lempung terkonsolidasi normal organik	Peck dan Davisson (1962)	111-277
	Davisson (1970)	111-831
Gambut	Davisson (1970)	55
	Wilson dan Hilts (1967)	27,7-111
Loess	Bowles (1968)	8033-11080

Dari nilai-nilai faktor kekakuan R dan T yang telah dihitung, Tomlinson (1977) mengusulkan kriteria tiang kaku atau disebut juga tiang pendek dan tiang tidak kaku/elastis (atau tiang panjang) yang dikaitkan dengan panjang tiang yang tertanam dalam tanah (L), seperti yang ditunjukan dalam Tabel 2.7. Batasan ini terutama digunakan untuk menghitung defleksi tiang oleh akibat gaya horizontal.

Tabel 2.7 Kiteria tiang kaku dan tiang tidak kaku untuk tiang ujung bebas (Tomlinson, 1977)

Tipe tiang	Modulu tanah (K) bertambah dengan kedalaman	Modulu tanah (K) konstan
Kaku (ujung bebas)	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Tidak kaku (ujung bebas)	$L \geq 4T$	$L \geq 3{,}5R$

2.3.8.1 Panjang Jepitan Kritis Tanah Terhadap Tiang Pondasi (D_c)

Kedalaman atau panjang kritis dari tiang pondasi yang harus terjepit di dalam tanah, dapat ditentukan dengan metoda dari PHILIPPONAT seperti dibawah ini :

Kondisi 1 :
Kedalaman minimal penjepitan tanah terhadap tiang pondasi (D_m), didapat dari harga terbesar dari harga-harga berkiut :

- Monolayer = 3 m atau 6 x diameter
- Multilayers = 1.5 atau 3 x diameter

(perkeculian : tiang-tiang yang menumpu langsung diatas batuan). Untuk tanah berkohesi, kndisi ini adalah cukup sesuai.

Kondisi 2 :
Kedalaman atau panjang penjepitan tanah yang diperlukan memobilisasi tegangan titik pusat di dasar tang (q_p) didapat denan peumusan dari FORAY dan PUECH :

$$\frac{D_c}{\sqrt{B}} = 25\left(1 + \frac{q_p}{10}\right) \quad (2.28)$$

Awas : perumusan tidak homogeny
q_p satuannya dalam MPa (dari hasiltes CPT,SPT, dll) B dan D_c dalam cm. perumusan n berlaku untuk harga sudut geser dalam ϕ yang tingg. Dilain pihak, adanya air tanah dapat menaikkan harga dari D_c.

2.3.8.2 Beban Vertikal Kritis

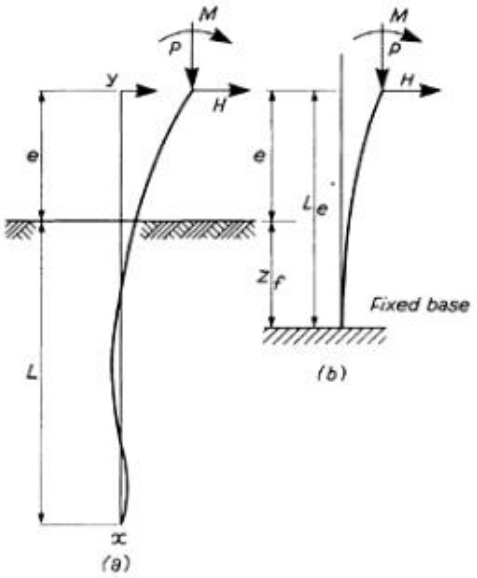
Bila tiang dipasang didalam tanah dengan kepala yang menonjol, hitungan beban vertikal maksimum harus diperhitungkan terhadap tekukan tiang. Ditinjau tiang dengan ujung atas yang menonjol sebesar *e* dari permukaan tanah. Tiang tersebut dibebani dengan beban horizontal H dan beban vertikal Q, dan dianggap terjepit di dalam tanah dengan kedalaman z_f. Beban tekuk tiang kritis dapat dihitung dengan cara menghitung lebih dulu faktor-faktor kekakuan R dan T untuk memperoleh panjang ekivalen (z_f) dari tiang ujung bebas. Kedalaman z_f dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. Untuk tanah yang mempunyai modulus *subgrade* konstan :

$$z_f = 1.4R \text{ (untuk } I_{mak} = L/R > 4) \quad (2.29)$$

2. Untuk tanah yang mempunyai modulus *subgrade* yang bertambah secara linier dengan kedalamannya :

$$z_f = 1.4T \text{ (untuk } I_{mak} = L/T > 4) \quad (2.30)$$

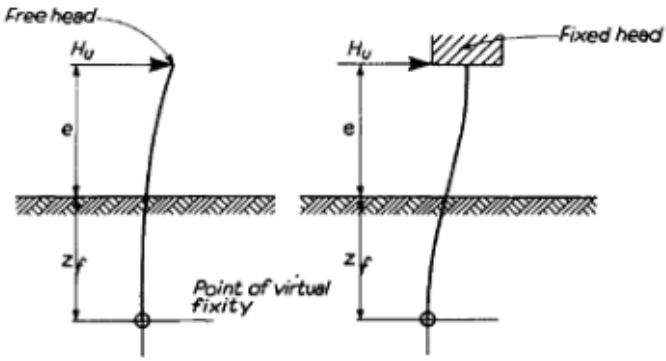


Gambar 2.17 Perlengkungan tiang panjang yang mendukung beban vertikal dan horizontal di kepala tiang (Tomlinson, 1977)
(a) Tiang dipasang seagian tertanam dalam tanah
(b) Panjang tiang ekivalen

2.3.8.3 Metode Tomlinson

Metode ini tiang dianggap sebagai struktur kantilever yang dijepit pada kedalaman z_f, dengan memperlihatkan Gambar 2.18 defleksi lateral di kepala tiang bebas dinyatakan oleh persamaan (Tomlinson 1977) :

$$y = \frac{H\,(e+ z_f)^3}{3\,E_p\,I_p} \qquad (2.31)$$



Gambar 2.18 Tiang Mengalami Beban Lateral *H* (Tomlison, 1977)

Defleksi lateral ujung tiang dlam ujung jepit,

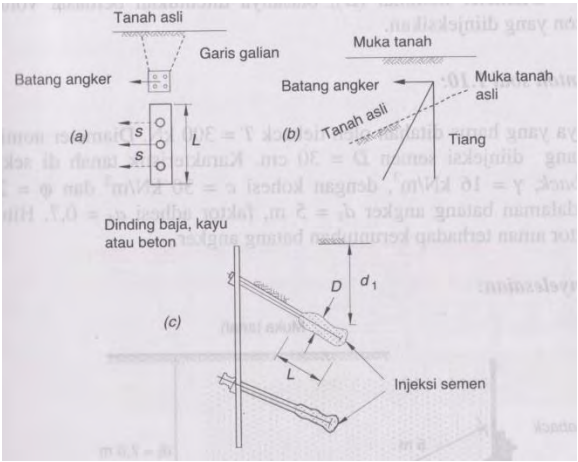
$$y = \frac{H\,(e+z_f)^3}{12\,E_p\,I_p} \tag{2.32}$$

dengan,
H = beban lateral (kN)
E_p = modulus elastis tiang (kN/m^2)
I_p = momen inersia dari penampang tiang (m^4)
e = jarak beban terhadap muka tanah (kN/m^2)
z_f = jarak titik jepit dari muka tanah (m)

2.4 Blok Angker

Blok angker yang juga disebut "*dead man*", dapat dibuat dari beton bertulang. Blok angker umumnya berpenampang bujursangkar dan dengan panjang tertentu (Gambar 2.19a). Pengangkeran juga dapat dilakukan dengan membuat sistem kelompok tiang pancang yang dirancang kuat menahan gaya lateral (Gambar 2.19b). Selain itu, struktur tie back juga sering digunakan sebagai angker (Gambar 2.19c). Tie back banyak digunakan untuk penahan tanah pada galian dalam. Tie back sebenarnya suatu

bentuk tiang yang dipasang miring dengan sudut sekitar 15 – 25° terhadap horizontal. Tie back ini dibuat dengan mengebor tanah, dengan diameter sekitar 15 – 37,5 cm. batang angker yang diujungnya dipasang pelat dimasukkan lubang bor. Setelah itu, campuran pasir semen diinjeksikan kedalam lubang sehingga membentuk semacam tiang miring dengan diameter sesuai dengan diameter lubang yang dibuat. Hanya sebagian lubang bor yang diinjeksi dengan semen dan bagian yang tidak diinjeksi ini memungkinkan terjadi elongasi bila ditarik, sehingga saat angker ditarik, terjadi semacam tulangan prategang.



Gambar 2.19 Macam-Macam Cara Pengangkeran
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Tahanan tie-back (Bowles,1996):

$$Tu = \pi DL(\gamma d_2 K \operatorname{tg} \delta + c_a) \qquad (2.33)$$

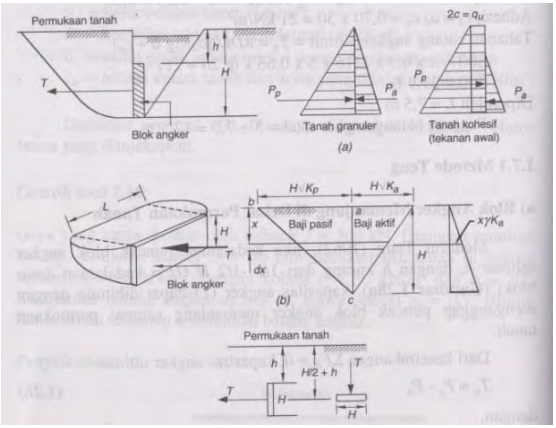
dengan,
D = diameter nominal yang diinjeksi semen (m)
L = panjang bagian angker yang diselimuti semen (m)
γ = berat volume tanah (kN/m^3)

K = koefisien tekanan tanah lateral (K_a<K<K_o)
δ = sudut gesek antara injeksi semen dan tanah sekitarnya
c_a = adhesi antara tanah dan zona yang diinjeksi semen (kN/m^2)

Diameter nominal (D), biasanya ditentukan berdasar volume beton yang diinjeksikan.

2.4.1 Blok Angker Memanjang di Dekat Permukaan Tanah

Gambar 2.20b memperlihatkan blok angker dangkal dengan panjang L yang didukung gaya angker T. Pengamatan-pengamatan dalam pengujian menunjukan bahwa saat keruntuhan terjadi, tanah yang terangkat lebih panjang dari panjang blok angker.



Gambar 2.20 Kapasitas Blok Angker
(sumber : Hardiyatmo, 2010)

Teng (1962) mengusulkan persamaan untuk menghitung kapasitas ultimit blok angker dangkal sebagai berikut :

Untuk tanah granuler (pasir) :

$$T \leq Tu \qquad (2.34a)$$

$$Tu = L(P_p - P_a) + 1/3\ K_o\gamma\ (\sqrt{K_p} + (\sqrt{K_a})\ H^3\ tg\ \varphi \qquad (2.34b)$$

Untuk tanah kohesif (lempung jenuh) :

$T \leq Tu$ (2.34c)

$Tu = L(P_p - P_a) + 2cH^2$ (2.34d)

dengan c = kohesi tanah.

Faktor aman terhadap keruntuhan blok angker :

$F = T_u/T$

dengan ,

T = Gaya tarik angker (kN)

T_u = gaya tahan angker ultimit (kN)

L = panjang balok angker (m)

P_a, P_p = tekanan tanah aktif dan pasif total

K_o = koefisien tekanan tanah saat diam (K_o dapat diambil = 0,4)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

K_p, K_a = koefisien tekanan tanah pasif dan aktif

H = kedalaman dasar blok angker terhadap permukaan tanah (m)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

2.4.2 Metode Bowles

Bowles (1996) menyarankan persamaan umum untuk menentukan tahanan blok angker beton dengan tampang berbentuk bujursangkar. Dengan memperhatikan gaya-gaya tekanan tanah aktif, pasif, gaya-gaya geser pada blok angker (Gambar 2.21), faktor aman terhadap keruntuhan blok angker dihitun dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F = \frac{FR}{Far} \quad (2.35a)$$

$$F_R = L(P_p' + S_a + S_b - P_a') \quad (2.35b)$$

Tahanan geser yang bekerja dibagian atas blok angker :

$S_a = (q + \gamma d_2)tg\ \delta + c_a B$ (2.35c)

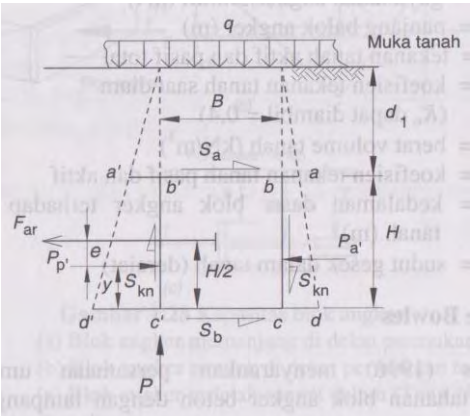
Tahanan geser yang bekerja dibagian bawah blok angker :

$S_b = (q + \gamma d_2 + \gamma_c H)tg\ \delta + c_a B$ (2.35d)

Tekanan tanah aktif dan pasif yang dinyatakan oleh garis:

$ab = d_1 \gamma K_a$

$cd = (H+d_1)\,\gamma K_a$
$a'b' = d_1 \gamma K_p$
$c'd' = (H+d_1)\,\gamma K_p$



Gambar 2.21 Gaya-Gaya Pada Blok Angker (Bowles, 1996)

Tahanan geser yang bekerja dibagian atas blok angker :

$P_a' = ½\ H(ab + cd) + qK_a = ½\ \gamma\ K_aH(H+ 2d_1) + qK_a$ (2.36a)

$P_p' = ½\ H(a'b'+ c'd') + qK_p = ½\ \gamma\ K_pH(H+ 2d_1) + qK_p$ (2.36b)

dengan,

F = faktor aman (diambil 1,2 – 1,5)
d_2 = kedalaman bagian atas blok angker
L = panjang blok angker
H = tinggi blok angker
D = sudut gesek antara bahan blok angker dan tanah
B = lebar blok angker
c_a = adhesi antara blok angker dan tanah
q = beban terbagi rata dipermukaan tanah
P_p' = tekanan tanah pasif total pada luas diagram a'b'c'd'
P_a = tekanan tanah aktif total pada luas diagram abcd
Gaya vertical di kaki depan blok angker (titik c') dihitung dengan $\Sigma M_{Pp} = 0$:

$BLP' + BLS_{kn} + (H\text{-}y)LS_a = F_{ar}\, e + yLS_b$

$$P' = \frac{F_{ar}e}{BL} + \frac{yS_b}{B} - \frac{(H-y)S_a}{B} - S_{kn} \qquad (2.37)$$

Syarat,

$$P' < (q + \gamma d_1) \qquad (2.38)$$

dengan,

F_{ar} = gaya angker total memperlihatkan jarak angker (kN)

S_{kn}, S_{kr} = gaya gesek di sisi kanan dan kiri blok angker (kN)

S_{kn} = P_a' tg δ (kN)

q = beban terbagi rata di permukaan tanah (kN/m^2)

d_1 = jarak bagian atas blok angker terhadap muka tanah (m)

γ = berat volume tanah di atas permukaan blok angker (kN/m^3)

2.4.3 Blok Angker Pada Kedalaman Besar

Kapasitas angker ultimit untuk blok angker yang dalam (h > H) (Gambar 2.20 C) secara pendekatan sama dengan kapasits dukung fondasi yang dasarnya terletak pada kedalaman ½ dari kedalaman blok angker (Terzagi, 1943).

2.4.4 Letak Angker

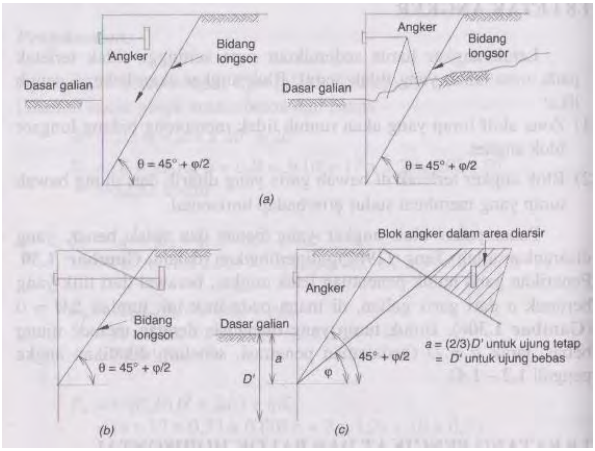
Letak angker harus sedemikian rupa sehingga tidak terletak pada zona tanah yang tidak stabil. Blok angker akan bekerja penuh jika :

1. Zona aktif turap yang akan runtuh tidak memotong bidang longsor blok angker.
2. Blok angker terletak di bawah garis yang ditarik dri ujung bawah turap yang membuat sudut φ terhadap horizontal.

Penempatan blok angker yang benar dan tidak benar, disarankan oleh Teng (1962), diperlihatkan dalam Gambar 2.22. Penarikan garis untuk penentuan letak angker, berawal dari titik yang berjarak a dari garis galian, dimana pada titik ini, jumlah ΣM = 0 bebas, jarak a = D (kedalaman penetrasi, sebelum dikalikan angka pengali 1,2 – 1,4).

2.4.5 Batang Pengikat dan Balok Horizontal

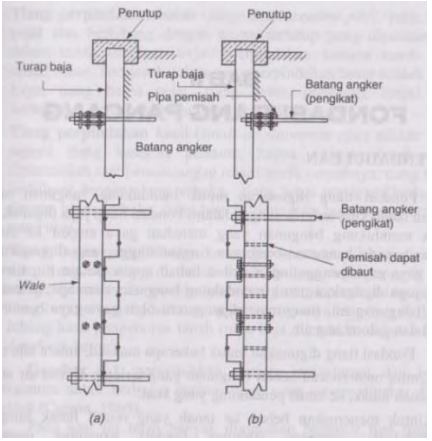
Dalam suatu system turap diangker, balok horizontal yang disebut *wale* adalah balok yang berfungsi menahan gaya horizontal turap, dan sekaligus menjaga agar turap dalam menahan gaya lateral bekerja secara bersama-sama (Gambar 2.23). Gaya lateral ke turap, oleh *wale* ditransfer ke angker memalui batang pengikat. Pada umumnya *wale* merupakan sepasang besi profil U yang dipasang horizontal. Gambar 2.23 menunjukan pemasangan *wale* diluar permukaan turap dan didalam permukaan turap. Blok angker yang dihungkan dengan batang pengikat dengan *wale*, dapat berbentuk bulat atau persegi yang dibuat dari baja. Apabila batang pengikat dipasang tegak lurus terhadap turap, makan *wale* murni menahan momen, sedang batang pengikat umumnya batang yang menahan tarik.



Gambar 2.22 Penempatan Angker

Jika terdapat lapisan tanah lunak dibawah batang pengikat blok angker, akibat beban tanah urug, tanah lunak ini akan berkonsolidasi, sehingga terjadi penurunan. Penurunan kecil saja akan berakibat mengeliminasi hal ini, maka batang pengikat perlu didukung tiang-tiang padainterval 6-10 m. tiang-tiang harus

dipancang sampai lapisan tanah kuat dibawah lapisan tanah lunak tersebut.



Gambar 2.23 Pemasangan Batang Pengikat (*Tie Rod*) Dan Balok Horizontal (*Wale*)

2.5 PLAXIS

PLAXIS adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisa deformasi dan stabilitas dalam bidang Geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetail. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik.

Rasio dari kekuatan tanah yang tersedia terhadap kekuatan minimum yang dihitung untuk mencapai keseimbangan adalah faktor keamanan yang secara konvensional digunakan dalam

Mekanika Tanah. Dengan menerapkan kondisi standar dari Coulomb, faktor keamanan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$SF = \frac{c_{ult} + \sigma_n \tan \phi_{ult}}{c_{all} + \sigma_n \tan \phi_{all}} \quad (2.39)$$

Dimana :

SF = Fator Keamanan
σ_n = Tegangan Normal
C_{all} = kohesi yang diijinkan
C_{ult} = kohesi yang tersedia
ϕ_{all} = sudut geser dalam yang diijinkan
ϕ_{ult} = sudut geser dalam yang tersedia

Prinsip di atas adalah dasar dari metode *phi/c* reduction yang digunakan dalam PLAXIS untuk menghitung faktor keamanan global. Dengan pendekatan ini, parameter tanah c dan tan ϕ direduksi dengan proporsi yang sama. Reduksi parameter kekuatan diatur oleh faktor pengali total ΣMsf. Parameter ini akan ditingkatkan secara bertahap hingga keruntuhan terjadi. Faktor keamanan kemudian didefinisikan sebagai nilai ΣMsf saat keruntuhan terjadi, hanya jika saat keruntuhan terjadi suatu nilai yang kurang lebih konstan telah diperoleh untuk beberapa langkah pembebanan secara berturut-turut. Adapun penentuan faktor keamanan dalam PLAXIS secara matematis dapat dinyatakan dengan:

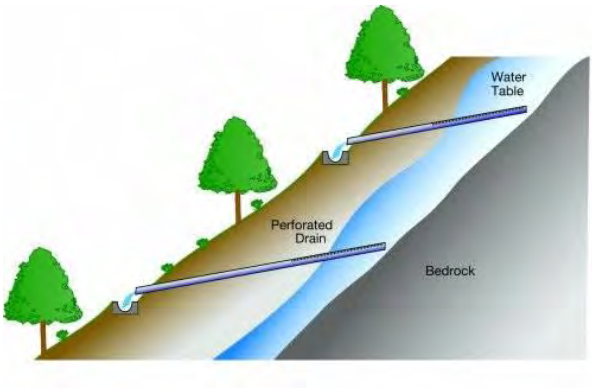
$$\sum Msf = \frac{c_{ult}}{c_r} = \frac{\tan\phi_{ult}}{\tan\phi_r} \quad (2.40)$$

Dimana :

ΣMsf = faktor keamanan pada PLAXIS
c_{ult} = kohesi yang tersedia
ϕ_{ult} = sudut geser dalam tersedia
c_r = kohesi tereduksi
ϕ_r = sudut geser dalam tereduksi

2.6 Saluran Bawah Permukaan pada Lereng (*Subdrain*)

Saluran bawah permukaan (*subdrain*) berfungsi untuk mengeringkan lahan agar tidak terjadi genangan air apabila terjadi hujan. Gambar 2.24 merupakan contoh saluran bawah permukaan pada lereng.



Gambar 2.24 Saluran Bawah Pada Permukaan Lereng

2.7 Tanah *Behaving Like Sand*

Behaving like sand adalah asumsi yang digunakan untuk sifat tanah yang menyerupai *sand* (pasir). Asumsi ini digunakan untuk tanah yang perilakunya tidak sesuai dengan sifat tanah aslinya. Hal itu dikarenakan air yang mengalir dilapisan tanah membawa partikel kecil yang dapat mengisi rongga-rongga yang berada pada tanah. Proses itu berlaku secara terus menerus hingga partikel kecil memenuhi rongga pada tanah. Akibatnya daya lekat antar tanah terganggu dan tanah berperilaku seolah-olah seperti pasir murni yang tidak mempunyai nilai kohesi.

Berdasarkan pengalaman di lapangan dengan banyak kasus kelongsoran serupa di Kalimantan, kondisi ini memperkuat dugaan bahwa lapisan tanah-tanah tersebut sudah mengalami keretakan-keretakan awal yang merupakan kondisi bawaan asli tanah tersebut, dan lapisan-lapisan tanah tersebut tidak sepenuhnya

menyatu (*intact*), seperti pada Gambar 2.25 Hal ini sesuai dengan hasil temuan dan dugaan oleh Mochtar (2012).

Gambar 2.25 Keretakan Tanah

Keretakan-keretakan awal tersebut diduga oleh Mochtar (2012) pada saat hujan terisi oleh air (air hujan), dan adanya air hujan yang mengalir ke dalam keretakan tersebut lambat laun meninggalkan deposit berupa bahan-bahan tanah pasir (umumnya didominir pasir halus), karena fraksi tanah lanau dan lempung yang lebih halus terbawa oleh air hujan tersebut. Air hujan ini kemudian mengalir ke tempat yang lebih rendah melalui rangkaian keretakan dalam tanah yang sudah terbentuk.

Dengan adanya lapisan butiran pasir halus yang tertinggal di dalam bidang keretakan di dalam tanah tersebut, dan ditambah lagi dengan kondisi bidang keretakan tanah yang mudah terisi air, ke dua hal tersebut memudahkan terjadinya keruntuhan geser sliding (Mochtar,2012), terutama pada saat hujan lebat. Pada saat hujan lebat, diduga oleh Mochtar (2012) semua bidang keretakan terisi penuh dengan air (hujan), terjadi penumpukan tegangan air di dalam celah keretakan di dalam tanah (terjadi *pore pressure build up*), sehingga menyebabkan gaya dorongan yang sangat besar terhadap masa tanah di lereng yang ditinjau. Pada saat hujan

kurang lebat, diduga keretakan tersebut tidak sampai penuh terisi air, karena air hujan yang masuk ke dalam bidang-bidang keretakan dapat segera mengalir ke luar di tempat-tempat yang lebih rendah, sehingga tidak terjadi penumpukan tegangan air tanah (tidak terjadi *pore pressure build up*).

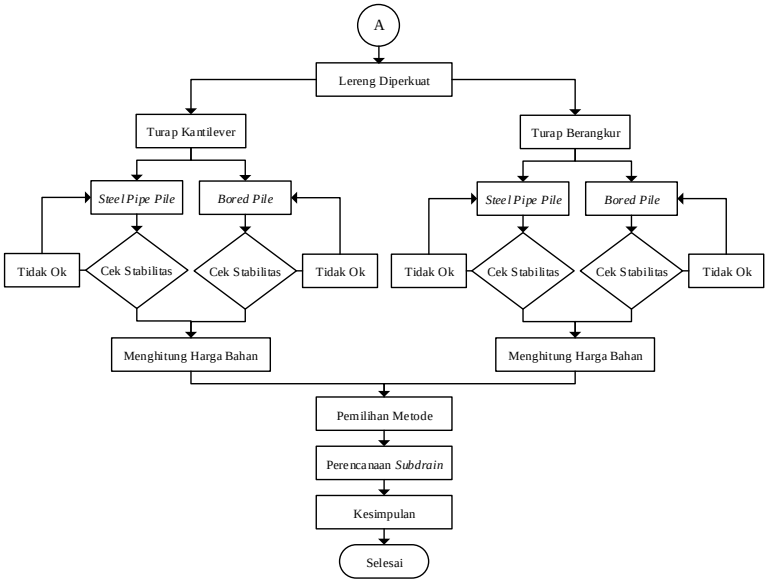
Pada banyak lereng tanah, keruntuhan geser tersebut umumnya tidak segera terjadi pada awal umur konstruksi lereng tersebut, karena kemungkinan keretakan-keretakan tersebut pada awalnya masih berada dekat permukaan tanah saja. Kemudian dengan berjalannya waktu, dan setelah beberapa kali hujan lebat, keretakan tersebut juga berkali-kali terisi penuh air hujan. Kemudian diduga keretakan tersebut lambat-laun mulai menjalar ke bawah sehingga pada suatu saat kondisi kritis lereng terhadap bahaya kelongsoran sliding sudah dilewati dan terjadilah kelongsoran terutama sekali pada saat (atau segera setelah) terjadinya hujan lebat.

Berdasarkan kondisi tanah yang retak dan juga kemungkinan pada bidang-bidang keretakan hanya tertinggal lapisan fraksi tanah pasir halus (fraksi tanah yang lebih halus seperti lanau dan lempung sudah terbilas oleh adanya aliran rembesan air hujan di dalam bidang-bidang keretakan tersebut), dalam kondisi seperti ini kekuatan geser tanah yang terjadi pada bidang-bidang keretakan di dalam tanah harus di asumsikan sebagai pergeseran pada lapisan tanah pasir. Jadi, desain penanggulangan kelongsoran ini harus dilakukan berdasarkan asumsi bahwa tanah tersebut bersifat menyerupai tanah pasir ("*behaving like sand*"), walaupun tanah aslinya sebetulnya tanah dominan lempung.

BAB III
METODOLOGI

3.1 Bagan Alir

Bab ini menerangkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam mengerjakan perencanaan tugas akhir ini. Pada Gambar 3.1 berikut adalah diagram alir dalam tugas akhir perencanaan alternatif turap/ *retaining wall* pada pembangunan jalan Tol Gempol – Pandaan Sta 6+518 s/d 6+575.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.2 Studi Literatur

Studi literature dilakukan dengan membaca dan mengambil intisari dari buku-buku referensi yang berhubungan dengan perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Teori stabilitas lereng
2. Teori korelasi *Sand Penetration Test (SPT)*
3. Teori perencanaan turap / *retaining wall*

3.3 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang didapat dari instansi terkait atau survey dari pihak lain. Data tersebut meliputi :

1. Layout proyek untuk mengetahui kondisi eksisting perencanaan.
2. Data pengujian tanah dilapangan.
3. Data perencanaan geometri lereng.

3.4 Pengolahan Data Tanah

Data pengujian tanah meliputi pengujian SPT diagram. Data ini digunakan untuk mengetahui jenis tanah di lokasi studi, dimana nantinya akan menjadi faktor pengaruh dari perencanaan turap / *retaining wall.*

3.5 Perencanaan Saluran Bawah Permukaan (*Subdrain*)

Untuk menjaga muka air tanah tidak naik setinggi lereng, digunakan subdrain dilereng untuk mempercepat penurunan muka air tanah.

3.6 Perencanaan Turap

Merencanakan alternatif perkuatan turap / *retaining wall* dengan menentukan karakteristik dari turap, mengetahui panjang turap yang diperlukan, profil turap, dan material bahan yang digunakan. Kemudian turap tersebut dianalisa stabilitas terhadap gaya, momen,dan nilai faktor keamanan.

3.7 Analisa Perbandingan Biaya

Analisa perbandingn biaya kedua alternatif yang ada, ditinjau dari jumlah material yang digunakan dalam perencanaan, tetapi tidak memperhitungkan proses pelaksanaan dilapangan karena dianggap sama.

3.8 Kesimpulan

Langkah ini berisi kesimpulan dari kedua metode alternatif perencanaan dan saran pemilihan metode perencanaan pada proyek pembangunan jalan Tol Gempol – Pandaan Sta 6+518 s/d 6+575.

"*Halaman ini sengaja dikosongkan"*

BAB IV
DATA DAN ANALISA

4.1 Data Tanah

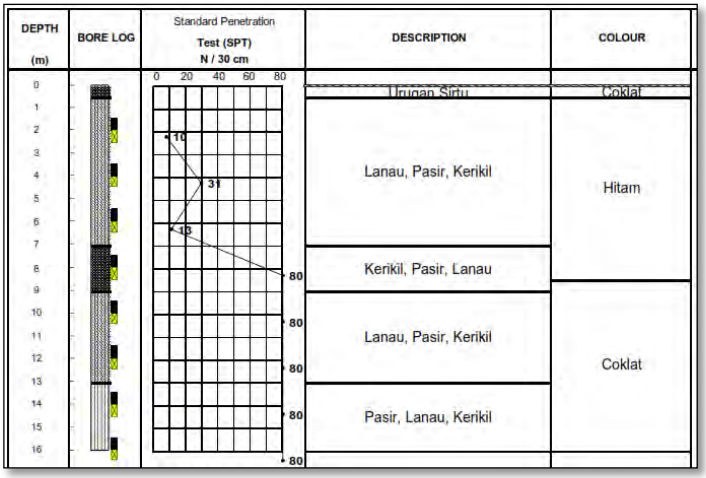
4.1.1 Lokasi Pengambilan Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah berupa *Standard Penetration Test* (SPT) yang terletak di lokasi rencana pembangunan Tol Pandaan – Gempol Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Titik penyelidikan tanah tepat berada di belakang bangunan eksisting milik pabrik kaca seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Data

4.1.2 Data *Standard Penetration Test* (SPT)

Pengambilan/ pembacaan *boring* dan *Standard Penetration Test* (SPT) dimulai dari kedalaman - 1.50 m dari tanah dasar dan pengambilan sampel tanah *undisturbed* SPT diambil pada kedalaman – 3.50 meter hingga – 16.00 meter. Hasil dari pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 4.2. Data tanah ini nantinya akan dipakai untuk menganalisis kondisi lapisan tanah dan parameternya.



Gambar 4.2 Grafik Boring Log

Hasil dari tes SPT dan *boring* yang telah dilakukan, dapat dilihat hasilnya pada Gambar 4.2. Berdasarkan Tabel 2.2 oleh Bowles, pada pembacaan pertama konsistesi tanah adalah *medium* dengan nilai NSPT sebesar 10 dengan hasil *boring* tanah pada pengetesan pertama yaitu lanau, pasir, dan kerikil. Konsistensi tanah meningkat pada pembacaan kedua diikuti dengan naiknya nilai NSPT menjadi 31. Kemudian pada pembacaan selanjutnya kembali berkonsistensi medium karena nilai NSPT turun menjadi 13. Pada pembacaan keempat nilai NSPT meningkat menjadi 80 dan konstan hingga lima kali pembacaan. Hasil boring pada lapisan ini didominasi oleh kerikil, pasir,dan lanau.

4.1.3 Data Tanah Asli

Berdasarkan pengambilan sampel tanah pada tes SPT, dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui jenis dan karakteritik tanah. Hasil dari pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Tanah Asli

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	NSPT	Jenis Tanah	γ sat kN/m^3	γ' kN/m^3	φ	c_u kN/m^2
0 - 3	3	10	Pasir Berlanau	18.98	8.98	16	31
3 - 5	2	31	Pasir Berlanau	18.93	8.93	14	34
5 -8	3	13	Pasir Berlanau	18.53	8.53	12	38
8 - ~	~	80	Pasir Berlanau	17.56	7.56	22	30

4.1.4 Data Tanah *Behaving Like Sand*

Data tanah yang dianalisa dengan asumsi *behaving like sand* untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Perbedaan tanah asli dengan data tanah *behaving like sand* adalah terdapat pada nilai c dan φ. Pada tanah asli, tanahnya sesuai dengan hasil pengeboran dan uji laboratorium, sedangkan pada tanah *behaving like sand* data tanah menyerupai pasir. Dalam kasus ini tanah yang mengalami perubahan hanya sedalam galian yaitu 18 m dari *original ground level*.

Dari asumsi tersebut diambil nilai φ sebesar 30°dan nilai kohesi adalah 0. Tanah dianggap bersifat seperti pasir atau dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Tanah *Behaving Like Sand*

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	NSPT	Jenis Tanah	γ sat kN/m^3	γ' kN/m^3	φ	c_u kN/m^2
0 - 3	3	10	Pasir	18.98	8.98	30	0
3 - 5	2	31	Pasir	18.93	8.93	30	0
5 -8	3	13	Pasir	18.53	8.53	30	0
8 - 18	~	80	Pasir	17.56	7.56	30	0
18 - ~	~	80	Pasir Berlanau	17.56	7.56	22	30

4.1.5 Penentuan Poisson's Ratio (μ)

Poisson Ratio didefenisikan sebagai perbandingan antara regangan lateral dan longitudinal. Tabel 4.5 di bawah ini merupakan Poisson's Ratio untuk beberapa material :

Tabel 4.3 Perkiraan Nilai Poisson's Ratio (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	Poisson's Ratio μ
Lempung jenuh	0.40 - 0.50
Lempung tak jenuh	0.10 - 0.30
Lempung berpasir	0.20 - 0.30
Lanau	0.30 - 0.35
Pasir padat	0.20 - 0.40
Pasir kasar	0.15
Pasir halus	0.25
Batu	0.10 - 0.40
Loess	0.10 - 0.30
Beton	0.15

4.1.6 Modulus Elastisitas Tanah (E_s)

Penentuan Modulus Young untuk beberapa jenis tanah ditentukan berdasarkan data tekan, *water content*, kepadatan, dsb seperti Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Perkiraan Modulus Elastisitas tanah (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	Es (kN/m^2)
Lempung	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 20000
Loses	15000 - 60000
Cadas	140000 - 1400000

4.1.7 Rekapitulasi Data Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan, maka dapat disimpulkan parameter tanah yang dipakai untuk menghitung desain turap seperti terlihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Tanah Asli

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	NSPT	Jenis Tanah	γ sat kN/m^3	γ' kN/m^3	φ	c_u kN/m^2	μ	Es kN/m^2
0 - 3	3	10	Pasir Berlanau	18.98	8.98	16	31	0.3	25000
3 - 5	2	31	Pasir Berlanau	18.93	8.93	14	34	0.3	25000
5 -8	3	13	Pasir Berlanau	18.53	8.53	12	38	0.3	25000
8 - ~	~	80	Pasir Berlanau	17.56	7.56	22	30	0.3	200000

Tabel 4.6 Rekapitulasi Data Tanah *Behaving Like Sand*

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	NSPT	Jenis Tanah	γ sat kN/m^3	γ' kN/m^3	φ	c_u kN/m^2	μ	Es kN/m^2
0 - 3	3	10	Pasir	18.98	8.98	30	0	0.3	25000
3 - 5	2	31	Pasir	18.93	8.93	30	0	0.3	25000
5 -8	3	13	Pasir	18.53	8.53	30	0	0.3	25000
8 - 18	~	80	Pasir	17.56	7.56	30	0	0.3	25000
18 - ~	~	80	Pasir Berlanau	17.56	7.56	22	30	0.3	200000

4.2 Data Spesfikasi Bahan

4.2.1 *Steel Pipe Pile* (SPP)

Steel Pipe Pile (SPP) yang digunakan dalam perencanaan turap adalah ASTM A 252 grade 2. Data spesifikasi dan dimensi bahan dapat dilihat pada lampiran 2.

4.2.2 Bored Pile

Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan turap material *bored pile* Tugas Akhir ini adalah K350. Data beton data sebagai berikut :

Spesifikasi beton :

Mutu beton = 350 kg/cm^2

f'c $= \frac{350 \times 0.83}{10}$

$= 29.05$ Mpa

Spesifikasi Tulangan
Fy = D > 13 = 390 Mpa
= D < 13 = 240 Mpa

Tabel 4.7 Dimensi *Bored Pile* yang Digunakan

Diameter	Cover	Tulangan		`Sengkang		Moment of	Section
		jumlah	diameter	diameter	jarak	Inertia	Modulus
mm	mm	n	mm	mm	mm	cm^4	cm^3
700	40	22	22	13	200	1558215	21354
900	40	34	22	13	200	4186096	43926
900	40	34	22	13	200	4186096	43926
1200	40	34	36	16	200	14927140	146941

4.2.3 Kabel Tendon

Kabel tendon yang digunakan dalam perencanaan *ground anchor* adalah ASTM A 416/A416M – 06 grade 270. Data spesifikasi dan dimensi bahan dapat dilihat pada lampiran 2.

BAB V
PERENCANAAN

5.1. Analisa Stabilitas Lereng

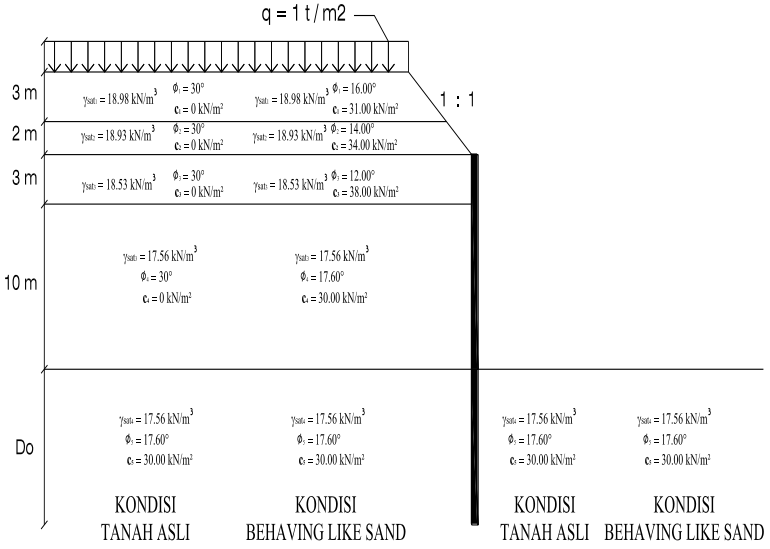
Analisa kestabilan lereng pada tugas akhir ini dilakukan dengan 2 kondisi yaitu :

1. Analisa kestabilan lereng dengan data tanah asli
2. Analisa kestabilan lereng dengan data tanah *behaving like sand*

Analisa kestabilan lereng dilakukan dengan dua kondisi agar dapat dibandingkan kestabilan lereng dengan angka keamanan dari data tersebut.

5.2. Model Geometri Turap/ *Retaining Wall*

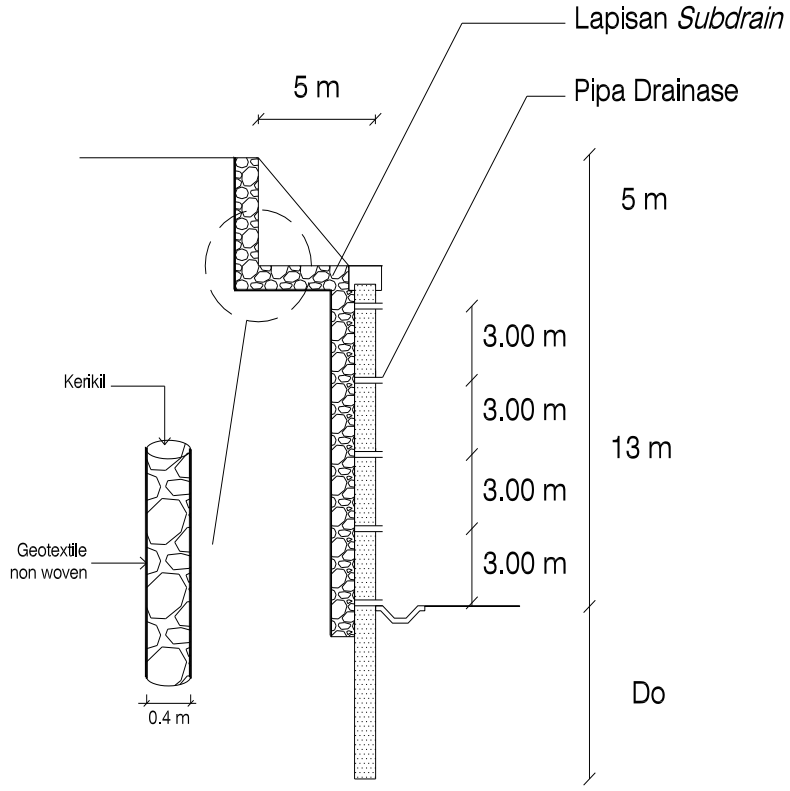
Perencanaan dimulai dengan penggambaran model geometri turap/ *retaining wall* yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 .



Gambar 5.1 Perencanaan Geometri Lereng

5.3 Perencanaan *Subdrain* Pada Lereng

Untuk menjaga muka air tanah agar tidak setinggi lereng, maka digunakan *subdrain* untuk mempercepat penurunan muka air tanah. Dalam perencanaan ini *subdrain* berdiameter 0.4 m dengan material dari kerikil dan *geotextile non woven* sebagai pelapis agar butiran tanah tidak menyumbat lapisan *subdrain*. Perencanaan pemasangan *subdrain* dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Rencana *Subdrain*

5.4 Perencanaan Turap Kantilever

5.4.1 Tanah Asli

Perencanaan turap dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

   Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu :

   a. Koefisien tekanan tanah aktif

   $Ka = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{16}{2})$

   $= 0.57$

   b. Koefisien tekanan tanah pasif

   $Kp = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{16}{2})$

   $= 1.76$

Hasil dari perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan koefisien tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Data Perencanaan Turap Kantilever Tanah Asli

Lapisan Tanah Ke	Ketebalan (m)	γ' kN/m^3	Cu kN/m^2	ϕ	Ka	Kp
1	3	8.98	31	16	0.57	1.76
2	2	8.93	34	14	0.61	1.64
3	3	8.53	38	12	0.66	1.52
4	10	7.56	30	17.6	0.54	1.87
5	D	7.56	30	17.6	0.54	1.87

2. Perhitungan Tegangan Tanah

q = $q + (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2)$
= $10 + (8.98 \times 3) + (8.93 \times 2)$
= $54.79\ kN/m^2$

a. Aktif

- Titik 1

$\sigma v_1 = q$
= $54.79\ kN/m^2$

$\sigma h_1 = q \times Ka_3 - 2c_3\sqrt{Ka_3}$
= $54.79 \times 0.66 - 2 \times 38 \times \sqrt{0.66}$
= $-25.61\ kN/m^2$

- Titik 2 atas

$\sigma v_{2a} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$
= $54.79 + (8.53 \times 3)$
= $80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2a} = \sigma v_{2a} \times Ka_3 - 2c_3\sqrt{Ka_3}$
= $80.39 \times 0.66 - 2 \times 38 \times \sqrt{0.66}$
= $-8.83\ kN/m^2$

- Titik 2 bawah

$\sigma v_{2b} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$
= $54.79 + (8.53 \times 3)$
= $80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2b} = \sigma v_{2b} \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}$
= $80.39 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$
= $-0.85\ kN/m^2$

- Titik 3 atas

$\sigma v_{3a} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3a} = \sigma v_{3a} \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}$

$= 155.99 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= 155.99 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) + (\gamma'_5 \times Do)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10) + (7.56 \times Do)$

$= (7.56\ Do + 155.99) \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_4 \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= (7.56\ Do + 155.99) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= (4.05\ Do + 39.64) \text{ kN/m}^2$

b. Pasif

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q$

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

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 0 \times 0.54 + 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 81.98 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = (\gamma'_5 \times h_5)$

$= 7.56 \times Do$

$= 7.56Do\ kN/m^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_{2a} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 7.56Do \times 1.87 + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87}$

$= (14.11Do + 81.98)\ kN/m^2$

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

$\frac{hc}{10-hc} = \frac{0.85}{39.64}$

$39.64hc = 8.5-0.85hc$

$hc = 0.21$ m

$10 - hc = 9.79$ m

$h_{a1} = 9.79$ m

a. $Ea_1 = ((½ \times (q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}) \times h_{a1}$

$= ½ \times (54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54} \times 9.79$

$= 194.04$ kN/m

b. $Ea_2 = ((q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}) \times h_5$

$= (54.79 + (8.53 \times 3)) + (7.56 \times 10) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54} \times Do$

$= 39.64Do$ kN/m

c. $Ea_3 = ½ \times (\gamma'_5 \times D) \times 0.54) \times h_5$

$= ½ \times (7.56 \times D) \times 0.54 \times Do$

$= 2.02\ Do^2$ kN/m

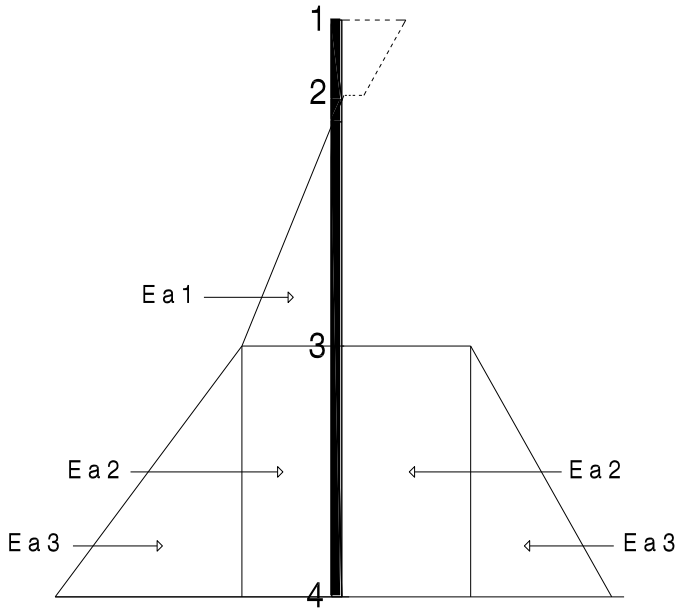
d. $Ep_1 = (q \times Kp_5) + 2c_5\sqrt{Kp_5}) \times h_5$

$= (0 \times 1.87) + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87} \times Do$

$= 81.98\ Do$ kN/m

e. $Ep_2 = ½ \times ((\gamma'_5 \times h_5) \times Kp_5 \times h_5$
$= ½ \times (7.56 \times Do) \times 1.87 \times D$
$= 7.06\ Do^2$ kN/m

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat hasil dari perhitungan tegangan dan tekanan tanah lateral pada turap kantilever pada kondisi tanah asli.



Gambar 5.3 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Kantilever Kondisi Tanah Asli

4. Perhitungan Kedalaman Turap

Untuk perhitungan momen yang terjadi pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5.2 Gaya Turap Kantilever Tanah Asli

	Gaya	Jarak ke titik 4	Momen
Tekanan	Ea_1 = 194.04	3.26 + Do	633.2 + 194.04 Do
tanah aktif	Ea_2 = 39.64 Do	0.50 Do	19.82 Do^2
	Ea_3 = 2.02 Do^2	0.33 Do	0.67 Do^3
Tekanan	Ep_1 = 81.98 Do	0.50 Do	40.99 Do^2
tanah pasif	Ep_2 = 7.06 Do^2 + 81.98 Do	0.33 Do	2.35 Do^3

Σ MDo = 0

Σ MDo = -1.68 Do^3 + -21.17 Do^2 + 194.04 Do + 633.20

Do = 7.94 m

D = SF x Do = 1.2 x 7.94 = 9.53 $\approx$ 10 m

Panjang Total Turap = D + H = 10 m + 13 m = 23 m

5. Perhitungan Momen Maksimum

Mx = $-1.68x^3 - 21.17x^2 + 194.04x + 633.20$

Mx/Dx = 0

Mx/Dx = $-5.03x^2 - 42.34x + 194.04$

x = 3.30 m

M_{maks} = $-1.68(3.30^{3)} - 21.17(3.30^2) + 194.04(3.30) + 633.20$

= 982.73 kNm

5.4.1.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*)

Direncanakan profil Steel Pipe Pile ASTM A252 Grade 2 yang dikombinasikan beton dengan data sebagai berikut :

Diameter = 800 mm

Tebal = 19 mm

E = 200000 Mpa = 29007600 psi

σ_{allow} = 24 kg/mm^2 = 240000 kN/m^2

I = 356000 cm^4 = 8990 in^4/ft

Z = 8890 cm^3

1. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 10.0 m = 393.70 in

$\rho = \frac{(511.81 + 393.70)^4}{29007600\ x\ 8544}$

$= 2.71$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design $= M_{maks}$ x r_d

$= 982.73$ kNm x 1

$= 982.73$kNm

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}}$ x 10^6

$= \frac{982.73}{24000}$ x 10^6

$= 4094.73\ cm^3$

$Z_0 \leq Z$

$4094.73\ cm^3 \leq 8990\ cm^3$ …… Ok !

Setelah didapatkan dimensi penampang yang memenuhi SPP disikan dengan beton dengan mutu K175 untuk menambah kekakuan dan memperkecil defleksi yang terjadi pada turap. Data SPP yang telh dikompositkan dengan beton adalah sebagai berikut :

E_m = 254611141 KN/m^2
I_m = 0.013 m^4

2. Defleksi Turap *SPP*

a. Perhitungan letak titik jepit (z_f) dari turap

Untuk tanah yang mempunyai modulus subgrade konstan :

z_f = 1.8 T

$$T = \sqrt[5]{\frac{E.P}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{254611141 \text{ x } 0.013}{11779}} = 3.09 \text{ m}$$

z_f = 1.8 x 3.09 = 5.56 m

Sehingga letak titik jepit turap *bored pile* 5.56 m dari ujung turap *bored pile*.

b. Defleksi lateral (y)

Besarnya defleksi horizontal (y) dari tiang vertikal akibat beban lateral dapa dicari dengan persamaan :

$$y = \frac{H(e+ z_f)^3}{3 E I}$$

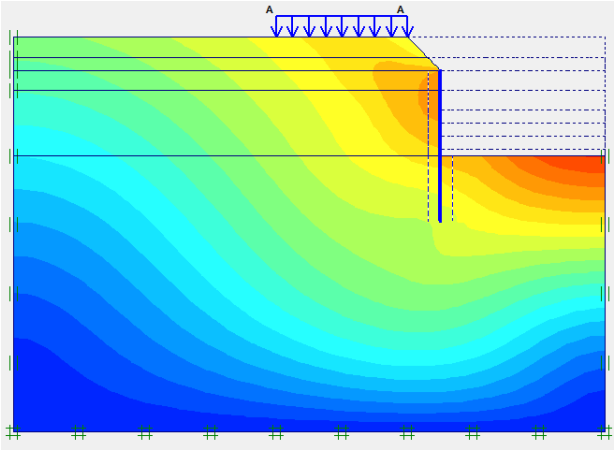
e = 3.26 m
H = Ea_1 = 194.04 kN

$$y = \frac{194.04 (3.26 + 5.56)^3}{3 \text{ x } 254611141 \text{ x } 0.013}$$

= 0.013 m

3. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.4 dibawah ini. Pada Gambar 5.4 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna kuning gelap.



Gambar 5.4 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap SPP Kantilever Tanah Asli

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.30. Dengan nilai SF =1.30 maka turap dengan material SPP yang berintkan beton aman terhadap kelongsoran.

4. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.3 m

h = 1.0 m

fc’ = 29.05 MPa

Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1600 \times 937.5 = 2193.75\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

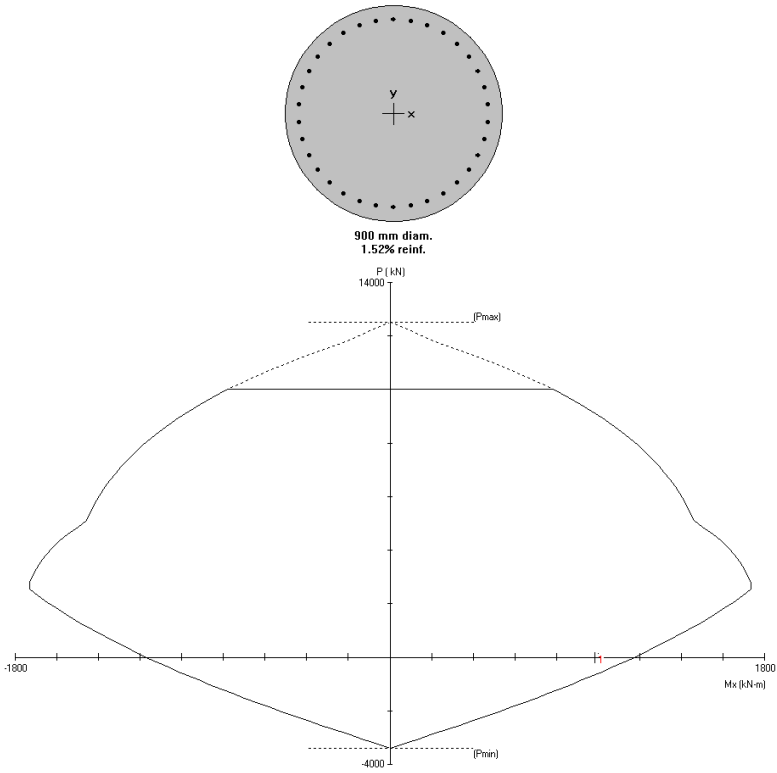
Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 438.75 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-250

5.4.1.2 Perencanaan *Bored Pile*

1. Perencanaan Tulangan

a. Tulangan Utama

Dengan menggunakan program pca Column, direncanakan *bored pile* berukuran 900 mm dengan mutu beton K350 dan mutu tulangan 390 MPa. Direncanakan tulangan utama berdiameter 22 mm dan jumlah tulangan 34. Gambar 5.5 berikut adalah gambar diagram interaksi penulangan dari pca Column.



Gambar 5.5 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah Asli

Dari hasil perhitungan didapatkan data *bored pile* sebagai berikut :

Diameter = 900 mm

E_m = 27974.69 Mpa = 4057393 psi

σ_{allow} = 350 kg/cm^2 = 35000 kN/m^2

I_{tr} = 3928779 cm^4 = 94290.69 in^4/ft

ϕMn = 1145.5 kNm

Z = 32729 cm^3

b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada bored pile , dimana Vu = 194038 N. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.1.1 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada :

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

$V_u = 194038$ N

$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2$

$= 0.17 \times 1 \times \sqrt{29.05} \times \frac{1}{4} \pi 900^2$

$= 582903.80$ N

Direncanakan sengkang spiral D13 dengan jarak 200 mm

$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$

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

$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 13^2$

$= 265.46$ mm^2

$d = 900 - 40 - 13 - 0.5 \times 22 = 836$ mm

$f_y = 240$ MPa

$V_s = \frac{265.46 \times 240 \times 836}{200}$

$= 266314.07$ N

$V_n = 582903.80$ N $+ 266314.07$ N

$= 849217.87$ N

$\phi V_n \geq V_u$

$\phi \times 849217.87$ N ≥ 194038 N

636913.40 N ≥ 194038 N Ok !

2. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in
D = 10.0 m = 393.70 in

$$\rho = \frac{(511.81 + 393.70)^4}{4057393 \times 94291}$$

$$= 1.76$$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design $= M_{maks} \times r_d$
$= 982.73 \text{ kNm} \times 1$
$= 982.73 \text{ kNm}$

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \times 10^6$$

$$= \frac{982.73}{35000} \times 10^6$$

$$= 28078.13 \text{ cm}^3$$

$Z_0 \leq Z$
$28078.13 \text{ cm}^3 \leq 32728.57 \text{ cm}^3$ …… Ok !

3. Defleksi Turap *Bored Pile*

a. Perhitungan letak titik jepit (z_f) dari turap

Untuk tanah yang mempunyai modulus subgrade yang bertambah secara linier degan kedalamannya :

$z_f = 1.8 \text{ T}$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E.I}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{27974690 \times 0.039}{11779}} = 2.48 \text{ m}$$

z_f = 1.8 x 2.48 = 4.46 m

Sehingga letak titik jepit turap *bored pile* 4.46 m dari ujung turap *bored pile*.

4. Perhitungan defleksi turap (y)

Besarnya defleksi horizontal (y) dari tiang vertikal akibat beban lateral dapa dicari dengan persamaan :

$$y = \frac{H(e+ 4.46)^3}{3\ E\ I}$$

e = 3.26 m

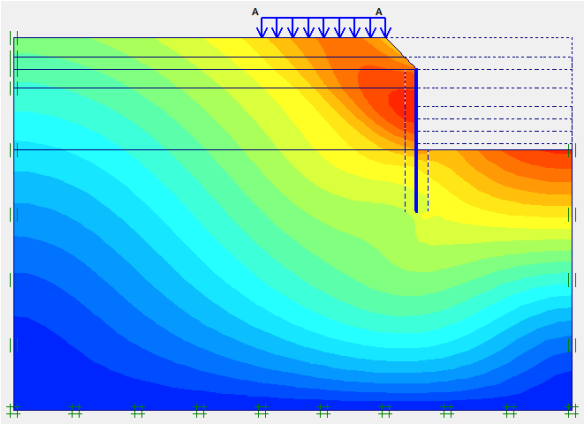
H = Ea_1 = 194.04 kN

$$y = \frac{194.04\ (3.26+ 4.43)^3}{3x\ 27974690\ x\ 0.039}$$

= 0.027 m

5. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.6 dibawah ini. Pada Gambar 5.6 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.6 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah Asli

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.30. Dengan nilai SF =1.30 maka turap dengan material *bored pile* aman terhadap kelongsoran.

6. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.4 m
h = 1.0 m

fc’ = 29.05 MPa
Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1400 \times 937.5 = 2362.5\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 472.5 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-250

5.4.2 Tanah *Behaving Like Sand*

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

   Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu :

   a. Koefisien tekanan tanah aktif

   $Ka = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{30}{2})$

   $= 0.33$

   b. Koefisien tekanan tanah pasif

   $Kp = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{30}{2})$

   $= 3.00$

Hasil dari perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan koefisien tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data Perencaaan Turap Kantilever Tanah *Behaving Like Sand*

Lapisan Tanah Ke	Ketebalan (m)	γ' kN/m^3	Cu kN/m^3	ϕ	Ka	Kp
1	3	8.98	0	30	0.33	3.00
2	2	8.93	0	30	0.33	3.00
3	3	8.53	0	30	0.33	3.00
4	10	7.56	0	30	0.33	3.00
5	D	7.56	30	17.6	0.54	1.87

2. Perhitungan Tegangan Tanah

$q = q + (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2)$

$= 10 + (8.98 \times 3) + (8.93 \times 2)$

$= 54.79$ kN/m^2

a. Aktif

- Titik 1

$\sigma v_1 = q$

$= 54.79$ kN/m^2

$\sigma h_1 = q \times Ka_3$

$= 54.79 \times 0.33$

$= 18.26$ kN/m^2

- Titik 2 atas

$\sigma v_{2a} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3)$

$= 80.39$ kN/m^2

$\sigma h_{2a} = \sigma v_{2a} \times Ka_3$

$= 80.39 \times 0.33$

$= 26.80$ kN/m^2

- Titik 2 bawah

$\sigma v_{2b} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3)$

$= 80.39 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{2b} = \sigma v_{2b} \times Ka_4$

$= 80.39 \times 0.33$

$= 26.80 \text{ kN/m}^2$

- Titik 3 atas

$\sigma v_{3a} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3a} = \sigma v_{3a} \times Ka_4$

$= 155.99 \times 0.33$

$= 52.00 \text{ kN/m}^2$

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= 168.79 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) + (\gamma'_5 \times Do)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10) + (7.56 \times Do)$

$= (7.56\ Do + 155.99) \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_4 \text{ x } Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= (7.56 \text{ Do} + 155.99) \text{ x } 0.54 - 2 \text{ x } 30 \text{ x } \sqrt{0.54}$

$= (4.05 \text{ Do} + 39.64) \text{ kN/m}^2$

b. Pasif

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q$

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

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \text{ x } Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 0 \text{ x } 0.54 + 2 \text{ x } 30 \text{ x } \sqrt{0.54}$

$= 81.98 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = (\gamma'_5 \text{ x } h_5)$

$= 7.56 \text{ x Do}$

$= 7.56\text{Do kN/m}^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_{2a} \text{ x } Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 7.56\text{Do x } 1.87 + 2 \text{ x } 30 \text{ x } \sqrt{1.87}$

$= (14.11\text{Do} + 81.98) \text{ kN/m}^2$

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

a. $Ea_1 = (q \text{ x } Ka_3) \text{ x } h_3$

$= 54.79 \text{ x } 0.33 \text{ x } 3$

$= 54.79 \text{ kN/m}$

b. $Ea_2 = ½ \text{ x } ((\gamma'_3 \text{ x } h_3) \text{ x } Ka_3) \text{ x } h_3$

$= ½ \text{ x } ((8.53 \text{ x } 3) \text{ x } 0.33) \text{ x } 3$

$= 12.80 \text{ kN/m}$

c. $Ea_3 = (q + (\gamma'_3 \text{ x } h_3)) \text{ x } Ka_4 \text{ x } h_4$

$= ((54.79 + (8.53 \text{ x } 3)) \text{ x } 0.33) \text{ x } 10$

$= 267.97 \text{ kN/m}$

d. $Ea_4 = ½ \times ((\gamma'_4 \times h_4) \times Ka_4) \times h_4$
$= ½ \times ((7.56 \times 10) \times 0.33) \times 10$
$= 125.99$ kN/m

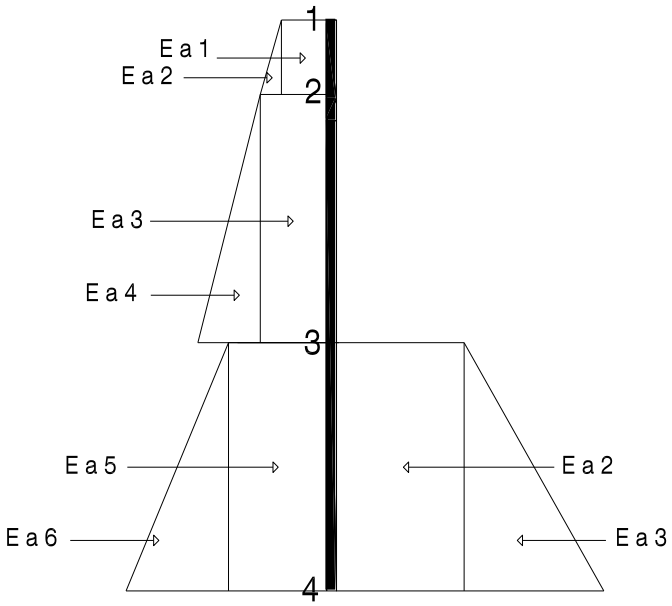
e. $Ea_5 = ((q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}) \times h_5$
$= (54.79 + (8.53 \times 3)) + (7.56 \times 10) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54} \times Do$
$= 39.64Do$ t/m

f. $Ea_6 = ½ \times (\gamma'_5 \times D) \times Ka_5) \times h_5$
$= ½ \times (7.56 \times D) \times 0.54 \times Do$
$= 2.02\ Do^2$ t/m

g. $Ep_1 = (q \times Kp_5) + 2c_5\sqrt{Kp_5}) \times h_5$
$= (0 \times 1.87) + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87} \times Do$
$= 81.98\ Do$ kN/m

h. $Ep_2 = ½ \times ((\gamma'_5 \times h_5) \times Kp_5 \times h_5$
$= ½ \times (7.56 \times Do) \times 1.87 \times D$
$= 7.06\ Do^2$ kN/m

Pada Gambar 5.7 dapat dilihat hasil dari perhitungan tegangan dan tekanan tanah lateral pada turap kantilever pada kondisi tanah *behaving like sand*.



Gambar 5.7 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Kantilever Kondisi *Behaving Like Sand*

4. Perhitungan Kedalaman Turap
   Untuk perhitungan momen yang terjadi pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Gaya Turap Kantilever *Behaving Like Sand*

	Gaya	Jarak ke titik 4	Momen
Tekanan	Ea_1 = 54.79	11.50 + Do	630.10 + 54.79 Do
tanah aktif	Ea_2 = 12.80	11.00 + Do	140.79 + 12.80 Do
	Ea_3 = 267.97	5.00 + Do	1339.83 + 267.97 Do
	Ea_4 = 125.99	3.33 + Do	419.98 + 125.99 Do
	Ea_5 = 39.64 Do	0.50 Do	19.82 Do^2
	Ea_6 = 2.02 Do^2	0.33 Do	0.67 Do^3
Tekanan	Ep_1 = 81.98 Do	0.50 Do	40.99 Do^2
tanah pasif	Ep^2 = 7.06 Do^2	0.33 Do	2.35 Do^3

$\Sigma MDo = 0$

$\Sigma MDo = -1.68\ Do^3 - 21.17\ Do^2 + 461.55\ Do + 2530.69$

$Do = 10.20$ m

$D = SF \times Do = 1.2 \times 10.20 = 12.24 \approx 13$ m

Panjang Total Turap = D + H = 13 + 13 = 26 m

5. Perhitungan Momen Maksimum

$Mx = -1.68x^3 - 21.17x^2 + 461.55x + 2530.69$

$Mx/Dx = 0$

$Mx/Dx = -5.03x^2 - 42.34x + 461.55$

$x = 6.25$ m

$M_{maks} = -1.68(6.25^{3)} - 21.17(6.25^2) + 461.55(6.25) + 2530.69$

$= 4178.99$ kNm

5.4.2.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*)

Direncanakan profil *Steel Pipe Pile* ASTM A252 Grade 2 yang dikombinasikan beton dengan data SPP sebagai berikut :

Diameter = 1100 mm

Tebal = 23 mm

E = 200000 Mpa = 29007600 psi

σ_{allow} = 24 kg/mm^2 = 240000 kN/m^2

I = 1130000 cm^4 = 27120 in^4/ft

Z = 20500 cm^3

1. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E\,I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 13.0 m = 511.81 in

$$\rho = \frac{(511.81 + 511.81)^4}{29007600 \times 27120}$$

$$= 1.40$$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design $= M_{maks} \times r_d$

$= 4178.99 \text{ kNm} \times 1$

$= 4178.99 \text{ kNm}$

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \times 10^6$$

$$= \frac{4178.99}{240000} \times 10^6$$

$$= 20358.19 \text{ cm}^3$$

$Z_0 \leq Z$

$17412.47 \text{ cm}^3 \leq 20500 \text{ cm}^3$ …… Ok

Setelah didapatkan dimensi penampang yang memenuhi SPP disikan dengan beton dengan mutu K175 untuk menambah kekakuan dan memperkecil defleksi yang terjadi pada turap. Data SPP yang telh dikompositkan dengan beton adalah sebagai berikut :

$E_m = 273723890 \text{ KN/m}^2$

$I_m = 0.0719 \text{ m}^4$

2. Defleksi Turap *SPP*

a. Perhitungan letak titik jepit (z_f) dari turap

Untuk tanah yang mempunyai modulus subgrade konstan :

z_f = 1.4 R

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_m I_m}{K}} = \sqrt[4]{\frac{273723890 \text{ x } 0.0719}{1386 \text{ x } 13}} = 5.75 \text{ m}$$

z_f = 1.4 x 5.75 = 8.05 m

Sehingga letak titik jepit turap *bored pile* 8.05 m dari ujung turap *bored pile*.

b. Defleksi lateral (y)

Besarnya defleksi horizontal (y) dari tiang vertikal akibat beban lateral dapa dicari dengan persamaan :

$$y = \frac{H(e + z_f)^3}{3 E I}$$

$$\bar{e} = \frac{Ea_1.e_1 + Ea_2.e_2 + Ea_3.e_3 + Ea_4.e_4}{Ea_1 + Ea_2 + Ea_3 + Ea_4}$$

$$= \frac{54.79 \text{ x } 11.50 + 12.80 \text{ x } 11.00 + 267.97 \text{ x } 5.00 + 125.99 \text{ x } 3.33}{54.79 + 12.80 + 267.97 + 125.99}$$

= 5.48 m

H = ΣEa

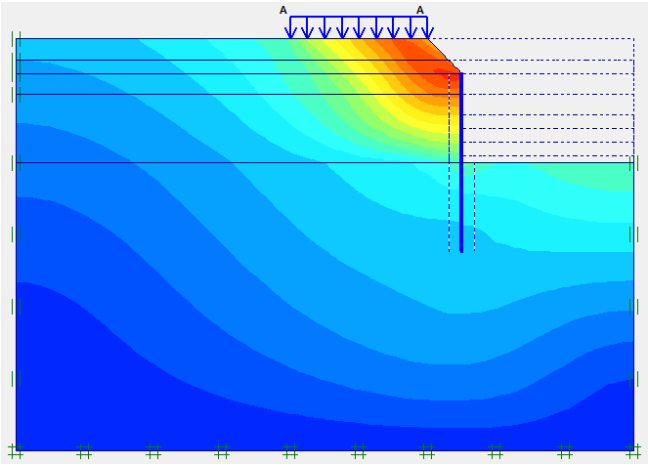
= 54.79 + 12.80 + 267.97 +125.99 = 461.55 kN

$$y = \frac{461.55\ (5.48 + 8.05)^3}{3 \text{ x } 273723890 \text{ x } 0.0719}$$

=0.019 m

3. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini. Pada Gambar 5.8 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.8 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap Kantilever SPP *Behaving Like Sand*

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.35. Dengan nilai SF =1.35 maka turap dengan material SPP yang berintkan beton aman terhadap kelongsoran.

4. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.6 m
h = 1.0 m
fc’ = 29.05 MPa
Cover = 75 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1600 \times 937.5 = 2700\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

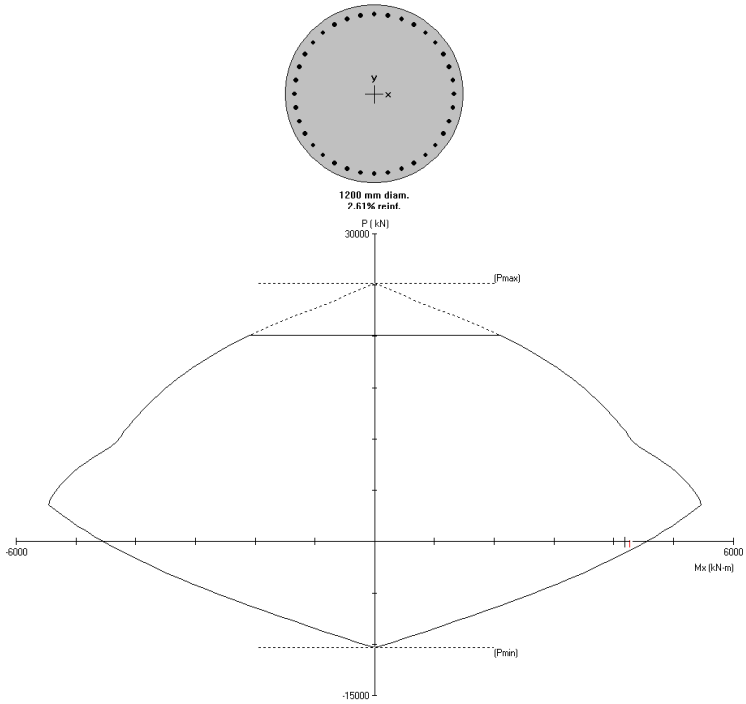
Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 540 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-200

5.4.2.2 Perencanaan *Bored Pile*

1 Perencanaan Tulangan

a. Tulangan Utama

Dengan menggunakan program pca Column, direncanakan *bored pile* berukuran 1200 mm dengan mutu beton K350 dan mutu tulangan 390 MPa. Direncanakan tulangan utama berdiameter 32 mm dengan jumlah tulangan 36. Gambar 5.11 berikut adalah gambar diagram interaksi penulangan dari pca Column.



Gambar 5.9 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Kantilever Tanah *Behaving Like Sand*

Dari hasil perhitungan didapatkan data *bored pile* sebagai berikut :

Diameter = 1200 mm

E_m = 29711.46 Mpa = 4309290 psi

σ_{allow} = 350 kg/cm^2 = 35000 kN/m^2

I_{tr} = 14089319 cm^4 = 338144 in^4/ft

ϕMn = 5142 kNm

Z = 146914 cm^3

b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada bored pile , dimana V_u = 470683 N. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.1.1 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada :

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

$V_u = 470683$ N

$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2$

$= 0.17 \times 1 \times \sqrt{29.05} \times \frac{1}{4} \pi 1200^2$

$= 1036273.43$ N

Direncanakan sengkang spiral D13 dengan jarak 200 mm

$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$

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

$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 13^2$

$= 265.46$ mm^2

$d = 1200 - 40 - 13 - 0.5 \times 36 = 1129$ mm

$f_y = 240$ MPa

$V_s = \frac{265.46 \times 240 \times 1129}{200}$

$= 359651.41$ N

$V_n = 1036273.43$ N + 359651.41 N

$= 1395924.84$ N

ϕV_n	$\geq V_u$
$\phi \times 1395924.84$ N	≥ 470683 N
1046943.63 N	≥ 470683 N Ok !

2. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relative (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 13.0 m = 511.81 in

$\rho = \frac{(511.81+511.81)^4}{4429101 \text{ x } 358251}$

$= 0.75$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design $= M_{maks} \text{ x } r_d$

$= 4178.99 \text{ kNm x } 1$

$= 4178.99 \text{ kNm}$

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \text{ x } 10^6$

$= \frac{4178.99}{35000} \text{ x } 10^6$

$= 119399.79 \text{ cm}^3$

$Z_0 \leq Z$

$119399.79 \text{ cm}^3 \leq 129811.00 \text{ cm}^3$ …… Ok !

3. Defleksi Turap *Bored Pile*

a. Perhitungan letak titik jepit (z_f) dari turap

Untuk tanah yang mempunyai modulus subgrade konstan

$z_f = 1.4 \text{ R}$

$$R = \sqrt[4]{\frac{E.I}{K}} = \sqrt[4]{\frac{29711456.37 \text{ x } 0.141}{1386 \text{ x } 13}} = 3.90 \text{ m}$$

$z_f = 1.4 \text{ x } 3.90 = 5.47 \text{ m}$

Sehingga letak titik jepit turap *bored pile* 5.08 m dari ujung turap *bored pile*.

b. Defleksi lateral (y)

Besarnya defleksi horizontal (y) dari tiang vertikal akibat beban lateral dapa dicari dengan persamaan :

$$y = \frac{H(e + z_f)^3}{3 E I}$$

$$\bar{e} = \frac{Ea_1.e_1 + Ea_2.e_2 + Ea_3.e_3 + Ea_4.e_4}{Ea_1 + Ea_2 + Ea_3 + Ea_4}$$

$$= \frac{54.79 \text{ x } 11.50 + 12.80 \text{ x } 11.00 + 267.97 \text{ x } 5.00 + 125.99 \text{ x } 3.33}{54.79 + 12.80 + 267.97 + 125.99}$$

$= 5.48 \text{ m}$

$H = \Sigma Ea$

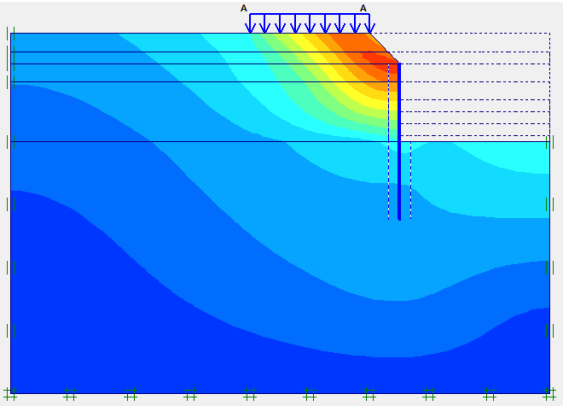
$= 54.79 + 12.80 + 267.97 + 125.99 = 461.55 \text{ kN}$

$$y = \frac{461.55\ (5.48 + 5.47)^3}{3x\ \ 29711456.37 \text{ x } 0.141}$$

$= 0.048 \text{ m}$

4. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.10 dibawah ini. Pada Gambar 5.10 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.10 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada Turap Kantilever *Bored Pile Behaving Like Sand*

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.36. Dengan nilai SF =1.36 maka turap dengan material *bored pile* aman terhadap kelongsoran.

5. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.7 m

h = 1.0 m

fc’ = 29.05 MPa

Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1700 \times 937.5 = 2868.75\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 573.75 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-200

5.4.3 Hasil Perhitungan Turap Kantilever

Berdasarkan hasil perhitungan turap kantilever dengan kondisi tanah asli dan *behaving like sand* dengan material SPP dan *bored pile* dapa dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Turap Kantilever

Turap Kantilever				
KondisiTanah	Tanah Asli		*Behaving Like Sand*	
Jenis Turap	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*
Diameter (mm)	800	900	1100	1200
Panjang Total Turap (m)	23	23	26	26
Jarak Turap (m)	0.85	0.95	1.15	1.25
SF	1.30	1.30	1.35	1.36

5.5 Perencanaan Turap Berangkur

5.5.1 Tanah Asli

Perencanaan turap dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

   Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu :

a. Koefisien tekanan tanah aktif

   $Ka = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{16}{2})$

   $= 0.57$

b. Koefisien tekanan tanah pasif

   $Kp = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{16}{2})$

   $= 1.76$

Hasil dari perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan koefisien tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini.

Tabel 5.6 Data Perencanaan Turap Berangkur Tanah Asli

Lapisan Tanah Ke	Ketebalan (m)	γ' kN/m^3	Cu kN/m^3	ϕ	Ka	Kp
1	3	8.98	31	16	0.57	1.76
2	2	8.93	34	14	0.61	1.64
3	3	8.53	38	12	0.66	1.52
4	10	7.56	30	17.6	0.54	1.87
5	D	7.56	30	17.6	0.54	1.87

2. Perhitungan Tegangan Tanah

q = $q + (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2)$

$= 10 + (8.98 \times 3) + (8.93 \times 2)$

$= 54.79\ kN/m^2$

a. Aktif

- Titik 1

$\sigma v_1 = q$

$= 54.79\ kN/m^2$

$\sigma h_1 = q \times Ka_3 - 2c_3\sqrt{Ka_3}$

$= 54.79 \times 0.66 - 2 \times 38 \times \sqrt{0.66}$

$= -25.61\ kN/m^2$

- Titik 2 atas

$\sigma v_{2a} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3)$

$= 80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2a} = \sigma v_{2a} \times Ka_3 - 2c_3\sqrt{Ka_3}$

$= 80.39 \times 0.66 - 2 \times 38 \times \sqrt{0.66}$

$= -8.83\ kN/m^2$

- Titik 2 bawah

$\sigma v_{2b} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3)$

$= 80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2b} = \sigma v_{2b} \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}$

$= 80.39 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= -0.85\ kN/m^2$

- Titik 3 atas

$\sigma v_{3a} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99\ kN/m^2$

$\sigma h_{3a} = \sigma v_{3a} \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}$

$= 155.99 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= 155.99 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) + (\gamma'_5 \times Do)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10) + (7.56 \times Do)$

$= (7.56\ Do + 155.99) \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_4 \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= (7.56\ Do + 155.99) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= (4.05\ Do + 39.64) \text{ kN/m}^2$

b. Pasif

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q$

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

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 0 \times 0.54 + 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 81.98 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = (\gamma'_5 \times h_5)$

$= 7.56 \times Do$

$= 7.56Do\ kN/m^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_{2a} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 7.56Do \times 1.87 + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87}$

$= (14.11Do + 81.98)\ kN/m^2$

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

$\frac{hc}{10-hc} = \frac{0.85}{39.64}$

$39.64hc = 8.5\text{-}0.85hc$

$hc = 0.21$ m

$10 - hc = 9.79$ m

$h_{a1} = 9.79$ m

a. $Ea_1 = ½ \times (q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_4 - 2c_4\sqrt{Ka_4}$

$= ½ \times (54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 194.04$ kN/m

b. $Ea_2 = ((q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}) \times h_5$

$= (54.79 + (8.53 \times 3)) + (7.56 \times 10) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54} \times Do$

$= 39.64Do$ kN/m

c. $Ea_3 = ½ \times (\gamma'_5 \times D) \times 0.54) \times h_5$

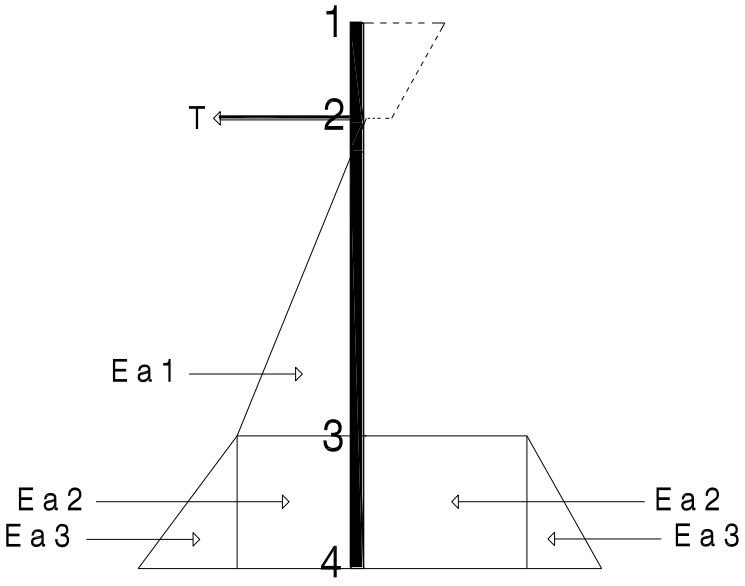
$= ½ \times (7.56 \times D) \times 0.54 \times Do$

$= 2.02\ Do^2$ kN/m

d. $Ep_1 = (q \times Kp_5) + 2c_5\sqrt{Kp_5}) \times h_5$
$= (0 \times 1.87) + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87} \times Do$
$= 81.98\ Do\ kN/m$

e. $Ep_2 = ½ \times ((\gamma'_5 \times h_5) \times Kp_5 \times h_5$
$= ½ \times (7.56 \times Do) \times 1.87 \times D$
$= 7.06\ Do^2\ kN/m$

Pada Gambar 5.11 dapat dilihat hasil dari perhitungan tegangan dan tekanan tanah lateral pada turap berangkur pada kondisi tanah asli.



Gambar 5.11 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Berangkur Kondisi Tanah Asli

4. Perhitungan Kedalaman Turap
   Untuk perhitungan momen yang terjadi pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.7dibawah ini.

Tabel 5.7 Gaya Turap Berangkurr Tanah Asli

	Gaya	Jarak ke angker	Momen
Tekanan tanah aktif	Ea_1 = 194.04	6.74	1307.21
	Ea_2 = 39.64 Do	0.50 Do + 10	396.42 Do + 19.82 Do^2
	Ea_3 = 2.02 Do^2	0.67 Do + 10	40.07 Do^2 + 1.35 Do^3
Tekanan tanah pasif	Ep_1 = 81.98 Do	0.50 Do + 10	40.99 Do^2 + 819.8 Do
	Ep_2 = 7.06 Do^2	0.67 Do + 10	70.6 Do^2 + 4.70 Do^3

$\Sigma MDo = 0$

$\Sigma MDo = 3.5\ Do^3 + 71.48\ Do^2 + 423.38\ Do - 1307.21$

$Do = 2.19$ m

$D = SF \times Do = 1.2 \times 2.19 = 2.63 \approx 3$ m

Panjang Total Turap = D + H = 3 m + 13 m = 16 m

5. Gaya Tarik Angker
   Untuk D = 2.19 m

   $T = \Sigma P_a - \Sigma P_p$

   $\Sigma P_a = 2.02\ Do^2 + 39.64\ Do + 194.04$

   $= 2.02\ (2.19)^2 + 39.64\ (2.19) + 194.04 = 290.57$ kN

   $\Sigma P_p = 7.06\ Do^2 + 81.98\ Do$

   $= 7.06\ (2.19)^2 + 81.98\ (2.19) = 213.38$ kN

   $T = 290.57$ kN - 213.38 kN = 77.19 kN

6. Momen maksimum
   Momen maksimum dimisalkan terletak di atas dasar galian dan x = 0 terletak pada perpotongan turap dengan angkur. Nilai x positif, bila arahnya ke bawah dihitung dari perpotongan dengan *ground anchor.*

$\Sigma H = 0$

$\frac{1}{2}$ x ((q + (γ'_3.h_3) + (γ'_4 . x)) x Ka_4 – 2$c_4\sqrt{Ka_4}$ x x)– T = 0

$\frac{1}{2}$ x ((54.79 + (8.53 . 3) + (7.56 . x)) x 0.54 – 2 x 30 x $\sqrt{0.54}$) x x- 77.19 = 0

$2.02x^2$-0.43x-77.19 = 0

x = 6.28 m

jarak x = 6.28 m dibawah perpotongan turap dengan *ground anchor* atau (10-6.28) = 3.72 diatas dasar galian. Jadi permisalan bahwa momen maks berada diatas dasar galian benar.

Mmaks = $(2.02x^2-0.43x)x/3 – 77.19(x)$

= $(2.02(6.28)^2-0.43(6.28))x6.28/3 – 82.31(6.28)$

= -410.50 kNm

5.5.1.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*)

Direncanakan profil *Steel Pipe Pile* ASTM A252 Grade 2 yang dikombinasikan beton dengan data SPP sebagai berikut :

Diameter	= 500 mm	
Tebal	= 19 mm	
E	= 200000 Mpa	= 29007600 psi
σ_{allow}	= 20 kg/mm^2	= 200000 kN/m^2
I	= 83200 cm^4	= 1996.8 in^4/ft
Z	= 3330 cm^3	

1. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 3.0 m = 118.11 in

$$\rho = \frac{(511.81 + 118.11)^4}{29007600 \times 1996.8}$$
$$= 2.72$$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen
Momen design $= M_{maks} \times r_d$
$= 410.50 \text{ kNm} \times 1 = 410.50 \text{ kNm}$

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \times 10^6$$
$$= \frac{410.50}{200000} \times 10^6$$
$$= 2052.50 \text{ cm}^3$$

$Z_0 \leq Z$
$2052.50 \text{cm}^3 \leq 3330 \text{ cm}^3$ …… Ok !

Setelah didapatkan dimensi penampang yang memenuhi SPP disikan dengan beton dengan mutu K175 untuk menambah kekakuan dan memperkecil defleksi yang terjadi pada turap. Data SPP yang telh dikompositkan dengan beton adalah sebagai berikut :

$E_m = 237659676 \text{ KN/m}^2$
$I_m = 0.0031 \text{ m}^4$

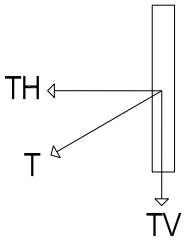
2. Perencanaan *Ground Anchor*

a. Penentuan Jarak *Ground Anchor*

Digunakan jarak antar *ground anchor* 2.2 m.

Maka T = jarak pemasangan x T

= 2.2 x 77.19 = 169.82 kN



Gambar 5.12 Gaya *Tie Back* SPP Tanah Asli

Gaya yang harus ditahan oleh *Tie Back* (T) seperti yang terlihat pada Gambar 5.12.

$$T = \frac{TH}{\cos \alpha} = \frac{169.82}{\cos 8} = 171.49 \text{ kN}$$

b. Anchor Tendon Capacity

Dipakai 7 buah strand dengan diameter 0.375 inch. Data dari A 416/A416M-06 Grade 270, diperoleh :

A_{each}	= 54.8 mm^2
Breaking Load	= 102.3 kN
Yield Load	= 87.0 kN
D_t	= 9.53 mm
A_{tot}	= jumlah strand x Aeach
	= 7 x 54.8 = 383.60 mm^2
f_u	$= \frac{\text{Breaking Load}}{\text{Aeach}}$

$$= \frac{102.3 \quad \text{x } 1000}{54.8} = 1866.79 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin batang Tarik

T_{design} = 0.60 x f_u x A
= 0.60 x (1866.79 x 383.60 / 1000)
= 429.66 kN

T_{proof} = 0.80 x f_u x A
= 0.80 x (1866.79 x 383.60 / 1000)
= 572.88 kN

Gaya tarik aktual yang terjadi

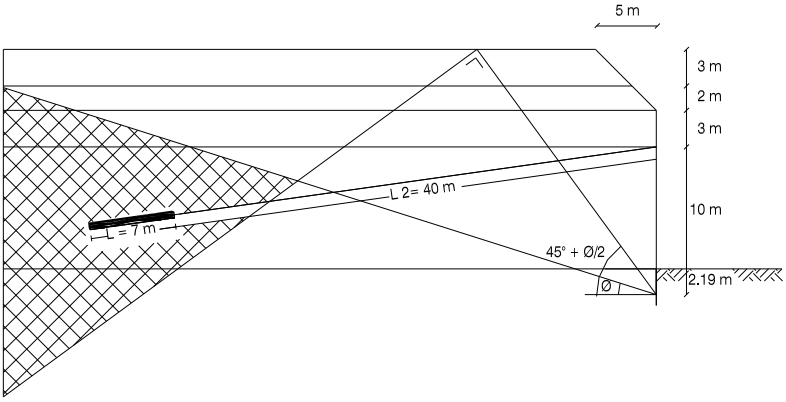
T_{design} = T
= 171.49 kN

T_{proof} = 1.3T
= 1.3 x 171.49 kN = 222.93 kN

T_{aktual} < T_{ijin}

222.93 kN < 572.88 kN Ok !

c. Kapasitas *Ground Anchor*



Gambar 5.13 Posisi *Ground Anchor* SPP Tanah Asli

D = 0.15 m

d_2 = 14 m

γtotal = (8.98 x 3)+(8.93 x 2)+(8.53 x 3)+(7.56 x 6)

= 115.75 kN

φ = 17.60

C_u = 30.00

δ = 2/3 x φ = 11.73

C_w = 0.56 x C_u = 16.8

r = $\sqrt{1+\frac{cw}{cu}} = \sqrt{1+\frac{16.8}{30}} = 1.25$

K = 1- sinφ = 0.70

Adhesi, ca = r x C_u = 37.47

L = 7 m

L_2 = 40 m

Tu = π D L(γtotal d_2 K tgδ + ca)

= π 0.15 x 7(115.75 x 14 x 0.70 tg11.73 + 37.47)

= 763.40 kN

T_{aktual} < 0.85 Tu

237.71 kN < 763.40 kN ok !

3. Defleksi Turap SPP

a. Perhitungan panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang

Kedalaman atau panjang kritis dari tiang yang harus terjepit dalam tanah dapat ditentukan dngan metoda dari PHILIPPONAT seperti dibawah ini :

Dc = 1.5 m atau 3 x diameter

= 3 x 0.5 = 1.5 m

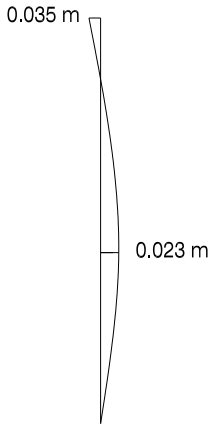
Dc ≤ kedalaan turap tertanam

1.5 m ≤ 3 m ok !

Jadi panjang tertanam turap memenuhi panjang jepitan kritisnya.

b. Kontrol Defleksi

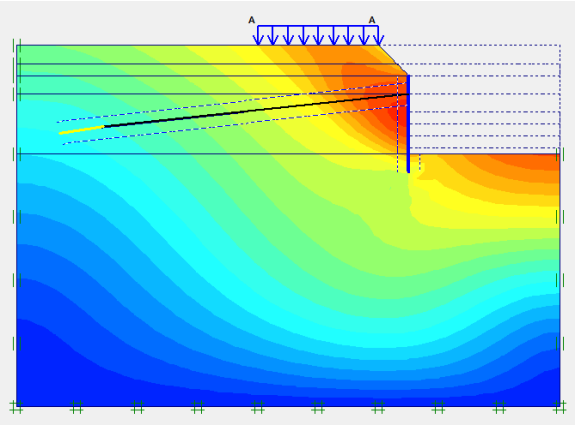
Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi.besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Defleksi SPP dengan *Ground Anchor* Tanah Asli

4. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.15 dibawah ini. Pada Gambar 5.15 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.15 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada SPP Turap Berangkur Tanah Asli

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.45. Dengan nilai SF =1.45 maka turap dengan material *bored pile* berangkur aman terhadap kelongsoran.

5. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.0 m

h = 1.0 m

fc’ = 29.05 MPa

Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1600 \times 937.5 = 1687.5\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 337.5 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-300

6. Perencanaan *Walling*

Direncanakan baja profil WF 350.175.6.9 dengan data sebagai berikut :

d = 346 mm
b_f = 174 mm
t_w = 9 mm
t_f = 14 mm
σ_{allow} = 240 MPa = 240000 kN/m^2
Z = 689 cm^3

a. *Max bending moment in the wale*

$M = T.L$

$M = 222.93 \times 2.2 = 490.45$ kNm

b. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M}{2 \times \sigma_{allow}} \times 10^6$

$Z_0 = \frac{490.45}{2 \times 240000} \times 10^6 = 1021.78\ cm^3$

$Z_0 \leq 2 \times Z$

$1021.78 cm^3 \leq 2 \times 689\ cm^3$

$1021.78 cm^3 \leq 1378 cm^3$ …… Ok !

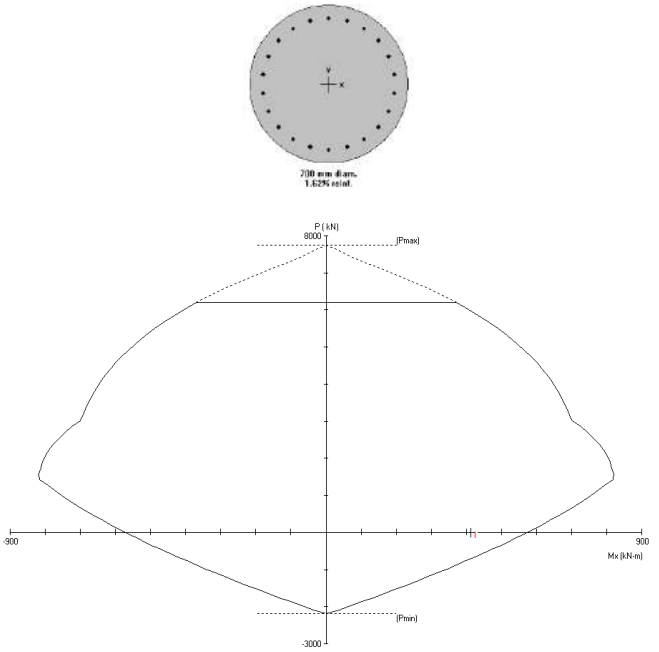
Digunakan profi WF 350.175.6.9 sebanyak 2 buah.

5.5.1.2 Perencanaan *Bored Pile*

1. Perencanaan Tulangan

a. Tulangan Utama

Dengan menggunakan program pca Column, direncanakan *bored pile* berukuran 700 mm dengan mutu beton K350 dan mutu tulangan 390 MPa. Direncanakan tulangan utama berdiameter 19 mm dengan jumlah tulangan 22. Gambar 5.16 berikut adalah gambar diagram interaksi penulangan dari pca Column.



Gambar 5.16 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Berangkurr Tanah Asli

Dari hasil perhitungan didapatkan data *bored pile* sebagai berikut :

Diameter = 700 mm

E_m = 28176.29 Mpa = 4086633 psi

σ_{allow} = 350 kg/cm^2 = 35000 kN/m^2

I_{tr} = 1456740 cm^4 = 34961.76 in^4/ft

ϕMn = 571.7 kNm

Z = 16334 cm^3

b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada bored pile , dimana V_u = 137810 N. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.1.1 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada :

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

V_u = 137810 N

$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2$

$= 0.17 \times 1 \times \sqrt{29.05} \times \frac{1}{4} \pi 700^2$

= 352620.82 N

Direncanakan sengkang spiral D13 dengan jarak 200 mm

$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$

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

$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 13^2$

= 265.46 mm^2

d = 700 – 40 – 13 – 0.5 x 22 = 636 mm

f_y = 240 MPa

$V_s = \frac{265.46 \times 240 \times 636}{200}$

= 202602.57 N

V_n = 352620.82 N + 202602.57 N
= 555223.39 N

$\phi V_n \geq V_u$
ϕ x 555223.3 N ≥ 137810 N
416417.54 N ≥ 137810 N Ok !

2. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 3.0 m = 118.11 in

$\rho = \frac{(511.81 + 118.11)^4}{4086633 \text{ x } 34962}$

= 1.10

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design = M_{maks} x r_d
= 410.50 kNm x 1
= 410.50 kNm

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \text{ x } 10^6$

$= \frac{410.50}{35000} \text{ x } 10^6$

= 11728.59 cm^3

$Z_0 \leq Z$

11728.59 cm^3 ≤ 16334 cm^3 …… Ok !

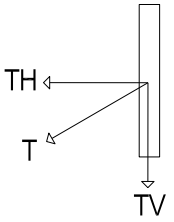
3. Perencanaan *Ground Anchor*

a. Penentuan Jarak *Ground Anchor*

Digunakan jarak antar *ground anchor* 2.25 m.

Maka T = jarak pemasangan x T

= 2.25 x 77.19= 173.68 kN



Gambar 5.17 Gaya *Tie Back* SPP *Behaving Like Sand*

Gaya yang harus ditahan oleh *Tie Back* (T) seperti yang terlihat pada Gambar 5.17.

$$T = \frac{TH}{\cos \alpha} = \frac{173.68}{\cos 8} = 175.38 \text{ kN}$$

b. Anchor Tendon Capacity

Dipakai 7 buah strand dengan diameter 0.375 inch. Data dari A 416/A416M-06 Grade 270, diperoleh :

A_{each} = 54.80 mm^2

Breaking Load = 102.30 kN

Yield Load = 87.00 kN

D_t = 11.11 mm

A_{tot} = jumlah strand x Aeach

= 7 x 54.80 = 383.60 mm^2

f_u $= \frac{\text{Breaking Load}}{\text{Aeach}}$

$= \frac{102.30 \quad \text{x } 1000}{54.80} = 1866.79$ MPa

Tegangan ijin batang Tarik

T_{design} = 0.60 x f_u x A

= 0.60 x (1866.79 x 383.60 / 1000) = 429.66 kN

T_{proof} = 0.80 x f_u x A

= 0.80 x (1866.79 x 383.60 / 1000) = 572.88 kN

Gaya Tarik aktual yang terjadi

T_{design} = T

= 175.38 kN

T_{proof} = 1.3T

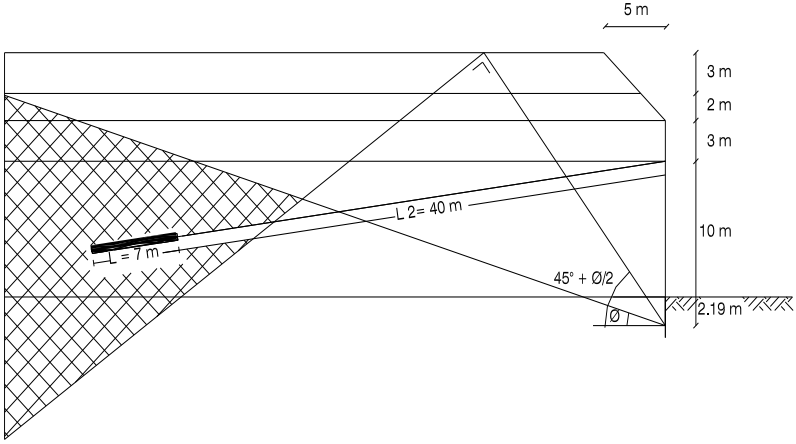
= 1.3 x 175.38 kN

= 228.00 kN

T_{aktual} < T_{ijin}

228.00 kN < 572.88 kN Ok !

c. Kapastas *Ground Anchor*



Gambar 5.18 Posisi *Ground Anchor Bored Pile Tanah Asli*

D = 0.15 m
d_2 = 14 m
γtotal = (8.98 x 3)+(8.93 x 2)+(8.53 x 3)+(7.56 x 6)
= 115.75 kN
φ = 17.60
C_u = 30.00
δ = 2/3 x φ = 11.73
C_w = 0.56 x cu = 16.8
r = $\sqrt{1+\frac{cw}{cu}} = \sqrt{1+\frac{16.8}{30}} = 1.25$
K = 1- sinφ = 0.70
Adhesi, ca = r x cu = 37.47
L = 7 m
L_2 = 37 m
T_u = π D L(γtotal d2 K tgδ + ca)
= π 0.15 x 7(115.75 x 14 x 0.70 tg11.73 + 37.47)
= 898.12 kN

T_{aktual} < 0.85 T_u
243.12 kN < 763.4 kN Ok !

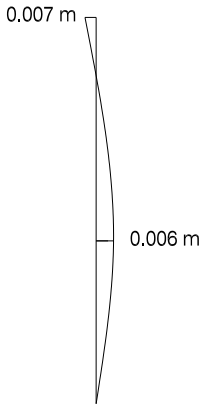
4. Defleksi Turap *SPP*
   a. Perhitungan panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang

   Kedalaman atau panjang kritis dari tiang yang harus terjepit dalam tanah dapat ditentukan dengan metoda dari PHILIPPONAT seperti dibawah ini :

   Dc = 1.5 m atau 3 x diameter
   = 3 x 0.7 = 2.1 m
   Dc ≤ kedalaan turap tertanam
   2.1 m < 3 m ok !

b. Kontrol Defleksi

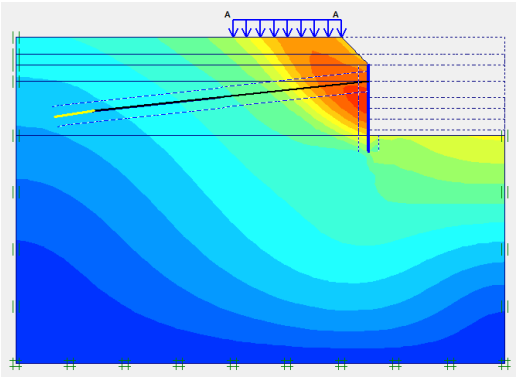
Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi.besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.19 Defleksi *Bored Pile* Tanah Asli dengan *Ground Anchor*

5. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.20 dibawah ini. Pada Gambar 5.20 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.20 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada *Bored Pile* Turap Berangkur Tanah Asli

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.45. Dengan nilai SF =1.45 maka turap dengan material *bored pile* dengan angkur aman terhadap kelongsoran.

6. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.2 m
h = 1.0 m
fc’ = 29.05 MPa
Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm

d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm
$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1200 \times 937.5 = 2025\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 405 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-250

7. Perencanaan *Walling*

Direncanakan baja profil WF dengan data sebagai berikut :

d = 346 mm
bf = 174 mm
σ_{allow} = 240 MPa = 240000 kN/m^2
Z = 689 cm^3

a. Max bending moment in the wale

$M = T.L$
$M = 228.00 \times 2.25$
= 513.00 kNm

b. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M}{2 \times \sigma_{allow}} \times 10^6$
$Z_0 = \frac{513.00}{2 \times 240000} \times 10^6$
= 1068.75 cm^3

$Z_0 \leq 2 \times Z$
1068.75 $cm^3 \leq$ 2 x 689 cm^3
1068.75 $cm^3 \leq$ 1378 cm^3 …… Ok !
Digunakan profi WF 350 x 175 sebanyak 2 buah.

5.5.2 Tanah *Behaving Like Sand*

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

   Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu :

   a. Koefisien tekanan tanah aktif

   $Ka = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2})$

   $Ka_1 = \tan^2 (45 - \frac{30}{2})$

   $= 0.33$

   b. Koefisien tekanan tanah pasif

   $Kp = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$, dimana :

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{\emptyset}{2})$

   $Kp_1 = \tan^2 (45 + \frac{30}{2})$

   $= 3.00$

Hasil dari perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan koefisien tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Data Perencanaan Turap Berangkur Tanah *Behaving Like Sand*

Lapisan Tanah Ke	Ketebalan (m)	γ' kN/m^3	Cu kN/m^3	ϕ	Ka	Kp
1	3	8.98	0	30	0.33	3.00
2	2	8.93	0	30	0.33	3.00
3	3	8.53	0	30	0.33	3.00
4	10	7.56	0	30	0.33	3.00
5	D	7.56	30	17.6	0.54	1.87

2. Perhitungan Tegangan Tanah

q = $q + (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2)$
= $10 + (8.98 \times 3) + (8.93 \times 2)$
= $54.79\ kN/m^2$

a. Aktif

- Titik 1

$\sigma v_1 = q$
= $54.79\ kN/m^2$

$\sigma h_1 = q \times Ka_3$
= 54.79×0.33
= $18.26\ kN/m^2$

- Titik 2 atas

$\sigma v_{2a} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$
= $54.79 + (8.53 \times 3)$
= $80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2a} = \sigma v_{2a} \times Ka_3$
= 80.39×0.33
= $26.80\ kN/m^2$

- Titik 2 bawah

$\sigma v_{2b} = q + (\gamma'_3 \times h_3)$
= $54.79 + (8.53 \times 3)$
= $80.39\ kN/m^2$

$\sigma h_{2b} = \sigma v_{2b} \times Ka_4$
= 80.39×0.33
= $26.80\ kN/m^2$

- Titik 3 atas

$\sigma v_{3a} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3a} = \sigma v_{3a} \times Ka_4$

$= 155.99 \times 0.33$

$= 52.00 \text{ kN/m}^2$

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10)$

$= 155.99 \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= 168.79 \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 39.64 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) + (\gamma'_5 \times Do)$

$= 54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times 10) + (7.56 \times Do)$

$= (7.56\ Do + 155.99) \text{ kN/m}^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_4 \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}$

$= (7.56\ Do + 155.99) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= (4.05\ Do + 39.64) \text{ kN/m}^2$

b. Pasif

- Titik 3 bawah

$\sigma v_{3b} = q$

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

$\sigma h_{3b} = \sigma v_{3b} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 0 \times 0.54 + 2 \times 30 \times \sqrt{0.54}$

$= 81.98 \text{ kN/m}^2$

- Titik 4

$\sigma v_4 = (\gamma'_5 \times h_5)$

$= 7.56 \times Do$

$= 7.56Do\ kN/m^2$

$\sigma h_4 = \sigma v_{2a} \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}$

$= 7.56Do \times 1.87 + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87}$

$= (14.11Do + 81.98)\ kN/m^2$

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

a. $Ea_1 = (q \times Ka_3) \times h_3$

$= 54.79 \times 0.33 \times 3$

$= 54.79\ kN/m$

b. $Ea_2 = ½ \times ((\gamma'_3 \times h_3) \times Ka_3) \times h_3$

$= ½ \times ((8.53 \times 3) \times 0.33) \times 3$

$= 12.80\ kN/m$

c. $Ea_3 = (q + (\gamma'_3 \times h_3)) \times Ka_4 \times h_4$

$= ((54.79 + (8.53 \times 3)) \times 0.33) \times 10$

$= 267.97\ kN/m$

d. $Ea_4 = ½ \times ((\gamma'_4 \times h_4) \times Ka_4) \times h_4$

$= ½ \times ((7.56 \times 10) \times 0.33) \times 10$

$= 125.99\ kN/m$

e. $Ea_5 = ((q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4)) \times Ka_5 - 2c_5\sqrt{Ka_5}) \times h_5$

$= (54.79 + (8.53 \times 3)) + (7.56 \times 10) \times 0.54 - 2 \times 30 \times \sqrt{0.54} \times Do$

$= 39.64Do\ t/m$

f. $Ea_6 = ½ \times (\gamma'_5 \times D) \times Ka_5) \times h_5$

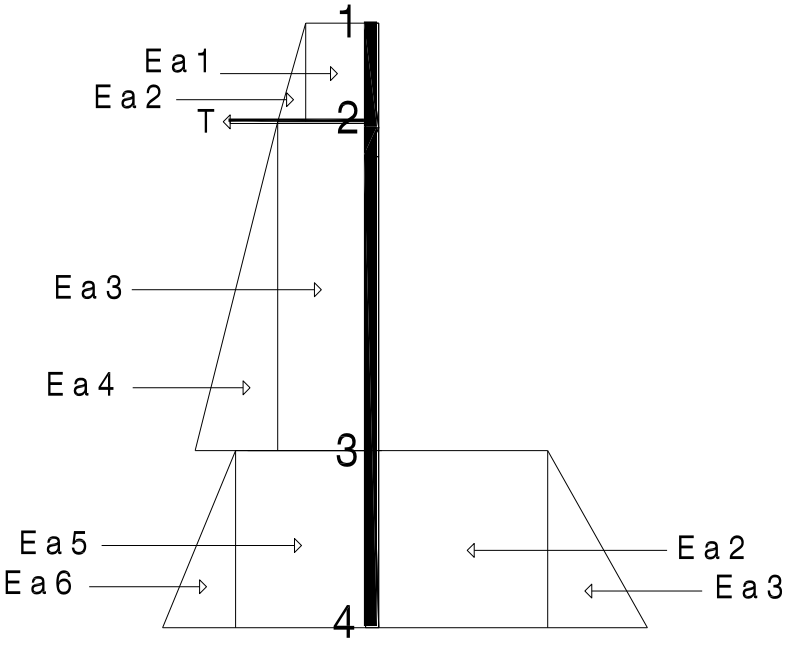
$= ½ \times (7.56 \times D) \times 0.54 \times Do$

$= 2.02\ Do^2\ t/m$

g. $Ep = ½ \times ((\gamma'_5 \times h_5) \times Kp_5 + 2c_5\sqrt{Kp_5}) \times h_5$

$= ½ \times (7.56 \times Do) \times 1.87 + 2 \times 30 \times \sqrt{1.87} \times Do$
$= (7.06\ Do^2 + 81.98\ Do)$ kN/m

Pada Gambar 5.21 dapat dilihat hasil dari perhitungan tegangan dan tekanan tanah lateral pada turap berangkur pada kondisi tanah *behaving like sand.*



Gambar 5.21 Diagram Tegangan dan Tekanan Tanah Lateral Turap Berangkur Kondisi *Behaving Like Sand*

4. Perhitungan Kedalaman Turap
   Untuk perhitungan momen yang terjadi pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.9 dibawah ini.

Tabel 5.9 Gaya Turap Berangkur *Behaving Like Sand*

	Gaya	Jarak ke angker	Momen
Tekanan	Ea_1 = 54.79	1.50	82.19
tanah aktif	Ea_2 = 12.80	1.00	12.80
	Ea_3 = 267.97	5.00	1339.83
	Ea_4 = 125.99	6.67	839.95
	Ea_5 = 39.64 Do	0.50 Do + 10	396.42 Do + 19.82 Do^2
	Ea_6 = 2.02 Do^2	0.67 Do + 10	20.25 Do^2 0.67 Do^3
Tekanan	Ep_1 = 81.98 Do	0.50 Do + 10	819.80 Do 40.99 Do^2
tanah pasif	Ep_2 = 7.06 Do^2 + 81.98 Do	0.67 Do + 10	70.60 Do^2 + 4.70 Do^3

$\Sigma MDo = 0$

$\Sigma MDo = 3.35\ Do^3 + 71.48\ Do^2 + 423.38\ Do - 2084.79$

$Do = 3.09$ m

$D = SF \times Do = 1.2 \times 3.09 = 3.71 \approx 4$ m

Panjang Total Turap = D + H = 4 m + 13 m = 17 m

5. Gaya Tarik Angker

   Untuk D = 2.96 m

   $T = \Sigma P_a - \Sigma P_p$

   $\Sigma P_a = 2.02\ Do^2 + 39.64\ Do + 461.55$

   $= 2.02\ (3.09)^2 + 39.64\ (3.09) + 461.55 = 603.37$ kN

   $\Sigma P_p = 7.06\ Do^2 + 81.98\ Do$

   $= 7.06\ (3.09)^2 + 81.98\ (3.09) = 320.69$ kN

   $T = 603.37$ kN - 320.69 = 282.68 kN

6. Momen maksimum

   Momen maksimum dimisalkan terletak di atas dasar galian dan x = 0 terletak pada perpotongan turap dengan angkur. Nilai x positif, bila arahnya ke bawah dihitung dari perpotongan dengan *ground anchor.*

   $\Sigma H = 0$

$(\sigma h_1 . h_3) + ½ (\sigma h_{2a} . h_3) + (\sigma h_{2b} . x) + ½ ((q + (\gamma'_3 . h_3) + (\gamma'_4 . x)) \times Ka_4 - T = 0$

$(18.26 \times 3) + ½ (26.80 \times 3) + (26.80 \times x) + ½ ((54.79 + (8.53 \times 3) + (7.56 \times x)) \times 0.33 - 282.68 = 0$

$54.79 + 40.19 + 26.80 + 13.40x + 1.26x^2 - 282.68 = 0$

$1.26x^2 + 40.19 - 187.70 = 0$

$x = 4.13$ m

jarak x = 4.13 m dibawah perpotongan turap dengan *ground anchor* atau (10-4.13) = 5.87 m diatas dasar galian. Jadi permisalan bahwa momen maks berada diatas dasar galian benar.

$M_{maks} = 54.79 (½ \times 3 + 4.13) + 40.19 (1/3 \times 3 + 4.13) - ((26.80 \times 4.13) \times (½ \times 4.13)) - ((13.40 \times 4.13) + (1.26 \times 4.13^2) \times (1/3 \times 4.13)) - (2.92.14 \times 4.13)$

$= 308.47 + 206.20 - 228.53 - 84.92 - 1167.48$

$= -966.26$ kNm

5.5.2.1 Perencanaan SPP (*Steel Pipe Pile*)

Direncanakan profil *Steel Pipe Pile* ASTM A252 Grade 2 yang dikombinasikan beton dengan data SPP sebagai berikut :

Diameter	= 700 mm	
Tebal	= 19 mm	
E	= 200000 Mpa	= 29007600 psi
σ_{allow}	= 20 kg/mm^2	= 200000 kN/m^2
I	= 236000 cm^4	= 5664 in^4/ft
Z	= 6470 cm^3	

1. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E\,I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 4.0 m = 157.48 in

$\rho = \frac{(511.81 + 157.48)^4}{29007600 \text{ x } 5664}$

$= 1.22$

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design $= M_{maks} \text{ x } r_d$

$= 966.26 \text{ kNm x } 1$

$= 966.26 \text{ kNm}$

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \text{ x } 10^6$

$= \frac{966.26}{200000} \text{ x } 10^6$

$= 4831.31 \text{ cm}^3$

$Z_0 \leq Z$

$4831.31 \text{cm}^3 \leq 6470 \text{ cm}^3$ …… Ok !

Setelah didapatkan dimensi penampang yang memenuhi SPP disikan dengan beton dengan mutu K175 untuk menambah kekakuan dan memperkecil defleksi yang terjadi pada turap. Data SPP yang telah dikompositkan dengan beton adalah sebagai berikut :

$E_m = 254611141 \text{ KN/m}^2$

$I_m = 0.012 \text{ m}^4$

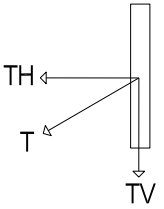
2. Perencanaan *Ground Anchor*

a. Penentuan Jarak *Ground Anchor*

Digunakan jarak antar *ground anchor* 1.5 m.

Maka T = jarak pemasangan x T

= 1.5 x 282.68 = 424.02 kN



Gambar 5.22 Gaya *Tie Back* SPP *Behaving Like Sand*

Gaya yang harus ditahan oleh *Tie Back* (T) seperti yang terlihat pada Gambar 5.22.

$$T = \frac{TH}{\cos \alpha} = \frac{424.02}{\cos 15} = 438.98 \text{ kN}$$

b. Anchor Tendon Capacity

Dipakai 7 buah strand dengan diameter 0.563 inch. Data dari A 416/A416M-06 Grade 270, diperoleh :

A_{each} = 123.90 mm^2

Breaking Load = 230.0 kN

Yield Load = 195.5 kN

D_t = 14.29 mm

A_{tot} = jumlah strand x Aeach

= 7 x 123.90 = 867.30 mm^2

f_u $= \frac{\text{Breaking Load}}{\text{Aeach}}$

$= \frac{230.0 \text{ x } 1000}{123.90} = 1856.34$ MPa

Tegangan ijin batang Tarik

T_{design} = 0.60 x f_u x A

= 0.60 x (1856.34 x 867.30 / 1000)

= 966.00 kN

T_{proof} = 0.80 x f_u x A

= 0.80 x (1861.89 x 1327.9 / 1000)

= 1288.00 kN

Gaya Tarik aktual yang terjadi

T_{design} = T

T = 438.98 kN

T_{proof} = 1.3T

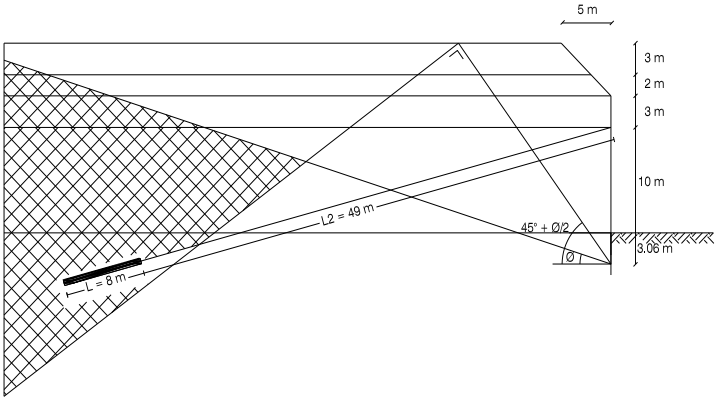
= 1.3 x 438.98 kN

= 570.68 kN

T_{aktual} < T_{ijin}

570.68 kN < 1288.00 kN Ok !

c. Kapasitas *Ground Anchor*



Gambar 5.23 Posisi *Ground Anchor* SPP *Behaving Like Sand*

D = 0.15 m

d_2 = 22 m

γtotal = (8.98 x 3)+(8.93x2)+(8.53x3)+(7.56x 10) +(7.56 x 5)

= 183.78 kN

φ = 17.60

C_u = 30.00

δ = 2/3 x φ = 11.73

C_w = 0.56 x C_u = 16.8

r = $\sqrt{1+\frac{cw}{cu}} = \sqrt{1+\frac{16.8}{30}} = 1.25$

K = 1- sinφ = 0.70

Adhesi, ca = r x C_u = 37.47

L = 8 m

L_2 = 49 m

T_u = π D L(γtotal d_2 K tgδ + ca)

= π 0.15 x 8(183.78 x 22 x 0.70 tg11.73 + 37.47)

= 2349.85 kN

T_{aktual} < 0.85 Tu

570.68 kN < 1997.37 kN ok !

3. Defleksi Turap SPP

a. Perhitungan panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang

Kedalaman atau panjang kritis dari tiang yang harus terjepit dalam tanah dapat ditentukan dngan metoda dari PHILIPPONAT seperti dibawah ini :

Dc = 3 m atau 6 x diameter

= 6 x 0.7 = 4.2 m

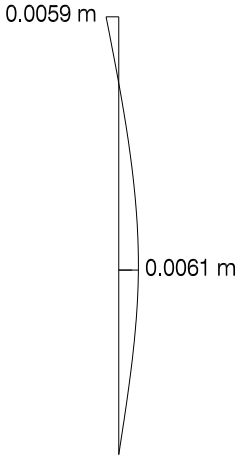
Dc ≤ kedalaan turap tertanam

4.2 m < 4 m Tidak ok !

Karena panjang jepitan kritis tidak terpenuhi, maka dilakukan penambahan panjang turap yang tertanam. Jadi panjang tertanam turap agar memenuhi panjang jepitan kritisnya direncanakan sebesar 5 m.

b. Kontrol Defleksi

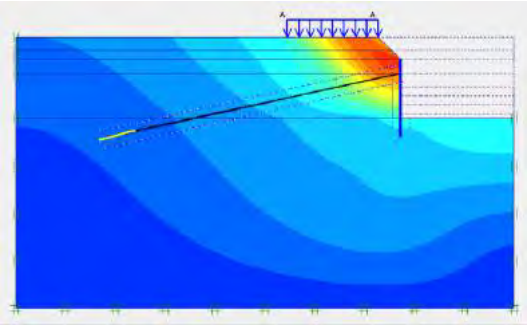
Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi.besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Defleksi SPP *Behaving Like Sand* dengan *Ground Anchor*

4. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.25 dibawah ini. Pada Gambar 5.25 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.25 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada SPP Turap Berangkur Tanah Asli

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.60. Dengan nilai SF =1.60 maka turap dengan material *bored pile* berangkur aman terhadap kelongsoran.

5. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.7 m
h = 1.0 m
fc’ = 29.05 MPa
Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1200 \times 937.5 = 2025\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-150

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 405 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-250

6. Perencanaan *Walling*

Direncanakan baja profil WF 400.200.7.11 dengan data sebagai berikut :

d = 396 mm
b_f = 199 mm
t_w = 7 mm
t_f = 11 mm
σ_{allow} = 240 MPa = 240000 kN/m^2
Z = 1088 cm^3

a. *Max bending moment in the wale*

$M = T.L$
$M = 570.68 \times 1.5$
= 856.02 kNm

b. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$$Z_0 = \frac{M}{2 \times \sigma_{allow}} \times 10^6$$
$$Z_0 = \frac{856.02}{2 \times 240000} \times 10^6$$
= 1783.37 cm^3

$Z_0 \leq 2 \times Z$
1783.37 $cm^3 \leq 2 \times 1088\ cm^3$
1783.37 $cm^3 \leq 2176\ cm^3$ …… Ok !

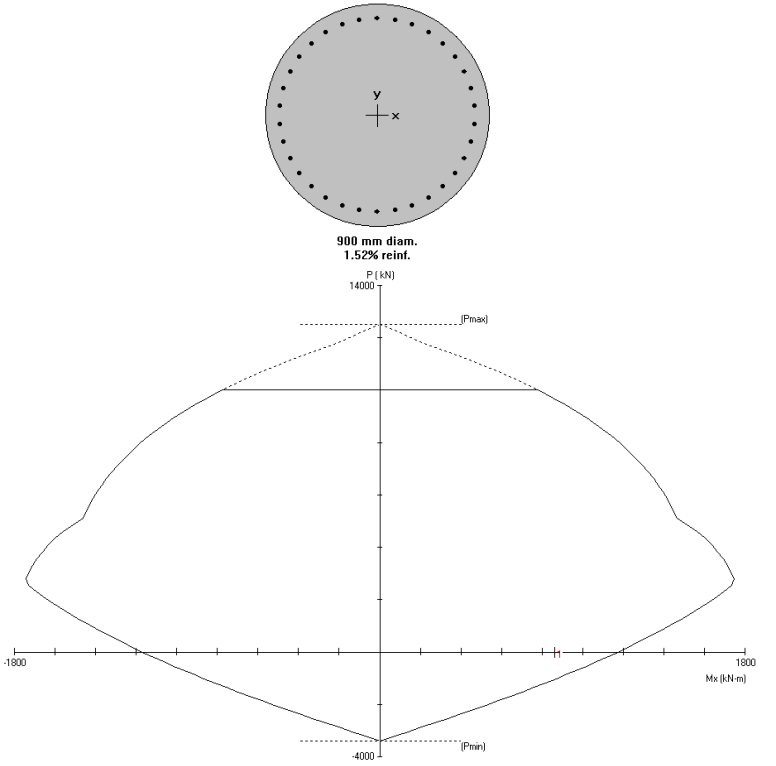
Digunakan profi WF 450.200.9.14 sebanyak 2 buah.

5.5.2.2 Perencanaan *Bored Pile*

1. Perencanaan Tulangan

a. Tulangan Utama

Dengan menggunakan program pca Column, direncanakan *bored pile* berukuran 900 mm dengan mutu beton K350 dan mutu tulangan 390 MPa. Direncanakan tulangan utama berdiameter 19 mm dengan jumlah tulangan 34. Gambar 5.26 berikut adalah gambar diagram interaksi penulangan dari pca Column.



Gambar 5.26 Diagram Interaksi Penulangan Turap *Bored Pile* Berangkurr Tanah *Behaving Like Sand*

Dari hasil perhitungan didapatkan data *bored pile* sebagai berikut :

Diameter = 900 mm

E_m = 27974.69 Mpa = 4057393 psi

σ_{allow} = 350 kg/cm^2 = 35000 kN/m^2

I_{tr} = 3928779 cm^4 = 94290.69 in^4/ft

ϕMn = 1172.7 kNm

Z = 33506 cm^3

b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada bored pile , dimana V_u = 213420 N. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.1.1 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada :

$\phi V_n \geq V_u$

$V_n = V_c + V_s$

V_u = 213420 N

$V_c = 0.17\ \lambda \sqrt{f'_c}\ x\ \frac{1}{4}\ \pi\ D^2$

$= 0.17\ x\ 1\ x\ \sqrt{29.05}\ x\ \frac{1}{4}\ \pi\ 900^2$

= 582903.80 N

Direncanakan sengkang spiral D13 dengan jarak 200 mm

$V_s = \frac{A_v\ f_{yt}\ d}{s}$

$A_v = 2\ x\ \frac{1}{4}\ \pi\ D^2$

$= 2\ x\ \frac{1}{4}\ \pi\ 13^2$

= 265.46 mm^2

d = 900 – 40 – 13 – 0.5 x 22 = 836 mm

f_y = 240 MPa

$V_s = \frac{265.46\ x\ 240\ x\ 836}{200}$

= 266791.90 N

V_n = 582903.80 N + 266791.90 N
= 849695.71 N

$\phi V_n \geq V_u$
ϕ x 849695.71 N $\geq$ 213420 N
637271.78 N $\geq$ 213420 N Ok !

2. Reduksi momen Rowe

a. Kelenturan relatif (*relative flexibility*) tiang,

$\rho = \frac{(H+D)^4}{E I}$

H = 13.0 m = 511.81 in

D = 4.0 m = 157.48 in

$\rho = \frac{(511.81 + 157.48)^4}{4057393 \text{ x } 94290.69}$

= 0.52

Berdasarkan dari Gambar 2.14, maka didapatkan nilai rd sebesar 1.

b. Reduksi momen

Momen design = M_{maks} x r_d
= 966.26 kNm x 1
= 966.26 kNm

c. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$Z_0 = \frac{M_{design}}{\sigma_{allow}} \text{ x } 10^6$

$= \frac{966.26}{35000} \text{ x } 10^6$

= 27607.47 cm^3

$Z_0 \leq Z$

27607.47 $cm^3 \leq$ 33505.71 cm^3 …… Ok !

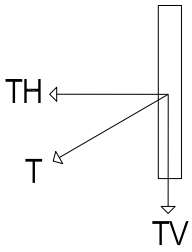
3. Perencanaan *Ground Anchor*

a. Penentuan Jarak *Ground Anchor*

Digunakan jarak antar *ground anchor* 1.90 m.

Maka T = jarak pemasangan x T

= 1.90 x 282.68 = 537.10 kN



Gambar 5.27 Gaya *Tie Back Bored Pile Behaving Like Sand*

$$T = \frac{TH}{\cos \alpha} = \frac{537.10}{\cos 15} = 556.04 \text{ kN}$$

b. Anchor Tendon Capacity

Dipakai 7 buah strand dengan diameter 0.600 inch. Data dari A 416/A416M-06 Grade 270, diperoleh :

A_{each}	= 140 mm^2
Breaking Load	= 260.7 kN
Yield Load	= 221.5 kN
D_t	= 15.24 mm
A_{tot}	= jumlah strand x Aeach
	= 7 x 140 = 980.00 mm^2
f_u	$= \frac{\text{Breaking Load}}{\text{Aeach}}$
	$= \frac{260.7 \quad \text{x } 1000}{140}$ = 1862.14 Mpa

Tegangan ijin batang Tarik

T_{design} = 0.60 x f_u x A
= 0.60 x (1862.14 x 980.00 / 1000)
= 1094.94 kN

T_{proof} = 0.80 x f_u x A
= 0.80 x (1862.14 x 980.00 / 1000)
= 1459.92 kN

Gaya Tarik aktual yang terjadi

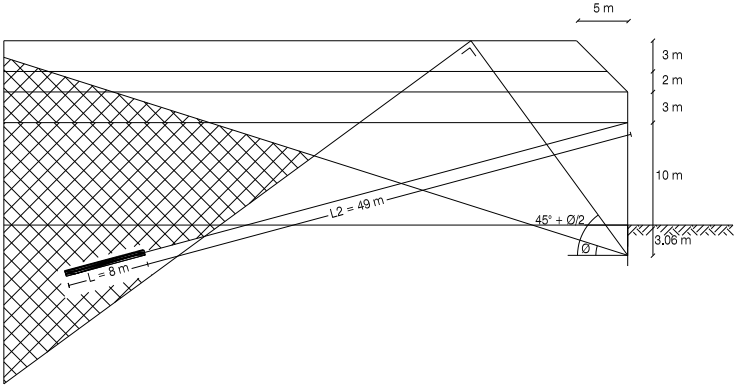
T_{design} = T
= 556.04 kN

T_{proof} = 1.3T
= 1.3 x 556.04 kN
= 722.86 kN

T_{aktual} < T_{ijin}

722.86 kN < 1459.92 kN Ok !

d. Kapastas *Ground Anchor*



Gambar 5.28 Posisi *Ground Anchor Bored Pile Behaving Like Sand*

D = 0.15 m

d_2 = 22 m

γtotal = (8.98 x 3)+(8.93x2)+(8.53x3)+(7.56x 10) +(7.56 x 5)

= 183.78 kN

φ = 17.60

C_u = 30.00

δ = 2/3 x φ = 11.73

C_w = 0.56 x C_u = 16.8

r = $\sqrt{1+\frac{cw}{cu}} = \sqrt{1+\frac{16.8}{30}} = 1.25$

K = 1- sinφ = 0.70

Adhesi, ca = r x C_u = 37.47

L = 8 m

L_2 = 49 m

T_u = π D L(γtotal d_2 K tgδ + ca)

= π 0.15 x 8(183.78 x 22 x 0.70 tg11.73 + 37.47)

= 2349.85 kN

T_{aktual} < 0.85 Tu

722.86 kN < 1997.37 kN ok !

4. Defleksi Turap *SPP*
   a. Perhitungan panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang

      Kedalaman atau panjang kritis dari tiang yang harus terjepit dalam tanah dapat ditentukan dengan metoda dari PHILIPPONAT seperti dibawah ini :

      Dc = 3 m atau 6 x diameter

      = 6 x 0.9 = 6.3 m

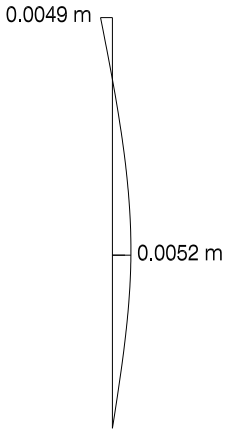
      Dc ≤ kedalaan turap tertanam

      6.3 m < 4 m Tidak ok !

Karena panjang jepitan kritis tidak terpenuhi, maka dilakukan penambahan panjang turap yang tertanam. Jadi panjang tertanam turap agar memenuhi panjang jepitan kritisnya direncanakan sebesar 7 m.

b. Kontrol Defleksi

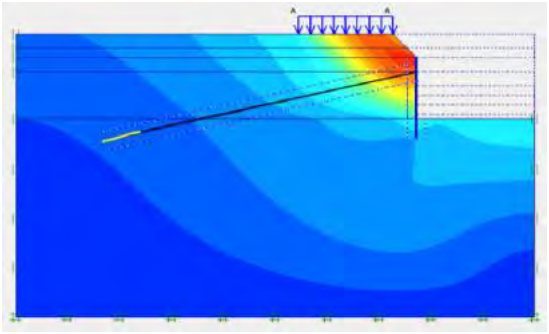
Dengan menggunakan program SAP, diperoleh deformasi akibat gaya-gaya yang terjadi.besarnya deformasi dapat dilihat pada Gambar 5.36.



Gambar 5.29 Defleksi *Bored Pile Behaving Like Sand* dengan *Ground Anchor*

5. Hasil Program PLAXIS

Hasil *running* program PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.30 dibawah ini. Pada Gambar 5.30 dapat dilihat deformasi terbesar yang terjadi ditunjukan pada area gambar yang berwarna jingga.



Gambar 5.30 *Displacement* Butiran Tanah Yang Terjadi Pada *Bored Pile* Turap Berangkur *Behaving Like Sand*

Berdasarkan hasil *running* program PLAXIS terhadap bidang *sliding* yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1.59. Dengan nilai SF =1.59 maka turap dengan material *bored pile* berangkur aman terhadap kelongsoran.

6. Perencanaan *Capping Beam*

Dalam melakukan perencanaan *capping beam* dalam Tugas Akhir ini, *capping beam* hanya berfungsi sebagai pengikat antar tiang turap. Karena pada perencanaan turap perhitungannya menggunakan tiang tunggal, sehingga pada *capping beam* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *capping beam* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1.

Data perencanaannya sebagai berikut :

b = 1.4 m
h = 1.0 m
fc’ = 29.05 MPa
Cover = 40 mm
Dimeter tulangan = 19 mm
d = 1000 – 40 – 13 – 19/2 = 937.5 mm

$\rho_{perlu} = \rho_{minimum} = 0{,}0018$
$As_{perlu} = 0{,}0018 \times 1400 \times 937.5 = 2362.5\ mm^2$
Maka, digunakan tulangan D19-125

Untuk tulangan bagi dipakai 20% As = 472.5 mm^2
Maka, digunakan tulangan D13-250

7. Perencanaan *Walling*

Direncanakan baja profil WF 450.200.9.14 dengan data sebagai berikut :

d = 450 mm
b_f = 200 mm
t_w = 9 mm
t_f = 14 mm
σ_{allow} = 240 MPa = 240000 kN/m^2
Z = 1621 cm^3

a. Max bending moment in the wale

$M = T.L$
$M = 722.86 \times 1.9$
= 1373.43 kNm

b. Cek penampang profil (*required section modulus*)

$$Z_0 = \frac{M}{2 \times \sigma_{allow}} \times 10^6$$

$$Z_0 = \frac{1373.43}{2 \times 240000} \times 10^6$$

= 2957.08 cm^3

$Z_0 \leq 2 \times Z$
2861.31 $cm^3 \leq 2 \times 1621\ cm^3$
2861.31 $cm^3 \leq 3242\ cm^3$ …… Ok !
Digunakan profi WF 450.200.9.14 sebanyak 2 buah.

5.5.3 Hasil Perhitungan Turap Berangkur

Berdasarkan hasil perhitungan turap berangkur dengan kondisi tanah asli dan *behaving like sand* dengan material SPP dan *bored pile* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Turap Berangkur

Turap Berangkur				
Kondisi Tanah	Tanah Asli		*Behaving Like Sand*	
Jenis Turap	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*
Diameter (mm)	500	700	700	900
Panjang (m) Total Turap	16	16	18	20
Jarak Turap (m)	0.55	0.75	0.75	0.95
Panjang Angkur (m)	47	47	57	57
Jarak Angkur (m)	2.20	2.25	1.50	1.90
SF	1.45	1.45	1.60	1.59

5.6 Perhitungan Harga Bahan dari Alternatif Perkuatan

Pada sub bab ini akan dibahas berapa besar volume dan harga bahan yang dibutuhkan sebagai alternatif perkuatan. Perhitungan ini hasil perhitungan volume dan harga bahan dari kedua alternatif perkuatan .

5.6.1 Analisa Harga Turap Kantilever

Pada Tabel 5.11 ditampilkan jumla total harga dari perkuatan turap kantilever. Total harga meliputi dari jumlah *pile* dan *capping beam* pada masing-masing jenis perkuatan. Untuk detail perhitugan dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 5.11 Harga Perkuatan Turap Kantilever

No	Jenis perkuatan	Harga	Jumlah	Tota lHarga
1	TurapKatilever Tanah Asli			
1.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp 135,531,649.97	81	Rp 10,978,063,648
	- *Capping Beam*	Rp 156,471,163.64		Rp 156,471,164
	- *Subdrain*	Rp 1,713,047.64	80	Rp 137,043,811
	Jumlah			Rp 11,271,578,623
1.2	- *Bored Pile*	Rp 47,392,155.82	73	Rp 3,459,627,375
	- *Capping Beam*	Rp 163,611,163.64		Rp 163,611,164
	- *Subdrain*	Rp 1,713,047.64	72	Rp 123,339,430
	Jumlah			Rp 3,746,577,969
2	TurapKatilever *Behaing Like Sand*			
2.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp 258,321,116.40	61	Rp 15,757,588,101
	- *Capping Beam*	Rp 190,951,700.68		Rp 190,951,701
	- *Subdrain*	Rp 1,713,047.64	60	Rp 102,782,859
	Jumlah			Rp 16,051,322,660
2.2	- *Bored Pile*	Rp 122,292,680.31	56	Rp 6,848,390,097
	- *Capping Beam*	Rp 198,944,997.13		Rp 198,944,997
	- *Subdrain*	Rp 1,713,047.64	55	Rp 94,217,620
	Jumlah			Rp 7,141,552,715

5.6.2 Analisa Harga Turap Berangkur

Pada Tabel 5.12 ditampilkan jumla total harga dari perkuatan turap mengguakan *ground anchor*. Total harga meliputi dari jumlah *pile*, *capping beam*, dan *ground anchor* pada masing-masing jenis perkuatan. Untuk detail perhitugan dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 5.12 Harga Perkuatan Turap Berangkur

No	Jenis perkuatan	Harga		Jumlah	Tota lHarga	
1	Turap berangkur Tanah Asli					
1.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	56,368,397	125	Rp	7,046,049,636
	- *Ground anchor*	Rp	28,935,589	33	Rp	954,874,451
	- *Capping Beam*	Rp	115,526,246		Rp	115,526,246
	- *Walling*	Rp	38,615,715		Rp	38,615,715
	- *Subdrain*	Rp	1,713,048	124	Rp	212,417,908
Jumlah					Rp	8,367,483,955
1.2	- *Bored Pile*	Rp	21,161,263	92	Rp	1,946,836,156
	- *Ground anchor*	Rp	28,935,589	32	Rp	925,938,861
	- *Capping Beam*	Rp	144,329,822		Rp	144,329,822
	- *Walling*	Rp	74,261,708		Rp	74,261,708
	- *Subdrain*	Rp	1,713,048	91	Rp	155,887,335
Jumlah					Rp	3,247,253,883
2	Turap berangkur *Behavng Like Sand*					
2.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	91,600,652	92	Rp	8,427,259,960
	- *Ground anchor*	Rp	64,593,712	47	Rp	3,035,904,444
	- *Capping Beam*	Rp	144,329,822		Rp	144,329,822
	- *Walling*	Rp	74,261,708		Rp	74,261,708
	- *Subdrain*	Rp	1,713,048	91	Rp	155,887,335
Jumlah					Rp	11,837,643,270
2.2	- *Bored Pile*	Rp	27,894,833	73	Rp	2,036,322,825
	- *Ground anchor*	Rp	72,901,899	38	Rp	2,770,272,170
	- *Capping Beam*	Rp	163,611,164		Rp	163,611,164
	- *Walling*	Rp	74,261,708		Rp	74,261,708
	- *Subdrain*	Rp	1,713,048	72	Rp	123,339,430
Jumlah					Rp	5,167,807,297

“*Halaman ini sengaja dikosongkan”*

Table 3.2 : Bor and SPT titik B - 1

Bore No : B - 1
Project : PABRIK KACA TOL PANDAAN - GEMPOL
Location : STA. 6 + 550 KABUPATEN PASURUAN

Coordinates of GPS (UTM) X = 0688222
Y = 9157067
Diameter of Bore : 73 mm
Diameter of Casing : 89 mm

BORE LOG

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%) Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Physical Properties Water Content (%)	Dry Density (γd) (gr/cm³)	Specific Gravity GS	Porosity n	Void Ratio e	Mechanical Properties Unconfined Test qu kg/cm²	Direct Shear Test c kg/cm²	ϕ (°)	Atterberg Test LL %	PL %	IP %
0		0 20 40 60 80	Urugan Sirtu	Coklat																
1																				
2		10	Lanau, Pasir, Kerikil	Hitam	3 + 5 (2.00) + 5 (2.50) = 10 m	19.89	32.36	38.34	9.41	32.76	1.437	2.688	0.468	0.881	0.38	0.31	16	66.30	30.17	36.13
3																				
4		31			10 + 13 (4.00) + 18 (4.50) = 31 m	20.51	29.37	34.52	15.60	32.51	1.497	2.667	0.464	0.867	0.41	0.34	14	69.62	31.32	38.29
5																				
6		13			4 + 6 (6.00) + 7 (6.50) = 13 m	16.83	26.33	44.54	12.30	35.36	1.396	2.654	0.484	0.939	0.33	0.38	12	74.25	34.19	40.05
7																				
8		80	Kerikil, Pasir, Lanau		12 + 40 (8.00) + 25 / 5 cm (8.50) = 80 m	40.36	34.63	25.01	0.00	34.64	1.468	2.715	0.485	0.941		0.25	22	NON PLASTIS		
9																				
10		80	Lanau, Pasir, Kerikil	Coklat	10 + 40 (10.00) + 20 / 4 cm (10.50) = 80 m	17.20	34.38	34.80	13.62	75.28	0.877	2.683	0.669	2.020	0.27	0.32	15	73.41	36.11	37.30
11																				
12		80			27 + 35 (12.00) + 25 / 6 cm (12.50) = 80 m	11.78	36.14	40.32	11.76	76.83	0.893	2.662	0.672	2.045	0.29	0.36	13	76.41	37.38	39.03
13																				
14		80	Pasir, Lanau, Kerikil		35 + 60 / 10 cm (14.00) (14.50) = 80 m	36.73	35.13	28.14	0.00	36.05	1.430	2.702	0.493	0.974		0.27	20	NON PLASTIS		
15																				
16		80			39 + 60 / 8 cm (16.00) (16.50) = 80 m	19.65	51.86	28.49	0.00	30.52	1.521	2.696	0.451	0.823		0.30	18	NON PLASTIS		

Spiral Welded Steel Pipe

Available Specification *1, *2

JIS A5525 & A5530

Grade	Chemical Component (%)														Mechanical Properties		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	N	Ceq		Minimum Tensile Strength (Mpa)	Minimum Yield Stress (Mpa)	Minimum Elongation (%) (Gauge Length 50mm)
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max				
SKK400 SKY400	0.25	–	–	0.040	0.040	–	–	–	–	–	–	–	–		400	235*4	18
SKK490 SKY490	0.18	0.55	1.60	0.035	0.035	–	–	–	–	–	–	–	–		490	315*4	18

JIS G 3106

Grade	Chemical Component (%)														Mechanical Properties						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nl	Ceq		Minimum Tensile Strength (Mpa)	Minimum Yield Stress (Mpa)		Minimum Elongation (%) (Gauge Length 5mm)		Minimum Impact Energy: kJ	
																Thickness (mm)		Thickness (mm)		0°C	-20°C
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max			≦16	>16 ≦40	>5 ≦16	>16 ≦50		
SM400YA	0.20	0.55	1.65	0.035	0.035	–	–	–	–	–	–	–	–		400*1	365	355	19	19	–	–
SM400YB	0.20	0.55	1.65	0.035	0.035	–	–	–	–	–	–	–	–		400*1	365	355	19	19	27	–

AS/NZS 3678

Grade	Chemical Component (%)														Mechanical Properties				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nl	Ceq*1		Minimum Tensile Strength (Mpa)	Minimum Yield Stress (Mpa)			Minimum Elongation (%) (Gauge Length 5.65√S mm)
																Thickness (mm)			
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max			≦8	>8 ≦10	>10 ≦20	>20 ≦32	
250	0.22	0.05	1.70	0.040	0.030	0.35	0.50	0.40	0.10	0.100	0.040	–	0.44		410	250	240	230	220	22
300	0.22	0.05	1.70	0.040	0.030	0.35	0.50	0.40	0.10	0.100	0.040	–	0.44		430	320	310	300	290	21
350	0.22	0.05	1.70	0.040	0.030	0.35	0.50	0.40	0.20	0.100	0.040	–	0.44		480	360	350	340	330	21

*1 Cr + Ni + Cu + Mn = 1.00% maximum apply.
*2 Limits specified are for both manufacture and cast (ladle) analysis.
*3 Niobium (plus vanadium) 0.060% maximum.
*4 Vanadium: 0.10% maximum. Niobium plus vanadium plus titanium: 0.15% maximum.

ASTM A252

Grade	Chemical Component (%)														Mechanical Properties		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nl	Ceq		Minimum Tensile Strength (Mpa)	Minimum Yield Stress (Mpa)	Minimum Elongation (%) (Gauge Length 50.8mm)
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max				
Grade 1	–	–	–	0.050	–	–	–	–	–	–	–	–	–		345	205	30
Grade 2	–	–	–	0.050	–	–	–	–	–	–	–	–	–		415	240	25
Grade 3	–	–	–	0.050	–	–	–	–	–	–	–	–	–		455	310	20

EN 10025-2 & 10219-1

Grade	Chemical Component (%)														Mechanical Properties				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	N	Ceq*1		Minimum Tensile Strength (Mpa)	Minimum Yield Stress (Mpa)		Minimum Elongation (%) (Gauge Length 5.65√S mm)	Minimum Impact Energy: kJ
																Thickness (mm)			
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max			≦16	>16 ≦40		0°C	-20°C
S235JR	0.17	–	1.40	0.035	0.035	–	–	0.55	–	–	–	0.012	0.35		360*3	235	225	26	–	27
S275JR	0.21	–	1.50	0.035	0.035	–	–	0.55	–	–	–	0.012	0.40		410*3	275	265	23	–	27
S355JR	0.24	0.55	1.60	0.035	0.035	–	–	0.55	–	–	–	0.012	0.45		470*3	355	345	22	–	27
S235J0H	0.17	–	1.40	0.030	0.030	–	–	–	–	–	–	0.009	0.35		360*3	235	225	24	–	27
S275J0H	0.21	–	1.50	0.030	0.030	–	–	–	–	–	–	0.009	0.40		410*3	275	265	20	27	–
S355J0H	0.22	0.55	1.60	0.035	0.035	–	–	–	–	–	–	0.009	0.45		470*3	355	345	20	27	–

*1 All measurements not stated to Nonth are subject to ±0.02%.
*2 Don't neutrals mask 1 is standard is not listed or mentioned.
*3 You can modify Minimum yield stress of JIS with clause 4.
*4 No cap (or limitation) on the maximum TS value.
*5 Ceq = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15

Production Range

Yield Stress 235MPa

*For other yield stresses, please contact us detail in advance to order.

Diameter (mm)	Thickness (mm)																				Diameter (mm)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
400																					400
500																					500
600																					600
700																					700
800																					800
900																					900
1,000																					1,000
1,100																					1,100
1,200																					1,200
1,300																					1,300
1,400																					1,400
1,500																					1,500
1,600																					1,600
1,700																					1,700
1,800																					1,800
1,900																					1,900
2,000																					2,000
2,100																					2,100
2,200																					2,200
2,300																					2,300
2,400																					2,400
2,500																					2,500
2,600																					2,600
2,700																					2,700
2,800																					2,800
2,900																					2,900
3,000																					3,000

: Please contact us detail in advance to order.

Sectional Properties

※Moment of inertia and Section Modulus are the same as [P – P type] (– 9mm

Diameter	Thickness	Steel Pipe Piles — Corrosion allowance 3mm					Steel Pipe Sheet Piles — Corrosion allowance 1mm						Per 1m of pile wall width [L – I type] 180 × 90 × 8					Per 1m of pile wall width [L – T type] 175 × 75 × 9					Per 1m of pile wall width [P – T type]					Per 1m of pile wall width [P – P type] t = 9mm					Per 1m of pile wall width [P – P type] t = 9mm ※	
		Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Radius of gyration	Sectional area	Moment of inertia	Section modulus	Junction gap 265 mm	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Junction gap 272 mm	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm²	cm⁴	cm³	mm	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	mm	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m
400	6	74.3	58.3	144×10²	72.1×10	13.9	81.7	119×10²	59.9×10																								
	7	86.4	67.8	167×10²	83.5×10	13.8	79.9	142×10²	71.3×10																								
	8	98.5	77.3	189×10²	94.7×10	13.9	96.0	164×10²	82.6×10																								
	9	110.6	86.8	211×10²	106×10	13.8	98.0	186×10²	93.7×10																								
	10	122.5	96.2	233×10²	117×10	13.8	119.0	208×10²	105×10																								
	11	134.4	106	254×10²	127×10	13.8	121.9	230×10²	115×10																								
	12	146.3	115	276×10²	138×10	13.7	139.7	251×10²	126×10																								
	13	158.1	124	296×10²	148×10	13.7	143.6	271×10²	136×10																								
	14	169.8	133	317×10²	158×10	13.7	163.2	292×10²	147×10																								
	15	181.4	142	337×10²	169×10	13.6	166.3	312×10²	157×10																								
	16	193.0	152	358×10²	179×10	13.6	180.6	331×10²	167×10																								
	17	204.5	161	378×10²	189×10	13.6	183.3	351×10²	176×10																								
500	6	93.1	73.1	284×10²	114×10	17.5	77.4	236×10²	94.5×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	7	108.4	85.1	329×10²	132×10	17.4	92.7	281×10²	113×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	8	123.7	97.1	374×10²	150×10	17.4	108.0	325×10²	131×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	9	138.8	109	418×10²	167×10	17.4	123.2	370×10²	148×10		310.1	245	744×10²	297×10		317.2	249	768×10²	294×10	289.6	227	615×10²	246×10	893.9	339	628×10²	220×10	328.1	258				
	10	153.9	121	462×10²	185×10	17.3	138.3	413×10²	165×10		336.9	264	821×10²	328×10		343.8	270	853×10²	325×10	311.2	244	680×10²	272×10	924.1	354	818×10²	247×10	348.3	273				
	11	169.0	133	505×10²	202×10	17.3	153.3	457×10²	183×10		363.7	285	898×10²	359×10		370.3	291	932×10²	355×10	334.0	262	749×10²	297×10	954.2	279	875×10²	270×10	366.4	289				
600	12	184.0	144	548×10²	219×10	17.3	168.3	499×10²	200×10		390.5	306	974×10²	389×10		396.8	311	964×10²	385×10	356.6	280	806×10²	323×10	984.2	286	733×10²	253×10	383.4	305				
	13	198.9	156	590×10²	236×10	17.2	183.2	541×10²	217×10		417.4	327	1050×10²	419×10		423.2	332	1040×10²	415×10	377.9	297	868×10²	347×10	1014	302	788×10²	396×10	408.4	321				
	14	213.8	168	632×10²	253×10	17.2	198.1	583×10²	234×10	62.9	443.2	348	1132×10²	448×10	68.7	449.6	352	1117×10²	444×10	399.3	314	929×10²	372×10	1044	317	845×10²	286×10	428.3	336				
	15	228.6	179	673×10²	269×10	17.2	212.9	624×10²	251×10		469.5	369	1220×10²	478×10		476.0	373	1195×10²	473×10	421.7	331	989×10²	396×10	1074	326	900×10²	380×10	448.0	352				
	16	243.3	191	713×10²	285×10	17.1	227.6	664×10²	267×10		495.7	389	1307×10²	507×10		502.9	395	1273×10²	502×10	443.4	348	1050×10²	420×10	1104	348	954×10²	381×10	467.8	367				
	17	258.0	203	753×10²	301×10	17.1	242.3	704×10²	283×10		521.7	410	1394×10²	535×10		529.6	416	1350×10²	530×10	464.9	365	1111×10²	445×10	1133	357	1011×10²	403×10	487.4	383				
	18	272.6	214	793×10²	317×10	17.1	256.8	744×10²	299×10		547.7	430	1481×10²	563×10		556.2	437	1428×10²	558×10	486.4	382	1172×10²	468×10	1162	366	1067×10²	424×10	506.9	398				
	19	287.1	225	833×10²	333×10	17.0	271.4	784×10²	314×10		573.9	450	1568×10²	591×10		582.9	458	1506×10²	586×10	507.8	399	1233×10²	492×10	1191	375	1123×10²	445×10	526.4	413				
800	6	112.0	87.9	484×10²	165×10	21.0	93.1	408×10²	137×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	7	130.4	102	573×10²	191×10	21.0	111.9	489×10²	164×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	8	148.8	117	662×10²	217×10	20.8	130.0	568×10²	190×10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	9	167.1	131	750×10²	243×10	20.8	148.3	645×10²	216×10		304.9	239	1104×10²	386×10		310.7	244	1091×10²	382×10	331.7	257	936×10²	343×10	981.8	337	881×10²	287×10	322.7	253				
	10	185.4	145	837×10²	269×10	20.8	166.6	722×10²	242×10		332.4	261	1210×10²	424×10		337.8	265	1200×10²	420×10	352.1	276	1033×10²	378×10	1022	351	952×10²	317×10	344.2	270				
	11	203.6	160	883×10²	284×10	20.8	184.7	799×10²	267×10		359.7	282	1333×10²	443×10		364.9	286	1309×10²	439×10	372.4	292	1130×10²	413×10	1063	365	1024×10²	347×10	365.7	287				
	12	221.7	174	968×10²	319×10	20.8	202.9	874×10²	292×10		387.0	304	1444×10²	480×10		391.9	308	1418×10²	475×10	393.7	309	1227×10²	449×10	1104	379	1096×10²	376×10	387.1	304				
	13	239.7	188	1053×10²	344×10	20.8	220.9	948×10²	317×10		414.1	325	1555×10²	518×10		418.8	329	1527×10²	513×10	414.9	326	1324×10²	485×10	1144	393	1167×10²	406×10	408.4	321				
	14	257.7	202	1137×10²	369×10	20.7	238.8	1022×10²	342×10		441.2	346	1666×10²	556×10		445.6	350	1636×10²	549×10	436.0	342	1420×10²	520×10	1183	407	1237×10²	435×10	429.6	337				
	15	275.7	216	1220×10²	392×10	20.7	256.9	1096×10²	366×10	65.1	468.2	367	1777×10²	591×10	73.7	472.3	371	1745×10²	585×10	457.0	359	1516×10²	554×10	1222	420	1308×10²	464×10	450.8	354				
	16	293.6	230	1304×10²	417×10	20.7	274.7	1171×10²	391×10		495.0	389	1888×10²	627×10		499.0	392	1854×10²	621×10	478.8	376	1612×10²	587×10	1261	434	1380×10²	492×10	471.9	370				
	17	311.4	244	1387×10²	441×10	20.8	292.5	1246×10²	415×10		521.8	410	1999×10²	664×10		525.6	412	1963×10²	657×10	499.6	392	1708×10²	620×10	1300	447	1453×10²	520×10	492.9	387				
	18	329.1	258	1469×10²	465×10	20.8	310.3	1321×10²	439×10		548.5	431	2110×10²	699×10		551.9	433	2071×10²	692×10	520.4	408	1803×10²	652×10	1338	460	1526×10²	547×10	513.8	403				
	19	346.8	272	1548×10²	488×10	20.8	328.0	1396×10²	462×10		575.1	451	2220×10²	734×10		578.2	454	2178×10²	727×10	540.8	424	1897×10²	683×10	1375	472	1598×10²	573×10	534.7	420				
	20	364.4	286	1628×10²	511×10	20.5	345.8	1470×10²	483×10		601.8	472	2331×10²	769×10		604.4	474	2285×10²	761×10	561.6	440	1991×10²	713×10	1411	484	1670×10²	598×10	555.5	436				

Formulas used in the sectional properties table for steel pipe piles and steel pipe sheet piles

D : Diameter (cm)
T : Thickness (cm)
C : Corrosion allowance (cm)
As : Sectional area per pipe proper (cm²)
W₀ : Unit weight per pipe proper (kg/m)
I₀ : Moment of inertia per pipe proper (cm⁴)
Z₀ : Section modulus per pipe proper (cm³)
E : Junction gap (cm)
A' : Sectional area of a set of junctions (cm²)
W' : Unit weight of par 1m of a set of junctions (kg/m)

Unit weight $W_0 = 0.0246615(D-T)T$ (kg/m)

Sectional area $A_s = \frac{\pi}{4}\{D-(D-2T)\}T$ (cm²/m)

Moment of inertia $I_0 = \frac{\pi}{64}\{D^4-(D-2T)^4\}$ (cm⁴)

Section modulus $Z_0 = \frac{I_0}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi}{32}\cdot\frac{D^4-(D-2T)^4}{D}$ (cm³)

Radius of gyration $i = \frac{1}{4}\sqrt{D^2+(D-2T)^2}$ (cm)

(Per 1m of steel pipe sheet pile wall)

Sectional area $A = (A_0+A')\times\frac{100}{D+E}$ (cm²/m)

Unit weight $W = (W_0+W')\times\frac{100}{D+E}$ (kg/m²)

Moment of inertia $I = I_0\times\frac{100}{D+E}$ (cm⁴/m)

Section modulus $Z = Z_0\times\frac{100}{D+E}$ (cm³/m)

● Junction types on the vertical/oblique lines are the 2 types as shown below.
(Please see page 5 for more details on junction geometry.)

I, L–T Type		
①	Junction type	I–80×55×8.1"–55×8
	Sectional area of junction	33.7 cm²
②	Junction type	L–75×75×8.1–125×9
	Sectional area of junction	41.5 cm²

U, T–T Type (P type–T Type)		
	Junction type	⌀165.2×8 CT–75×38×3×9
	Sectional area of junction	58.1 cm²
U, T–P Type (P type–T Type)		
	Junction type	⌀165.2×12
	Sectional area of junction	106.5 cm²

※ An increase in normal P-I inertia and section modulus by circular Area Designation between the circumscribed and

Sectional Properties

Diameter	Thickness	Steel Pipe Piles — Corrosion allowance (0mm)					Steel Pipe Sheet Piles — Per 1m of pile wall width (L – I type) LS-S-35-S					Per 1m of pile wall width (L – I type) LS-S-45-S					Per 1m of pile wall width (I – I type)					Per 1m of pile wall width (I – I type) t = 9mm					Per 1m of pile wall width (I – I type) t = 12mm	
		Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Radius of gyration	Junction gap	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Junction gap	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight	Moment of inertia	Section modulus	Sectional area	Unit weight
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	mm	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	mm	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m	cm⁴	cm³	cm²/m	kg/m
700	7	152.4	120	819×10²	281×10	24.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	173.9	137	1040×10²	287×10	24.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	195.4	153	1170×10²	320×10	24.4	46.7	301.6	237	152×10²	405×10	73.7	330.2	246	15.1×10²	431×10	286.1	239	123×10²	379×10	286.4	225	123×10²	351×10	376.5	250
	10	216.8	170	1290×10²	360×10	24.4		329.3	258	168×10²	481×10		333.4	262	16.7×10²	478×10	312.4	245	147×10²	419×10	322.0	253	135×10²	398×10	341.1	268
	11	238.1	187	1410×10²	404×10	24.4		357.1	280	184×10²	527×10		367.5	288	18.3×10²	523×10	338.8	266	161×10²	459×10	344.5	270	148×10²	426×10	363.8	286
	12	259.4	204	1540×10²	439×10	24.3		384.8	302	200×10²	572×10		388.8	305	19.8×10²	567×10	365.2	287	174×10²	498×10	366.9	288	162×10²	453×10	386.0	303
	13	280.6	220	1660×10²	473×10	24.3		412.5	324	215×10²	617×10		416.4	327	21.4×10²	611×10	391.9	308	186×10²	536×10	389.3	305	175×10²	480×10	410.4	321
	14	301.7	237	1780×10²	507×10	24.3		440.1	345	232×10²	663×10		443.7	348	23.0×10²	654×10	418.6	329	200×10²	576×10	411.6	323	189×10²	505×10	433.7	338
	15	322.8	253	1900×10²	541×10	24.3		467.6	367	247×10²	706×10		470.9	370	24.5×10²	696×10	445.4	349	215×10²	615×10	433.8	341	199×10²	531×10	457.9	356
	16	343.8	270	2010×10²	575×10	24.2		495.0	388	262×10²	750×10		498.1	391	26.0×10²	737×10	472.0	370	229×10²	653×10	456.0	358	212×10²	557×10	482.1	373
	17	364.8	286	2130×10²	608×10	24.2		522.3	410	278×10²	795×10		525.3	412	27.5×10²	778×10	498.6	391	242×10²	691×10	478.0	375	225×10²	582×10	507.2	393
	18	385.7	303	2250×10²	641×10	24.1		549.5	431	293×10²	836×10		552.5	434	28.9×10²	818×10	525.1	412	256×10²	728×10	500.1	393	237×10²	606×10	532.3	418
	19	406.6	319	2360×10²	674×10	24.1		576.7	453	308×10²	877×10		579.7	455	30.3×10²	871×10	551.5	433	269×10²	765×10	522.1	410	248×10²	631×10	557.3	437
	20	427.5	336	2470×10²	706×10	24.1		603.9	474	323×10²	921×10		606.9	476	31.8×10²	913×10	577.7	453	281×10²	802×10	544.0	427	260×10²	655×10	582.3	457
	21	448.0	352	2580×10²	738×10	24.0		631.2	495	337×10²	963×10		634.2	498	33.2×10²	954×10	604.2	474	294×10²	838×10	565.8	444	272×10²	678×10	607.3	476
	22	468.6	368	2700×10²	770×10	24.0		658.4	517	352×10²	1000×10²		661.4	519	34.6×10²	994×10	630.4	495	306×10²	875×10	587.6	461	284×10²	702×10	632.4	496
800	8	198.1	156	1560×10²	390×10	28.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	223.0	176	1750×10²	437×10	28.0		298.8	235	212×10²	504×10		328.0	258	21.0×10²	548×10	287.5	226	179×10²	448×10	297.6	234	167×10²	417×10	315.1	247
	10	248.2	195	1940×10²	484×10	27.9		327.1	257	233×10²	556×10		357.1	280	22.7×10²	553×10	313.5	246	198×10²	496×10	321.2	253	185×10²	462×10	339.3	266
	11	272.7	214	2120×10²	531×10	27.9		355.9	279	254×10²	611×10		385.9	303	24.5×10²	601×10	339.5	266	217×10²	541×10	344.6	270	202×10²	504×10	363.4	284
	12	297.1	233	2310×10²	577×10	27.9		384.4	301	276×10²	669×10		414.7	325	26.3×10²	649×10	365.2	287	235×10²	588×10	367.0	288	220×10²	551×10	387.5	304
	13	321.4	252	2490×10²	622×10	27.8		412.5	323	297×10²	717×10		443.5	348	28.1×10²	696×10	390.8	307	254×10²	635×10	389.1	305	238×10²	594×10	411.6	323
	14	345.7	271	2670×10²	668×10	27.8		440.6	346	319×10²	769×10		472.3	371	29.9×10²	743×10	416.0	327	273×10²	681×10	411.3	323	255×10²	638×10	435.7	342
	15	369.9	290	2850×10²	713×10	27.8		468.8	368	340×10²	821×10		501.1	393	31.8×10²	790×10	441.3	346	291×10²	727×10	433.4	340	272×10²	680×10	459.7	361
	16	394.1	309	3030×10²	757×10	27.7		496.9	390	363×10²	873×10		529.8	416	33.6×10²	837×10	466.7	366	309×10²	773×10	455.5	357	289×10²	722×10	477.8	375
	17	418.2	328	3221×10²	805×10	27.7		525.0	412	386×10²	923×10		558.4	438	35.4×10²	883×10	492.0	386	327×10²	816×10	477.6	375	305×10²	765×10	500.7	393
	18	442.3	347	3398×10²	848×10	27.7		553.7	435	409×10²	974×10		587.0	461	37.4×10²	929×10	517.3	406	345×10²	859×10	499.7	392	323×10²	807×10	523.7	411
	19	466.2	366	3589×10²	895×10	27.6		582.1	457	432×10²	1020×10²		615.3	483	39.3×10²	974×10	543.1	426	363×10²	907×10	521.8	410	340×10²	849×10	546.6	429
	20	490.1	385	3780×10²	942×10	27.6		610.4	479	455×10²	1070×10²		643.6	505	41.3×10²	1020×10²	568.4	446	381×10²	951×10	543.8	427	358×10²	890×10	569.4	447
	21	513.9	403	3970×10²	989×10	27.6		638.8	501	479×10²	1120×10²		672.0	528	43.3×10²	1070×10²	593.8	466	398×10²	992×10	566.0	444	375×10²	931×10	592.1	465
	25	537.7	422	4160×10²	1040×10²	27.5		667.3	524	503×10²	1170×10²		700.5	550	45.3×10²	1120×10²	618.5	485	415×10²	1030×10²	587.6	461	389×10²	971×10	614.8	483
	23	561.4	441	4346×10²	1086×10²	27.5		695.9	546	526×10²	1220×10²		729.1	572	47.3×10²	1170×10²	643.3	505	432×10²	1080×10²	609.1	478	403×10²	1010×10²	637.5	500
	26	585.1	459	4531×10²	1130×10²	27.4		724.5	569	548×10²	1270×10²		757.7	595	49.3×10²	1220×10²	668.4	525	449×10²	1120×10²	630.5	495	417×10²	1050×10²	660.0	518
	25	608.7	478	4717×10²	1174×10²	27.4		753.0	591	570×10²	1320×10²		786.2	617	51.3×10²	1270×10²	693.6	544	467×10²	1170×10²	652.0	512	432×10²	1090×10²	682.2	536
900	9	251.9	198	2200×10²	562×10	31.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	279.8	219	2770×10²	615×10	31.5		325.0	255	288×10²	635×10		326.8	256	29.4×10²	632×10	312.1	245	255×10²	570×10	330.6	259	241×10²	536×10	336.4	264
	11	307.2	241	3040×10²	675×10	31.4		354.0	278	313×10²	696×10		362.2	284	31.9×10²	691×10	336.2	264	281×10²	625×10	344.7	271	265×10²	589×10	369.4	290
	12	334.8	263	3300×10²	732×10	31.4		382.4	300	341×10²	757×10		395.4	310	34.6×10²	751×10	363.9	286	306×10²	679×10	358.7	282	289×10²	642×10	384.4	302
	13	362.3	284	3560×10²	792×10	31.4		410.8	322	369×10²	817×10		428.5	336	37.4×10²	811×10	391.8	307	330×10²	733×10	372.8	293	312×10²	695×10	399.4	313
	14	389.7	306	3820×10²	850×10	31.3		439.1	345	396×10²	877×10		461.7	362	40.2×10²	873×10	419.6	329	354×10²	787×10	386.9	304	335×10²	747×10	414.3	325
	15	417.0	327	4080×10²	908×10	31.3		467.5	367	422×10²	937×10		495.0	388	43.1×10²	935×10	447.4	351	378×10²	840×10	400.9	315	358×10²	797×10	429.1	337
	16	444.3	348	4340×10²	965×10	31.3		496.0	389	448×10²	996×10		528.4	415	46.1×10²	998×10	475.2	373	402×10²	893×10	414.9	326	381×10²	847×10	443.8	348
	17	471.6	370	4600×10²	1020×10²	31.2		524.6	411	475×10²	1060×10²		561.8	441	49.1×10²	1060×10²	502.9	395	426×10²	946×10²	428.9	337	403×10²	896×10	458.4	360
	18	498.8	392	4860×10²	1080×10²	31.2		553.1	434	501×10²	1110×10²		595.2	467	52.1×10²	1120×10²	530.7	417	449×10²	998×10²	443.1	348	425×10²	945×10	473.0	371
	19	525.9	413	5120×10²	1140×10²	31.2		579.6	455	527×10²	1170×10²		628.5	493	55.2×10²	1180×10²	558.5	438	472×10²	1050×10²	457.2	359	446×10²	993×10	487.6	383
	20	553.2	434	5380×10²	1190×10²	31.1		608.2	477	553×10²	1230×10²		661.8	519	58.4×10²	1230×10²	586.4	460	496×10²	1100×10²	471.3	370	468×10²	1040×10²	502.3	394
	21	580.4	455	5630×10²	1250×10²	31.1		636.4	499	579×10²	1290×10²		695.1	546	61.6×10²	1290×10²	614.2	482	519×10²	1150×10²	485.4	381	490×10²	1090×10²	516.9	406
	22	607.6	476	5890×10²	1310×10²	31.1		664.7	522	604×10²	1340×10²		728.4	572	64.8×10²	1350×10²	641.9	504	542×10²	1210×10²	499.6	392	512×10²	1140×10²	531.6	417
	23	633.7	497	6150×10²	1370×10²	31.0		693.0	544	629×10²	1400×10²		761.8	598	68.1×10²	1410×10²	669.7	526	566×10²	1260×10²	513.8	403	534×10²	1190×10²	546.4	429
	24	660.5	519	6540×10²	1460×10²	31.0		721.3	566	654×10²	1460×10²		795.2	624	71.4×10²	1470×10²	697.4	548	589×10²	1310×10²	528.4	415	552×10²	1230×10²	561.8	441
	25	687.2	539	6840×10²	1520×10²	30.9		749.7	588	679×10²	1510×10²		828.6	650	74.8×10²	1530×10²	725.2	569	613×10²	1360×10²	543.0	426	573×10²	1270×10²	577.3	453
1000	10	311.0	244	3810×10²	763×10	35.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	11	341.6	268	4180×10²	836×10	35.0		352.9	277	391×10²	781×10		365.8	279	36.8×10²	776×10	336.9	265	354×10²	708×10	344.6	271	335×10²	670×10	359.9	283
	12	372.5	292	4560×10²	909×10	34.9		381.6	300	425×10²	850×10		384.3	302	40.2×10²	844×10	364.9	286	385×10²	770×10	369.4	290	366×10²	728×10	389.8	306
	13	403.1	316	4931×10²	982×10	34.9		410.3	322	458×10²	918×10		412.7	324	43.6×10²	911×10	393.8	309	416×10²	832×10	393.9	309	396×10²	787×10	419.6	329
	14	433.7	340	5271×10²	1050×10²	34.9		438.9	344	490×10²	978×10		441.1	346	46.9×10²	978×10	422.8	332	447×10²	893×10	418.4	328	423×10²	841×10	429.8	340
	15	464.2	364	5631×10²	1120×10²	34.8		467.4	367	525×10²	1050×10²		469.4	368	50.3×10²	1040×10²	452.6	355	477×10²	954×10²	442.8	348	451×10²	898×10	457.3	359
	16	494.6	388	5990×10²	1200×10²	34.8		496.8	389	560×10²	1120×10²		497.7	391	53.9×10²	1110×10²	482.4	379	507×10²	1010×10²	467.2	367	480×10²	957×10	487.7	383
	17	525.0	412	6349×10²	1270×10²	34.8		524.2	411	595×10²	1190×10²		525.9	413	57.6×10²	1180×10²	512.4	402	538×10²	1080×10²	491.6	386	508×10²	1020×10²	518.1	407
1200	18	555.3	436	6710×10²	1340×10²	34.7		553.6	434	630×10²	1260×10²		554.2	435	61.4×10²	1250×10²	542.1	425	567×10²	1130×10²	515.9	405	537×10²	1070×10²	548.4	431
	19	585.5	460	7066×10²	1410×10²	34.7		582.9	457	664×10²	1330×10²		582.5	457	65.4×10²	1320×10²	571.8	449	597×10²	1190×10²	540.1	424	566×10²	1130×10²	578.8	454
	20	615.8	483	7430×10²	1480×10²	34.7		612.1	480	699×10²	1390×10²		610.7	479	69.4×10²	1390×10²	601.1	472	627×10²	1250×10²	564.3	443	595×10²	1190×10²	609.1	478
	21	646.2	507	7794×10²	1560×10²	34.6		641.3	503	734×10²	1460×10²		638.1	501	73.6×10²	1460×10²	630.4	495	656×10²	1310×10²	588.4	462	623×10²	1250×10²	639.3	502
	22	676.5	531	8158×10²	1630×10²	34.6		670.5	526	769×10²	1530×10²		665.8	522	77.9×10²	1530×10²	659.7	518	686×10²	1370×10²	612.6	481	651×10²	1300×10²	669.7	526
	23	706.9	554	8523×10²	1700×10²	34.6		699.8	549	803×10²	1600×10²		693.4	544	82.3×10²	1600×10²	688.9	541	716×10²	1430×10²	636.8	500	679×10²	1350×10²	700.0	549
	24	736.9	578	8877×10²	1770×10²	34.5		729.0	572	837×10²	1670×10²		721.6	566	86.8×10²	1670×10²	717.6	563	745×10²	1490×10²	661.0	519	707×10²	1410×10²	730.2	573
	25	766.8	601	9231×10²	1840×10²	34.5		758.4	595	871×10²	1740×10²		749.4	588	91.4×10²	1740×10²	746.4	586	774×10²	1540×10²	686.3	538	735×10²	1460×10²	760.4	596

Sectional Properties

NOTE 2—This product is a composite of seven wires and is produced to mechanical properties only. The chemical composition of all wires or any individual wire is not pertinent to this application, and heat identity is not necessarily maintained. It is possible that wire from more than one heat may be used in the manufacture of a reel or pack. Traceability is based on pack identity as maintained and reported by the manufacturer.

5.3 *Treatment*—After stranding, low-relaxation strand shall be subjected to a continuous thermal-mechanical treatment to produce the prescribed mechanical properties. For stress-relieved (normal-relaxation) strand, only thermal treatment is necessary. Temper colors which result from the stress-relieving operation are considered normal for the finished appearance of this strand.

6. Mechanical Properties

6.1 Methods of testing for mechanical properties are described in Annex A7 of Test Methods and Definitions A 370. Low-relaxation strand shall also be tested as prescribed in Methods E 328.

6.2 *Breaking Strength*—The breaking strength of the finished strand shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

6.3 *Yield Strength*—Yield strength in kN [pounds] shall be measured at 1 % extension under load. The minimum yield strength shall be 90 % for low-relaxation strand and 85 % for stress-relieved (normal-relaxation) strand of the breaking strength listed in Table 1. Initial loads for the test and minimum yield strengths are listed in Table 2.

6.3.1 The extension under load shall be measured by an extensometer calibrated with the smallest division not larger than 0.0001 mm/mm [0.0001 in./in.] of gage length.

6.4 *Elongation*—The total elongation under load shall not be less than 3.5 % using a gage length of not less than 600 mm [24 in.]. It shall be permissable to determine the total elongation value by adding, to the 1.0 % yield extension, the percent extension or movement between the jaws gripping the strand after yield determination. The percent is calculated on the new base length of jaw-to-jaw distance.

6.5 *Relaxation Properties*—Low-relaxation strand shall have relaxation losses of not more than 2.5 % when initially loaded to 70 % of specified minimum breaking strength or not more than 3.5 % when loaded to 80 % of specified minimum breaking strength of the strand after 1000 h tested under the conditions listed in 6.5.1 through 6.5.7.

6.5.1 If required, relaxation evidence shall be provided from the manufacturer's records of tests on similarly dimensioned strand of the same grade.

6.5.2 The temperature of the test specimen shall be maintained at 20 ± 2°C [68 ± 3.5°F].

6.5.3 The test specimen shall not be subjected to loading prior to the relaxation test.

6.5.4 The initial load shall be applied uniformly over a period of not less than 3 min and not more than 5 min, and the gage length shall be maintained constant; load relaxation readings shall commence 1 min after application of the total load.

6.5.5 Over-stressing of the test specimen during the loading operation shall not be permitted.

6.5.6 The duration of the test shall be 1000 h or a shorter period of at least 200 h, provided it can be shown by records that an extrapolation of the shorter period test results to 1000 h will provide similar relaxation values as the full 1000 h test.

6.5.7 The test gage length shall be at least 60 times the nominal diameter. If this gage length exceeds the capacity of the extensometer or testing machine, then it shall be permitted to substitute a gage length of 40 times the nomimal strand diameter.

7. Dimensions and Permissible Variations

7.1 The size of the finished strand shall be expressed as the nominal diameter of the strand in millimetres [inches].

7.2 The diameter of the center wire of any strand shall be larger than the diameter of any outer wire in accordance with Table 3.

7.3 *Permissible Variations in Diameter*:

7.3.1 All Grade 1725 [250] strand shall conform to a size tolerance of ±0.40 mm [±0.016 in.] from the nominal diameter measured across the crowns of the wires.

7.3.2 All Grade 1860 [270] strand shall conform to a size tolerance of +0.65, – 0.15 mm [+0.026, –0.006 in.] from the nominal diameter measured across the crowns of the wire.

TABLE 1 Breaking Strength Requirements

Strand Designation No.	Diameter of Strand, mm [in.]	Minimum Breaking Strength of Strand, kN [lbf]	Steel Area of Strand, mm^2[$in.^2$]	Weight of Strand kg/1000 m [lb/1000 ft]
		Grade 1725 [250]		
6	6.4 [0.250]	40.0 [9 000]	23.2 [0.036]	182 [122]
8	7.9 [0.313]	64.5 [14 500]	37.4 [0.058]	294 [197]
9	9.5 [0.375]	89.0 [20 000]	51.6 [0.080]	405 [272]
11	11.1 [0.438]	120.1 [27 000]	69.7 [0.108]	548 [367]
13	12.7 [0.500]	160.1 [36 000]	92.9 [0.144]	730 [490]
15	15.2 [0.600]	240.2 [54 000]	139.4 [0.216]	1094 [737]
		Grade 1860 [270]		
9	9.53 [0.375]	102.3 [23 000]	54.8 [0.085]	432 [290]
11	11.11 [0.438]	137.9 [31 000]	74.2 [0.115]	582 [390]
13	12.70 [0.500]	183.7 [41 300]	98.7 [0.153]	775 [520]
13a	13.20 [0.520]	200.2 [45 000]	107.7 [.0167]	844 [568]
14	14.29 [0.563]	230.0 [51 700]	123.9 [.0192]	970 [651]
15	15.24 [0.600]	260.7 [58 600]	140.0 [0.217]	1102 [740]
18	17.78 [0.700]	353.2 [79 400]	189.7 [0.294]	1487 [1000]

TABLE 2 Yield Strength Requirements

Strand Designation No.	Nominal Diameter of Strand mm [in.]	Initial Load, kN [lbf]	Minimum Load at 1 % Extension, kN [lbf]	
			Low-Relaxation	Normal-Relaxation
		Grade 1725 [250]		
6	6.4 [0.250]	4.0 [900]	36.0 [8 100]	34.0 [7 650]
8	7.9 [0.313]	6.5 [1 450]	58.1 [13 050]	54.7 [12 300]
9	9.5 [0.375]	8.9 [2 000]	80.1 [18 000]	75.6 [17 000]
11	11.1 [0.438]	12.0 [2 700]	108.1 [24 300]	102.3 [23 000]
13	12.7 [0.500]	16.0 [3 600]	144.1 [32 400]	136.2 [30 600]
15	15.2 [0.600]	24.0 [5 400]	216.2 [48 600]	204.2 [45 900]
		Grade 1860 [270]		
9	9.53 [0.375]	10.2 [2 300]	92.1 [20 700]	87.0 [19 550]
11	11.11 [0.438]	13.8 [3 100]	124.1 [27 900]	117.2 [26 350]
13	12.70 [0.500]	18.4 [4 130]	165.3 [37 170]	156.1 [35 100]
13a	13.20 [0.520]	20.0 [4 500]	180.1 [40 500]	170.1 [38 250]
14	14.29 [0.563]	23.0 [5 170]	207.0 [46 530]	195.5 [43 950]
15	15.24 [0.600]	26.1 [5 860]	234.6 [52 740]	221.5 [49 800]
18	17.78 [0.700]	35.3 [7 940]	318.0 [71 500]	300.2 [67 500]

TABLE 3 Diameter Relation Between Center and Outer Wires

Strand Designation No.	Nominal Diameter of Strands, mm [in.]	Minimum Difference Between Center Wire Diameter and Diameter of Any Outer Wire, mm [in.]
	Grade 1725 [250]	
6	6.4 [0.250]	0.025 [0.001]
8	7.9 [0.313]	0.038 [0.0015]
9	9.5 [0.375]	0.051 [0.002]
11	11.1 [0.438]	0.064 [0.0025]
13	12.7 [0.500]	0.076 [0.003]
15	15.2 [0.600]	0.102 [0.004]
	Grade 1860 [270]	
9	9.53 [0.375]	0.0508 [0.002]
11	11.11 [0.438]	0.0635 [0.0025]
13	12.70 [0.500]	0.0762 [0.003]
13a	13.20 [0.520]	0.0762 [0.003]
14	14.29 [0.563]	0.0889 [0.0035]
15	15.24 [0.600]	0.1016 [0.004]
18	17.78 [0.700]	0.1143 [0.0045]

7.3.3 Variation in cross-sectional area and in unit stress resulting therefrom shall not be cause for rejection provided that the diameter differences of the individual wires and the diameters of the strand are within the tolerances specified.

7.4 It shall be permitted to furnish, under this specification, specially dimensioned low-relaxation and stress-relieved (normal-relaxation) strands with nominal diameters up to 19 mm [0.750 in.]. The breaking strength shall be defined, and the yield strength, as defined in 6.3, shall not be less than 90 % and 85 % of the specified minimum breaking strength for low-relaxation and stress-relieved (normal relaxation) strands, respectively. All other requirements shall apply.

8. Workmanship, Finish, and Appearance

8.1 *Joints*:

8.1.1 There shall be no strand joints or strand splices in any length of the completed strand unless specifically permitted by the purchaser.

8.1.2 During the process of manufacture of individual wires for stranding, welding shall be permitted only prior to or at the size of the last thermal treatment, for example, patenting or controlled cooling. There shall be no welds in the wire after it has been drawn through the first die in the wire drawing except as provided in 8.1.3.

8.1.3 During fabrication of the strand, butt-welded joints are permitted in the individual wires, provided there shall not be more than one such joint in any 45-m [150-ft] section of the completed strand.

8.1.4 When specifically ordered as “Weldless,” a product free of welds shall be furnished. When “Weldless” is specified, the strand is produced as one continuous length with no welds as allowed by 8.1.3.

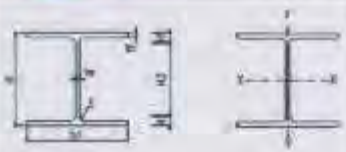
8.2 The finished strand shall be uniform in diameter and shall be free of imperfections not consistent with good commercial strand practices.

8.3 When the strand is cut without seizings, the wire shall not fly out of position. If any wire flies out of position and can be replaced by hand, the strand shall be considered satisfactory.

8.4 The strand shall not be oiled or greased. Slight rusting, provided it is not sufficient to cause pits visible to the unaided eye, shall not be cause for rejection.

Created by Anggry (2010)

Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic



Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729-2002

$$ix = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \quad *$$

$$iy = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \quad *$$

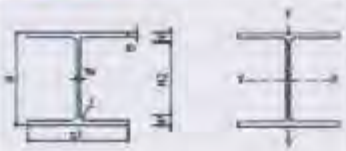
$$Zx = \frac{t_w d^2}{4} + (b_f - t_w)*(d - t_f)t_f \quad **$$

$$Zy = \frac{t_f d^2}{2} + (h - 2t_f)*\frac{t_w^2}{4} \quad **$$

**PPBBI 1984 Chapter 10.

	Sectional Dimension							Sectional Properties										Compact Section Criteria	
	d	x	bf	tw	tf	r	H2	Sec.of Area	Unit Weight	Geometrical Moment of Inertia (cm4)		Radius of Gyration of Area (cm)		Elastic Modulus of Section (cm3)		Plastic Modulus of Section (cm3)			
	mm		mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy	bf/2tf	h/tw
WF	100	x	50	5.0	7.0	8.0	70.0	11.85	9.30	187	15	3.97	1.13	37	6	42	9	3.57	14.00
	100		100	6.0	8.0	10.0	64.0	21.90	17.19	383	134	4.18	2.47	77	27	84	41	6.25	10.67
WF	125	x	60	6.0	8.0	9.0	91.0	16.84	13.22	413	29	4.95	1.31	66	10	74	15	3.75	15.17
	125		125	6.5	9.0	10.0	87.0	30.31	23.79	847	293	5.29	3.11	136	47	149	71	6.94	13.38
WF	150	x	75	5.0	7.0	8.0	120.0	17.85	14.01	666	49	6.11	1.66	89	13	98	21	5.36	24.00
	148	x	100	6.0	9.0	11.0	108.0	26.8	21.07	1020	151	6.16	2.37	138	30	150	46	5.56	18.00
	150	x	150	7.0	10.0	11.0	108.0	40.1	31.51	1640	563	6.39	3.75	219	75	240	114	7.50	15.43
WF	175	x	90	5.0	8.0	9.0	141.0	23.1	18.09	1210	98	7.25	2.06	138	22	152	33	5.63	28.20
	175		175	7.5	11.0	12.0	129.0	51.2	40.20	2880	984	7.50	4.38	329	112	360	171	7.95	17.20
WF	198	x	99	4.5	7.0	11.0	162.0	23.2	18.20	1580	114	8.26	2.22	160	23	170	35	7.07	36.00
	200	x	100	5.5	8.0	11.0	162.0	27.2	21.32	1840	134	8.23	2.22	184	27	200	41	6.25	29.45
	194	x	150	6.0	9.0	13.0	150.0	39.0	30.62	2690	507	8.30	3.61	277	58	296	103	8.33	25.00
	200	x	200	8.0	12.0	13.0	150.0	63.53	49.87	4720	1600	8.62	5.02	472	160	513	243	8.33	18.75
WF	248	x	124	5.0	8.0	12.0	208.0	32.68	25.65	3540	255	10.41	2.79	285	41	305	63	7.75	41.60
	250	x	125	6.0	9.0	12.0	208.0	37.66	29.56	4050	294	10.37	2.79	324	47	352	72	6.94	34.67
	244	x	175	7.0	11.0	16.0	190.0	56.24	44.15	6120	984	10.43	4.18	502	112	535	171	7.95	27.14
	250	x	250	9.0	14.0	16.0	190.0	92.18	72.36	10800	3650	10.82	6.29	864	292	937	442	8.93	21.11
WF	298	x	149	5.5	8.0	13.0	256.0	40.80	32.03	6320	442	12.45	3.29	424	59	455	91	9.31	46.55
	300	x	150	6.5	9.0	13.0	256.0	46.78	36.72	7210	508	12.41	3.30	481	68	522	104	8.33	39.38
	294	x	200	8.0	12.0	18.0	234.0	72.38	56.82	11300	1600	12.49	4.70	769	160	823	244	8.33	29.25
	300	x	300	10.0	15.0	18.0	234.0	119.80	94.04	20400	6750	13.05	7.51	1360	450	1465	682	10.00	23.40
	300		305	15.0	15.0	18.0	234.0	134.80	105.82	21500	7100	12.63	7.26	1433	466	1577	713	10.17	15.60

Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic



Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729-2002

$$ix = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \quad *$$

$$iy = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \quad *$$

$$Zx = \frac{t_w d^2}{4} + (b_f - t_w)*(d - t_f)t_f \quad **$$

$$Zy = \frac{t_f d^2}{2} + (h - 2t_f)*\frac{t_w^2}{4} \quad **$$

**PPBBI 1984 Chapter 10

	Sectional Dimension							Sectional Properties										Compact Section Criteria	
	d	x	bf	tw	tf	r	H2	Sec.of Area	Unit Weight	Geometrical Moment of Inertia (cm4)		Radius of Gyration of Area (cm)		Elastic Modulus of Section (cm3)		Plastic Modulus of Section (cm3)			
	mm		mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy	bf/2tf	h/tw
WF	346	x	174	6.0	9.0	14.0	300.0	52.68	41.35	11100	792	14.52	3.88	642	91	689	139	9.67	50.00
	350	x	175	7.0	11.0	14.0	300.0	63.14	49.56	13600	984	14.68	3.95	777	112	841	172	7.95	42.86
	340	x	250	9.0	14.0	20.0	272.0	101.50	79.68	21700	3650	14.62	6.00	1276	292	1360	444	8.93	30.22
	350	x	350	12.0	19.0	20.0	272.0	173.90	136.51	40300	13600	15.22	8.84	2303	777	2493	1175	9.21	22.67
WF	396	x	199	7.0	11.0	16.0	342.0	72.16	56.65	20000	1450	16.65	4.48	1010	146	1088	222	9.05	48.86
	400	x	200	8.0	13.0	16.0	342.0	84.12	66.03	23700	1740	16.79	4.55	1185	174	1286	266	7.69	42.75
	390	x	300	10.0	16.0	22.0	314.0	136.00	106.76	38700	7210	16.87	7.28	1985	481	2116	729	9.38	31.40
	400	x	400	13.0	21.0	22.0	314.0	218.70	171.68	66600	22400	17.45	10.12	3330	120	3600	1695	9.52	24.15
WF	450	x	200	9.0	14.0	18.0	386.0	96.76	75.96	33500	1870	18.61	4.40	1489	187	1621	289	7.14	42.89
	440	x	300	11.0	18.0	24.0	356.0	157.40	123.56	56100	8110	18.88	7.18	2550	541	2728	822	8.33	32.36
WF	496	x	199	9.0	14.0	200	428.0	101.30	79.52	41900	1840	20.34	4.26	1690	185	1836	287	7.11	47.56
	500	x	200	10.0	16.0	20.0	428.0	114.20	89.65	47800	2140	20.46	4.33	1912	214	2096	332	6.25	42.80
	482	x	300	11.0	15.0	26.0	400.0	145.50	114.22	60400	6760	20.37	6.82	2506	451	2663	689	1,000	36.36
	488	x	300	11.0	18.0	26.0	400.0	163.50	128.35	71000	8110	20.84	7.04	2910	541	3100	824	8.33	36.36
WF	596	x	199	10.0	15.0	22.0	522.0	120.50	94.59	68700	1980	23.88	4.05	2305	199	2535	311	6.63	52.20
	600	x	200	11.0	17.0	22.0	522.0	134.40	105.50	77600	2280	24.03	4.12	2587	228	2863	357	5.88	47.45
	582	x	300	12.0	17.0	28.0	492.0	174.50	136.98	103000	7670	24.30	6.63	3540	511	3782	785	8.82	41.00
	588	x	300	12.0	20.0	28.0	492.0	192.50	151.11	118000	9020	24.76	6.85	4014	601	4309	920	7.50	41.00
WF	700	x	300	13.0	24.0	28.0	596.0	215.50	184.87	201000	10800	30.54	7.08	5743	720	6249	1108	6.25	45.85
WF	800	x	300	14.0	26.0	28.0	692.0	267.40	209.91	292000	11700	33.05	6.61	7300	780	7995	1207	5.77	49.43
WF	900	x	300	16.0	28.0	28.0	788.0	309.80	243.19	411000	12600	36.42	6.38	9133	840	10174	1314	5.36	49.25

Jenis Perkuatan	Bahan	Diameter mm	tebal mm	jumlah	Panjang m	Luas mm^2	volume m^3	berat/m kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga per Pile	Jumlah	Total Harga Perkuatan
Turap Kantilever Tanah Asli	**SPP diameter 800 tebal 19mm**													
	SPP	800.00	19.00		23.00			366.00	8418.00	kg	Rp 15,000.00	Rp 126,270,000.00		
	Beton K175	762.00			23.00		10.49		10.49	m^3	Rp 883,000.00	Rp 9,261,649.97		
	Jumlah											Rp 135,531,649.97	81	Rp 10,978,063,647.87
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1300000.00	88.40		87.72	m^3	Rp 1,050,000.00	Rp 92,111,028.24		
	Tulangan utama	19.00		26.00	68.00	283.53	0.50	2.23	3935.57	kg	Rp 12,141.12	Rp 47,782,203.36		
	Sengkang	13.00		273.00	4.80	132.73	0.17	1.04	1365.44	kg	Rp 12,141.12	Rp 16,577,932.04		
	Jumlah											Rp 156,471,163.64	1	Rp 156,471,163.64
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	80	Rp 137,043,811.37
						Total								Rp 11,271,578,622.88
Turap Kantilever Tanah Asli	**Bored Pile Diameter 900**													
	Beton K350	900.00			23.00		14.63		14.58	m^3	Rp 1,050,000.00	Rp 15,313,097.63		
	Tulangan utama	22.00		34.00	23.00	380.13	0.01	2.98	2333.49	kg	Rp 12,141.12	Rp 28,331,157.83		
	Sengkang	13.00			296.25	132.73	0.04	1.04	308.69	kg	Rp 12,141.12	Rp 3,747,900.37		
	Jumlah											Rp 47,392,155.82	73	Rp 3,459,627,374.84
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1400000.00	95.20		94.52	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 99,251,028.24		
	Tulangan utama	19.00		26.00	68.00	283.53	0.50	2.23	3935.57	kg	Rp 12,141.12	Rp 47,782,203.36		
	Sengkang	13.00		273.00	4.80	132.73	0.17	1.04	1365.44	kg	Rp 12,141.12	Rp 16,577,932.04		
	Jumlah											Rp 163,611,163.64	1	Rp 163,611,163.64
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	72	Rp 123,339,430.23
						Total								Rp 3,746,577,968.72

Jenis Perkuatan	Bahan	Diameter m	tebal m	jumlah	Panjang m	Luas mm^2	volume m^3	berat/m kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga per Pile	Jumlah	Total Harga Perkuatan
Turap Kantilever Behaving Like Sand	**SPP diameter 1100 tebal 23mm**													
	SPP	1100.00	23.00		26.00		26.00	611.00	15886.00	kg	Rp 15,000.00	Rp 238,290,000.00		
	Beton K175	1054.00			26.00		22.69		22.69	m^3	Rp 883,000.00	Rp 20,031,116.40		
	Jumlah											Rp 258,321,116.40	61	Rp 15,757,588,100.51
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1600000.00	108.80		107.99	m^3	Rp 1,050,000.00	Rp 113,385,552.50		
	Tulangan utama	19.00		30.00	68.00	283.53	0.58	2.23	4541.04	kg	Rp 12,141.12	Rp 55,133,311.56		
	Sengkang	13.00		341.00	5.20	132.73	0.24	1.04	1847.67	kg	Rp 12,141.12	Rp 22,432,836.61		
	Jumlah											Rp 190,951,700.68	1	Rp 190,951,700.68
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	60	Rp 102,782,858.53
						Total								Rp 16,051,322,659.72
Turap Kantilever Behaving Like Sand	**Bored Pile Diameter 1200**													
	Beton K350	1200.00			26.00		29.41		29.29	m^3	Rp 1,050,000.00	Rp 30,751,217.22		
	Tulangan utama	36.00		34.00	26.00	1017.88	0.03	7.99	7063.16	kg	Rp 12,141.12	Rp 85,754,673.14		
	Sengkang	16.00			457.42	201.06	0.09	1.04	476.63	kg	Rp 12,141.12	Rp 5,786,789.96		
	Jumlah											Rp 122,292,680.31	56	Rp 6,848,390,097.39
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1700000.00	115.60		114.78	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 120,516,047.55		
	Tulangan utama	19.00		30.00	68.00	283.53	0.58	2.23	4541.04	kg	Rp 12,141.12	Rp 55,133,311.56		
	Sengkang	13.00		341.00	5.40	132.73	0.24	1.04	1918.74	kg	Rp 12,141.12	Rp 23,295,638.02		
	Jumlah											Rp 198,944,997.13	1	Rp 198,944,997.13
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	55	Rp 94,217,620.32
						Total								Rp 7,141,552,714.84

Jenis Perkuatan	Bahan	Diameter m	tebal m	jumlah	Panjang m	Luas mm^2	volume m^3	berat/m kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga per Pile	Jumlah	Total Harga Perkuatan
Turap Berangkur Tanah Asli	**SPP diameter 500 tebal 19mm**													
	SPP	500.00	19.00		16.00			225.00	3600.00	kg	Rp 15,000.00	Rp 54,000,000.00		
	Beton k175	462.00			16.00		2.68		2.68	m^3	Rp 883,000.00	Rp 2,368,397.09		
	Jumlah											Rp 56,368,397.09	125	Rp 7,046,049,636.19
	Ground Anchor											Rp 28,935,589.41	33	Rp 954,874,450.67
	Walling				68.00			41.35	2811.80	kg	Rp 13,733.45	Rp 38,615,714.71	1	Rp 38,615,714.71
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1000000.00	68.00		67.53	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 70,908,504.43		
	Tulangan utama	19.00		18.00	68.00	283.53	0.35	2.23	2724.62	kg	Rp 12,141.12	Rp 33,079,986.94		
	Sengkang	13.00		228.00	4.00	132.73	0.12	1.04	950.30	kg	Rp 12,141.12	Rp 11,537,754.90		
	Jumlah											Rp 115,526,246.27	1	Rp 115,526,246.27
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	124	Rp 212,417,907.63
						Total								Rp 8,367,483,955.46
Turap Berangkur Tanah Asli	**Bored Pile Diameter 700**													
	Beton K350	700.00			16.00		6.16		6.13	m^3	Rp 1,050,000.00	Rp 6,437,294.57		
	Tulangan utama	22.00		22.00	16.00	380.13	0.01	2.98	1050.37	kg	Rp 12,141.12	Rp 12,752,643.93		
	Sengkang	13.00			155.82	132.73	0.02	1.04	162.37	kg	Rp 12,141.12	Rp 1,971,324.06		
	Jumlah											Rp 21,161,262.56	92	Rp 1,946,836,155.64
	Ground Anchor											Rp 28,935,589.41	32	Rp 925,938,861.25
	Walling				68.00			41.35	2811.80	kg	Rp 13,733.45	Rp 38,615,714.71	1	Rp 38,615,714.71
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1200000.00	81.60		80.98	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 85,026,735.23		
	Tulangan utama	19.00		24.00	68.00	283.53	0.46	2.23	3632.83	kg	Rp 12,141.12	Rp 44,106,649.25		
	Sengkang	13.00		273.00	4.40	132.73	0.16	1.04	1251.65	kg	Rp 12,141.12	Rp 15,196,437.70		
	Jumlah											Rp 144,329,822.18	1	Rp 144,329,822.18
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	91	Rp 155,887,335.44
						Total								Rp 3,211,607,889.22

Jenis Perkuatan	Bahan	Diameter m	tebal m	jumlah	Panjang m	Luas mm^2	volume m^3	berat/m kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga per Pile	Jumlah	Total Harga Perkuatan
Turap Berangkur Behaving Like Sand	**SPP diameter 700 tebal 19mm**													
	SPP	700.00	19.00		18.00			319.00	5742.00	kg	Rp 15,000.00	Rp 86,130,000.00		
	Beton k175	662.00			18.00		6.20		6.20	m^3	Rp 883,000.00	Rp 5,470,651.74		
	Jumlah											Rp 91,600,651.74	92	Rp 8,427,259,960.45
	Ground Anchor											Rp 64,593,711.56	47	Rp 3,035,904,443.51
	Walling				68.00			79.52	5407.36	kg	Rp 13,733.45	Rp 74,261,708.19	1	Rp 74,261,708.19
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1200000.00	81.60		80.98	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 85,026,735.23		
	Tulangan utama	19.00		24.00	68.00	283.53	0.46	2.23	3632.83	kg	Rp 12,141.12	Rp 44,106,649.25		
	Sengkang	13.00		273.00	4.40	132.73	0.16	1.04	1251.65	kg	Rp 12,141.12	Rp 15,196,437.70		
	Jumlah											Rp 144,329,822.18	1	Rp 144,329,822.18
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	91	Rp 155,887,335.44
						Total								Rp 11,837,643,269.78
Turap Berangkur Behaving Like Sand	**Bored Pile Diameter 900**													
	Beton K350	900.00			20.00		12.72		12.68	m^3	Rp 1,050,000.00			
	Tulangan utama	22.00		34.00	20.00	380.13	0.01	2.98	2029.12	kg	Rp 12,141.12	Rp 24,635,789.41		
	Sengkang	13.00			257.61	132.73	0.03	1.04	268.43	kg	Rp 12,141.12	Rp 3,259,043.80		
	Jumlah											Rp 27,894,833.21	73	Rp 2,036,322,824.50
	Ground Anchor											Rp 72,901,899.21	38	Rp 2,770,272,170.14
	Walling				68.00			79.52	5407.36	kg	Rp 13,733.45	Rp 74,261,708.19	1	Rp 74,261,708.19
	Capping beam													
	Beton K350				68.00	1400000.00	95.20		94.52	kg	Rp 1,050,000.00	Rp 99,251,028.24		
	Tulangan utama	19.00		26.00	68.00	283.53	0.50	2.23	3935.57	kg	Rp 12,141.12	Rp 47,782,203.36		
	Sengkang	13.00		273.00	4.80	132.73	0.17	1.04	1365.44	kg	Rp 12,141.12	Rp 16,577,932.04		
	Jumlah											Rp 163,611,163.64	1	Rp 163,611,163.64
	Subdrain											Rp 1,713,047.64	72	Rp 123,339,430.23
						Total								Rp 5,167,807,296.71

Jenis Pekerjaan	Bahan	Diameter m	tebal m	jumlah	Panjang m	Luas mm^2	volume m^3	berat/m kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga per Pile	Jumlah	Total Harga Perkuatan
Subdrain	**Kerikil**	0.4			24		3.0159289		3.015928947	m^3	Rp 428,000.00	Rp 1,290,817.59	1	Rp 1,290,817.59
	Geotextile NW				24	30.15928947			30.15928947	m^2	Rp 14,000.00	Rp 422,230.05		Rp 422,230.05
	Total													Rp 1,713,047.64

No	Jenis Perkuatan	Bahan	Diameter mm	Panjang m	Luas mm2	Volume m^3	berat kg	BOQ	satuan	Harga	Total Harga	Jumlah	Jumlah Total Harga
1	**SPP diameter 700 tebal 19mm**	**Ground Anchor**											
		Grout 1	100	40	7853.981634	0.3141593		0.298815265	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 448,222.90	33	Rp 14,791,355.64
		Grout 2	150	7	17671.45868	0.1237002		0.121015011	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 181,522.52	33	Rp 5,990,243.03
		Strand		47	383.60	0.0180292	7850	141.52922	kg	Rp 200,000.00	Rp 28,305,844.00	33	Rp 934,092,852.00
		Total											Rp 954,874,450.67
2	**Bored Pile Diameter 700**	**Ground Anchor**											
		Grout 1	100	40	7853.981634	0.3141593		0.298815265	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 448,222.90	32	Rp 14,343,132.74
		Grout 2	150	7	17671.45868	0.1237002		0.121015011	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 181,522.52	32	Rp 5,808,720.52
		Strand		47	383.60	0.0180292	7850	141.52922	kg	Rp 200,000.00	Rp 28,305,844.00	32	Rp 905,787,008.00
		Total											Rp 925,938,861.25
3	**SPP diameter 700 tebal 19mm**	**Ground Anchor**											
		Grout 1	100	40	7853.981634	0.3141593		0.279467265	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 419,200.90	47	Rp 19,702,442.21
		Grout 2	150	7	17671.45868	0.1237002		0.117629111	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 176,443.67	47	Rp 8,292,852.31
		Strand		47	867.30	0.0407631	7850	319.990335	kg	Rp 200,000.00	Rp 63,998,067.00	47	Rp 3,007,909,149.00
		Total											Rp 3,035,904,443.51
4	**Bored Pile Diameter 900**	**Ground Anchor**											
		Grout 1	100	40	7853.981634	0.3141593		0.274959265	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 412,438.90	38	Rp 15,672,678.13
		Grout 2	150	7	17671.45868	0.1237002		0.116840211	m^3	Rp 1,500,000.00	Rp 175,260.32	38	Rp 6,659,892.01
		Strand		47	980.00	0.04606	7850	361.571	kg	Rp 200,000.00	Rp 72,314,200.00	38	Rp 2,747,939,600.00
		Total											Rp 2,770,272,170.14

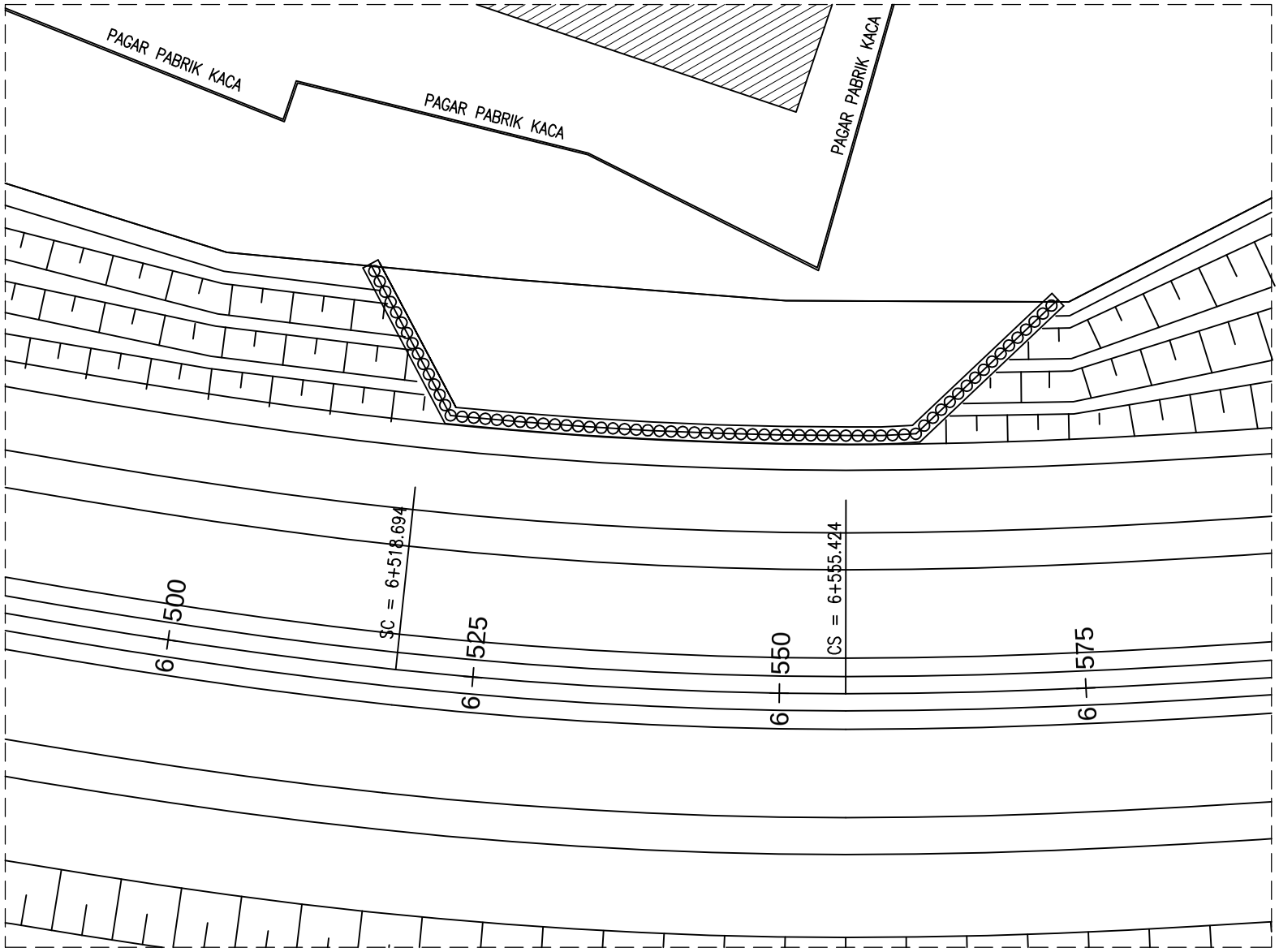
HARGA SATUAN POKOK KEGIATAN
(HSPK)

NOMOR	URAIAN KEGIATAN	Koef.	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA (Rp)
24.03.01.01	**Pekerjaan Beton K-100**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	6.175	Zak	63,000	389,025.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.543125	M3	232,100	126,059.31
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5257894737	M3	466,000	245,017.89
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**765,907.21**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**971,172.21**
24.03.01.02	**Pekerjaan Beton K-125**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	6.9	Zak	63,000	434,700.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.5175	M3	232,100	120,111.75
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5326315789	M3	466,000	248,206.32
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**808,823.07**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,014,088.07**
24.03.01.03	**Pekerjaan Beton K-150**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	7.475	Zak	63,000	470,925.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.499375	M3	232,100	115,904.94
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5352631579	M3	466,000	249,432.63
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**842,067.57**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,047,332.57**
24.03.01.04	**Lantai Kerja K-100**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	5.75	Zak	63,000	362,250.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Beton	0.558125	m3	232,100	129,540.81
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5405263158	m3	466,000	251,885.26
23.02.02.02.01.F	Air (biaya air tawar)	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**749,481.08**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.06	O.H	120,000	7,200.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang Batu	0.02	O.H	110,000	2,200.00
23.02.04.01.03.F	Tukang batu	0.2	O.H	105,000	21,000.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.2	O.H	99,000	118,800.00
				Jumlah:	**149,200.00**
				Nilai HSPK :	**898,681.08**
24.03.01.05	**Pekerjaan Beton K-175**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	8.15	Zak	63,000	513,450.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.480625	M3	232,100	111,553.06
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5415789474	M3	466,000	252,375.79
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**883,183.85**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,088,448.85**
24.03.01.06	**Pekerjaan Beton K-200**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	8.8	Zak	63,000	554,400.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.456875	M3	232,100	106,040.69
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5426315789	M3	466,000	252,866.32
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**919,112.00**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,124,377.00**
24.03.01.07	**Pekerjaan Beton K-225**		**m3**		
	Bahan:				

20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	9.275	Zak	63,000	584,325.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.43625	M3	232,100	101,253.63
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5510526316	M3	466,000	256,790.53
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**948,174.15**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,153,439.15**
24.03.01.08	**Pekerjaan Beton K-250**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	9.6	Zak	63,000	604,800.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.4325	M3	232,100	100,383.25
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5468421053	M3	466,000	254,828.42
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**965,816.67**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**176,390.00**
				Nilai HSPK :	**1,142,206.67**
24.03.01.09	**Pekerjaan Beton K-275**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	10.15	Zak	63,000	639,450.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.4275	M3	232,100	99,222.75
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.54	M3	466,000	251,640.00
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**996,117.75**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,201,382.75**
24.03.01.10	**Pekerjaan Beton K-300**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	10.325	Zak	63,000	650,475.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.425625	M3	232,100	98,787.56
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5373684211	M3	466,000	250,413.68
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
					1,005,481.25
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.028	Orang Hari	110,000	3,080.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.275	Orang Hari	105,000	28,875.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1.65	Orang Hari	99,000	163,350.00
				Jumlah:	**205,265.00**
				Nilai HSPK :	**1,210,746.25**
24.03.01.11	**Pekerjaan Beton K-325**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	10.975	Zak	63,000	691,425.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.41875	M3	232,100	97,191.88
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5294736842	M3	466,000	246,734.74
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**1,041,156.61**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.105	Orang Hari	120,000	12,600.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.035	Orang Hari	110,000	3,850.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.35	Orang Hari	105,000	36,750.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	2.1	Orang Hari	99,000	207,900.00
				Jumlah:	**261,100.00**
				Nilai HSPK :	**1,302,256.61**
24.03.01.12	**Pekerjaan Beton K-350**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	11.2	Zak	63,000	705,600.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.416875	M3	232,100	96,756.69
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5263157895	M3	466,000	245,263.16
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**1,053,424.85**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.105	Orang Hari	120,000	12,600.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.035	Orang Hari	110,000	3,850.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.35	Orang Hari	105,000	36,750.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	2.1	Orang Hari	99,000	207,900.00
				Jumlah:	**261,100.00**
				Nilai HSPK :	**1,314,524.85**
24.03.01.13	**Pekerjaan Beton (1Pc : 2 Ps : 3 Kr)**		**m3**		
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	9.275	Zak	63,000	584,325.00
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor/Beton	0.43625	M3	232,100	101,253.63
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.5510526316	M3	466,000	256,790.53
23.02.02.02.01.F	Air Kerja	215	Liter	27	5,805.00
				Jumlah:	**948,174.15**
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.083	Orang Hari	120,000	9,960.00

pid	ansid	Kegiatan	Unit	Vol	Harga Satuan	Jumlah
Pembangunan Dermaga Penyeberangan : Konstruksi Pelindung MB						
409		KONSTRUKSI PELINDUNG MB (2 BUAH)				
409		-Beton bertulang K-225 untuk pile cap (17,36 m3)				
409	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	17,36	901.123,86	15.643.510,16
409	144	--Pasang bekisting untuk balok	m2	69,44	476.986,91	33.121.971,26
409	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	3.992,80	12.141,12	48.477.044,62
409	5054	--Upah dan peralatan pembuatan beton k-225 untuk plat lantai	ls/jam	17,36	667.060,15	11.580.164,19
409		-Beton bertulang K-225 pengisian tiang (4,84 m3)				
409	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	4,84	901.123,86	4.361.439,47
409	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	1.009,82	12.141,12	12.260.316,63
409	5055	--Upah dan peralatan pembuatan beton isi tiang K-225	ls/jam	4,84	518.854,32	2.511.254,89
409	3001	--Operasional Ponton Transport (Hari)	hari	0,12	5.115.687,55	618.998,19
409	3002	--Operasional Crawel Crane (Hari)	hari	0,12	8.747.667,15	1.058.467,73
409		-Beton bertulang K-225 selimut tiang (2,15 m3)				
409	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	2,15	901.123,86	1.937.416,29
409	143	--Pasang bekisting untuk plat lantai	m2	23,65	455.319,41	10.768.304,13
409	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	430,00	12.141,12	5.220.679,52
409	5054	--Upah dan peralatan pembuatan beton k-225 untuk plat lantai	ls/jam	2,15	667.060,15	1.434.179,32
409	5016	-Tiang baja D=812.8 mm, t = 14,0 mm	ton	23,70	15.000.000,00	355.500.000,00
409	3003	-Pengangkutan 1 m' tiang pancang ketitik pancang	m'	356,74	110.906,84	39.564.483,80
409	3006	-Pemancangan tiang pancang	m'	180,00	596.561,75	107.381.114,53
409	3010	-Pengecatan tiang pancang	m2	1.530,58	175.328,21	268.353.852,99
409	5017	-Penyambungan tiang (setiap 6 m)	bh	40,00	605.040,02	24.201.600,80
409	5018	-Pemotongan tiang	bh	5,00	565.289,63	2.826.448,17
409	5019	-Plat penutup tiang	bh	5,00	806.115,93	4.030.579,64
409	5020	-Sepatu tiang pancang	bh	5,00	1.894.517,55	9.472.587,75
409	5023	-Brancing antar tiang pancang WF 150.100.7.10(23,65 kg/m)	kg	300,00	278.200,00	83.460.000,00
409	5035	-Frontal frame	bh	1,00	162.332.435,99	162.332.435,99
409	5034	-Fender ukuran CELL 400	bh	3,00	30.326.433,27	90.979.299,81
409	5035	-Pemasangan frontal frame	ls	1,00	162.332.435,99	162.332.435,99
		JUMLAH				1.459.428.585,86
		PPN 10 %				145.942.858,59
		JUMLAH TOTAL				1.605.371.444,45
		Harga per- Buah				*802.685.723,00*

Pid	Tipid	Kegiatan	Unit	Vol	Harga Satuan	Jumlah
Pembangunan Dermaga Penyeberangan : Catwalk						
410		CATWALK 18 M2				
410		-Beton bertulang K-225 untuk pile cap (6,48 m3)				
410	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	6,48	901.123,86	5.839.282,59
410	144	--Pasang bekisting untuk kolom	m2	25,92	476.986,91	12.363.500,79
410	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	1.490,40	12.141,12	18.095.118,04
410	5054	--Upah dan peralatan pembuatan beton k-225 untuk plat lantai	ls/jam	6,48	667.060,15	4.322.549,77
410		-Beton bertulang K-225 pengisian tiang (1,76 m3)				
410	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	1,76	901.123,86	1.585.977,99
410	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	367,21	12.141,12	4.458.295,19
410	5055	--Upah dan peralatan pembuatan beton isi tiang K-225	ls/jam	176,00	518.854,32	91.318.359,48
410	3001	--Operasional Ponton Transport (Hari)	hari	0,04	5.115.687,55	225.090,25
410	3002	--Operasional Crawel Crane (Hari)	hari	0,04	8.747.667,15	384.897,35
410		-Beton bertulang K-225 solimut tiang (1,64 m3)				
410	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	1,64	901.123,86	1.477.843,13
410	148	--Pasang bekisting untuk plat lantai	m2	18,04	455.319,41	8.213.962,22
410	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	328,00	12.141,12	3.982.285,77
410	5054	--Upah dan peralatan pembuatan beton k-225 untuk plat lantai	ls/jam	1,64	667.060,15	1.093.978,64
410		-Beton bertulang pelat lantai (8,52 m3)				
410	135	--Beton Bertulang 1:2:3 K.225 (m3) (SNI 7394-2008-07) f'c=19.3 Mpa slump (12±2) cm w/c=0.58	m3	8,52	901.123,86	7.677.575,26
410	145	--Pasang bekisting untuk plat lantai	m2	34,08	553.759,41	18.872.120,81
410	149	--Pembesian Dengan Besi Ulir D.32	kg	1.704,00	12.141,12	20.688.460,24
410	5054	--Upah dan peralatan pembuatan beton k-225 untuk plat lantai	ls/jam	8,52	667.060,15	5.683.352,47
410	5016	-Tiang baja D=711,2 mm, t = 14,0 mm	ton	11,57	15.000.000,00	173.520.000,00
410	3003	-Pengangkutan 1 m' tiang pancang ke titik tiang	m	0,13	110.906,84	14.733,47
410	3006	-Pemancangan tiang pancang	m'	76,80	596.561,75	45.815.942,20
410	3010	-Pengecatan tiang pancang	m2	42,90	175.328,21	7.521.580,25
410	5017	-Penyambungan tiang (setiap 6 m)	bh	12,00	605.040,02	7.260.480,24
410	5018	-Pemotongan tiang	bh	6,00	565.289,63	3.391.737,81
410	5019	-Plat penutup tiang	bh	6,00	806.115,93	4.836.695,57
410	5020	-Sepatu tiang pancang	bh	6,00	1.894.517,55	11.367.105,30
410	5024	-Profil baja WF 100.50.5.7	kg	2.128,00	13.733,45	29.224.781,60
410	5024	-Profil baja WF 200.100.8.12	kg	299,50	13.733,45	4.113.168,28
410	5024	-Profil baja WF 450.250.9.12	kg	102,60	13.733,45	1.409.051,97
410	5022	-Plat baja t=12 mm	kg	100,00	13.733,45	1.373.345,00
410	5022	-Plat baja t=8 mm	kg	20,00	13.733,45	274.669,00
410	5036	-Bondex	m2	16,80	493.270,00	8.286.936,00
410	5006	-Beton bertulang K-225 plat di atas bondex	m3	2,00	5.833.246,90	11.666.493,80
410	5015	-Pipa railling dia. 2,5", tebal 3 mm	m2	28,00	305.485,00	8.553.580,00
		JUMLAH				**524.912.950,48**
		PPN 10 %				**52.491.295,05**
		JUMLAH TOTAL				**577.404.245,53**
		Harga per- M2				***32.078.014,00***



SITE PLAN

SKALA 1:500

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

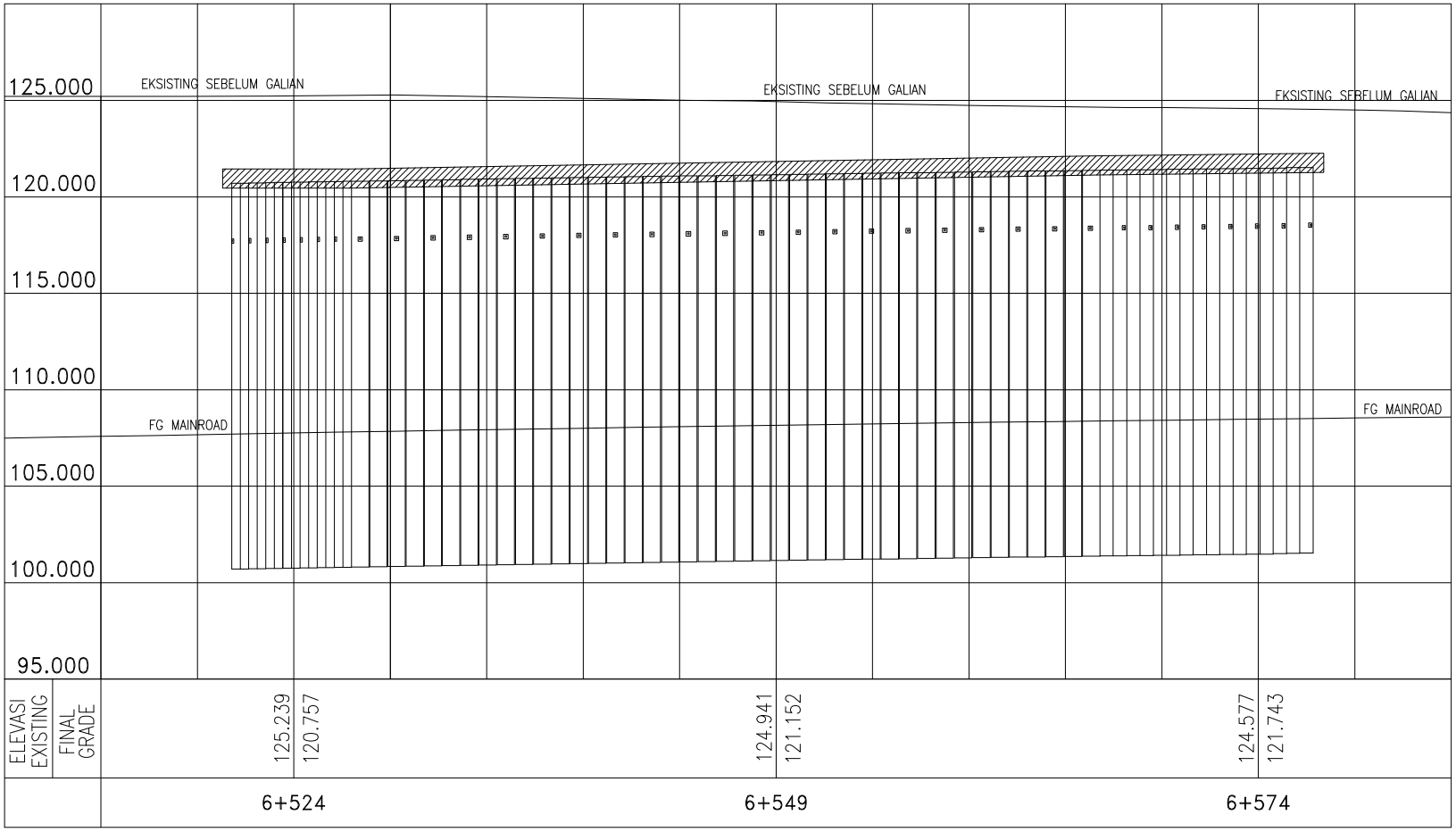
MARBONO WIDYA DIPUTRA

JUDUL GAMBAR

SITE PLAN

CATATAN

NO. GAMBAR	SKALA
1	500



POTONGAN MEMANJANG

SKALA 1:350

CATATAN :

1. SEMUA UKURAN DALAM METER
2. ELEVASI TOP BORED PILE

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

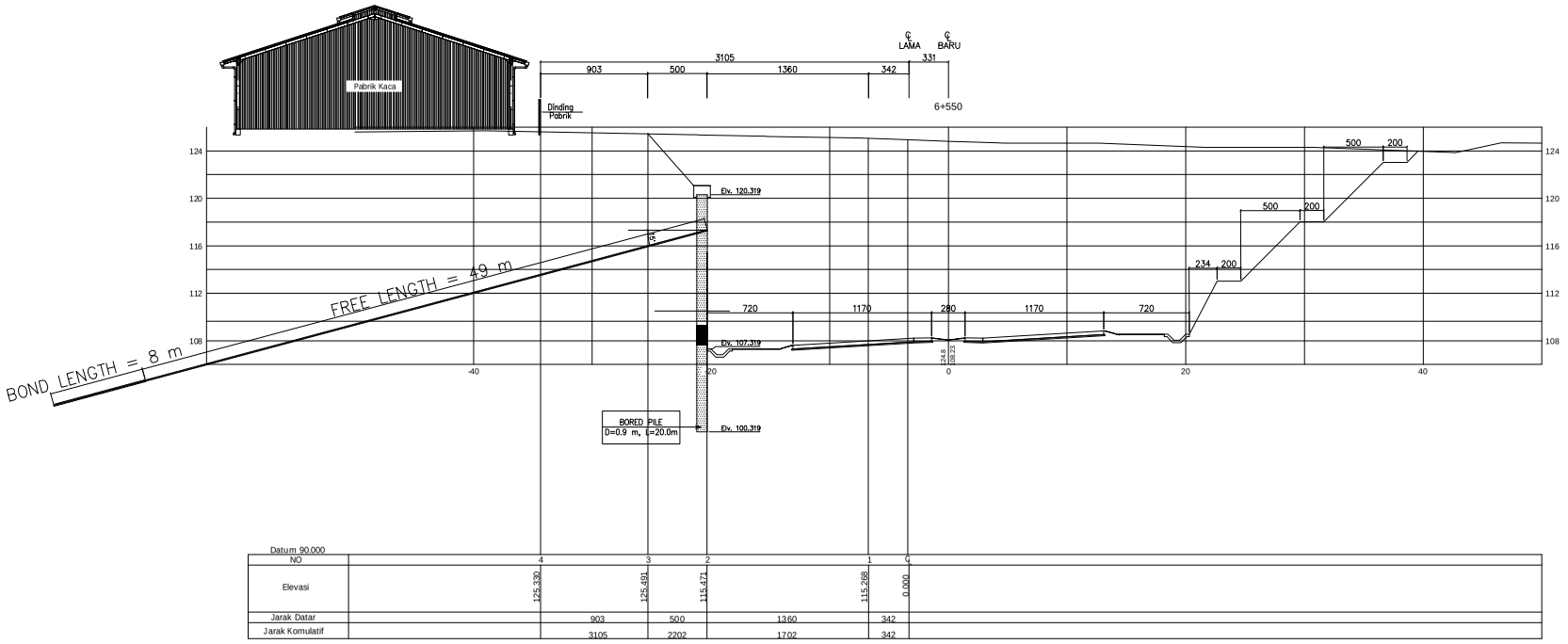
MARBONO WIDYA DIPUTRA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG

CATATAN

NO. GAMBAR	SKALA
2	350



POTONGAN MELINTANG

SKALA 1:350

CATATAN :

1. SEMUA UKURAN DALAM CENTIMETER KECUALI ELEVASI DALAM METER ATAU JIKA DISEBUTKAN LAIN

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

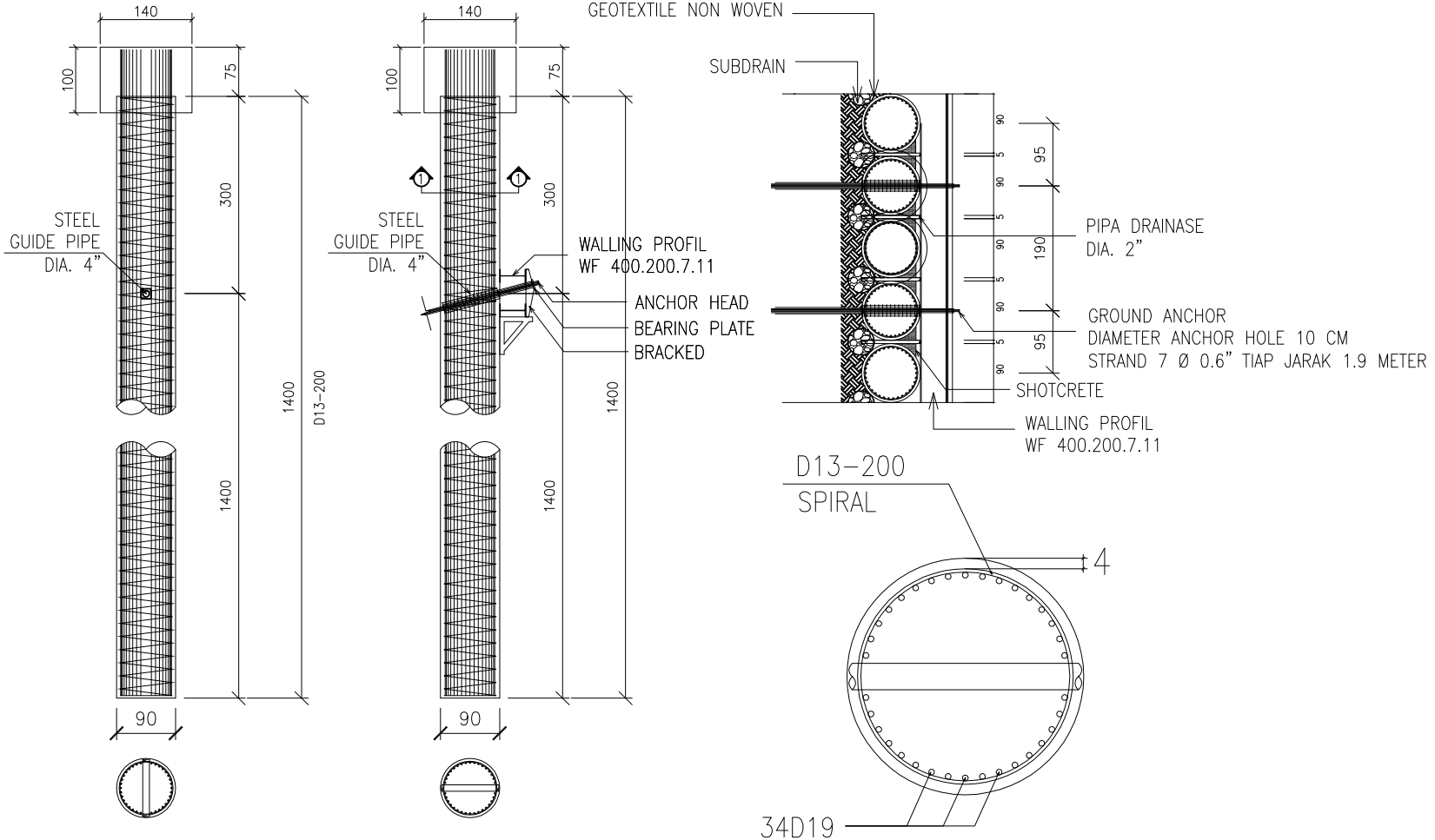
MARBONO WIDYA DIPUTRA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MELINTANG

CATATAN

NO. GAMBAR	SKALA
3	600



DETAILPENULANAN BORED PILE
SKALA 1:100

POT. 1-1
SKALA 1:25

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

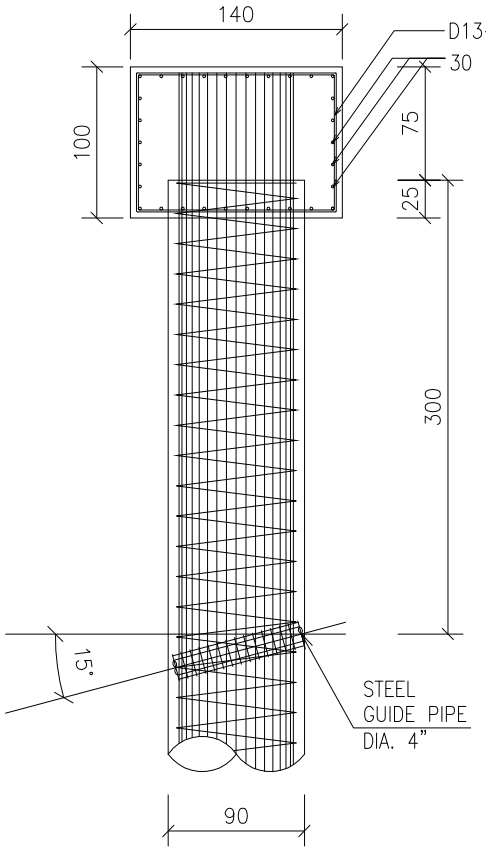
MARBONO WIDYA DIPUTRA

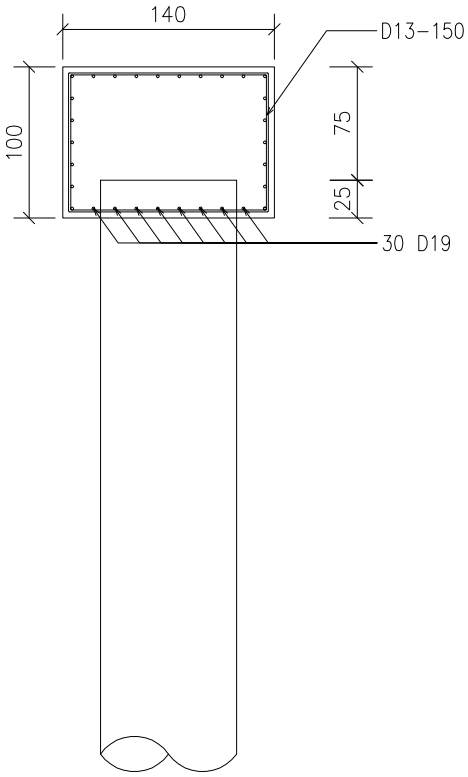
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN

CATATAN

NO. GAMBAR	SKALA
4	100





DETAIL PENULANGAN CAPPING BEAM

SKALA 1:50

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

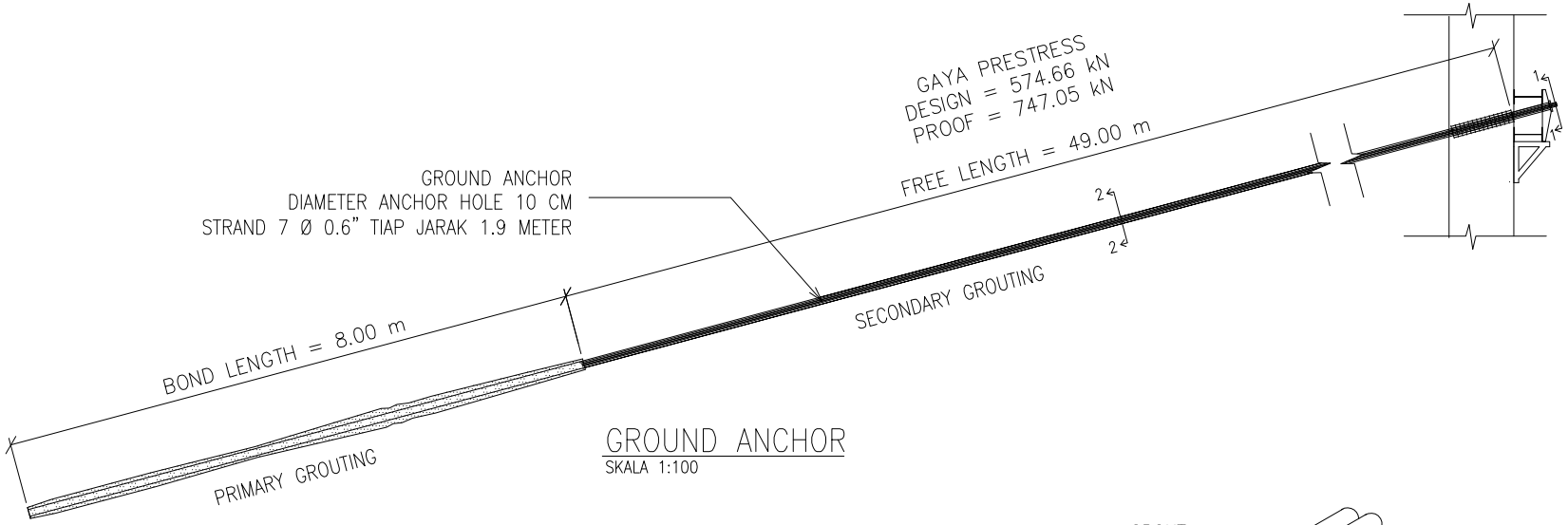
MARBONO WIDYA DIPUTRA

JUDUL GAMBAR

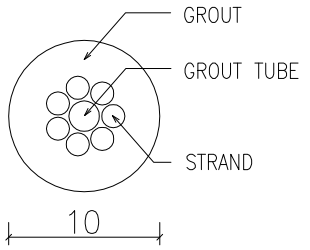
CAPPING BEAM
DAN
GROUND ANCHOR

CATATAN

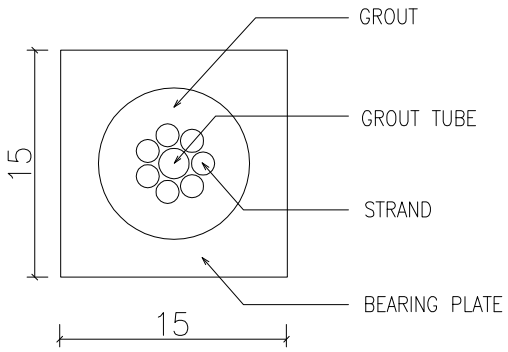
NO. GAMBAR	SKALA
5	100



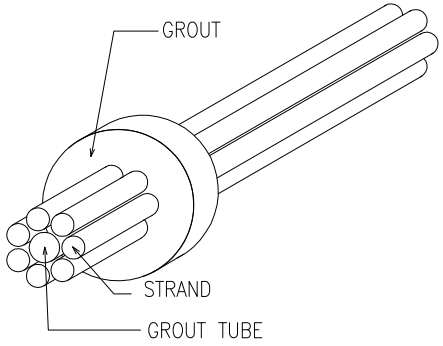
GROUND ANCHOR
SKALA 1:100



POT 2–2
SKALA 1:25



POT 1–1
SKALA 1:25



DETAIL GROUND ANCHOR
SKALA 1:25

PROGRAM S1 - LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP/RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL

DOSEN PEMBIMBING

MUSTA'IN ARIF, ST.MT

PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST.MT

DIGAMBAR

MARBONO WIDYA DIPUTRA

JUDUL GAMBAR

GROUND ANCHOR

CATATAN

NO. GAMBAR	SKALA
6	100

PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil (L 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5996879, Fax.031-5947284

Form TA-04
rev.05

NAMA PEMBIMBING	MUSTA'IN ARIF, ST MT
NAMA MAHASISWA	MARGONO WIDYA DIPUTRA
NRP	3114105006
JUDUL TUGAS AKHIR	PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP / RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL GEMPOL - BANGIAN STA 61+150 S/D 61+575 DENGAN PLAXIS 2D METODE KONVENSIONAL
TANGGAL PROPOSAL	21 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	0730/IT2.3.1.1/PP.05.02.00/2016

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	22/02 2016	Parameter data tanah	Revisi parameter data tanah - Tanah asli - Tanah bahwang like sand lapisan tanah	
2	29/03 2016	Tekanan tanah lateral Kedalaman pemancangan turap	Revisi tekanan lateral Momen Power	
3	7/03 2016	Perencanaan dimensi turap Cek kestabilan tanah lateral	Cek angkur manual Cek dimensi turap	
4	19/03 2016	Penulisan bab 2 dan 3	Hitung & Kompasite Kontrol deformasi	
5	22/04 2016	Desain Turap Perhitungan nilai tekanan load-dan-a tanah 2 L	Kontrol deformasi Cek perbandingan tanah asli dengan input PLAXIS	
6	4/05 2016	Input data tanah dan material pada perhitungan desain	EA EI plat beton untuk plaxis Turap berjangkar, Kontrol momen & dan gaya geser	
7	19/04 2016	Tekanan tanah lateral turap berjangkar Kedalaman pemancangan Gaya tarik angkur Dimensi	Perhitungan dimensi - cek kedalaman/ panjang sepatan kritis (OK) Kapasitas ground dan group anchor Perhitungan tegangan ijin anchor	
8	27/04 2016	Panjang sepatan kritis Kapasitas tendon anchor dan ground anchor Letak ground anchor Jarak angkur	Panjang sepatan kritis sesuaikan kondisi tanah Perhitungan turap casing beton coating	

Form

PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil FTSP, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5996679 Fax.031-5947284

Form 14.04
rev.01

NAMA PEMBIMBING	:
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
9	4/ 2016 /ST	Koreksi Deliasi Penambahan Subdrain capping beam walling	Hitung volume dan harga proses jalan subdrain mulai pasir	
10	10/ 2016 /ST	Volume dan Harga Subdrain Penentuan alternatif (kesimpulan) Planis ok !	Revisi Harga Gambar	
11	18/ 2016 /ST	Perbaikan gambar rencana	Perbaikan gambar rencana	

PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5996879, Fax.031-5947284

Form TA-01
rev01

NAMA PEMBIMBING	: PUTU TANTRI KUMALA SARI, ST. MT
NAMA MAHASISWA	: MARBONO WIDYA DIPUTRA
NRP	: 3114105006
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERBANDINGAN PERENCANAAN TURAP / RETAINING WALL PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMPOL - PANDAAN STA 6+518 s/d 6+575 DENGAN PLAXIS DAN METODE KONVENSIONAL
TANGGAL PROPOSAL	: 21 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	: 012030 / IT23.1.1 / PP.05.02.00 / 2016

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	25/02 2016	Parameter data tanah	Revisi parameter data tanah lapisan tanah untuk perhitungan tek-tanah lateral	
2.	1/03 2016	Tekanan tanah lateral	Koreksi γ_u γ_h dan $2c\sqrt{K_a}$ Titik per lapisan tanah Revisi tekanan tanah pasif	
3.	8/03 2016	Kedalaman penetrasi turap dimensi turap γ_u, γ_h sesuai per lapisan Revisi tekanan tanah pasif	Titik tinjau moren maks lokasi jarak x Satuan momen rowe	
4.	16/03 2016	Kontrol defleksi turap Input plaxis	cek nilai EI profil Perentuan nilai e dan H	
5.	21/03 2016	Perentuan nilai lateral load dan jarak beban thd dasar galian	Tinjauan pustaka / teori behaving like sand	
6.	31/03 2016	Defleksi turap kantilever OK!	Turap berjangkar	
7.	12/04 2016	Tekanan tanah lateral turap angkur kedalaman penetrasi gaya tarik angkur Penentuan jarak angkur	Cek penentuan jarak angkur perhitungan kabel angkur sudut miring angkur kapasitas ground anchor momen maks	
8.	22/04 2016	Momen max turap Dimensi kapasitas ground anchor dan kabel strand	perbaikan penulisan capping beam walling subdrain	

PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5996879, Fax.031-5947284

Form TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	:
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
9.	3/05 2016	Kontrol Defleksi Perencanaan subdrain, capping beam, dan waling	Volume dan harga material Penentuan letak subdrain	
10.	13/05 2016	Plaxis ok! Penentuan alternatif Kesimpulan saran	Revisi harga Gambar rencana	
11.	20/05 2016	Pembuatan gambar rencana	Perbaikan gambar rencana	

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode konvensional, didapatkan dimensi,panjang turap, dan jumlah serta panjang angkur yang dibutuhkan. Kemudian dianalisa dengan menggunakan PLAXIS untuk mengetahui stabilitas dan angka keamanannya. Dari analisa tersebut, maka dapat disimpulkan tentang alternatif perencanaan yang akan digunakan yaitu kriteria pemilihan alternatif perkuatan yang aman dan ekonomis. Adapun kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan turap kantilever dan berangkur dengan metode konvensional untuk dua kondisi tanah didapatkan perkuatan yang terlihat di Tabel 6.1 diawah ini :

Tabel 6.1 Hasil Analisa Turap Kantilever dan Turap Berangkur dengan Metode Konvensional

	Turap Kantilever				Turap Berangkur			
Kondisi Tanah	Tanah Asli		*Behaving Like Sand*		Tanah Asli		*Behaving Like Sand*	
Jenis Turap	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*
Diameter (mm)	800	900	1100	1200	500	700	700	900
Panjang Total Turap (m)	23	23	26	26	16	16	18	20
Jarak Turap (m)	0.85	0.95	1.15	1.25	0.55	0.75	0.75	0.95
Panjang Angkur (m)	-	-	-	-	47	47	57	57
Jarak Angkur	-	-	-	-	2.20	2.25	1.50	1.90

2. Analisa menggunakan program bantu PLAXIS pada turap kantilever dan berangkur untuk dua kondisi tanah didapatkan nilai *safety factor* perkuatan yang terlihat di Tabel 6.2 :

Tabel 6.2 Hasil Analisa Turap Kantilever dan Turap Berangkur dengan PLAXIS

	Turap Kantilever				Turap Berangkur			
Kondisi Tanah	Tanah Asli		*Behaving Like Sand*		Tanah Asli		*Behaving Like Sand*	
Jenis Turap	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*	SPP	*Bored Pile*
Diameter (mm)	800	900	1100	1200	500	700	700	900
Panjang Total Turap (m)	23	23	26	26	16	16	18	20
Panjang Angkur (m)	-	-	-	-	47	47	57	57
SF	1.30	1.30	1.35	1.36	1.45	1.45	1.6	1.59

3. Dari hasil hitungan alternatif perkuatan, didapatkan berapa besar volume dan hargabahan yang dibutuhkan untuk setiap jenis alternatif perkuatan. Harga total untuk setiap jenis perkuatan dapat dilihat pada Tabe 6.2 dibawah ini :

Tabel 6.3 Rekapitulasi Harga Perkuatan

No	Jenis Perkuatan	Total Harga	
1	TurapKatilever Tanah Asli		
1.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	11,271,578,623
1.2	- *Bored Pile*	Rp	3,746,577,969
2	*Behaing Like Sand*		
2.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	16,051,322,660
2.2	- *Bored Pile*	Rp	7,141,552,715
1	Turap Berangkur Tanah Asli		
1.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	8,367,483,955
1.2	- *Bored Pile*	Rp	3,247,253,883
2.1	- *Steel Pipe Pile*	Rp	11,837,643,270
2.2	- *Bored Pile*	Rp	5,167,807,297

4. Dari kedua kondisi tanah yang berbeda didapatkan perkuatan dengan dimensi dan kedalaman turap yang berbeda. Pada kodisi tanah *behaving like sand* dimensi dan kedalaman tiang lebih besar bila dibandingkan dengan analisa menggunakan data tanah asli. Dari perbedaan hasil analisa terebut disimpulkan bahwa perkuatan yang digunakan adalah dengan menggunakan kondisi tanah *behaving like sand* karena kondisinya dianggap paling kritis.

5. Dari kedua alternatif dan material perkuatan turap dalam kondisi *behaving like sand.,* dipilih aternatif yang paling ekonomis yaitu perkuatan turap berangkur menggunakan material *bored pile* dengan biaya Rp 5.167.807.297,00.

6.2 Saran

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka disarankan :

1. Perencanaan harus memperhatikan kondisi tanah dilapangan dan sekitarnya karena belum tentu sesuai dengan parameter tanah yang diperoleh.
2. Perencanaan dilakukan dengan kondisi tanah yang paling kritis, seperti pada kasus ini tanah direncanakan dengan menganggap tanah pada lereng adalah pasir (*behaving like sand*).
3. Dalam perencanaan perlu memperhatikan adanya *subdrain* sehingga pada saat perencanaan tidak memperhitungkan pengaruh hujan.

"*Halaman ini sengaja dikosongkan"*

DAFTAR PUSTAKA

Brinkgreve.R.B.J. dkk. 2002. *Manual Plaxis*. Netherland: A.A. Balkema Publishers.

Bowles, J.E. 1983. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid II*. Jakarta: Erlangga.

Cernica, Jhon N. 1983. *Geotechnical Enginerring Foundation Design.* Jakarta: Erlangga,

Das, Braja M. (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

Das, Braja M. (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II*. Jakarta: Erlangga.

Hardiyatmo, H C. 2010. *Analisis dan Peencanaan Fondasi bagian II*.Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Rowe, P.W. 1952. *Anchored sheet pile walls, Proceedings*.(Vol. 1, Part 1, pp.27-70) London: Institute of Civil Engineers

Rowe, P.W. 1957. *Sheet pile walls in clay, Proceedings*, Institute of Civil Engineers (Vol. 7, pp.629-654), London : Institute of Civil Engineers

Sianipar, Benny R. 2016. *Perencanaan Sodier Pile Untuk Perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol – Pandaan STA 6+ + 518 – STA 6 + 575*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Simatupang, P T. *Modul I Jenis Turap dan Turap Cantilever*. Pusat Pengembangan Bahan Ajar – UMB.

Simatupang, P T. *Modul II Turap Berjangkar* . Pusat Pengembangan Bahan Ajar – UMB.

Untung, Djoko. 2012. *Bahan Ajar Rekayasa Pondasi dan Timbunan.* Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS

Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS

BIODATA PENULIS

Marbono Widya Diputra

Lahir di Yogyakarta pada tanggal 25 September 1992, merupakan anak ke 2 dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyh Purwodoningratan 2 Yogyakarta, SMP Negeri 7 Yogyakarta, dan SMA Negeri 7 Yogyakarta. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Sipil Sekolah Vokasi UGM dan lulus pada Agustus tahun 2014. Pada September tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP-ITS) Surabaya melalui Pogram Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 3114105006.

Di jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Geoteknik. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan kritik dan saran dapat berkorespondensi melalui email *marbonowidyad@gmail.com* .

"Halaman ini sengaja dikosongkan"