

874/FT.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PARAMETRIK DINDING PENAHAN TANAH  
BERANGKUR UNTUK GALIAN TANAH DENGAN METODE  
ELEMEN HINGGA (PLAXIS VER.8)**

**SKRIPSI**

**MUHAMAD FAUZAN AMALY**

**04 04 01 047 3**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2009**

874/FT.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PARAMETRIK DINDING PENAHAN TANAH  
BERANGKUR UNTUK GALIAN TANAH DENGAN METODE  
ELEMEN HINGGA (PLAXIS VER.8)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**MUHAMAD FAUZAN AMALY**

**04 04 01 047 3**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : MUHAMAD FAUZAN AMALY  
NPM : 0404010473

Tanda Tangan : .....  
Tanggal : 10 Juli 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : MUHAMAD FAUZAN AMALY  
NPM : 0404010473  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Judul Skripsi : STUDI PARAMETRIK DINDING PENAHAN  
TANAH BERANGKUR UNTUK GALIAN  
TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA  
(PLAXIS VER.8)

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Widjojo Adi Prakoso, M.Sc., Ph.D ( )

Penguji : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc. ( )

Penguji : Ir. Syahril A Rahim, M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 10 Juli 2009

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat **Allah SWT**, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

Dalam proses penulisan skripsi ini, tentu ada pihak lain yang terlibat untuk membantu, karena tanpa bantuan pihak lain skripsi ini akan sulit terwujud. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

**Ir. Widjojo Adi Prakoso, Msc., Phd.**

selaku dosen pembimbing yang penulis sangat hormati yang telah meluangkan banyak waktu untuk berdiskusi dari awal pembuatan skripsi ini hingga skripsi ini selesai.

Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 10 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : MUHAMAD FAUZAN AMALY  
NPM : 0404010473  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Departmen : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI PARAMETRIK DINDING PENAHAN TANAH BERANGKUR UNTUK  
GALIAN TANAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA (PLAXIS VER.8)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 10 Juli 2009  
Yang menyatakan

(MUHAMAD FAUZAN AMALY)

## ABSTRAK

**Nama** : Muhamad Fauzan Amaly  
**Program Studi** : Departemen Teknik Sipil  
**Judul** : **STUDI PARAMETRIK DINDING PENAHAN TANAH BERANGKUR UNTUK GALIAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA (PLAXIS VER.8)**

Pelaksanaan pekerjaan galian dilapangan sering kali menghadapi kendala manakala pekerjaan tersebut memakan waktu yang lama sehingga *displacement* pada dinding galian terjadi. Solusi dari permasalahan ini adalah penggunaan *lateral support* untuk meminimalisir *displacement* tersebut sehingga keruntuhan dapat dihindarkan. Salah satu *lateral support* yang sering digunakan adalah angkur tanah. Skripsi ini merupakan studi simulasi dimana galian dengan variasi bentuk (*plane strain dan axissymetry*), panjang *embedment*, lebar galian, kedalaman galian, serta jenis tanah, akan memberikan variasi perilaku pada turap dan angkur tanah. Perilaku tersebut berupa lendutan pada ujung turap, momen pada turap, gaya angkur yang dihasilkan, tekanan tanah aktif-pasif disepanjang turap, serta *settlement* yang terjadi di sisi galian. Simulasi ini dimodelkan menggunakan software Plaxis Ver.8.

Kata kunci : Angkur tanah, *displacement*, *plane strain*, *axissymetry*, *embedment*, lebar galian, kedalaman galian, jenis tanah, *settlement*, Plaxis.

## ABSTRACT

**Name : Muhamad Fauzan Amaly**  
**Study Program : Civil Engineering Department**  
**Title : PARAMETRIC STUDY OF ANCHORED RETAINING WALL FOREXCAVATION USING FINITEELEMENT METHOD (PLAXIS VER.8)**

It is find usually difficult in working on excavation in-situ project particularly when it has to be dealt with a long-term scheduled. Seeing that the longer the time schedule is needed the larger the displacement that will be, then it is important to consider of installing some kind of lateral support as part of the solution. The aim is to reduce the likely huge mount of lateral displacement taking place. Ground anchor is one of lateral support widespread used. This final assignment is a simulation that bring about some behaviours of retaining wall with anchorage soil system based on variety of soil, excavation depth, excavation width, embedment length, and shape (plane strain and axisymmetry). The behaviours will be displacement on the top of the retaining wall, bending moment, anchor forces, active-passive soil pressure, and soil settlement next to the excavation. This simulation is accomplished by using Plaxis software version 8th.

Key words : Ground anchor, displacement, plane strain, axisymmetry, embedment, excavation width, excavation depth, variety of soil, settlement, Plaxis.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xvi
<b>1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
Latar Belakang	1
Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	2
Tujuan	2
Sistematika Penulisan	2
<b>2. STUDI LITERATUR</b>	<b>4</b>
2.1 Pendahuluan	4
2.2 Tanah Lempung	4
2.2.1 Parameter Kekuatan Geser Lempung	4
2.2.2 Mineral Lempung	10
2.3 Dinding Penahan Tanah	12
2.4 Tekanan Lateral Tanah pada Dinding Penahan Tanah	13
2.5 Angkur Tanah	17
2.6 Dinding Penahan Tanah Berangkur	20
2.6.1 Fungsi Angkur pada Dinding Penahan Tanah	20
2.6.2 Langkah-Langkah Pemasangan Angkur Tanah	21
2.6.3 Perilaku Dinding Penahan Tanah dengan Angkur Tanah	22
2.6.4 Kegagalan Angkur pada Dinding Penahan Tanah	23
2.7 Program Plaxis	24
<b>3. METODE PENELITIAN</b>	<b>30</b>
3.1 Pendahuluan	30
3.2 Permodelan Struktur	30
3.3 Prosedur Analisa	32
3.4 Input Program	33
<b>4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA</b>	<b>46</b>
4.1 Data-Data Parameter tanah, Dinding Turap, dan Angkur Tanah	46
4.2 Hasil Simulasi Permodelan dengan Menggunakan plaxis Ver.8	50
4.2.1 Analisa Lentutan Ujung Atas Turap Berdasarkan Lebar galian	58
4.2.2 Analisa Lentutan Ujung Atas Turap Berdasarkan Panjang Turap	70
4.2.3 Analisa Diagram Momen Berdasarkan Panjang Turap	76
4.2.4 Analisa Momen Maksimum Pada Turap Berdasarkan Lebar Galian	93
4.2.5 Analisa Momen Maksimum Pada Turap Berdasarkan Kedala-	

man Turap	104
4.2.6 Analisa Gaya Angkur Berdasarkan Lebar Galian	109
4.2.7 Analisa Tekanan Tanah Pada Turap Berdasarkan Tipe Material Struktur	119
4.2.8 Analisa Settlement pada Sisi Galian Tanah Berdasarkan Tipe Material Struktur	137
<b>5. KESIMPULAN</b>	<b>147</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>149</b>



## DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

Gambar 2.1	Selubung keruntuhan pada lingkaran Mohr	8
Gambar 2.2	Mineral lempung	11
Gambar 2.3	Ikatan kimiawi pada mineral lempung	11
Gambar 2.4	Hubungan tegangan-regangan	13
Gambar 2.5	Tekanan tanah lateral	14
Gambar 2.6	Tekanan tanah lateral pada lingkaran Mohr	16
Gambar 2.7	Angkur tanah	18
Gambar 2.8	Langkah-langkah pemasangan ankur tanah	21
Gambar 2.9	Gerakan tanah akibat galian	22
Gambar 2.10	Model plain strain dan axisimetris	26
Gambar 3.1	Contoh permodelan ankur	31
Gambar 3.2	Diagram alir proses penelitian	32
Gambar 3.3	Diskritisasi tanah pada plaxis	34
Gambar 3.4	Informasi umum hasil diskritisasi	35
Gambar 3.5	Beban dan dinding berwarna biru berarti telah aktif	35
Gambar 3.6	Galian berwarna putih berarti telah aktif	36
Gambar 3.7	Angkur berwarna berarti telah aktif	36
Gambar 3.8	Galian berwarna putih berarti telah aktif	37
Gambar 3.9	Angkur berwarna berarti telah aktif	37
Gambar 3.10	Galian berwarna putih berarti telah aktif	38
Gambar 3.11	Angkur berwarna berarti telah aktif	38
Gambar 3.12	Galian berwarna putih berarti telah aktif	39

Gambar 3.13	Total deformasi tanah (Diperbesar 50 kali)	40
Gambar 4.1	Sheet Pile JFESP-4 U Shape	47
Gambar 4.2	Strand tendon	48
Gambar 4.3	Detail angkur	49
Gambar 4.4	Deformasi tahap 1 (Aplikasi beban dan dinding turap)	51
Gambar 4.5	Deformasi tahap 2 (Galian level ke-1)	51
Gambar 4.6	Deformasi tahap 3 (Instalasi angkur ke-1)	52
Gambar 4.7	Deformasi tahap 4 (Galian level ke-2)	52
Gambar 4.8	Deformasi tahap 5 (Instalasi angkur ke-2)	53
Gambar 4.9	Deformasi tahap 6 (Galian level ke-3)	53
Gambar 4.10	Deformasi tahap 7 (Instalasi angkur ke-3)	54
Gambar 4.11	Deformasi tahap 8 (Galian level ke-4)	54
Gambar 4.12	Deformasi lateral dan vertikal pada plaxis	55
Gambar 4.13	Bending momen pada plaxis	56
Gambar 4.14	Gaya aksial angkur pada plaxis	56
Gambar 4.15	Tekanan tanah aktif-pasif pada plaxis	57
Gambar 4.16	<i>Settlement</i> pada permukaan tanah pada plaxis	57
Grafik 4.17	a. Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)	58
	b. Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)	58
	c. Lendutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)	59
	d. Lendutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)	59
	e. Lendutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)	59
	f. Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)	60
Grafik 4.18	a. Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)	60
	b. Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)	60
	c. Lendutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)	61
	d. Lendutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)	61
	e. Lendutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)	61
	f. Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)	62

Grafik 4.19	a. Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)	62
	b. Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)	62
	c. Lendutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)	63
	d. Lendutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)	63
	e. Lendutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)	63
	f. Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)	64
Grafik 4.20	a. Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)	64
	b. Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)	64
	c. Lendutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)	65
	d. Lendutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)	65
	e. Lendutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)	65
	f. Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)	66
Grafik 4.21	a. Lendutan pada lebar galian 12 meter	70
	b. Lendutan pada lebar galian 24 meter	70
	c. Lendutan pada lebar galian 48 meter	71
Grafik 4.22	a. Lendutan pada lebar galian 12 meter	71
	b. Lendutan pada lebar galian 24 meter	71
	c. Lendutan pada lebar galian 48 meter	72
Grafik 4.23	a. Lendutan pada lebar galian 12 meter	72
	b. Lendutan pada lebar galian 24 meter	72
	c. Lendutan pada lebar galian 48 meter	73
Grafik 4.24	a. Lendutan pada lebar galian 12 meter	73
	b. Lendutan pada lebar galian 24 meter	73
	c. Lendutan pada lebar galian 48 meter	74
Grafik 4.25	a. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)	76
	b. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)	76
	c. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)	77
	d. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)	77
	e. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)	78
	f. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)	78
Grafik 4.26	a. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)	79
	b. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)	79

	c. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)	80
	d. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)	80
	e. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)	81
	f. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)	81
Grafik 4.27	a. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)	82
	b. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)	82
	c. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)	83
	d. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)	83
	e. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)	84
	f. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)	84
Grafik 4.28	a. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)	85
	b. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)	85
	c. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)	86
	d. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)	86
	e. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)	87
	f. Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)	87
Grafik 4.29	a. Turap Baja, $S_u = 100$ , lebar galian 12 meter	89
	b. Lempung $S_u = 100$ , lebar galian 12 meter, Turap 18 meter	90
	c. Turap Baja, $S_u = 100$ , Lebar galian 12 meter	90
Grafik 4.30	Bending momen pada turap dengan variasi jarak horizontal antar ankur (LS)	91
Grafik 4.31	Grafik hubungan antara regangan lateral dengan koefisien tekanan lateral	92
Grafik 4.32	a. Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)	93
	b. Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)	93
	c. Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)	94
	d. Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)	94

	e. Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)	94
	f. Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)	95
Grafik 4.33	a. Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)	95
	b. Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)	95
	c. Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)	96
	d. Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)	96
	e. Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)	96
	f. Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)	97
Grafik 4.34	a. Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)	97
	b. Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)	97
	c. Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)	98
	d. Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)	98
	e. Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)	98
	f. Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)	99
Grafik 4.35	a. Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)	99
	b. Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)	99
	c. Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)	100
	d. Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)	100
	e. Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)	100
	f. Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)	101
Grafik 4.36	a. Diagram momen pada turap 24 (Galian 12 m), $S_u = 100$	102
	b. Diagram peralihan momen maksimum	103
Grafik 4.37	a. Momen maximum pada lebar galian 12 meter	104
	b. Momen maximum pada lebar galian 24 meter	104
	c. Momen maximum pada lebar galian 48 meter	104
	d. Momen maximum pada lebar galian 12 meter	105
	e. Momen maximum pada lebar galian 24 meter	105
	f. Momen maximum pada lebar galian 48 meter	105
Grafik 4.38	a. Momen maximum pada lebar galian 12 meter	106
	b. Momen maximum pada lebar galian 24 meter	106
	c. Momen maximum pada lebar galian 48 meter	106
	d. Momen maximum pada lebar galian 12 meter	107
	e. Momen maximum pada lebar galian 24 meter	107
	f. Momen maximum pada lebar galian 48 meter	107
Grafik 4.39	a. Gaya ankur pada turap 18 meter (galian 9 meter)	109
	b. Gaya ankur pada turap 20 meter (galian 9 meter)	109
	c. Gaya ankur pada turap 22 meter (galian 9 meter)	110
	d. Gaya ankur pada turap 24 meter (galian 12 meter)	110
	e. Gaya ankur pada turap 26 meter (galian 12 meter)	110
	f. Gaya ankur pada turap 28 meter (galian 12 meter)	111

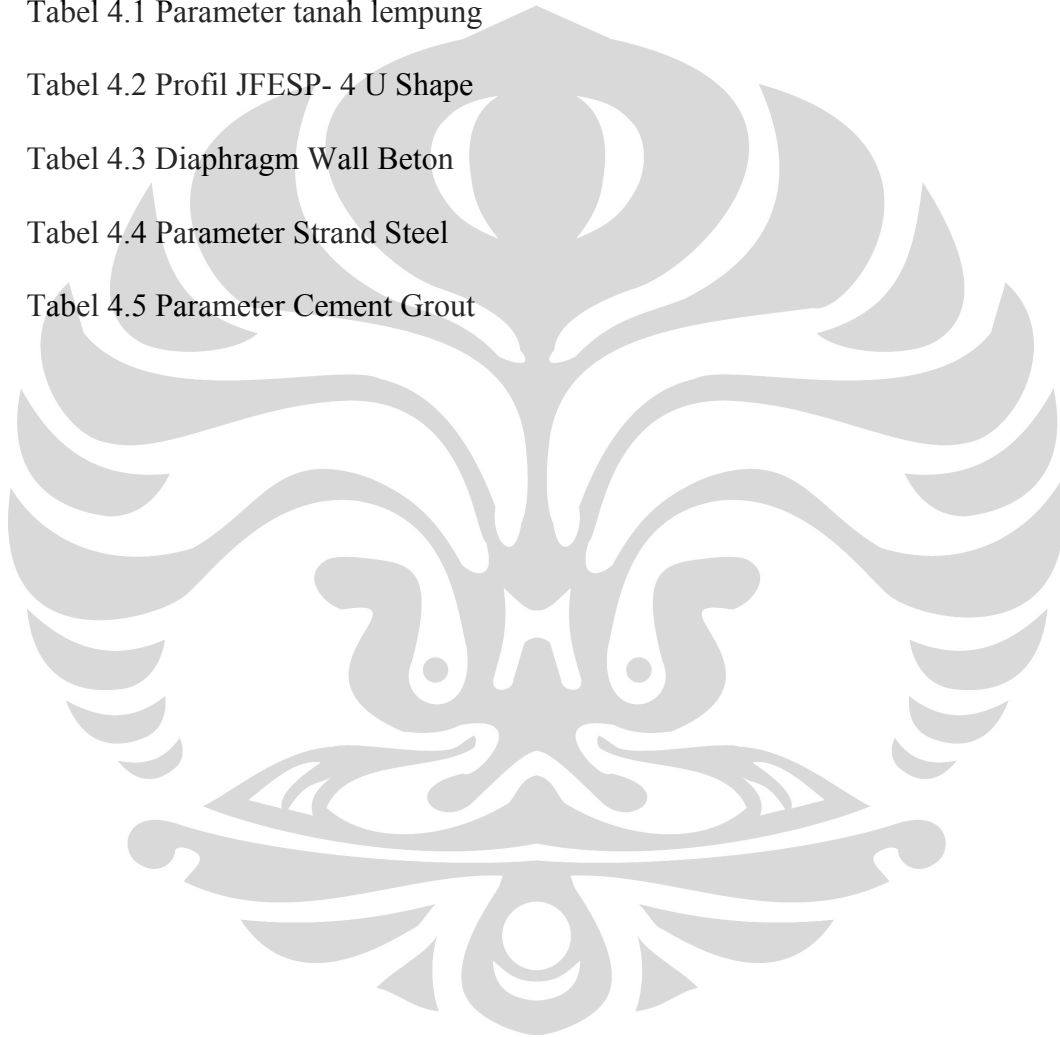
Grafik 4.40	a. Gaya ankur pada turap 18 meter (galian 9 meter)	111
	b. Gaya ankur pada turap 20 meter (galian 9 meter)	111
	c. Gaya ankur pada turap 22 meter (galian 9 meter)	112
	d. Gaya ankur pada turap 24 meter (galian 12 meter)	112
	e. Gaya ankur pada turap 26 meter (galian 12 meter)	112
	f. Gaya ankur pada turap 28 meter (galian 12 meter)	113
Grafik 4.41	a. Gaya ankur pada turap 18 meter (galian 9 meter)	113
	b. Gaya ankur pada turap 20 meter (galian 9 meter)	113
	c. Gaya ankur pada turap 22 meter (galian 9 meter)	114
	d. Gaya ankur pada turap 24 meter (galian 12 meter)	114
	e. Gaya ankur pada turap 26 meter (galian 12 meter)	114
	f. Gaya ankur pada turap 28 meter (galian 12 meter)	115
Grafik 4.42	a. Gaya ankur pada turap 18 meter (galian 9 meter)	115
	b. Gaya ankur pada turap 20 meter (galian 9 meter)	115
	c. Gaya ankur pada turap 22 meter (galian 9 meter)	116
	d. Gaya ankur pada turap 24 meter (galian 12 meter)	116
	e. Gaya ankur pada turap 26 meter (galian 12 meter)	116
	f. Gaya ankur pada turap 28 meter (galian 12 meter)	117
Grafik 4.43	a. Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter	119
	b. Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter	120
	c. Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter	120
	d. Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter	121
	e. Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter	121
	f. Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter	122
Grafik 4.44	a. Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter	122
	b. Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter	123
	c. Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter	123
	d. Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter	124
	e. Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter	124
	f. Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter	125
Grafik 4.45	a. Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter	125
	b. Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter	126
	c. Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter	126
	d. Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter	127
	e. Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter	127
	f. Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter	138
Grafik 4.46	a. Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter	128
	b. Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter	129
	c. Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter	129
	d. Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter	130
	e. Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter	130
	f. Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter	131



Grafik 4.47	a. Tekanan Pasif (Turap Baja, $S_u = 100$ , Lebar galian 12 m)	133
	b. Tekanan Aktif (Turap Baja, $S_u = 100$ , Lebar galian 12 m)	134
	c. Tekanan Pasif (Turap Baja 18 m, $S_u = 100$ )	134
	d. Tekanan Aktif (Turap Baja 18 m, $S_u = 100$ )	135
	e. Tekanan Pasif (Turap Baja, galian 9 m , lebar 12 m, $S_u = 100$ )	135
	f. Tekanan Aktif (Turap Baja, galian 9 m , lebar 12 m, $S_u = 100$ )	136
Grafik 4.48	a. Settlement dengan lebar galian 12 meter	137
	b. Settlement dengan lebar galian 24 meter	137
	c. Settlement dengan lebar galian 48 meter	138
	d. Settlement dengan lebar galian 12 meter	138
	e. Settlement dengan lebar galian 24 meter	139
	f. Settlement dengan lebar galian 48 meter	139
Grafik 4.49	a. Settlement dengan lebar galian 12 meter	140
	b. Settlement dengan lebar galian 24 meter	140
	c. Settlement dengan lebar galian 48 meter	141
	d. Settlement dengan lebar galian 12 meter	141
	e. Settlement dengan lebar galian 24 meter	142
	f. Settlement dengan lebar galian 48 meter	142
Grafik 4.50	a. Gambaran angkur yang sebenarnya di bawah lapisan tanah	144
	b. Gambaran angkur yang terjadi pada permodelan plaxis	145
	c. Dinding turap baja (Plane strain) 18 meter (galian 9 m), $S_u = 50$ , lebar 12 m.	146

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai SPT tanah lempung	5
Tabel 2.2 Konsistensi tanah lempung	6
Tabel 3.1 Konfigurasi permodelan	41
Tabel 4.1 Parameter tanah lempung	46
Tabel 4.2 Profil JFESP- 4 U Shape	47
Tabel 4.3 Diaphragm Wall Beton	48
Tabel 4.4 Parameter Strand Steel	49
Tabel 4.5 Parameter Cement Grout	49



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini, pembangunan basement pada suatu gedung bertingkat sangat dibutuhkan seiring dengan menyempitnya lahan yang tersedia, khususnya diperkotaan, serta meningkatnya pertumbuhan penduduk. Pembangunan basement tersebut diperlukan diantaranya untuk menambah ruang.

Dalam pelaksanaan proyek-proyek galian tanah seperti basement, perlu diperhatikan aspek-aspek geoteknik seperti kondisi air tanah dan pergerakan tanah. Dalam melaksanakan suatu galian, akan ada hal yang menyangkut air tanah yang harus keluar dari dalam galian, stabilitas tanah secara vertikal maupun lateral.

Selain itu, perlu diperhatikan adanya gerakan-gerakan tanah yang akan terjadi disekitar galian, diantaranya adalah : penurunan permukaan tanah didekat lubang galian, gerakan lateral penyangga-penyangga vertikal, dan tonjolan pada dasar galian. Kesemuanya ini harus dijaga agar tidak mempunyai dampak negatif/merugikan bangunan milik orang lain di sekitarnya.

Dalam pembuatan galian perlu diperhatikan stabilitas galian akibat tekanan lateral tanah yang dapat menyebabkan keruntuhan galian. Pada daerah perkotaan yang sangat padat, jarang didapat area untuk membuat slope dalam sistem galian terbuka (unbraced excavation), maka lebih sering dipakai sistem galian dengan penyangga (braced excavation). Dengan penyangga lateral, galian dengan dinding penahan dapat dibuat dengan sisi galian yang vertikal.

Penahan konstruksi penahan tanah tergantung pada kedalaman tanah yang akan ditahan dan juga tergantung pada jenis tanah yang ada. Apabila kedalaman tanah yang akan dipoteksi tidak terlalu dalam, biasanya konstruksi penahan tanah yang digunakan adalah sheet pile atau turap. Salah satu jenis dinding turap yang banyak digunakan adalah dinding turap berangkur, yaitu dinding turap yang dilengkapi dengan penyangga tambahan berupa satu baris kabel pengikat (tie-back) atau penyangga (prop) yang diletakkan di dekat puncak dinding. Dinding turap jenis ini biasa digunakan pada dok dan konstruksi pelabuhan yang mana tekanan tanah pasif pada dinding memerlukan nilai yang cukup besar.

Dengan kemajuan teknologi komputer seperti sekarang, permasalahan konstruksi diatas dapat diselesaikan dengan bantuan software atau program. Dalam skripsi ini, permasalahan tersebut akan disimulasikan dengan program plaxis ver.8. Plaxis adalah sebuah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana permodelan tanah digunakan untuk mensimulasi perilaku tanah. Dengan kata lain, dengan program plaxis, keadaan yang terjadi di lapangan dapat disimulasikan.

## **1.2. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah**

Pembahasan masalah pada skripsi ini adalah suatu studi perbandingan mengenai dinding penahan tanah turap berangkur pada suatu basement gedung bertingkat. Adapun yang dibandingkan adalah dinding turap bentuk memanjang (plane strain), dengan bentuk melingkar (axisymmetric). Sedangkan variasi data yang akan digunakan adalah variasi bentuk, tanah, dan material yang digunakan. Metode analisisnya menggunakan metode elemen hingga yang direpresentasikan dengan menggunakan program plaxis.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui perilaku galian yang berbentuk plane strain dan axisymmetry dengan lateral support menggunakan angkur tanah dengan cara membandingkan kedua bentuk tersebut dengan memvariasikan bentuk geometri galian, material struktur, dan parameter tanah yang digunakan.

## **1.4 Sistematika Penulisan**

Adapun hal-hal yang akan dibahas dalam skripsi ini terdiri dari :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, tujuan penulisan, ruang lingkup dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori-teori dasar yang menjelaskan tentang apa yang akan dibahas dalam skripsi ini.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang cara menyelesaikan masalah yang dibahas dalam skripsi ini, yaitu dengan simulasi program

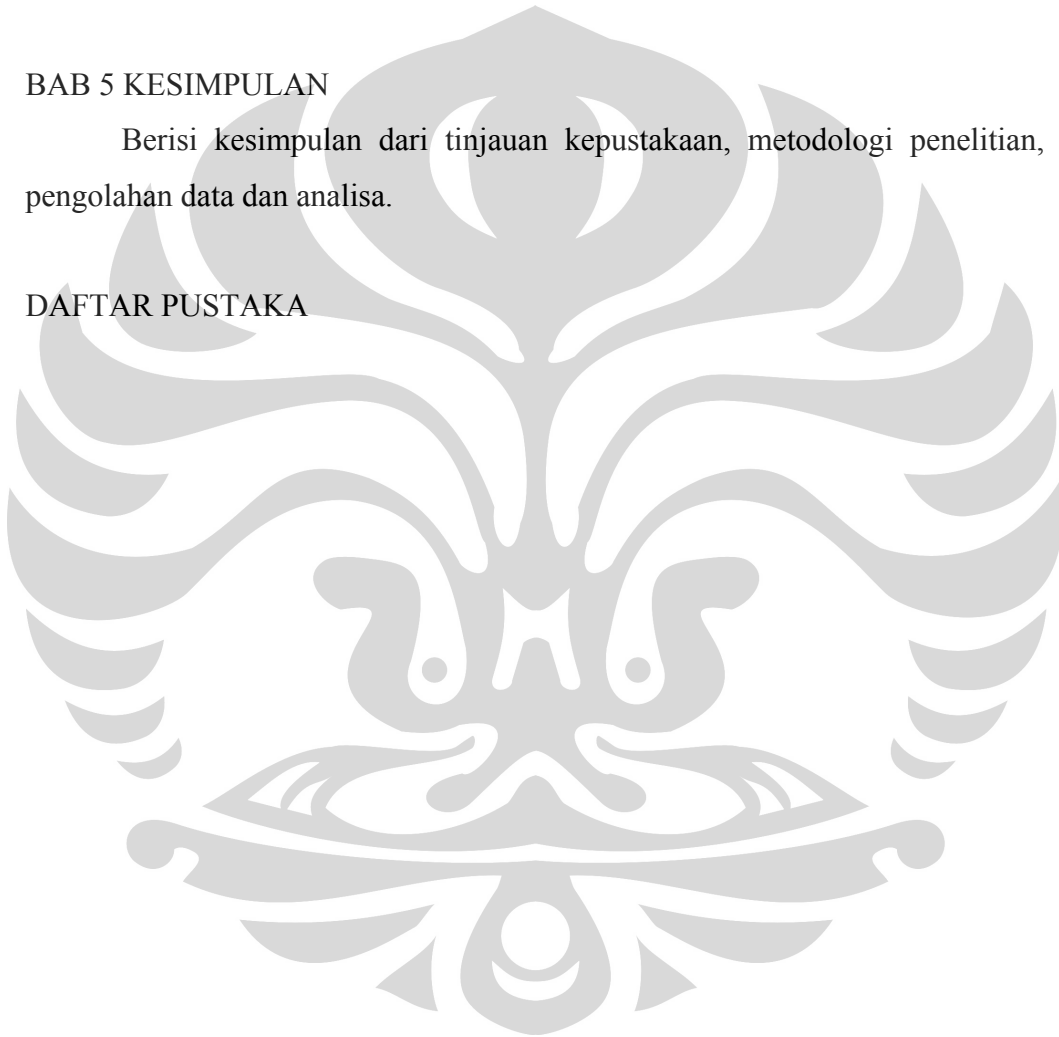
### BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Berisi tentang pengolahan data dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan menganalisa hasilnya

### BAB 5 KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari tinjauan kepustakaan, metodologi penelitian, serta pengolahan data dan analisa.

### DAFTAR PUSTAKA



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Untuk memberikan pembaca pengetahuan dasar tentang dinding penahan tanah serta sistem lateral support yang digunakan, yaitu berupa angkur tanah, maka pada bab ini akan dibahas beberapa penjelasan dan teori-teori yang berkenaan dengan penulisan skripsi ini. Dasar teori yang akan dijelaskan pada penulisan skripsi ini adalah meliputi, tanah lempung, dinding penahan tanah, tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah, angkur tanah, Dinding penahan tanah berangkur, dan mengenai software plaxis.

#### **2.2 Tanah Lempung**

##### **2.2.1 Parameter Kekuatan Geser Lempung**

Bagi insinyur Sipil, tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya., yang terbentuk karena pelapukan batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Secara fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air, dan gletser, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan. Sedangkan secara kimiawi, akan menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam / alkali, oksigen, dan karbondioksida.

Suatu tanah kohesif dapat didefinisikan sebagai kumpulan partikel mineral yang mempunyai indeks plastisitas sesuai dengan batas Atterberg yang pada waktu mengering membentuk suatu massa yang bersatu sedemikian rupa sehingga diperlukan gaya untuk memisahkan setiap butiran mikroskopisnya. Campuran yang diperlukan untuk membuat suatu deposit tanah menjadi bersifat kohesif adalah mineral lempung. Besarnya kohesi tergantung pada ukuran relative dan jumlah berbagai butiran tanah dan bahan mineral lempung yang ada. Pada umumnya apabila lebih dari 50% dari deposit mengandung partikel-partikel berukuran 0,002 mm dan lebih kecil, deposit tersebut disebut lempung. Dengan persentase relatif ini, partikel-partikel tanah yang lebih besar akan terlarut dalam matriks tanah berbutir halus. Apabila 80 – 90% dari bahan deposit tersebut lebih kecil dari saringan No.200

(0,075mm), cukup 5 – 10 % lempung yang ada telah menyebabkan tanah tersebut kohesif.

Deskripsi lengkap tentang struktur tanah kohesif berbutir halus memerlukan pengetahuan mengenai gaya antar partikel maupun susunan geometric, atau tekstur dari partikel tersebut. Hampir tidak mungkin mengukur gaya antar partikel yang meingkungi partikel-partikel lempung secara langsung. Maka tekstur lempung tadi akan merupakan focus utama dalam studi-studi mengenai tanah kohesif.

Studi-studi terakhir mengenai tanah lempung dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM) memperlihatkan bahwa masing-masing partikel lempung berkelompok atau berflokulasi bersama didalam suatu satuan tekstur submikroskopik yang disebut *domain*. Hal ini ditunjukkan oleh sejumlah peneliti (Collins dan McGown, 1974; Young dan Sheeran, 1973). Domain-domain tadi kemudian berkelompok lagi membentuk kelompok yang juga submikroskopik yang disebut *cluster*. Pengelompokkan ini terjadi karena adanya gaya antarpartikel yang bekerja pada satuan-satuan dasar yang kecil tadi. Cluster berkelompok lagi membentuk *ped* yang berukuran mikroskopik. Istilah-istilah non ilmiah untuk ped ini antara lain adalah “agregasi” tanah dan “partikel-partikel kecil” tanah. Ped dan ciri-ciri mikrostruktural lainnya seperti *kekar* dan *urat (fissure)*. Membentuk struktur tanah bertekstur-makro. Konsistensi tanah lempung mempunyai nilai SPT dalam kisaran N yang bervariasi, tergantung dengan banyaknya air yang terkandung didalamnya dan dengan daya dukung ultimate yang ditunjukkan pada table 2.1 dan 2.2 berikut :

Tabel 2.1 Nilai SPT tanah lempung

Tanah Kohesif					
Penetrasi (N)	< 4	4-6	6-15	16-25	> 25
Berat isi (KN/m <sup>3</sup> )	14-18	16-18	16-18	16-18	> 20
Konsistensi	Sangat lunak	Lunak	Sedang	Kenyal	keras

Tabel 2.2 Konsistensi tanah lempung

Konsistensi tanah	Kekuatan tak terdrainasi (KN/m <sup>2</sup> )
Sangat kaku / keras	> 150
Kaku (stiff)	100 – 150
Teguh sampai kaku	75 – 100
Teguh	50 – 75
Lunak sampai teguh	40 – 50
Lunak	20 – 40
Sangat lunak	< 20

Selain hal-hal diatas, ada satu lagi yang perlu diperhatikan mengenai tanah lempung, yaitu mengenai parameter-parameter kekuatan gesernya. Hal ini menjadi persoalan yang sangat krusial sebab pembangunan dinding penahan tanah kerap kali menimbulkan keruntuhan yang dipicu oleh beban-beban, terutama alat-alat berat, yang ada disekitar galian. Untuk itu perlu dipahami mengenai beberapa hal yang mempengaruhi kekuatan geser pada tanah lempung. Hal-hal tersebut adalah :

#### **Kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ )**

Dua parameter ini adalah yang paling utama dalam penentu besar kecilnya nilai kekuatan geser suatu tanah. Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coloumb (sekitar 1773), sebagai :

$$s = c + v\sigma \quad (2.1)$$

Dimana : s = kuat geser pada bidang yang ditinjau

c = Kohesi atau pengaruh tarikan antar partikel

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang yang ditinjau

v = Koefisien friksi antara bahan-bahan yang bersentuhan

Persamaan (2.1) merupakan superposisi dari kohesi dan tahanan friksi, dan dengan melihat gambar 2.1, kita dapatkan  $v = \tan \phi$ . Apabila tegangan efektif  $\sigma'$  dipakai untuk  $\sigma$ , kita peroleh

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.2)$$



Dari rumus-rumus diatas dapat kita ketahui bahwa kuat geser tidak tergantung pada tekanan pori, sehingga  $s$  tidak kita utamakan. Jelas bahwa  $\phi$  dan  $c$  akan tergantung pada apakah kita memakai persamaan (2.1) atau (2.2). Sudut  $\phi$  disebut sudut geser dalam (angle of internal friction). Sudut geser dalam ini tidak hanya tergantung pada geseran dalam antara butiran dan partikel, tetapi bergantung juga pada voids ratio (rasio pori) atau density (berat jenis) dari tanah tersebut.  $\phi$  tidak sama dengan  $\phi'$ . Kita harus berhati-hati dalam menentukan apakah parameter kekuatan yang kita pakai merupakan parameter kekuatan total ( pers.2.1), atau parameter kekuatan efektif (pers.2.2).

Kekuatan geser juga dapat dinyatakan dalam tegangan utama besar  $\sigma_1$  dan kecil  $\sigma_3$  pada keadaan runtuh titik yang ditinjau. Kriteria keruntuhan yang digunakan adalah Mohr-Coloumb dengan persamaan sebagai berikut :

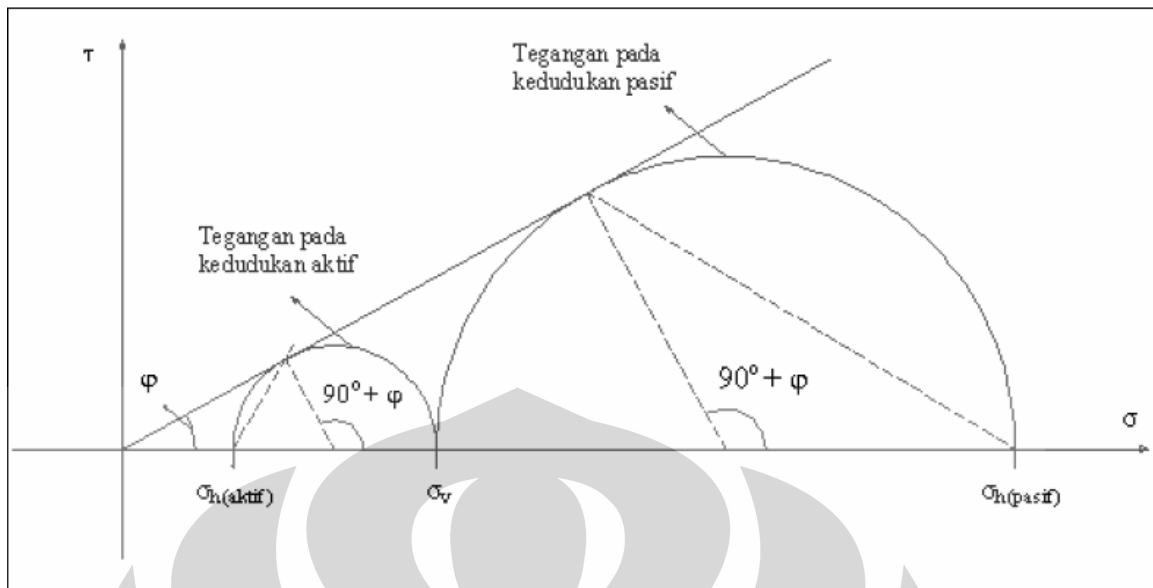
$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi + 2c \cos \phi \quad (2.3)$$

Atau

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.4)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.5)$$

Kriteria Mohr-Coloumb berasumsi bahwa bila sejumlah keadaan tegangan diketahui, dimana masing-masing menghasilkan keruntuhan geser pada tanah, sebuah garis singgung akan dapat digambarkan pada lingkaran Mohr (gambar 2.1) yang dinamakan selubung keruntuhan. Keadaan tegangan tidak mungkin berada diatas selubung keruntuhannya.



**Gambar 2.1** Selubung keruntuhan pada lingkaran Mohr

### Rasio Poisson

Rasio Poisson adalah sifat material elastis yang didefinisikan sebagai :

$$\mu = \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} \quad (2.6)$$

Dimana :  $\varepsilon_1$  = regangan yang kolinear dengan tegangan yang ditinjau

$\varepsilon_2$  = regangan yang ortogonal dengan tegangan yang ditinjau

Rasio Poisson sering dianggap sebesar 0,2 sampai 0,4 dalam pekerjaan-pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh, dan 0,0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. Nilai  $> 0,5$  menunjukkan perilaku plastis dari suatu bahan elastis dan terjadi pada tingkat regangan yang relative rendah. Angka Poisson bukanlah suatu konstanta untuk tanah tetapi tergantung pada tingkat tegangan.

### Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas digunakan untuk menentukan modulus geser menurut persamaan :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.7)$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.8)$$

Nilai E berbeda pada setiap jenis tanah. Modulus elastisitas untuk pasir cenderung lebih besar daripada lempung. Semakin lunak tanahnya, maka semakin kecil nilai modulus elastisitasnya.

### Berat isi tanah ( $\gamma$ )

Berat isi tanah adalah perbandingan antara berat total dan volume total.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{Mg}{V} \quad (2.9)$$

Berat isi tanah hanya tergantung pada berat masing-masing butiran tanah, jumlah total partikel tanah yang ada, dan jumlah air yang ada didalam rongga. Perlu diingat bahwa berat isi hanya dapat berubah dengan berubahnya angka pori dan atau kadar air dari massa tanah ( karena  $G_s$  biasanya selalu konstan untuk massa tanah tertentu). Dengan kata lain, berat isi adalah suatu vektor yang harus mengikutsertakan angka pori dan kadar air dalam deskripsinya.

Berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) adalah berat yang dihasilkan ketika semua rongga tanah terisi air. Dalam keadaan ini tanah disebut sebagai keadaan jenuh sempurna, dan partikel tanah padat mendapat tekanan keatas ( $\gamma_w$ ) akibat air sehingga menghasilkan berat isi apung :

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2.10)$$

### Kondisi tanah drained (teraliri) dan undrained (tak teraliri)

Tanah drained adalah tanah dalam kondisi dimana air pori didalam tanah tidak ikut menahan tekanan tanah berlebih karena air pori telah berdisipasi sempurna sehingga seluruh tekanan tanah berlebih sepenuhnya ditopang oleh kerangka tanah. Sedangkan tanah undrained adalah tanah dalam kondisi dimana air pori didalam

tanah ikut menahan tekanan tanah berlebih akibat permeabilitas tanah yang rendah seperti pada tanah lempung.

Parameter tanah drained biasanya digunakan pada perhitungan tanah pasir karena permeabilitasnya tinggi, sedangkan lempung dengan permeabilitas yang rendah biasanya menggunakan parameter tanah undrained. Namun dalam beberapa kasus pekerjaan unloading (galian) yang memakan waktu lama, parameter yang digunakan adalah drained karena kondisi kritis diakhir pekerjaan adalah tanah telah berdisipasi sempurna. Dalam kasus ini, terluar beresiko jika mengaplikasikan parameter tanah undrained, kecuali jika pekerjaannya tergolong pekerjaan cepat.

### 2.2.2 Mineral Lempung

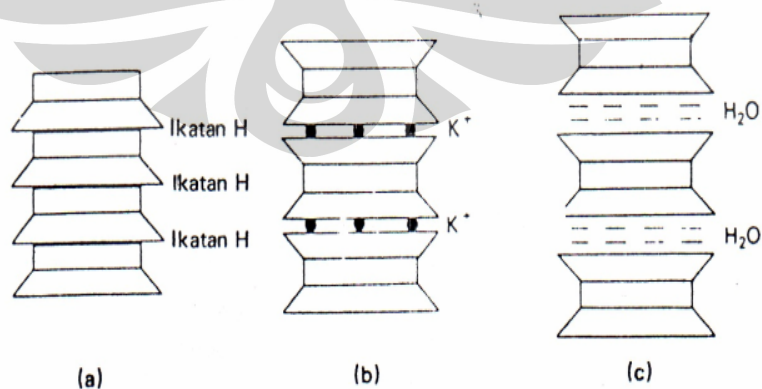
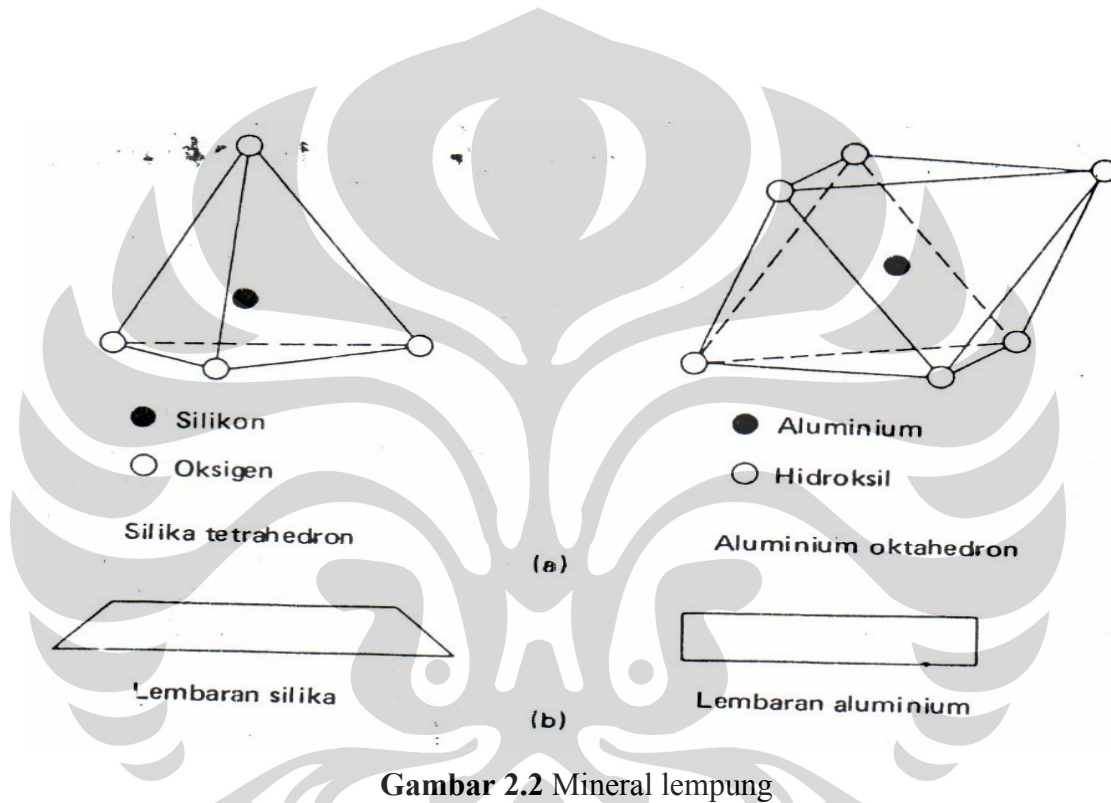
Mineral lempung didominasi oleh silikat aluminium dan atau besi dan magnesium. Beberapa diantaranya juga mengandung alkali dan atau tanah alkalin sebagai komponen dasarnya. Mineral-mineral ini terutama terdiri dari kristalin dimana atom-atom yang membentuknya tersusun dalam suatu pola geometric tertentu. Sebagian besar mineral lempung mempunyai struktur berlapis. Beberapa diantaranya mempunyai bentuk silinder memanjang atau struktur yang berserat.

Mineral lempung berukuran sangat kecil (kurang dari 2  $\mu\text{m}$ ) dan merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop electron. Walaupun berukuran kecil, mineral lempung telah dipelajari dengan cukup mendalam (Grimm, 1968 ; Mitchell, 1976) karena kepentingan ekonomisnya, terutama dalam keramik, pembentukan logam, dan dalam mekanika tanah. Mineral lempung menunjukkan karakteristik daya tarik-menarik yang dengan air dan menghasilkan plastisitas yang tidak ditunjukkan oleh material lain walaupun mungkin material itu berukuran lempung atau lebih kecil.

Terdapat dua blok bangunan fundamental untuk struktur mineral lempung. Salah satu diantaranya adalah dengan satuan silica, dimana empat oksigen membentuk puncak-puncak tetrahedron dan mengelilingi sebuah atom silicon, menghasilkan suatu satuan setinggi 4,6 Å. Satuan lainnya adalah suatu satuan dimana sebuah atom aluminium atau magnesium (dan kadang-kadang Fe, Ti, Ni, Cr, atau Li) dikelilingi oleh enam hidroksil yang membentuk konfigurasi octahedron dengan tinggi sekitar 5,05 Å. Semua kombinasi yang mungkin dari satuan-satuan dasar ini

dalam membentuk mineral lempung akan menghasilkan muatan negative netto pada permukaan luar cluster. Maka larutan tanah dan air akan mempunyai reaksi alkalin ( $\text{pH} > 7$ ), kecuali tanah tersebut telah terkontaminasi dengan substansi asam.

Sumber utama mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung : Felspar Ortoklas, Felspar Plagioklas, dan Mika (muskovit) yang kesemuanya dapat disebut *silikat aluminium kompleks*.



**Gambar 2.3 Ikatan kimiawi pada mineral lempung**

### 2.3 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (retaining walls) adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan stabilitas tanah.

Berdasarkan cara untuk mencapai stabilitasnya, Dinding penahan tanah dibagi menjadi 7 jenis. Yaitu :

1. Dinding gravitasi. Dinding yang mengandalkan beratnya untuk mencapai kestabilan tanah.
2. Dinding kantilever. Dinding beton bertulang yang menggunakan aksi dari bagian kantilever dindingnya untuk menahan massa tanah yang berada berada dibelakang dinding
3. Dinding pertebalan belakang (counterfort retaining wall). Mirip denga dinding katilever hanya saja memiliki bagian dinding kantilever yang cukup panjang untuk menahan tekanan yang sangat tinggi dibelakang dinding dan juga memiliki pertebalan pada bagian belakang dinding.
4. Dinding pertebalan depan (buttressed retaining wall). Mirip dengan dinding pertebalan belakang, hanya saja petebalannya berada disebelah depan.
5. Dinding kisi (crib walls). Dinding yang dibangun dari potongan-potongan beton precast, logam, atau kayu, dan topang oleh ankur-angkr yang ditanak didalam tanah untuk mencapai kestabilan tanah.
6. Dinding semi gravitasi. Dinding yang terletak antara sebuah dinding gravitasi dan dinding kantilever.
7. Tumpuan jembatan (bridge abutment). Dinding dengan perluasan dinding tumpuan (wing wall) untuk menahan urugan jalan masuk (approach fill) dan juga menahan erosi.

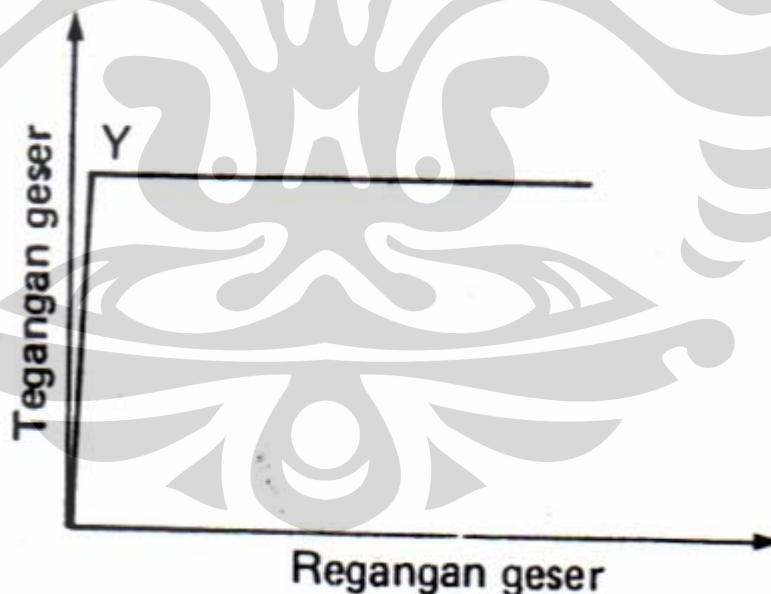
Dalam skripsi ini digunakan permodelan dinding penahan tanah berupa sheet pile atau turap yang disupport oleh ankur tanah. Dinding turap berangkur cocok untuk menahan tebing galian yang dalam, tetapi masih bergantung pada kondisi tanah. Dinding turap ini menahan bebanlateral dengan mengandalkan tahanan tanah pada bagian turap yang terpancang ke dalam tanah dengan dibantu oleh ankur yang dipasang pada bagian atasnya. Kedalaman turap enembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah. Untuk didnding turap yang tinggi, diperlukan turap baja

dengan kekuatan tinggi. Stabilitas dan tegangan-tegangan pada turap yang diangkur tergantung pada banyak faktor, misalnya : kekuatan relatif bahan turap, kedalaman penetrasi turap, kemudah-mampatan tanah, kuat geser tanah, keluluhan angkur, dan lain-lain.

#### 2.4 Tekanan Tanah Lateral pada Dinding Penahan Tanah

Pada prinsipnya, tanah selalu memberikan tekanan lateral kepada bangunan yang ada disebelahnya. Analisis eksak masalah tekanan tanah jarang sekali dilakukan. Tetapi, kondisi keruntuhan massa tanah yang ditahan merupakan tinjauan utama dan dalam konteks ini, kita tidak perlu memperhatikan perpindahan sehingga memungkinkan kita menggunakan konsep keruntuhan plastis (plastic collapse). Masalah tekanan tanah dapat dianggap sebagai masalah plastisitas.

Idealisasi perilaku tanah yang berhubungan dengan tegangan dan regangan tanah sebelum dan sesudah mengalami leleh (yielding) dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.4** Hubungan tegangan-regangan

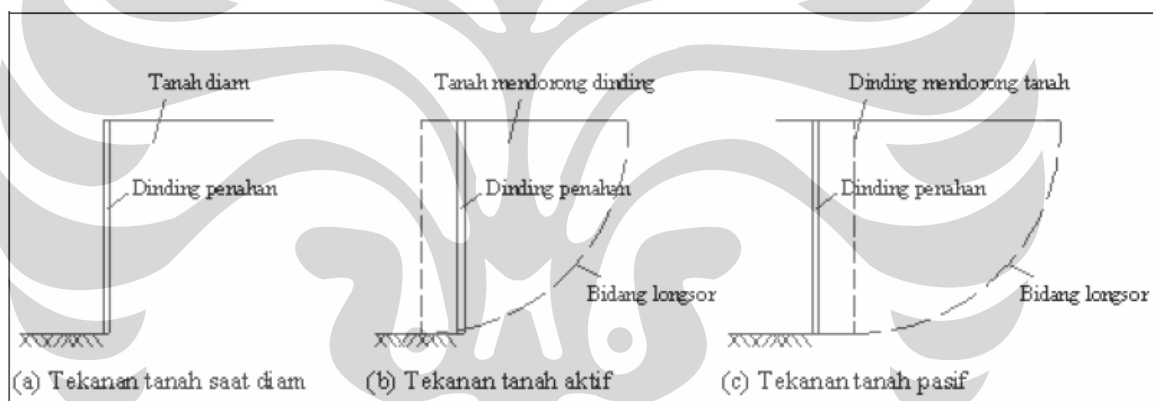
Dari gambar diatas terlihat bahwa setelah mengalami leleh, tanah berperilaku seperti material plastis sempurna dengan regangan plastis tak-terbatas terjadi pada suatu tegangan konstan, dengan kata lain, regangan-regangan setelah keadaan leleh

bersifat plastis sepenuhnya. Penggunaan hubungan ini menunjukkan bahwa leleh dan keruntuhan geser terjadi pada keadaan tegangan yang sama. Suatu tanah dikatakan berada dalam keseimbangan plastis jika tegangan geser pada setiap titik pada tanah tersebut mencapai keadaan tegangan yang diwakili oleh titik Y.

Keruntuhan plastis terjadi setelah tercapai kesetimbangan plastis pada sebagian tanah, yang menghasilkan pembentukannya mekanisme yang tidak stabil dimana sebagian tanah akan tergelincir relatif terhadap tanah-tanah yang tersisa. Sistem beban yang bekerja, termasuk gaya-gaya yang bekerja pada tanah, dalam hal ini disebut beban runtuh.

### Tekanan tanah saat diam, aktif, dan pasif

Ditinjau suatu dinding penahan tanah dengan permukaan tanah mendatar seperti pada gambar berikut :



**Gambar 2.5** Tekanan tanah lateral

Mula-mula dinding dan tanah urug dibelakangnya pada kondisi diam, sehingga tanah pada kedudukan ini masih dalam kondisi elastis. Pada posisi ini tekanan tanah pada dinding akan berupa tekanan tanah saat diam (gambar 2.5a) dan tekanan lateral pada dinding, pada kedalaman tertentu ( $z$ ), dinyatakan oleh persamaan :

$$\sigma_h = K_0 \sigma_v = K_0 z \gamma \quad 2.11$$

Dengan :  $K_0$  = Koefisien tekanan tanah saat diam

$\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )



Jika kemudian dinding penahan tanah bergeser menjauhi timbunannya (gambar 2.5b) dan jika gerakan ini diikuti oleh gerakan tanah dibelakang dinding, maka tekanan tanah lateral pada dinding akan berangsur-angsur berkurang yang diikuti dengan berkembangnya tahanan geser secara penuh. Pada suatu saat, gerakan dinding selanjutnya mengakibatkan terjadinya keruntuhan geser tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi konstan pada tekanan minimumnya. Tekanan tanah lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya disebut tekanan tanah aktif. Jika tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) di titik tertentu didalam tanah dinyatakan oleh  $\sigma_v = \gamma \cdot z$ , maka tekanan tanah lateral pada saat runtuh adalah :

$$\sigma_v = K_a \cdot \sigma_v = K_a \cdot \gamma \cdot z \quad 2.12$$

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada gambar 2.1, dapat ditentukan bahwa :

$$K_a = \frac{\sigma_{h(aktif)}}{\sigma_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad 2.13$$

Pada kondisi keseimbangan limit aktif ini tegangan utama minor  $\sigma_3 = \sigma_h$  dan tegangan utama mayor  $\sigma_1 = \sigma_v$ .

Sebaliknya, jika regangan lateral yang terjadi pada kondisi tekan, yaitu bila tanah tertekan sebagai akibat dinding penahan mendorong tanah (gambar 2.5c), maka gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan kontraksi tanah secara lateral sangat lebih besar daripada besarnya tekanan tanah yang menekan ke dinding. Besarnya gaya ini bertambah dengan bertambahnya regangan dalam tanah seiring dengan bergesernya dinding, hingga sampai suatu regangan tertentu, tanah mengalami keruntuhan geser akibat desakan dinding penahan, saat mana gaya lateral tanah mencapai nilai yang konstan, yaitu pada nilai maksimumnya. Tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah urug, disebut tekanan tanah pasif. Tekanan tanah lateral seperti ini pada saat runtuh adalah :

$$\sigma_v = K_p \cdot \sigma_v = K_p \cdot \gamma \cdot z \quad 2.14$$

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada gambar 2.1, dapat ditentukan bahwa :

$$K_p = \frac{\sigma_{h(pasif)}}{\sigma_v} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad 2.15$$

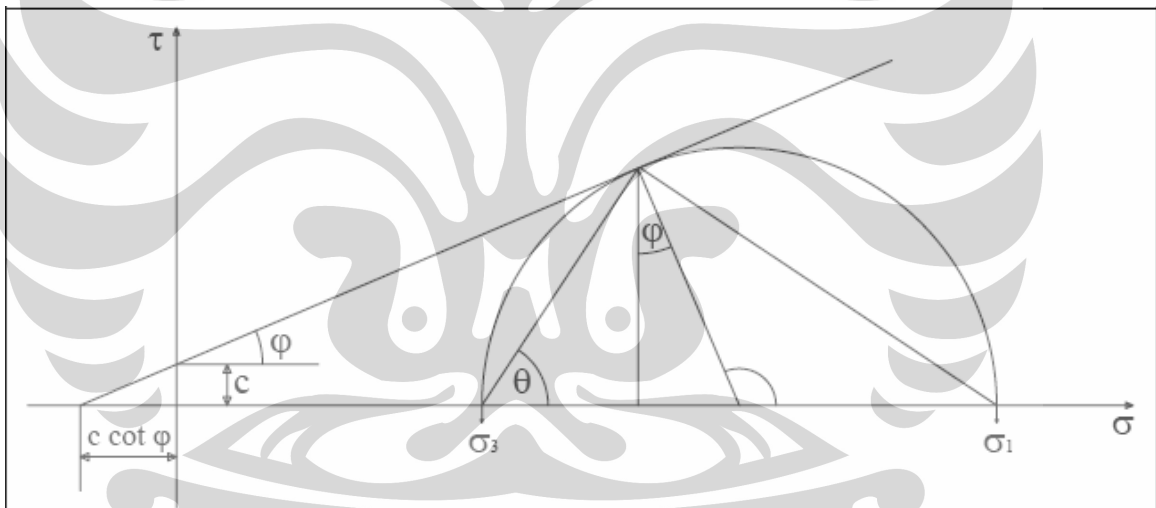
Pada kondisi keseimbangan limit aktif ini tegangan utama minor  $\sigma_3 = \sigma_{v(pasif)}$  dan tegangan utama mayor  $\sigma_1 = \sigma_{h(pasif)}$

Dari persamaan-persamaan (2.13) dan (2.15), maka didapat persamaan :

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad 2.16$$

Jadi untuk tekanan vertikal tertentu, tekanan tanah lateral hanya akan terdapat diantara dua nilai batas  $K_a \cdot \sigma_v$  dan  $K_p \cdot \sigma_v$

Apabila kondisi suatu tanah memiliki parameter kohesi ( $c$ ), maka keadaan lingkaran Mohr akan menjadi seperti gambar 2.6



**Gambar 2.6** Tekanan tanah lateral pada lingkaran Mohr

Pada dasarnya rumus Rankine diturunkan dengan mengasumsikan  $c = 0$  tetapi penurunan umum dengan  $c$  lebih besar dari nol diberikan di bawah ini.

$$\sin \phi = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}{\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cot \phi)}$$

$$\sigma_3(1 + \sin \phi) = \sigma_1(1 - \sin \phi) - 2c \cos \phi$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) - 2c \sqrt{\left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)} \quad 2.17$$

Seperti telah ditetapkan,  $\sigma_1$  adalah tekanan overburden pada kedalaman  $z$ , yaitu :

$$\sigma_1 = \gamma \cdot z$$

Tegangan horizontal untuk kondisi seperti diatas didefinisikan sebagai tekanan aktif(Pa), yaitu tekanan akibat berat sendiri tanah. Jika

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

didefinisikan sebagai koefisien tekanan aktif, maka persamaan (2.17) dapat ditulis sebagai :

$$P_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a} \quad 2.18$$

Nilai maksimum  $\sigma_1$  dicapai apabila lingkaran Mohr melalui titik yang menyatakan nilai  $\sigma_3$  menyinggung selubung keruntuhan tanah. Pada kasus ini, tegangan horizontal didefinisikan sebagai tekanan pasif ( $P_p$ ) yang menyatakan tahanan maksimum tanah terhadap kompresi lateral. Persamaan (2.17) menjadi :

$$\sigma_1 = \sigma_3 \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) + 2c \sqrt{\left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)} \quad 2.19$$

Jika,

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

didefinisikan sebagai tekanan pasif, persamaan (2.19) menjadi :

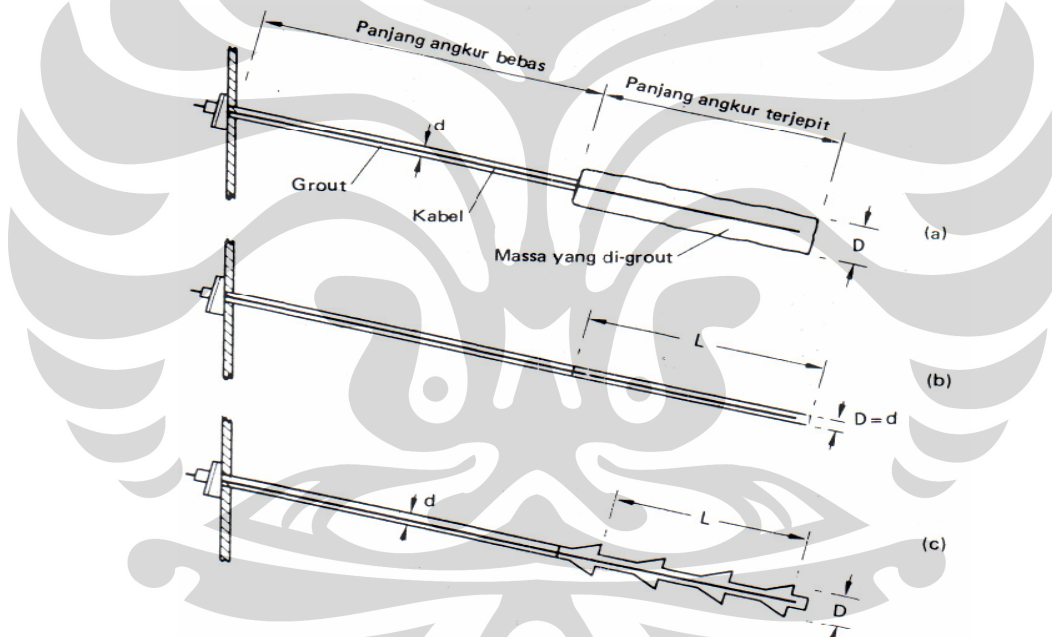
$$P_p = K_p \gamma z - 2c \sqrt{K_p} \quad 2.20$$

## 2.5 Angkur Tanah

Angkur tanah adalah bagian dari struktur yang memiliki sifat tarik yang menghubungkan struktur ke tanah dibawah atau disekitarnya dengan tujuan untuk memberikan tahanan positif. Jadi, angkur tanah merupakan suatu konstruksi pondasi yang sifatnya menahan gaya tarik dengan memanfaatkan daya lekat dan gaya geser tanah serta sifat elastisitas material baja yang menahan gaya tarik. Tanahh tempat

pengankuran haruslah berada diluas selubung keruntuhan dan memiliki nilai N SPT lebih besar dari 10. Tahanan geser antara bahan grouting dengan tanah harus lebih besar atau hampir sama dengan tahanan lekat ultimate yang diberikan oleh *grouted rods/tendons*. (Wilson 1973).

Sebuah ankur tanah lazimnya terdiri dari sebuah kabel atau batang baja bermutu tinggi yang disebut tendon, dimana salah satu ujungnya ditanamkan dengan kuat pada suatu massa adukan semen atau tanah yang diberi adukan semen (di grout), dan ujung yang lain diangkurkan pada sebuah pelat dudukan (bearing plate) pada unit struktur yang disangga. Pada dinding diafragma, ankur tanah di gunakan untuk mereduksi pergeseran lateral yang berlebihan dari dinding akibat tekanan tanah aktif di sisi luar dinding tersebut.



**Gambar 2.7** Angkur tanah : (a) massa yang di-grout yang dibentuk dengan suntikkan tekanan, (b) silinder adukan semen, (c) ankur dengan pelebaran ujung majemuk

Bagian-bagian yang membuat system ankur tanah, adalah :

1. Bond length (panjang terlekat/terikat). Terdiri dari :
  - Rangkaian sekelompok strands atau prestressing bar

- Centralizer
- Spreader Rings
- Corrugated Sheathing (untuk permanent anchor)
- Grout tube
- Cement Grout

2. Free Length (Panjang Bebas), terdiri dari :

- Strands/Bar + Grease
- Smooth seathing dengan diameter dalam = diameter strand/bar
- Centralizer
- Grout tube
- Inflatable packer (Opsional)
- Cement Grout (Opsional)

3. Anchor Head (Kepala Angkur), terdiri dari :

- Anchor Block + plate
- Jaws

Secara umum, dikenal ada dua macam angkur tanah berdasarkan lamanya angkur tanah direncanakan untuk dipakai, yaitu :

1. Angkur permanen : Memberikan tahanan yang permanent terhadap struktur. Dikatakan permanen jika memiliki jangkauan pemakaian yang lebih dari 2 tahun. Angkur permanent harus dilindungi dengan proteksi korosi. Tendon diminyaki dan dilapisi dengan polythene di pabrik. Di lapangan, tendon tersebut dilepas dan minyaknya dikeringkan.

2. Angkur Sementara : Memberikan tahanan sementara pada struktur yaitu hanya selama masa konstruksi. Angkur ini didisain untuk berfungsi efektif dalam kurun waktu maksimal 2 tahun. Setelah itu, angkur menjadi redundan. Untuk angkur ini, tendon diminyaki dan dibungkus dengan pita plastic pada seluruh panjang bebasnya.

## **2.6 Dinding Penahan Tanah Berangkur**

### **2.6.1 Fungsi Angkur pada Dinding Penahan Tanah**

Ketika ketinggian tanah penggalian dibelakang dinding melebihi enam meter, sangat ekonomis untuk mengikat dinding penahan tanah tersebut dengan angkur tanah. Angkur tanah dapat meminimalkan kedalaman yang dibutuhkan untuk berpenetrasi kedalam tanah, dan dapat memperkecil dimensi penampang dinding dan berat sendiri dinding, karena angkur tanah tersebut memiliki gaya yang dapat meminimalkan defleksi lateral yang terjadi pada dinding.

Beberapa fungsi lain angkur pada dinding penahan tanah adalah sbb :

1. Meningkatkan stabilitas terhadap gaya vertical.

Angkur tanah mengimbangi gaya yang terjadi akibat tekanan tanah, tekanan air tanah, maupun beban-beban disekitarnya.

2. Meningkatkan stabilitas terhadap bahaya guling atau gaya horizontal

Ditentukan oleh perbandingan momen yang melawan guling dengan momen-momen yang bekerja (misalnya : akibat gempa, tekanan air tanah, tekanan tanah aktif). Momen lawan guling sangat dipengaruhi oleh berat dan letak titik berat bangunan terhadap ujung dasar struktur.

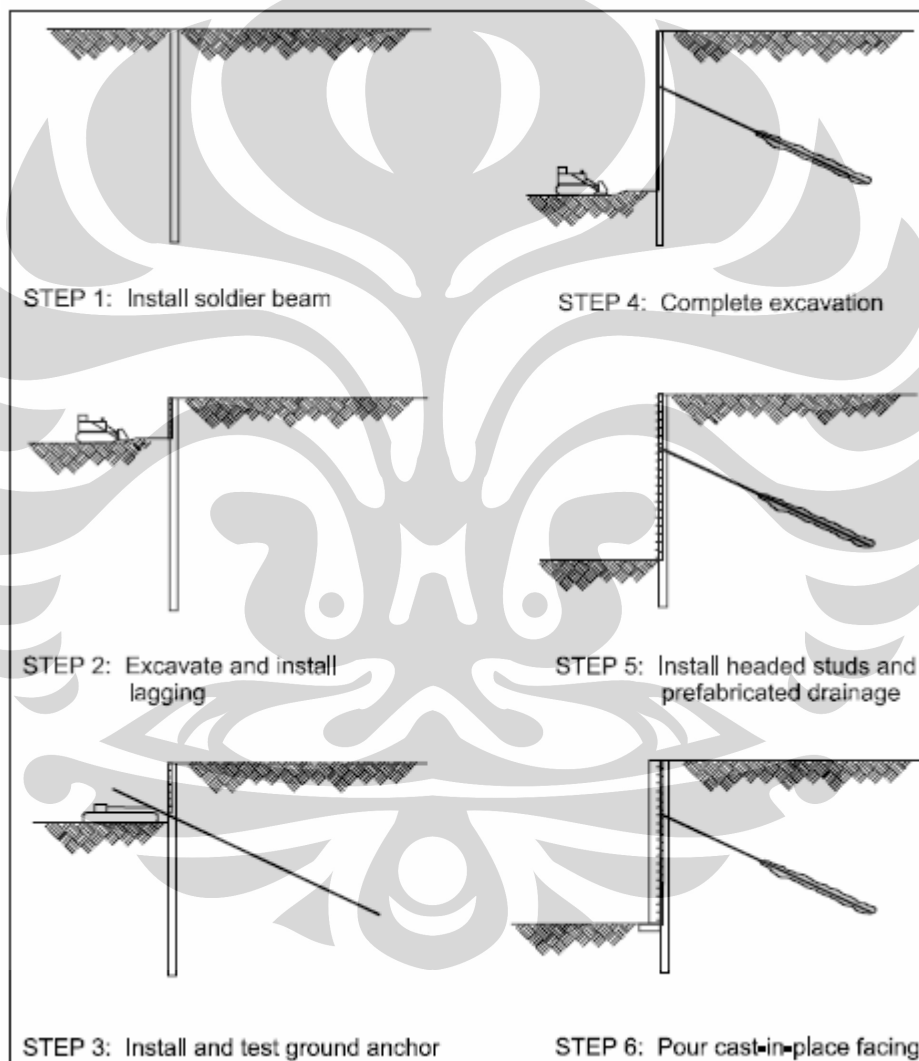
3. Meningkatkan stabilitas terhadap longsor

Longsor adalah kejadian dimana terjadi pergerakan massa tanah akibat gaya geser yang terlalu besar pada bidang kritis. Stabilitas terhadap bahaya longsor tergantung pada tekanan tanah pasif yang bekerja pada struktur. Sistem pengankuran dengan gaya prategang digunakan untuk meningkatkan stabilitas

struktur yang pelaksanaannya disesuaikan dengan perkiraan bidang longsor. Atau bidang keruntuhan yang terjadi.

### 2.6.2 Langkah-Langkah Pemasangan Angkur Tanah

Pemasangan angkur tanah pada dinding penahan tanah memiliki dua tujuan, yaitu tujuan permanen dan tujuan sementara. Berikut adalah beberapa langkah dalam memasang angkur tanah pada sebuah dinding penahan tanah.

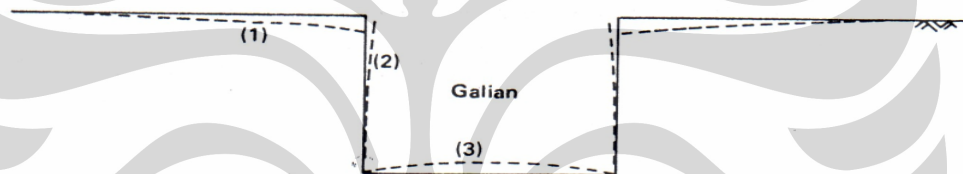


**Gambar 2.8** Langkah-langkah pemasangan angkur tanah

### 2.6.3 Perilaku Dinding Penahan Tanah dengan Angkur Tanah

Perilaku mekanik dinding penahan tanah dengan angkur tanah bergantung pada perilaku dari penggalian. Penggalian menimbulkan perubahan tiga dimensi pada tegangan di tanah dan menghasilkan pergerakan tanah yang sangat sulit diprediksi. Lambe memberikan langkah-langkah untuk memprediksi masalah-masalah yang timbul akibat penggalian.

Gerakan tanah yang harus diperhatikan akibat penggalian adalah penurunan permukaan tanah didekat lubang galian, gerakan lateral penyangga-penyangga vertikal, dan tonjolan (heave) pada dasar galian. Dalam skala besar, gerakan-gerakan ini tidak saling tergantung karena merupakan hasil dari regangan pada massa tanah akibat pelepasan tegangan ketika dilakukan penggalian.



**Gambar 2.9** Gerakan tanah akibat galian

Ketika system pengankuran dilakukan, asumsi disain dipakai untuk tercapainya keseimbangan antara tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding dengan gaya horizontal yang terjadi akibat angkur tanah. Maka, perubahan tekanan lateral yang terjadi akibat penggalian diimbangi dengan gaya angkur tersebut, tapi perubahan tekanan vertical yang terjadi tidak diimbangi. Tanah dan system dinding penahan akan berdeformasi dengan perilaku yang kompleks, dan ini tergantung pada fleksibilitas dan kemampuan leleh dari dinding, angkur tanah, dan tanahnya sendiri.

Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan selama pendisainan dan analisis menyangkut dinding penahan tanah dengan angkur. Beberapa pakar yang dimulai oleh Storey (1935) telah melakukan *laboratory scale test* terhadap dinding sheet pile yang ditahan dengan satu baris angkur. James dan Jack (1974) melaporkan bahwa dinding dengan multi-angkur dapat mereduksi ketinggian dinding hingga 3 meter daripada tinggi dinding tanpa angkur.



Karena adanya pelepasan tegangan selama penggalian, dinding cenderung bergerak ke arah penggalian dan menyebabkan pengangkatan pada *ground level*. Prestressing pada baris pertama angkur cenderung menarik dinding kembali ke tanah yang berdampingan dan secara efektif mengukuhkan dinding pada titik-titik pengangkuran. Lalu setelah itu, penggalian dilakukan ke level selanjutnya (level ke-2) dari pengangkuran, dinding berotasi disekitar level pertama pengangkuran dan mengalami perpindahan lateral pada level yang baru. Perpindahan lateral ini secara efektif akan tertahan setelah prestressing angkur pada level tersebut. Pada penggalian level-level selanjutnya, perpindahan dinding berada dibawah pengaruh inklinasi dari angkur tanah dan kemampuan dari dasar dinding untuk menanggung komponen vertical dari beban angkur.

Pola perpindahan dinding tanah dengan angkur bergantung pada :

1. Inklinasi dari angkur tanah
2. Penetrasi dari dasar dinding
3. Pendisainan dari asumsi tekanan tanah yang bekerja pada dinding
4. Tekanan beban tambahan
5. Lebar dan kekakuan dinding
6. Geometri angkur tanah, meliputi panjang angkur, kemiringan angkur, dan kekakuan dari angkur.

#### **2.6.4 Kegagalan Angkur pada Dinding Penahan Tanah.**

Ada beberapa kegagalan angkur yang ada pada dinding penahan tanah sehingga mengurangi secara signifikan performance dari dinding penahan tanah yang bersangkutan. Adapun beberapa kegagalannya adalah sebagai berikut :

1. Kegagalan akibat penurunan dari dinding yang disertai pergerakan dalam arah horizontal pada titik angkur yang besarnya tergantung dari sudut pemasangan angkur. Makin kecil sudutnya, makin stabil dinding angkur tersebut.

2. Kegagalan akibat naiknya dasar galian pada tanah kohesif (lempung). Besarnya kenaikan tanah ini tergantung dari besarnya adhesi pada sisi dalam dan sisi luar dinding penahan, sudut pemasangan ankur, dan dalamnya pemasangan dinding.
3. Kegagalan akibat kelongsoran tanah dibelakang dinding penahan tanah. Ini umumnya terjadi pada softclay, dengan bentuk keruntuhan sirkular. Kegagalan ini menyebabkan runtuhnya system secara keseluruhan, kegagalan ini menunjukkan adanya ketidaktepatan perhitungan dalam analisa stabilitas.
4. Kegagalan akibat gagalnya satu atau lebih ankur. Akibat gagalnya suatu ankur, akan terjadi redistribusi pada ankur sekitarnya sehingga akan menimbulkan pembebanan yang tidak merata. Jika ini terjadi, maka dinding penahan tanah akan berotasi. Kegagalan ini akibat *workmanship* yang buruk dilapangan, dimana terjadi lubang bor yang kurang bersih, strand pada bagian bond length yang terlumasi minyak gemuk dari bagian free length.
5. Kegagalan akibat dinding penahan tanah patah. Patahnya dinding penahan tanah ini dapat disebabkan oleh kurang kakunya dinding tersebut atau akibat terlalu jauhnya jarak ankur.

## 2.7 Program Plaxis

Seiring kemajuan zaman dan teknologi, khususnya di bidang struktur, berbagai bentuk struktur yang kompleks dan rumit menuntut adanya suatu terobosan baru dalam bidang analisisnya. Metode eksak yang selama ini digunakan akan sangat sulit diterapkan ke dalam bentuk-bentuk struktur yang semakin rumit tersebut. Hal ini disebabkan karena umumnya penyelesaian eksak hanya dapat diperoleh untuk kasus-kasus yang sederhana. Walaupun diterapkan pada kasus-kasus struktur yang rumit dan kompleks, akan memakan waktu yang lama dan menuntut ketelitian yang amat tinggi.

Oleh karena itu, berbagai usaha dilakukan oleh para pakar teknologi untuk mengembangkan metode numerik yang merupakan pendekatan terhadap solusi eksak dengan tingkat ketelitian sangat tinggi. Metode numerik adalah suatu rekayasa matematik yang mentransformasikan ekspresi mekanika kontinyu (bentuk kalkulus

dan persamaan diferensial) menjadi ekspresi mekanika diskrit (matriks). Aplikasi metode numerik biasanya telah terintegrasi dalam bentuk sebuah software yang dibuat dari bahasa pemrograman komputer. Elemen Hingga adalah salah satu metode numerik yang populer dikembangkan.

Aplikasi metode elemen hingga telah banyak digunakan dalam dunia geoteknik. Metode tersebut diantaranya digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah :

- Interaksi yang timbul antara tanah dan struktur disebelahnya
- Masalah nilai eigen, diantaranya fraksi natural dan mode getar pada kombinasi tanah struktur
- Masalah perambatan, diantaranya konsolidasi aliran pada media deformable porous, interaksi dinamis tanah dan struktur.
- Sifat dari struktur tanah yang sangat heterogen.

Plaxis adalah salah satu program elemen hingga yang telah dikembangkan sejak tahun 1987 oleh Technical University of Delft, sebagai buah dari inisiatif Departemen Pekerjaan Umum dan manajemen keairan kerajaan Belanda.

Awalnya, plaxis ini dikembangkan guna kepentingan mempermudah perhitungan analisis elemen hingga untuk kasus tanggul pada sungai diatas tanah lunak (soft soil), dimana banyak ditemukan didaratan Belanda yang mana daratannya lebih rendah daripada laut. Pada perkembangan berikutnya, penggunaan Plaxis diperluas untuk menyelesaikan masalah-masalah geoteknik yang lain. Akhirnya, pada tahun 1993, resmi berdiri perusahaan bernama Plaxis BV.

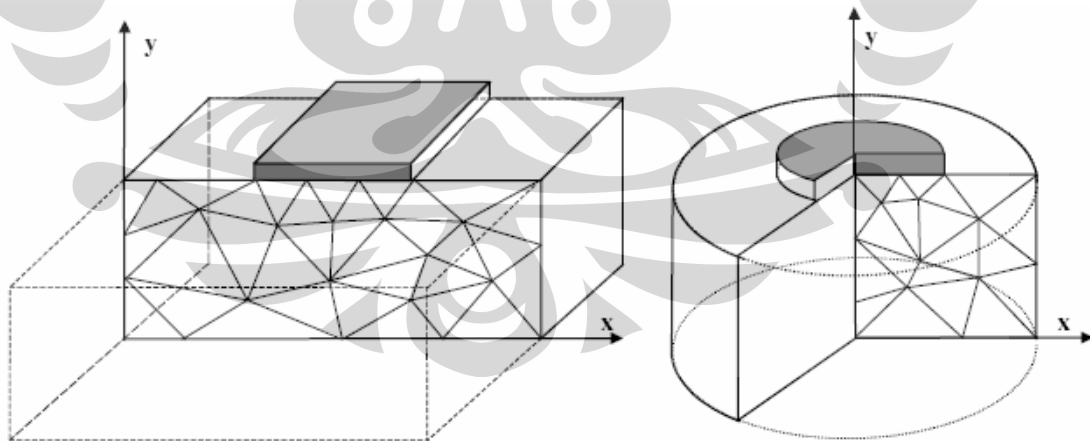
Plaxis secara khusus memungkinkan analisa stabilitas dan deformasi pada berbagai kasus geoteknik yang kompleks. Oleh karena itu ia dilengkapi oleh beberapa fitur penting menyangkut interaksi antara tanah dan struktur disebelahnya. Fitur-fitur tersebut antara lain :

- **Batang** : Batang elemen special digunakan untuk memodelkan bending momen dari suatu dinding penahan tanah, terowongan, dan struktur-struktur yang ramping lainnya. Perilaku dari elemen-elemen ini didefinisikan dengan kelenturan, kekakuan normal, dan bending momen ultimate.
- **Angkur** : Elemen pegas elastoplastik digunakan untuk memodelkan ankur dan strut. Perilaku elemen-elemen ini didefinisikan dengan menggunakan kekakuan

normal dan beban maksimum. Ada juga pilihan khusus untuk menganalisa angkur tanah pra tegang dan penyangga galian.

- **Geotekstil** : Geotekstil atau geogrid, pada praktiknya sering digunakan untuk perkuatan konstruksi tanggul atau struktur penahan tanah. Semuanya bisa disimulasikan dalam plaxis dengan menggunakan elemen-elemen tekan khusus.
- **Terowongan** : Plaxis menawarkan pilihan untuk membuat terowongan yang berbentuk lingkaran atau yang non-lingkaran yaitu yang berupa lengkungan-lengkungan. Batang-batang dan sambungannya memungkinkan juga untuk dimodelkan, begitu juga interaksinya dengan tanah sekitar. Elemen-elemen isoparametrik secara penuh digunakan untuk memodelkan batas-batas kurva didalam mesh. Dengan demikian, deformasi yang terjadi pada terowongan dapat dianalisa.

Plaxis Ver.8 dapat digunakan untuk menganalisis elemen hingga dua dimensi. Model elemen hingga tersebut terdiri dari : Plain strain dan axisimetris. Plain strain adalah model yang digunakan untuk struktur bangunan memanjang. Sedangkan axisimetris adalah model yang digunakan untuk struktur melingkar. Berikut adalah gambar dari masing-masing model :



Model plain strain

Model axisimetris

**Gambar 2.10** Model plain strain dan axisimetris

### **Aspek Permodelan Umum**

Untuk setiap proyek yang akan dianalisa, membuat permodelan awal secara geometri adalah sangat penting. Model geometri tersebut mempresentasikan masalah yang ada di kenyataan, yaitu terdiri dari point (titik), line (garis), dan cluster. Suatu model geometri harus menggambarkan tanah-tanah tiap lapis, objek struktural, tahap-tahap konstruksi, dan pembebanan. Tiga tipe komponen model geometri secara detail adalah sebagai berikut :

#### ***Points:***

Point adalah awal dan akhir dari suatu garis. Point juga bisa digunakan sebagai penanda posisi pada angkur, beban terpusat, memperbaiki point yang salah, dan menghilangkan beberapa mesh.

#### ***Lines:***

Lines digunakan untuk menggambarkan batas-batas fisik geometri. are used to define the physical boundaries of the geometry, the model boundaries and discontinuities in the geometry such as sheet pile walls, separations of distinct soil layers or construction stages. A line can have several functions or properties.

#### ***Clusters:***

Cluster adalah area yang tertutup oleh line. Plaxis secara otomatis mengenali cluster berdasarkan input dari geometri line. Di dalam cluster tersebut, terkandung property tanah yang homogen. Oleh sebab itu, cluster bisa dikatakan sebagai bagian dari lapisan tanah. Beban yang bekerja pada cluster akan diterima oleh seluruh lemen dalam cluster.

Setelah modelisasi geometri selesai, model tersebut secara otomatis bisa dihidupkan berdasarkan susunan dari cluster dan line dalam model geometri. Tiga tipe komponen dalam elemen hingga bisa dibedakan sebagai berikut :

#### ***Elements:***

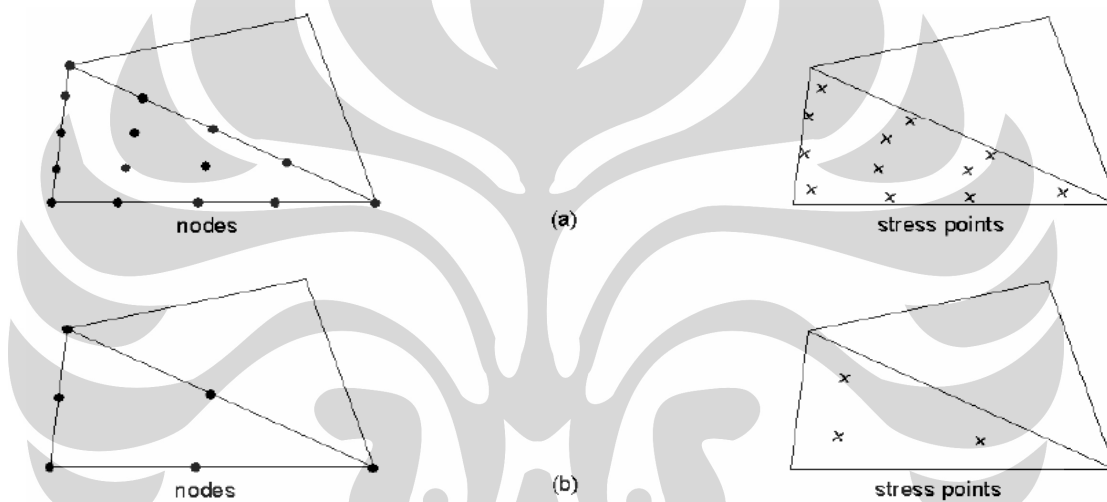
Selama menghidupkan model, cluster terbagi kedalam elemen triangular. Elemen triangular tersebut terdiri dari 6 noda elemen. Di samping itu, triangular dengan 15 noda juga tersedia untuk perhitungan tegangan dan pembebanan yang lebih akurat.

**Nodes:**

Noda bisa dikatakan merupakan awal dan akhir dari suatu elemen.

**Stress points:**

Stress (tegangan) dihitung berdasarkan point-point yang terintegrasi. Sebuah model triangular dengan 15 noda, misalnya, terdiri dari 12 titik tegangan (stress point) seperti pada 2.11a. Sedangkan sebuah model triangular dengan 6 noda terdiri dari 3 titik tegangan seperti pada gambar 2.11b. Stress point ditentukan terlebih dulu sebelum model dihidupkan.



**Gambar 2.11** Posisi titik-titik nodal dan titik-titik tegangan pada elemen tanah

Proses simulasi program plaxis ada tiga tahapan, yaitu :

1. Input data : Membuat dan memodifikasi model geometri elemen hingga yang sesuai dengan kondisi kasus di lapangan. Permodelan terdiri dari tiga :
  - Model : Plain strain dan axisimetri
  - Elemen : Terdiri dari elemen 6 nodal dan 15 nodal
  - Properti material : Tanah, pelat, geogrid, dan ankur
- 2 Perhitungan
3. Output : Hasil perhitungan yang berupa :
  - Displacement total (vertikal dan horizontal)
  - Tegangan dan regangan

- Faktor keamanan
- Bending momen pada dinding
- Gaya geser pada dinding



## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

### **3.1 Pendahuluan**

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah penggunaan program plaxis ver.8 untuk mensimulasikan pembangunan dinding turap beserta konfigurasiya, yaitu : konfigurasi input kasus yang akan digunakan, Permodelan input, permodelan pelaksanaan pekerjaan di lapangan, output yang akan dicapai dari permodelan kasus tersebut.

### **3.2 Permodelan Struktur**

Permodelan struktur perlu dilakukan untuk memberikan gambaran konfigurasi struktur yang akan dimodelkan pada dinding penahan tanah tersebut. Struktur yang dimodelisasikan dengan plaxis tersebut menggunakan permodelan secara 2 dimensi. Permodelan tersebut juga berprinsip pada permodelan yang simetris, artinya, input data bias disederhanakan karena struktur yang akan dimodelkan bersifat simetris.

Adapun variasi yang akan digunakan dalam modelisasi struktur tersebut adalah sebagai berikut :

#### **1. Variasi denah**

Denah divariasikan berdasarkan ukuran yang telah ditetapkan sesuai dengan batasan masalah. Sedangkan bentuk denah sendiri, yang digunakan ada dua, yaitu :

- a. Plain Strain (memanjang)
- b. Axissimetri (melingkar)

#### **2. Variasi kekakuan**

Dalam skripsi ini, material dinding penahan tanah yang digunakan terdiri dari dua material, yaitu : tipe material beton, dan tipe material baja. Jenis material tersebut direpresentasikan oleh nilai kekakuannya saja.

#### **3. Variasi tanah**

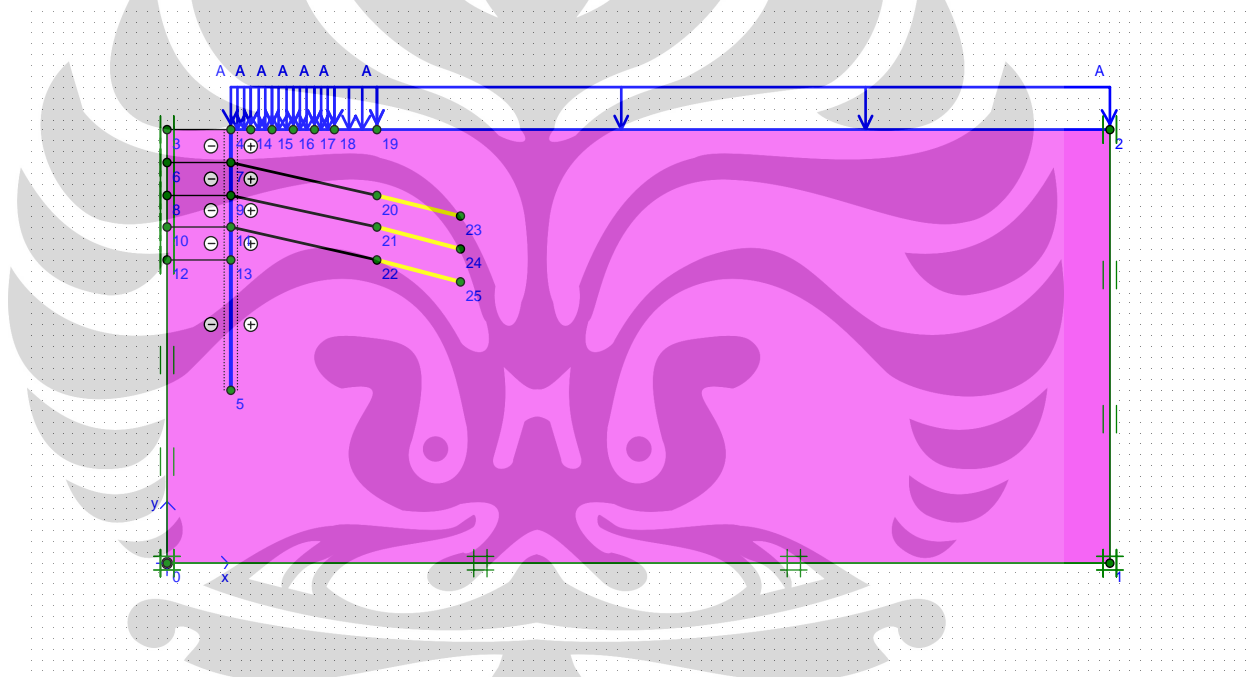
Tanah yang divariasikan ada dua jenis ( $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$ , dan  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$ ) dimana antara tanah yang satu dengan yang lain memiliki perbedaan karakteristik.



#### 4. Variasi angkur tanah

Dalam permodelan dinding penahan tanah tersebut, angkur divariasikan dalam jumlah. Untuk galian basement dengan kedalaman 9 meter digunakan dua angkur, dan untuk kedalaman 12 meter digunakan tiga angkur. Letak angkur pertama adalah 3 meter dari permukaan tanah, angkur kedua 6 meter dari permukaan tanah, dan angkur ketiga 9 meter dari permukaan tanah. Sudut inklinasi angkur adalah  $15^\circ$ , panjang bebas (free length) 14 meter, panjang terikat (bond length) 8 meter, jarak horizontal antar angkur 5 m, sedangkan tipikal setiap angkur adalah identik. Data parameter angkur lebih jelasnya bisa dilihat pada bab 4.

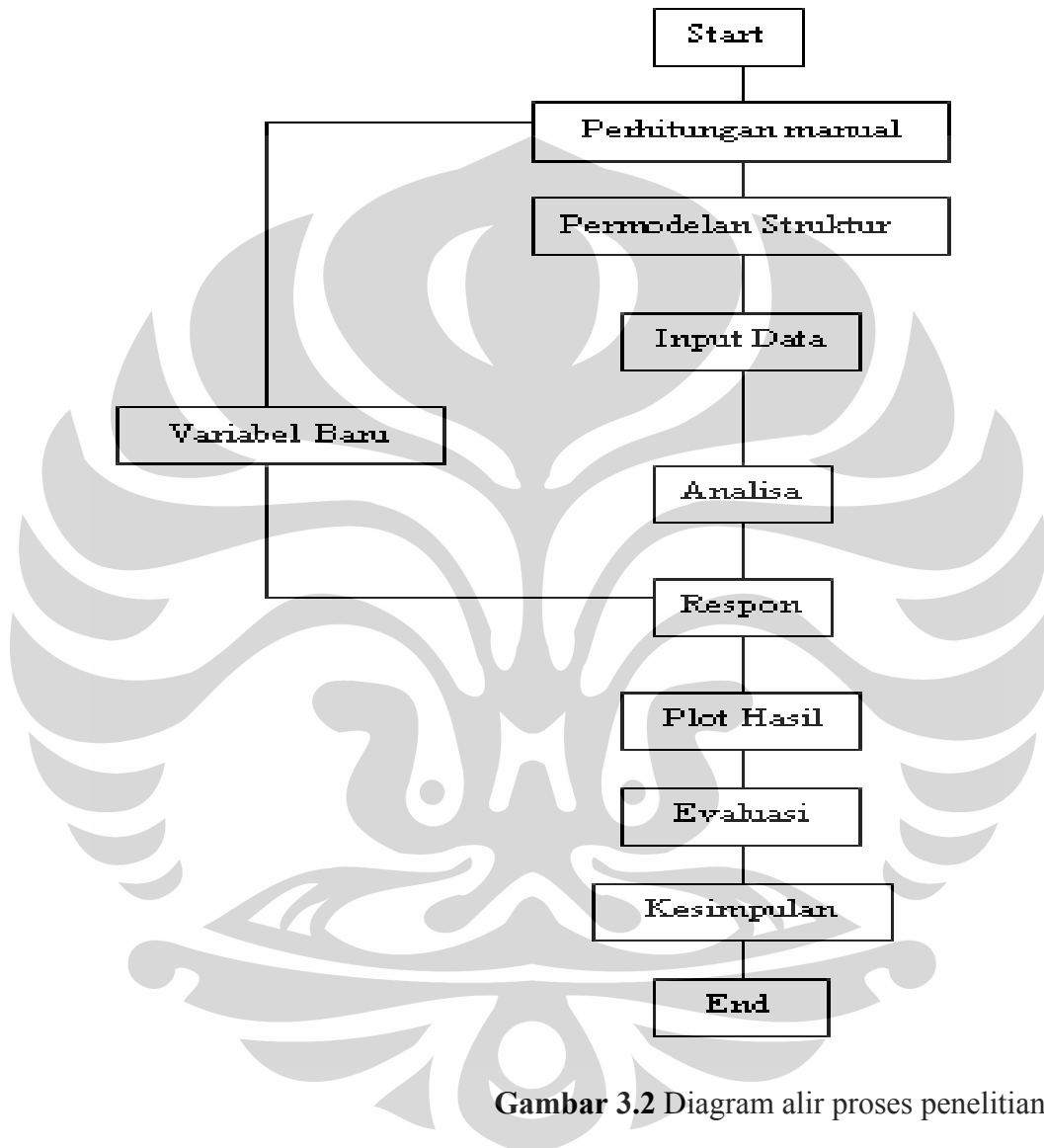
Berikut adalah sketsa dan gambar permodelan angkur pada plaxis



**Gambar 3.1** Contoh permodelan angkur pada plaxis dengan kedalaman galian 12 meter dan lebar galian 12 meter. Panjang bond length berwarna kuning sedangkan panjang free length berwarna hitam.

### 3.3 Prosedur Analisa

Adapun prosedur analisa yang akan dilakukan, terbagi dalam beberapa seperti dalam bagan berikut ini :



Gambar 3.2 Diagram alir proses penelitian

### 3.4 Input Program

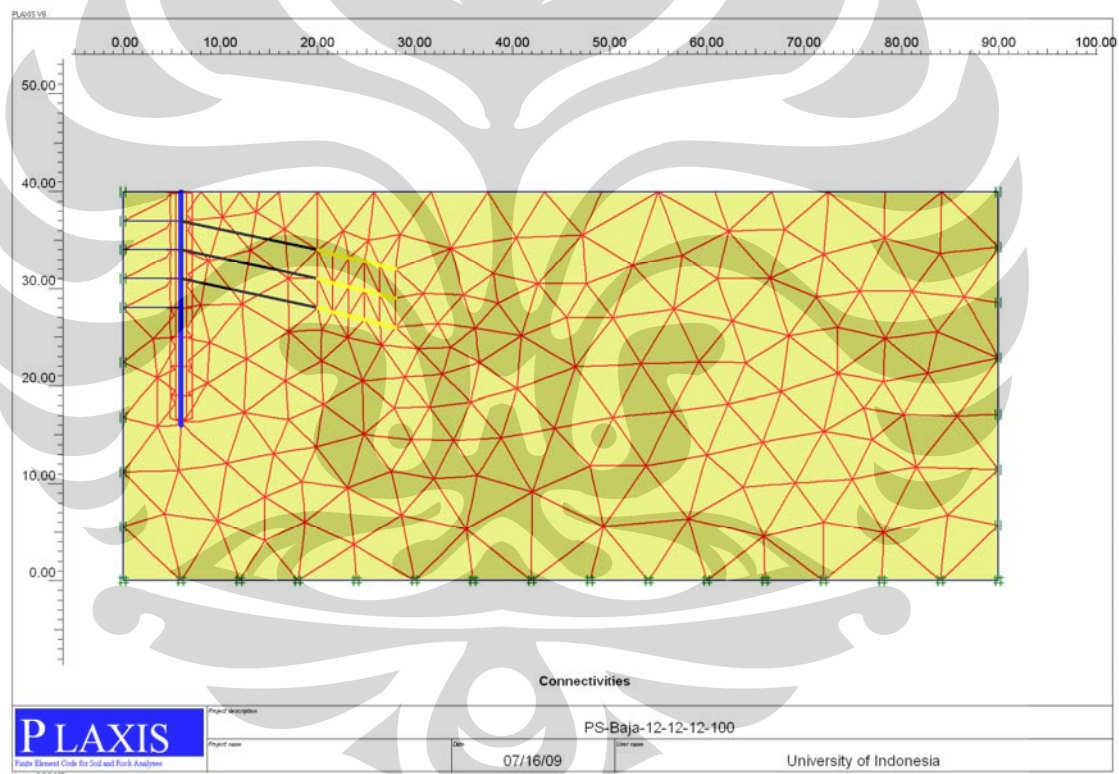
Beberapa parameter yang akan dimasukkan kedalam input program adalah sebagai berikut :

1. Beban pada permukaan diatas turap sebesar  $30 \text{ kN/m}^2$
2. Bentuk struktur yaitu, plain strain dan axisimetris
3. Karakteristik tanah, digunakan properti tanah dengan nilai  $S_u = 50 \text{ KN/m}^2$ , dan  $S_u = 100 \text{ KN/m}^2$ .
4. Dimensi Struktur, akan dibuat konfigurasi dimensi struktur sebagai berikut :
  - Kedalaman basement 3 tingkat : 9 meter
    - Kedalaman total dinding 1 : 18 meter
    - Kedalaman total dinding 2 : 20 meter
    - Kedalaman total dinding 3 : 22 meter
  - Kedalaman basement 4 tingkat : 12 meter
    - Kedalaman total dinding 1 : 24 meter
    - Kedalaman total dinding 2 : 26 meter
    - Kedalaman total dinding 3 : 28 meter
  - - Lebar galian model 1 : 12 meter
  - Lebar galian model 2 : 24 meter
  - Lebar galian model 3 : 48 meter

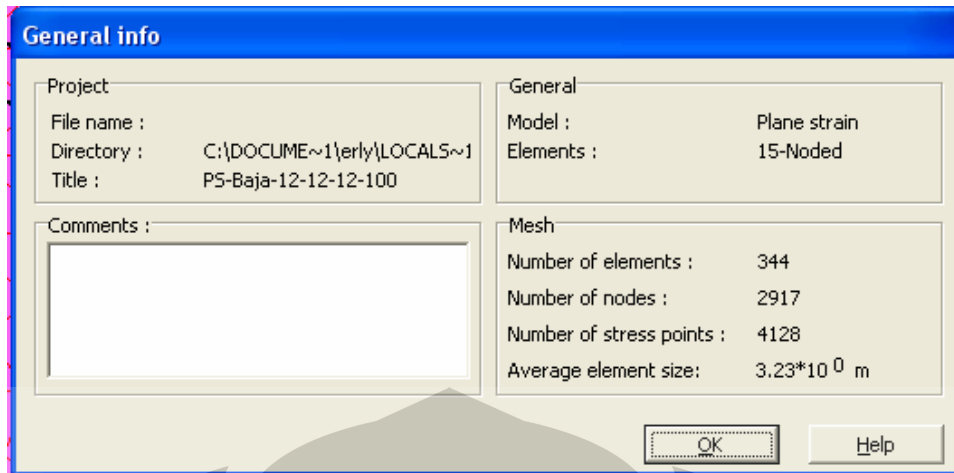
Proses penggalian dan pemasangan ankur tanah pada permodelan plaxis akan berlangsung dalam beberapa tahap. Tahapan-tahapan tersebut secara garis besar adalah berupa tahapan aplikasi beban dan struktur(dinding penahan tanah), tahapan penggalian, dan tahapan pemasangan ankur. Namun sebelum memasuki tahapan tersebut, perlu dilakukan proses diskritisasi. Dalam proses ini, tanah akan dipecah-pecah kedalam bentuk elemen-elemen kecil. Elemen tanah ini adalah berupa elemen segitiga yang terdiri dari 15 titik nodal dengan melibatkan 12 titik tegangan seperti terlihat pada gambar 2.11. Sementara itu, untuk model tanah diaplikasikan sebagai elastoplastis. Model ini menggunakan 5 buah parameter dasar yang sering digunakan oleh para praktisi geoteknik, yaitu :  $E$  (modulus Young),  $\nu$  (rasio poisson),  $c$  (kohesi),  $\phi$  (sudut geser lempung), dan  $\psi$  (dilatansi). Selain itu, model ini juga menerapkan prinsip tegangan regangan tanah berdasarkan Hukum Hook seperti pada gambar 2.4.

Proses diskritisasi akan berlangsung secara otomatis didalam plaxis. Banyaknya elemen yang akan dihasilkan tergantung pada pemilihan tingkat kekasaran (*Global Coarseness*). Plaxis menyediakan 5 tingkat kekasaran, dari yang paling kasar hingga paling halus berturut-turut adalah sebagai berikut : sangat kasar (*very coarse*), kasar (*coarse*), sedang (*medium*), halus (*fine*), sangat halus (*very fine*). Semakin halus tingkatannya, maka jumlah elemennya semakin banyak. Dengan demikian, ketelitian hasil perhitungannya pun semakin tinggi namun tentu saja memakan proses yang juga semakin lama karena memakan memori yang semakin besar.

Dibawah ini adalah contoh tanah yang telah melewati proses diskritisasi pada plaxis.



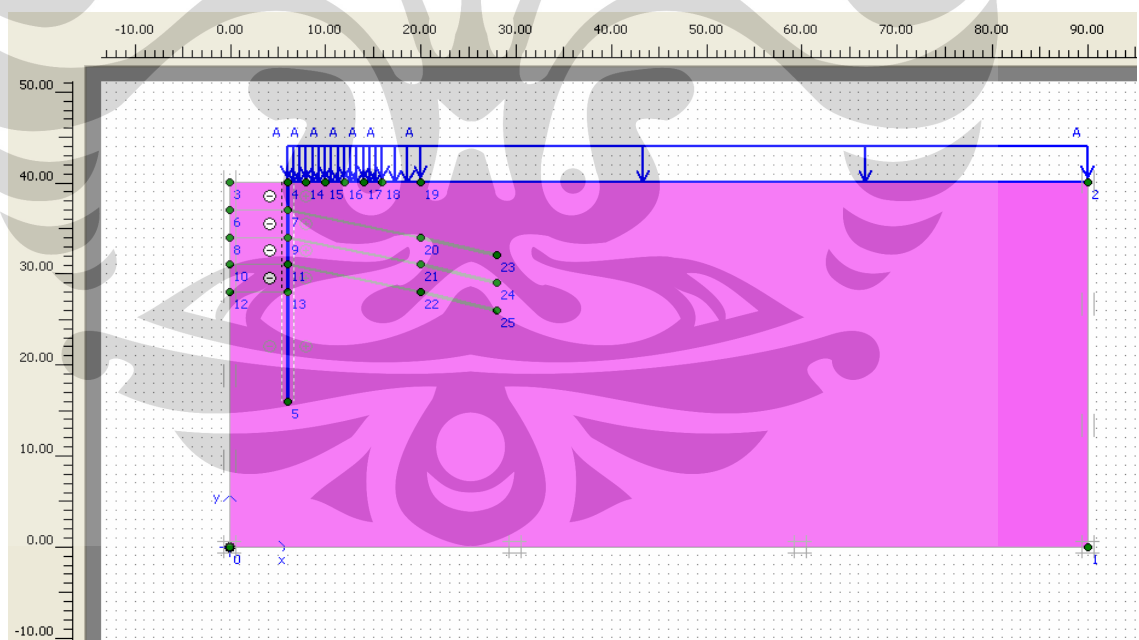
**Gambar 3.3** Diskritisasi tanah pada plaxis



**Gambar 3.4** Informasi umum hasil diskritisasi

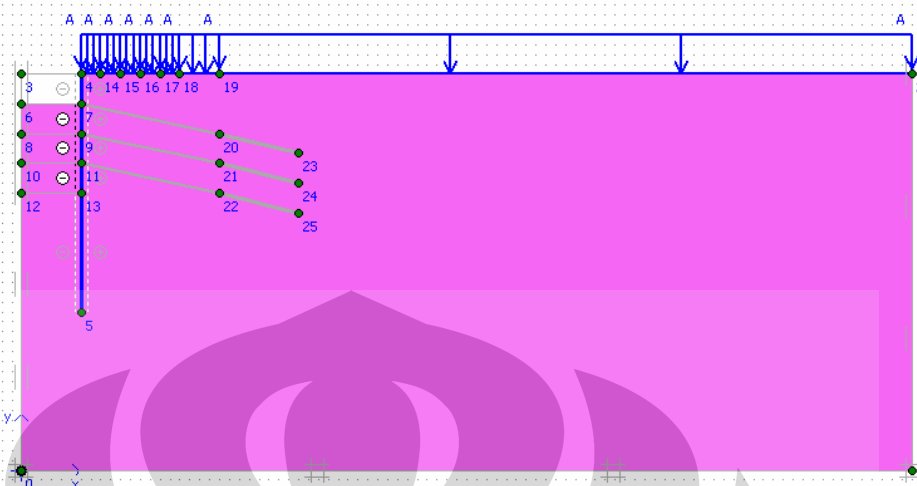
Setelah proses diskritisasi selesai, maka dilanjutkan dengan proses penggalan dan pemasangan angkur. Proses tersebut terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut secara lengkap adalah sebagai berikut :

#### 1. Aplikasi beban dan dinding penahan tanah



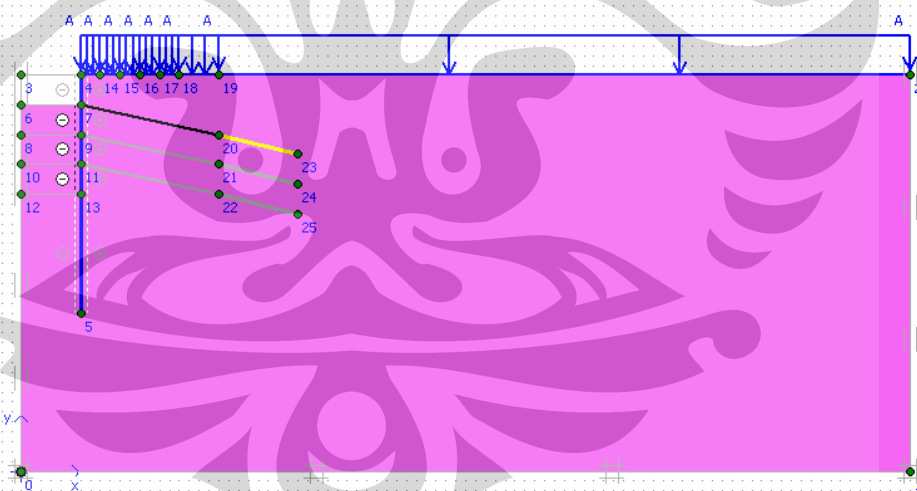
**Gambar 3.5** Beban dan dinding berwarna biru berarti telah aktif

2. Aplikasi galian pertama (3 meter)



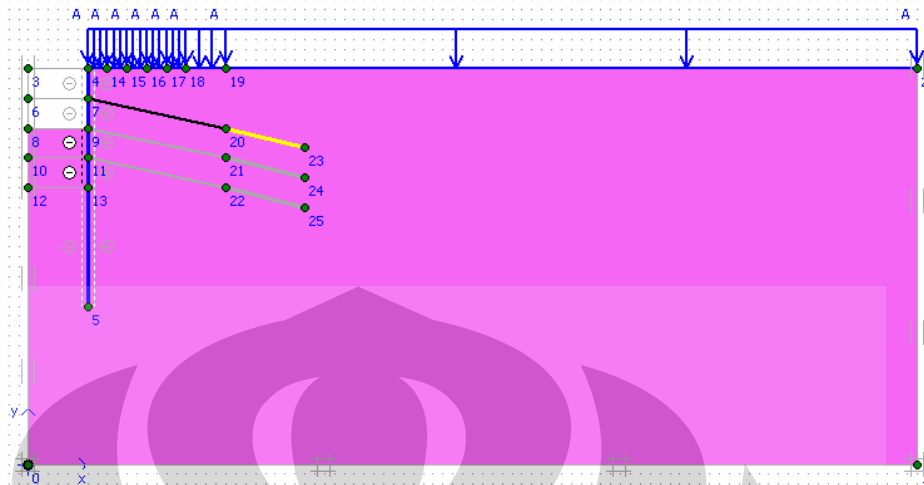
**Gambar 3.6** Galian berwarna putih berarti telah aktif

3. Aplikasi angkur pertama



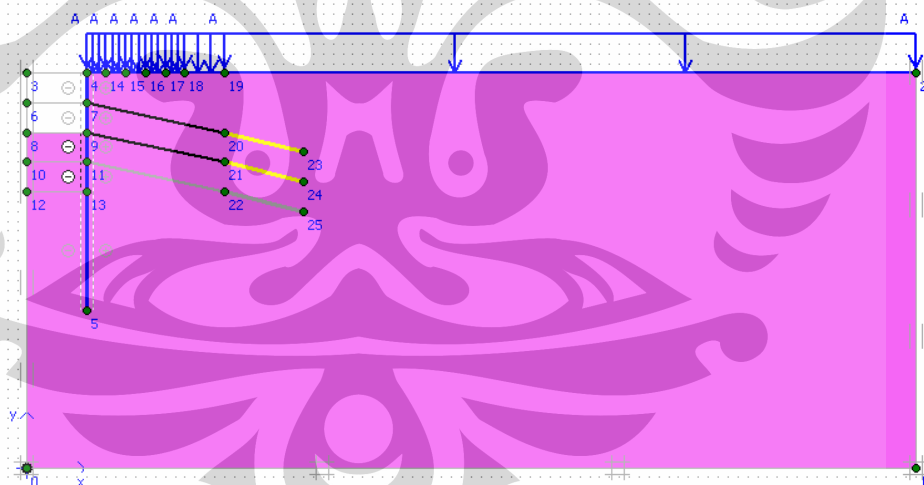
**Gambar 3.7** Angkur berwarna berarti telah aktif

#### 4. Aplikasi galian kedua (3 meter)



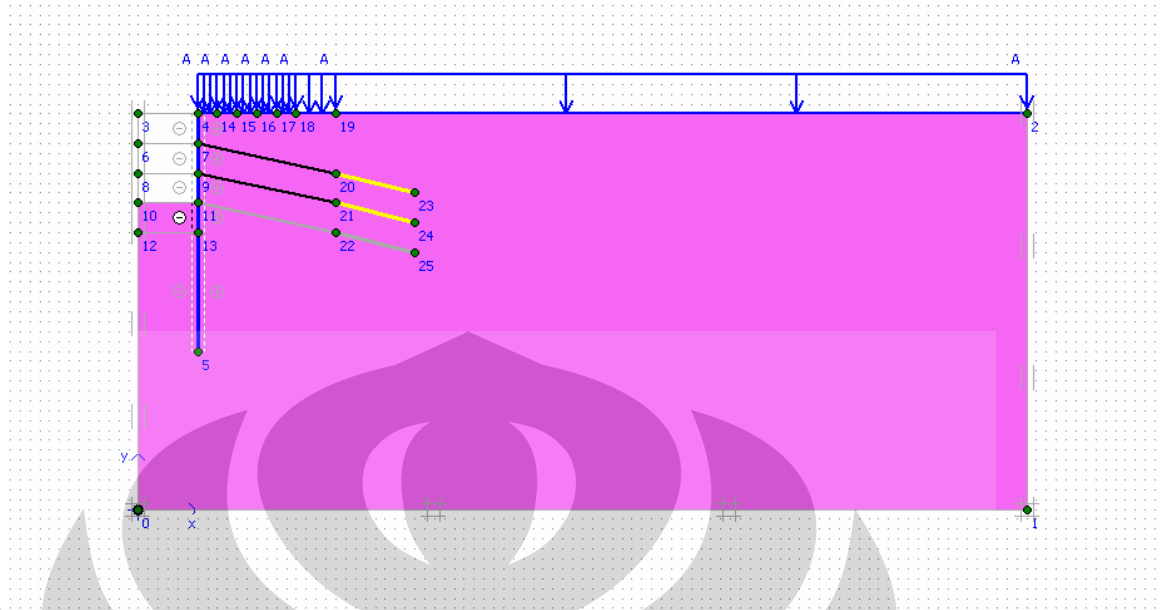
**Gambar 3.8** Galian berwarna putih berarti telah aktif

#### 5. Aplikasi angkur kedua



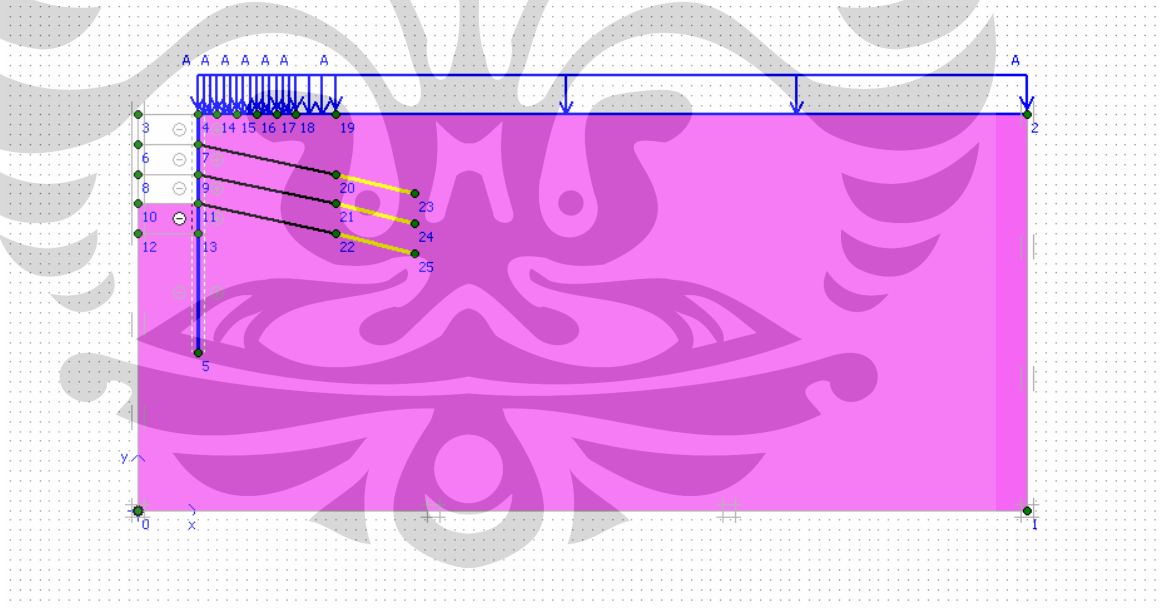
**Gambar 3.9** Angkur berwarna berarti telah aktif

### 6. Aplikasi galian ketiga (3 meter)



**Gambar 3.10** Galian berwarna putih berarti telah aktif

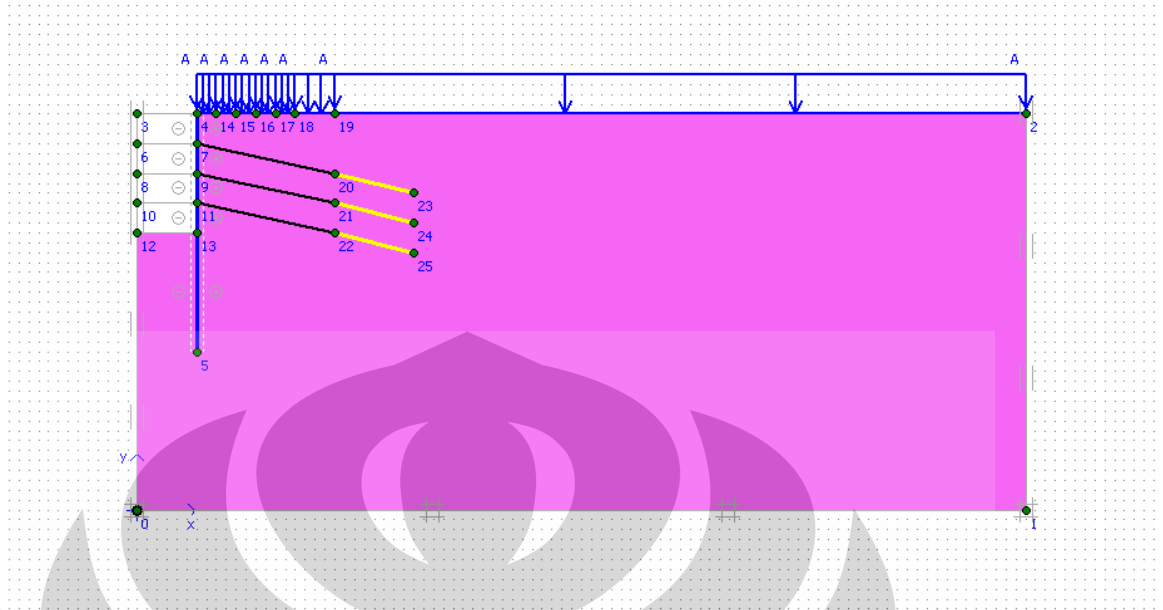
### 7. Aplikasi angkur ketiga



**Gambar 3.11** Angkur berwarna berarti telah aktif



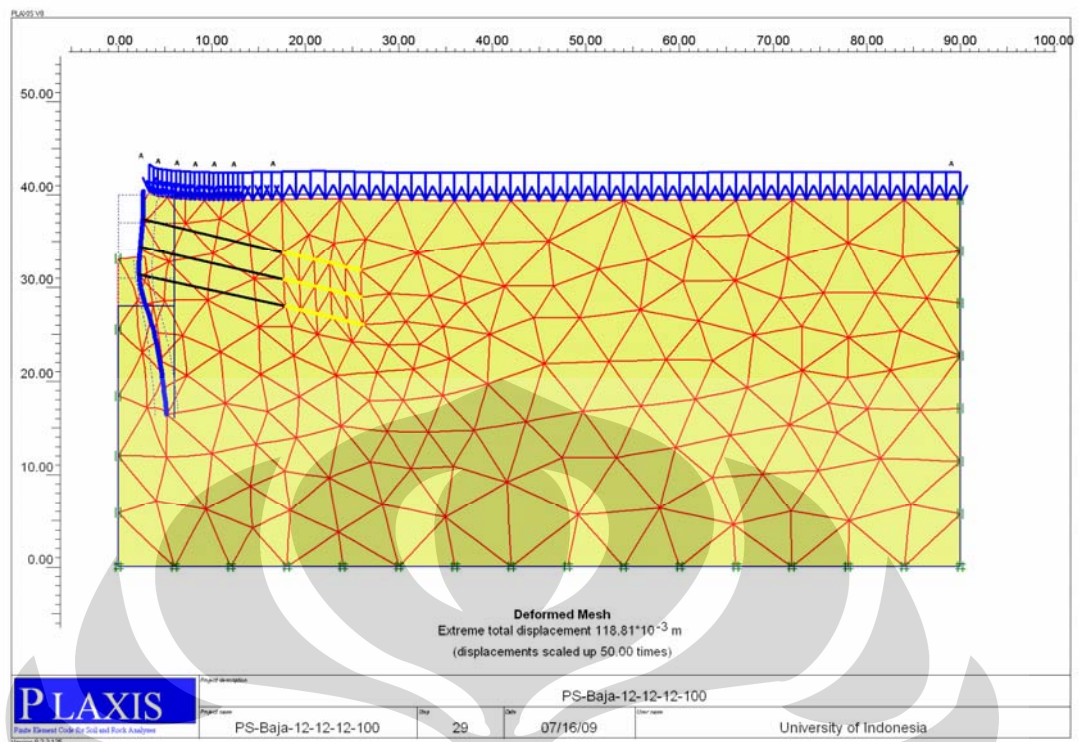
## 8. Aplikasi galian keempat (3 meter)



**Gambar 3.12** Galian berwarna putih berarti telah aktif

Perlu diketahui pembaca, karena secara geometri gambar permodelan ini bersifat simetris, maka penyederhanaan pada plaxis dapat dibuat. Hal ini dilakukan dengan cara membuat gambar model sebagian / sepotong saja dari gambar model yang sebenarnya. Dari gambar pertama dapat terlihat bahwa lebar galian model sebesar 6 meter yang berarti setengah dari model yang sebenarnya, yaitu 12 meter.

Setelah proses penggalian dan pemasangan angkur selesai, tahapan berikutnya adalah tahapan proses perhitungan untuk menghasilkan output. Plaxis secara *default* akan menunjukkan output berupa total deformasi tanah pada tahap akhir konstruksi. Berikut adalah contoh potongan deformasi tanah pada tahap akhir konstruksi yang diperlihatkan oleh output plaxis setelah berhasil melakukan proses perhitungan.



**Gambar 3.13** Total deformasi tanah (Diperbesar 50 kali)

No	Bentuk		Tanah		Tipe		Kedalaman						Lebar galian		
	Memanjang	Melingkar			Baja	Beton	9 m			12 m			12	24	48
			50	100			9 m	11 m	13 m	12 m	14 m	16 m			
1	+		+		+		+						+		
2	+		+		+		+							+	
3	+		+		+		+								+
4	+		+		+			+					+		
5	+		+		+			+						+	
6	+		+		+			+							+
7	+		+		+				+				+		
8	+		+		+				+					+	
9	+		+		+				+						+
10	+		+		+					+			+		
11	+		+		+					+				+	
12	+		+		+					+					+
13	+		+		+						+		+		
14	+		+		+						+			+	
15	+		+		+						+				+
16	+		+		+							+	+		
17	+		+		+							+		+	
18	+		+		+							+			+
19	+		+			+	+						+		
20	+		+			+	+							+	
21	+		+			+	+								+
22	+		+			+		+					+		
23	+		+			+		+						+	
24	+		+			+		+							+
25	+		+			+			+				+		
26	+		+			+			+					+	
27	+		+			+			+						+
28	+		+			+				+			+		
29	+		+			+				+				+	
30	+		+			+				+					+

No	Bentuk		Tanah		Tipe		Kedalaman						Lebar galian		
	Memanjang	Melingkar	50	100	Baja	Beton	9 m			12 m			12	24	48
							9 m	11 m	13 m	12 m	14 m	16 m			
31	+		+			+						+			
32	+		+			+						+		+	
33	+		+			+						+			+
34	+		+			+							+	+	
35	+		+			+							+		+
36	+		+			+							+		+
37	+			+	+		+							+	
38	+			+	+		+								+
39	+			+	+		+								+
40	+			+	+			+						+	
41	+			+	+			+							+
42	+			+	+			+							+
43	+			+	+					+				+	
44	+			+	+					+					+
45	+			+	+					+					+
46	+			+	+						+			+	
47	+			+	+						+			+	
48	+			+	+						+				+
49	+			+	+							+			
50	+			+	+							+		+	
51	+			+	+							+			+
52	+			+	+								+	+	
53	+			+	+								+		+
54	+			+	+								+		+
55	+			+		+	+							+	
56	+			+		+	+								+
57	+			+		+	+								+
58	+			+		+		+						+	
59	+			+		+		+							+
60	+			+		+		+							+

No	Bentuk		Tanah		Tipe		Kedalaman						Lebar galian		
	Memanjang	Melingkar	50	100	Baja	Beton	9 m			12 m			12	24	48
							9 m	11 m	13 m	12 m	14 m	16 m			
61	+			+		+			+				+		
62	+			+		+			+					+	
63	+			+		+			+						+
64	+			+		+				+			+		
65	+			+		+				+				+	
66	+			+		+				+					+
67	+			+		+					+		+		
68	+			+		+					+			+	
69	+			+		+					+				+
70	+			+		+						+	+		
71	+			+		+							+	+	
72	+			+		+							+		+
73		+	+		+		+						+		
74		+	+		+		+							+	
75		+	+		+		+								+
76		+	+		+			+					+		
77		+	+		+			+						+	
78		+	+		+			+							+
79		+	+		+				+				+		
80		+	+		+				+					+	
81		+	+		+				+						+
82		+	+		+					+			+		
83		+	+		+					+				+	
84		+	+		+					+					+
85		+	+		+						+		+		
86		+	+		+						+			+	
87		+	+		+						+				+
88		+	+		+							+	+		
89		+	+		+							+		+	
90		+	+		+							+			+

No	Bentuk		Tanah		Tipe		Kedalaman						Lebar galian		
	Memanjang	Melingkar	50	100	Baja	Beton	9 m			12 m			12	24	48
							9 m	11 m	13 m	12 m	14 m	16 m			
91		+	+			+	+						+		
92		+	+			+	+							+	
93		+	+			+	+								+
94		+	+			+		+					+		
95		+	+			+		+						+	
96		+	+			+		+							+
97		+	+			+			+				+		
98		+	+			+			+					+	
99		+	+			+			+						+
100		+	+			+				+			+		
101		+	+			+				+				+	
102		+	+			+				+					+
103		+	+			+					+		+		
104		+	+			+					+			+	
105		+	+			+					+				+
106		+	+			+						+	+		
107		+	+			+						+		+	
108		+	+			+						+			+
109		+		+	+		+						+		
110		+		+	+		+							+	
111		+		+	+		+								+
112		+		+	+			+					+		
113		+		+	+			+						+	
114		+		+	+			+							+
115		+		+	+				+				+		
116		+		+	+				+					+	
117		+		+	+				+						+
118		+		+	+					+			+		
119		+		+	+					+				+	
120		+		+	+					+					+

No	Bentuk		Tanah		Tipe		Kedalaman						Lebar galian		
	Memanjang	Melingkar			Baja	Beton	9 m			12 m			12	24	48
			50	100			9 m	11 m	13 m	12 m	14 m	16 m			
121		+		+	+							+			
122		+		+	+							+		+	
123		+		+	+							+			+
124		+		+	+								+	+	
125		+		+	+								+	+	
126		+		+	+								+	+	+
127		+		+		+	+						+		
128		+		+		+	+							+	
129		+		+		+	+								+
130		+		+		+		+					+		
131		+		+		+		+						+	
132		+		+		+		+							+
133		+		+		+			+				+		
134		+		+		+			+					+	
135		+		+		+			+						+
136		+		+		+				+			+		
137		+		+		+				+				+	
138		+		+		+				+					+
139		+		+		+					+		+		
140		+		+		+					+			+	
141		+		+		+					+				+
142		+		+		+						+	+		
143		+		+		+						+		+	
144		+		+		+						+			+

## BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

### 4.1 Data-Data Parameter Tanah, Dinding Turap, dan Angkur Tanah

Setelah hasil simulasi plaxis ver.8 di plot ke dalam bentuk grafik-grafik, langkah selanjutnya adalah dilakukan analisa dalam bab ini. Namun sebelum itu, penulis akan menjabarkan dulu data-data parameter yang digunakan sebagai input dari program plaxis ver.8 tersebut. Adapun data-data parameter tersebut selengkapnya adalah sebagai berikut :

#### A. Data Tanah

Jenis tanah yang digunakan dalam permodelan adalah tanah lempung dengan dua tipe varian nilai  $S_u$ , yaitu  $S_u$  50, dan  $S_u$  100. Tabel selengkapnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter tanah lempung

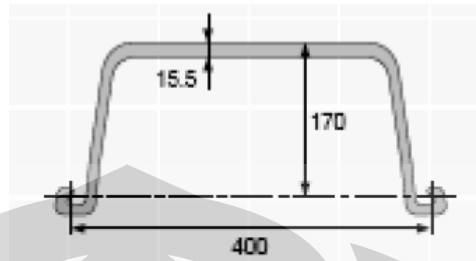
Tanah	$S_u$ (KN/m <sup>2</sup> )	$E_{\text{tanah}}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\phi$
Lempung $S_u$ 50	50	20000	16	0.45	0
Lempung $S_u$ 100	100	35000	18	0.45	0

#### B. Dinding Turap

Pada permodelan ini digunakan 2 jenis material turap, yaitu sheet pile baja, dan dinding diafragma beton. Tabel selengkapnya adalah sebagai berikut :



### Sheet pile baja (JFESP-4U Shape)



**Gambar 4.1** Sheet Pile JFESP-4 U Shape

**Tabel 4.2** Profil JFESP- 4 U Shape

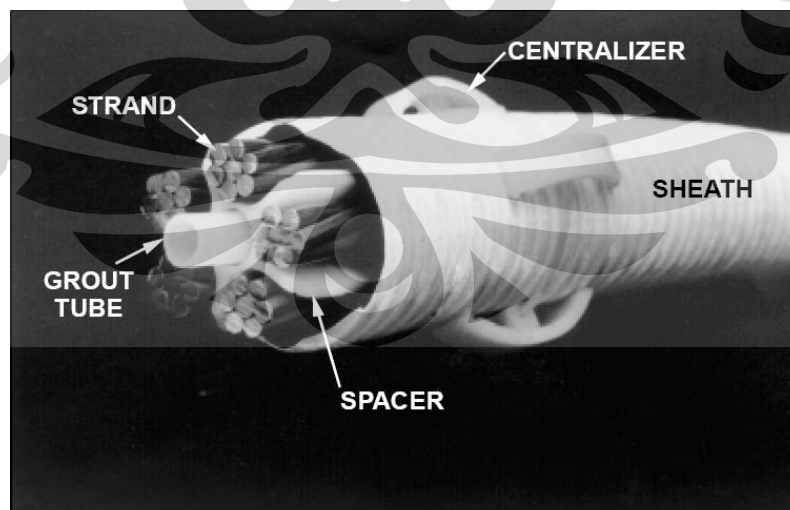
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	$E$	$2 \times 10^8$	KN/m <sup>2</sup>
Luas Penampang Profil	$A$	0.02425	m <sup>2</sup> /m
Inertia Profil	$I$	0.000386	m <sup>4</sup> /m
Berat	$w$	1.9	KN/m <sup>2</sup>
Poison's ratio	$\nu$	0	-
Kekakuan aksial	$EA$	$4.85 \times 10^6$	KN/m <sup>2</sup>
Kekakuan Lentur	$EI$	$7.72 \times 10^4$	m <sup>2</sup> /m

## Diaphragm Wall Beton

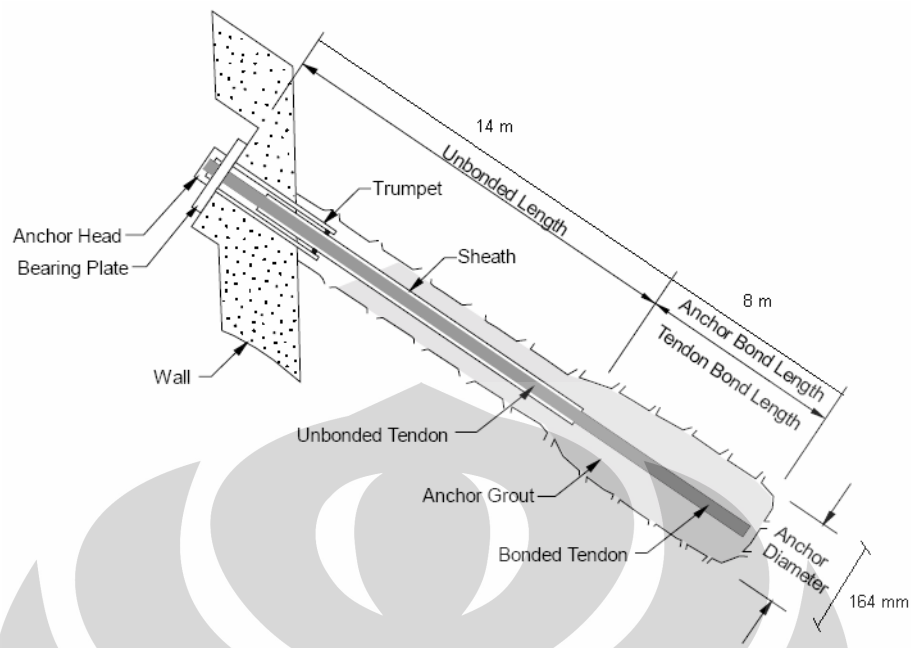
Tabel 4.3 Diaphragm Wall Beton

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	$E$	$2.5 \times 10^7$	KN/m <sup>2</sup>
Luas Penampang Profil	$A$	0.85	m <sup>2</sup> /m
Inertia Profil	$I$	0.0512	m <sup>4</sup> /m
Berat	$w$	20.4	KN/m <sup>2</sup>
Poison's ratio	$\nu$	0	-
Kekakuan aksial	$EA$	$2.13 \times 10^7$	KN/m <sup>2</sup>
Kekakuan Lentur	$EI$	$1.28 \times 10^6$	m <sup>2</sup> /m

### C. Angkur Tanah ( Strand Tendon)



Gambar 4.2 Strand tendon



**Gambar 4.3** Detail ankur

**Tabel 4.4** Parameter Strand Steel

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	$E$	$20 \times 10^7$	KN/m <sup>2</sup>
Luas Penampang Profil	$A$	1590	mm <sup>2</sup>
Diameter	$d$	15	mm
Poison's ratio	$\nu$	0	-
Kekakuan aksial	$EA$	$3.18 \times 10^5$	KN/m <sup>2</sup>
Jumlah Strand	$n$	12	buah

**Tabel 4.5** Parameter Cement Grout

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	$E$	$2 \times 10^7$	KN/m <sup>2</sup>
Luas Penampang Profil	$A$	21124	mm <sup>2</sup>
Diameter	$d$	164	mm
Poison's ratio	$\nu$	0	-
Kekakuan aksial	$EA$	$4.22 \times 10^5$	KN/m <sup>2</sup>

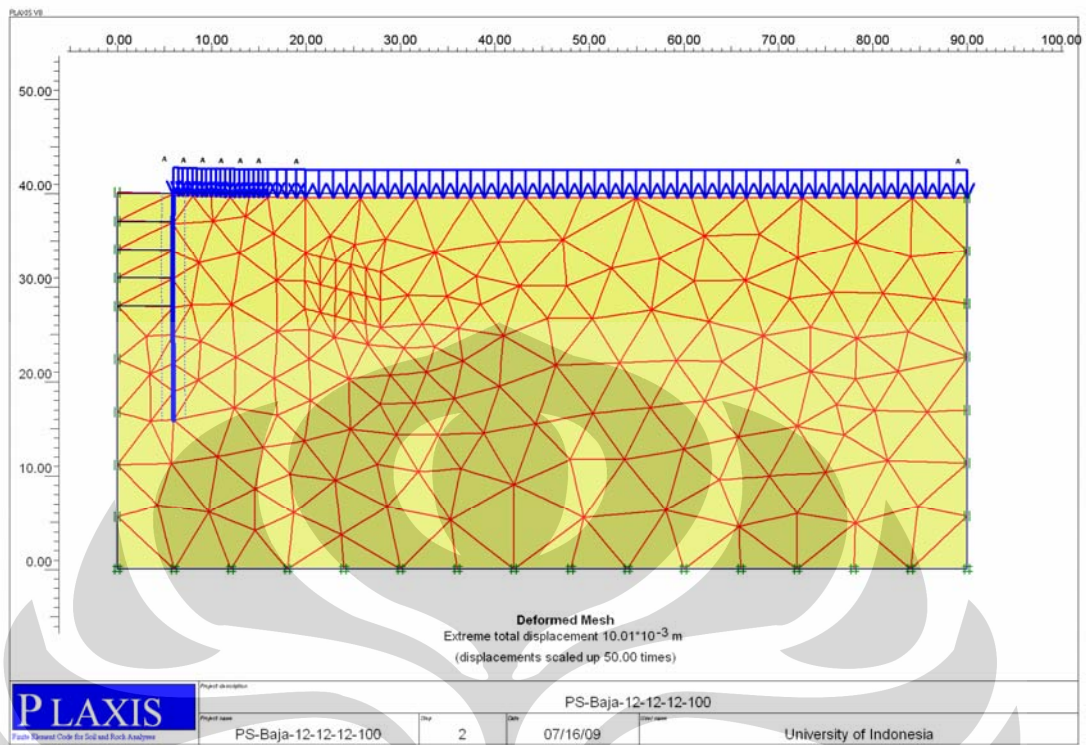
#### 4.2 Hasil Simulasi Permodelan dengan Menggunakan Plaxis ver.8

Setelah melalui proses simulasi, hasil-hasil simulasi tersebut di plot kedalam bentuk-bentuk grafik yang akan menunjukkan perbedaan-perbedaan hasil akibat variasi geometri galian, embedment, dan material struktur yang digunakan. Dari perbedaan-perbedaan hasil tersebut bisa dilakukan perbandingan antara hasil yang satu dengan yang lainnya. Adapun perbandingan-perbandingan hasil yang akan ditunjukkan adalah sebagai berikut :

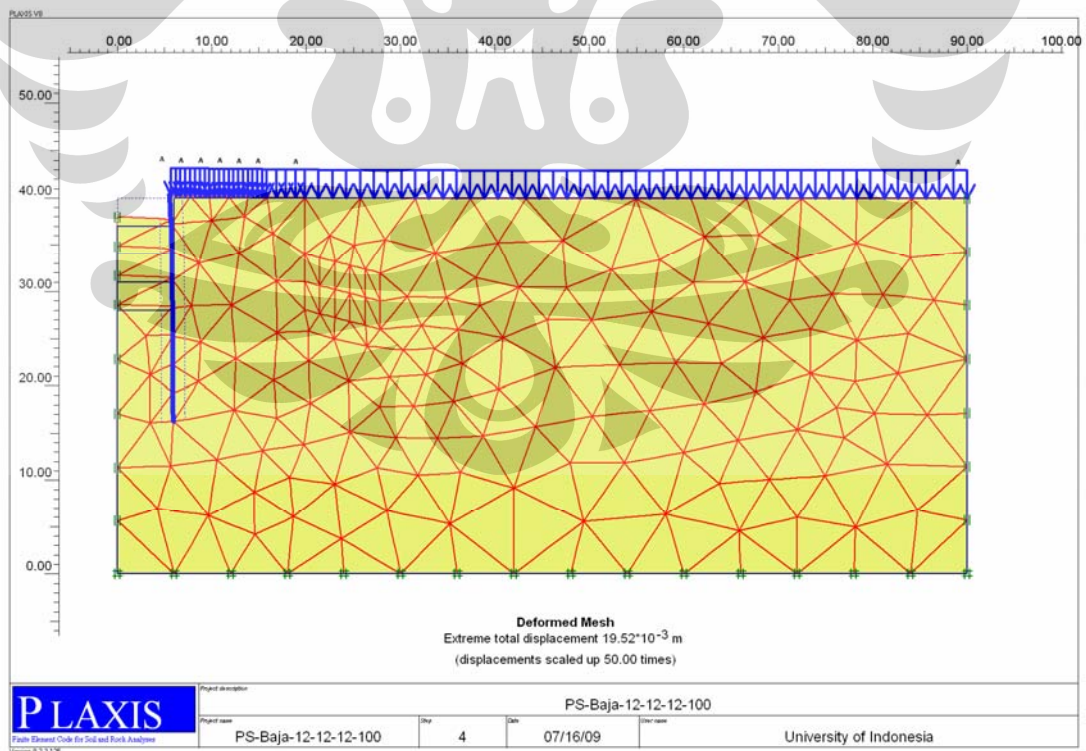
1. Deformasi lateral dan vertikal pada ujung atas turap (X=horizontal, Y=Vertikal)
2. Bending Momen pada turap
3. Gaya angkur
4. Tekanan tanah aktif dan pasif (Akan dibandingkan dengan tekanan tanah aktif-pasif berdasarkan teori Rankine)
5. Settlement pada permukaan tanah disepanjang sisi galian

Untuk memberikan gambaran kongkrit akan hasil-hasil perhitungan yang dilakukan oleh plaxis, dibawah ini akan diberikan beberapa gambar deformasi total tanah serta grafik-grafik output dari perilaku deformasi ujung atas turap, bending momen pada turap, gaya angkur, tekanan tanah, serta settlement di sisi galian tanah.

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, secara *default* plaxis akan menunjukkan deformasi total tanah pada tahap akhir saja. Namun, sebenarnya, secara lengkap plaxis bisa menunjukkan deformasi-deformasi tanah per tahapan konstruksi. Berikut adalah beberapa contoh deformasi total tanah berdasarkan tahapan konstruksi secara berurutan dari tahap awal sampai tahap akhir. Model yang diambil adalah model galian bentuk PS (Plain strain), turap baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$ , lebar galian 12 m, kedalaman 12 m, panjang embedment 12 m. Adapun perbesaran deformasi adalah sebesar 50 kali.

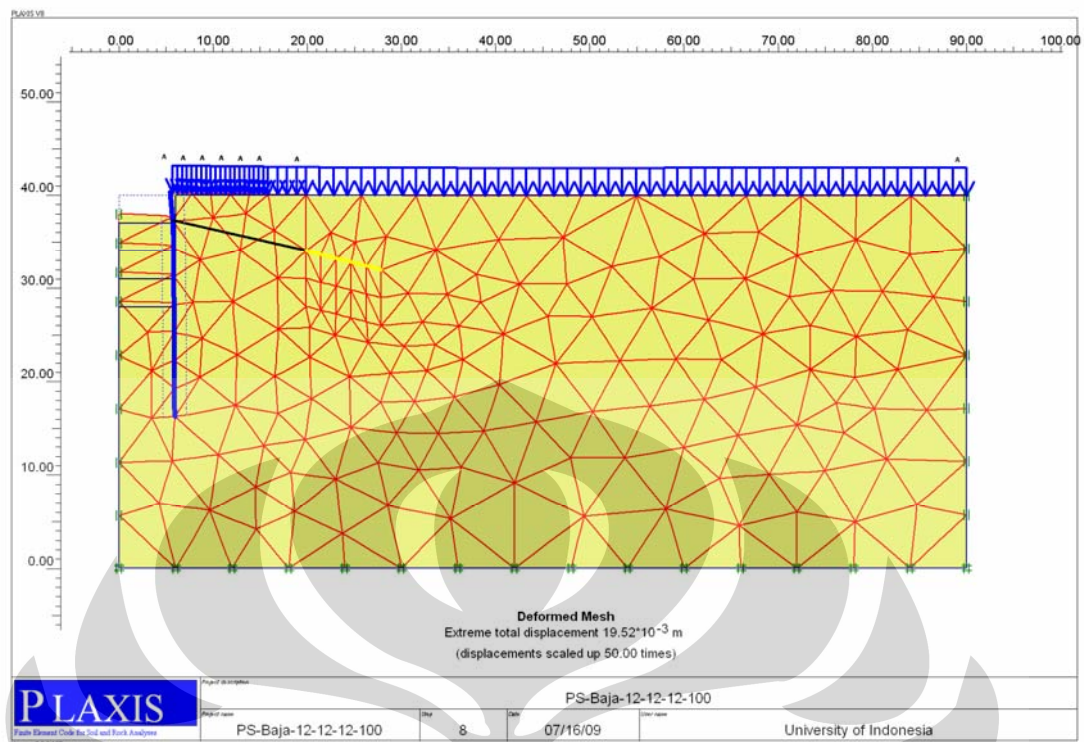


**Gambar 4.4** Deformasi tahap 1 (Aplikasi beban dan dinding turap)

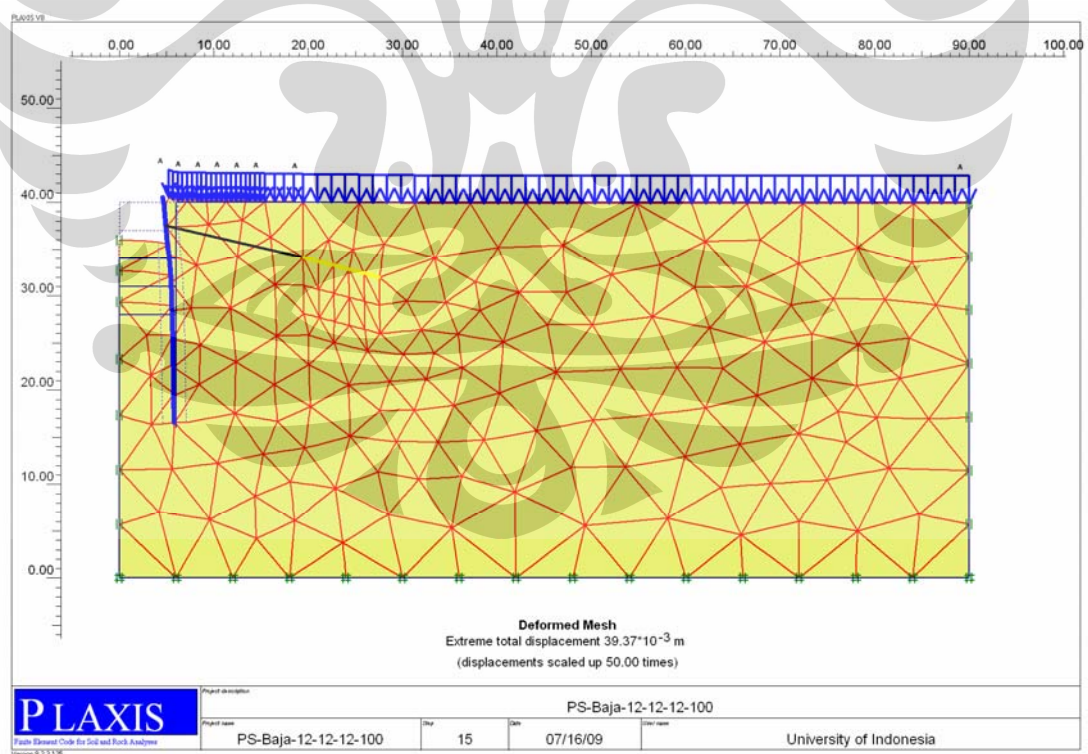


**Gambar 4.5** Deformasi tahap 2 (Galian level ke-1)

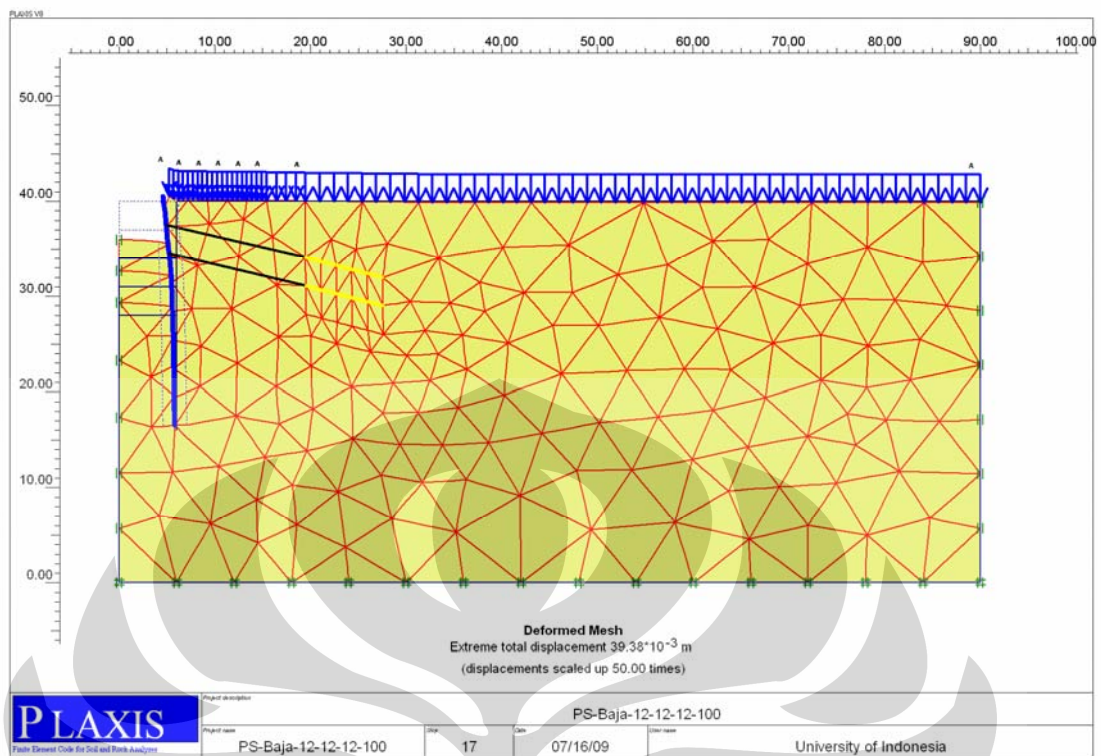




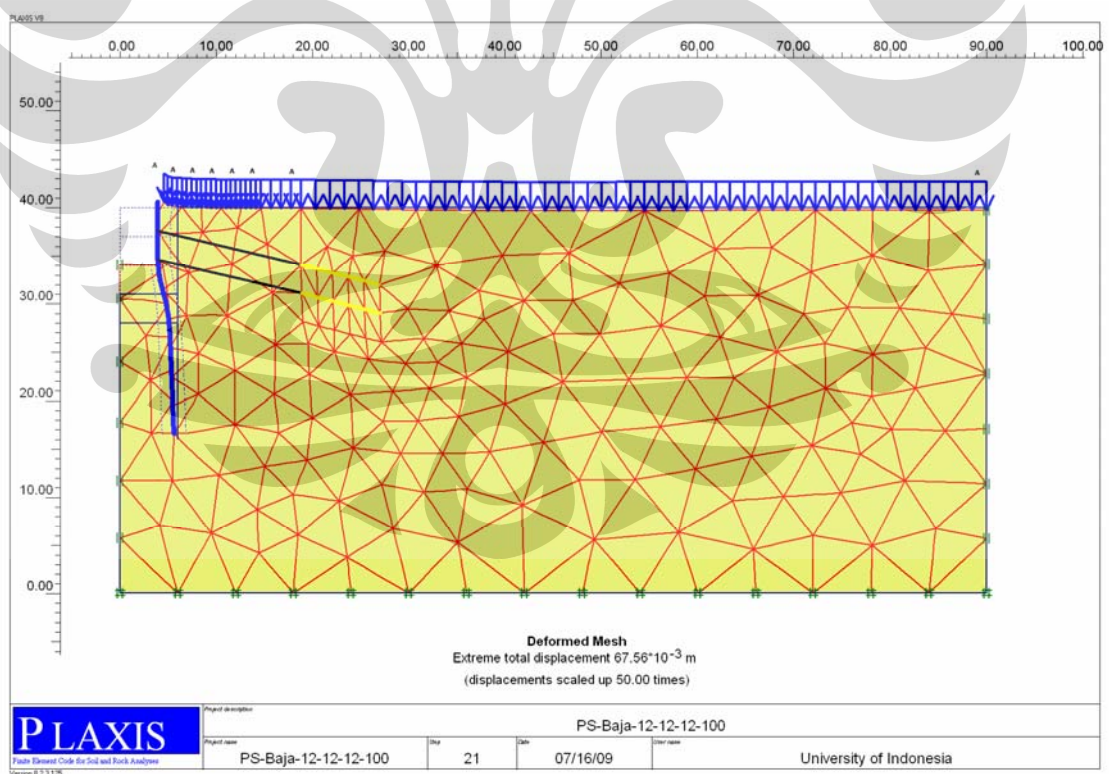
**Gambar 4.6** Deformasi tahap 3 (Instalasi angkur ke-1)



**Gambar 4.7** Deformasi tahap 4 (Galian level ke-2)

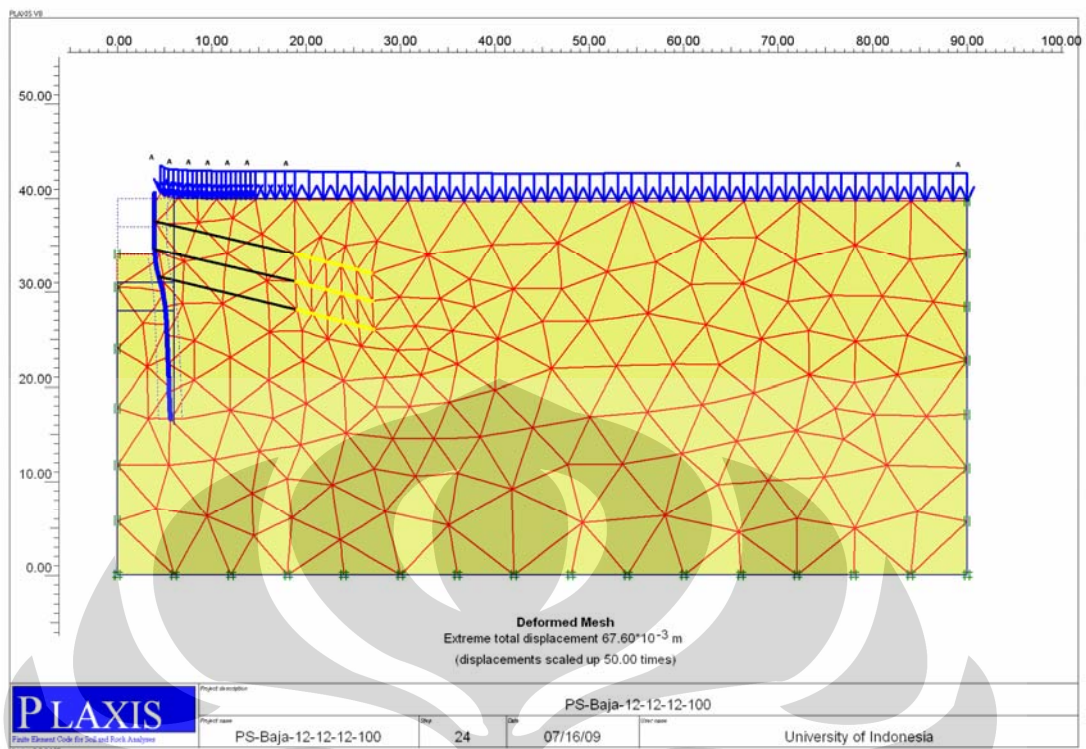


**Gambar 4.8** Deformasi tahap 5 (Instalasi angkur ke-2)

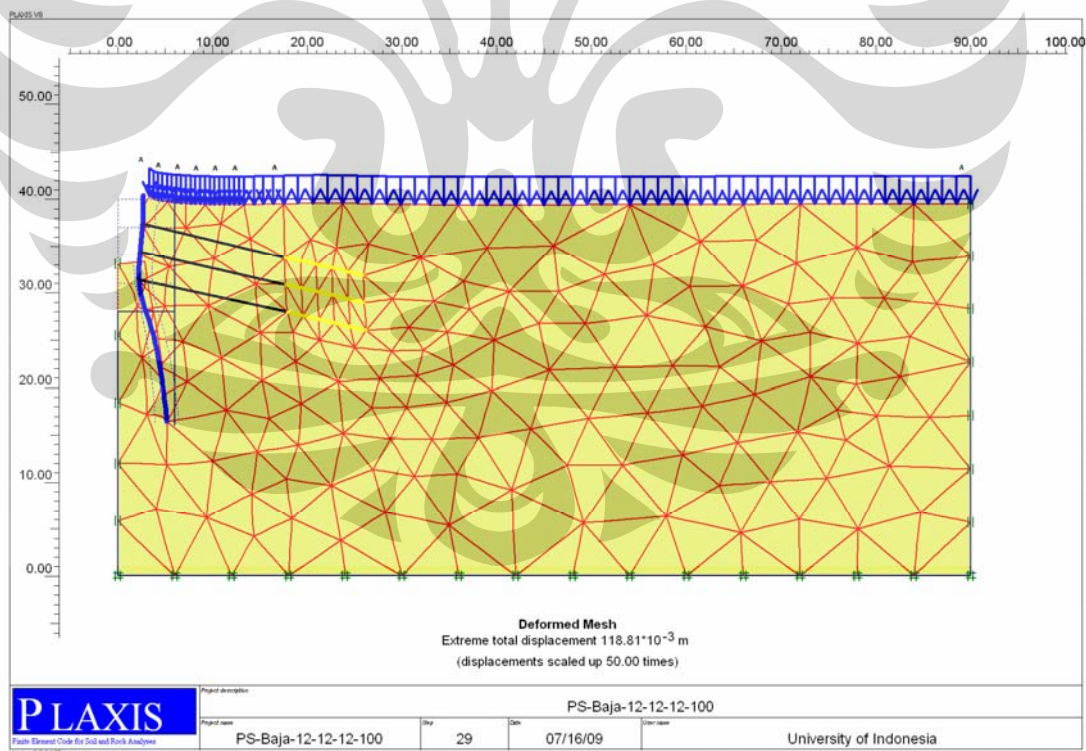


**Gambar 4.9** Deformasi tahap 6 (Galian level ke-3)





**Gambar 4.10** Deformasi tahap 7 (Instalasi angkur ke-3)

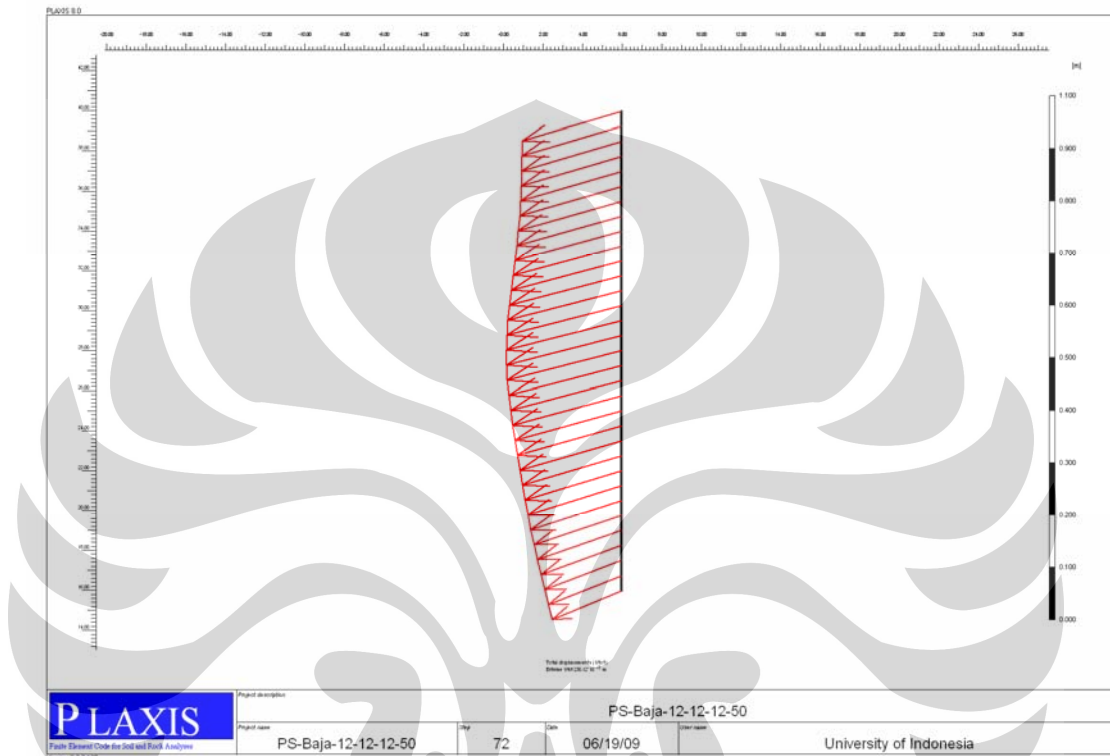


**Gambar 4.11** Deformasi tahap 8 (Galian level ke-4)



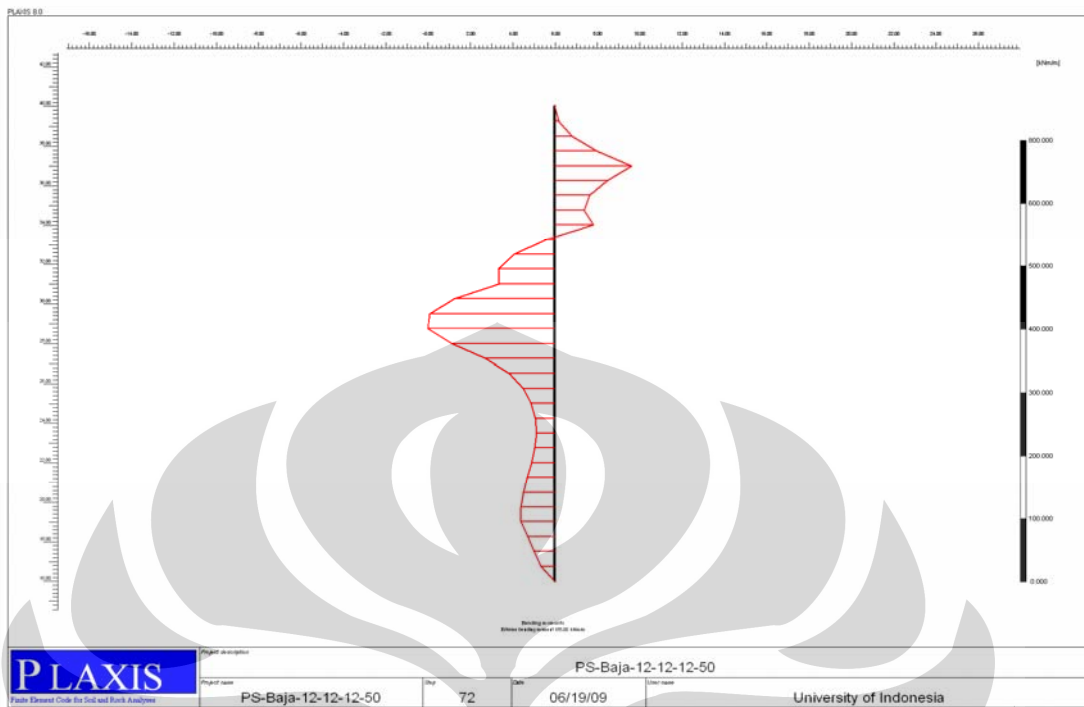
Selain tampilan deformasi-deformasi diatas, plaxis bisa menunjukkan beberapa grafik-grafik output hasil dari perhitungan. Berikut adalah contoh hasil grafik-grafik output yang akan didapat dari plaxis.

1. Deformasi lateral dan vertikal pada ujung atas turap



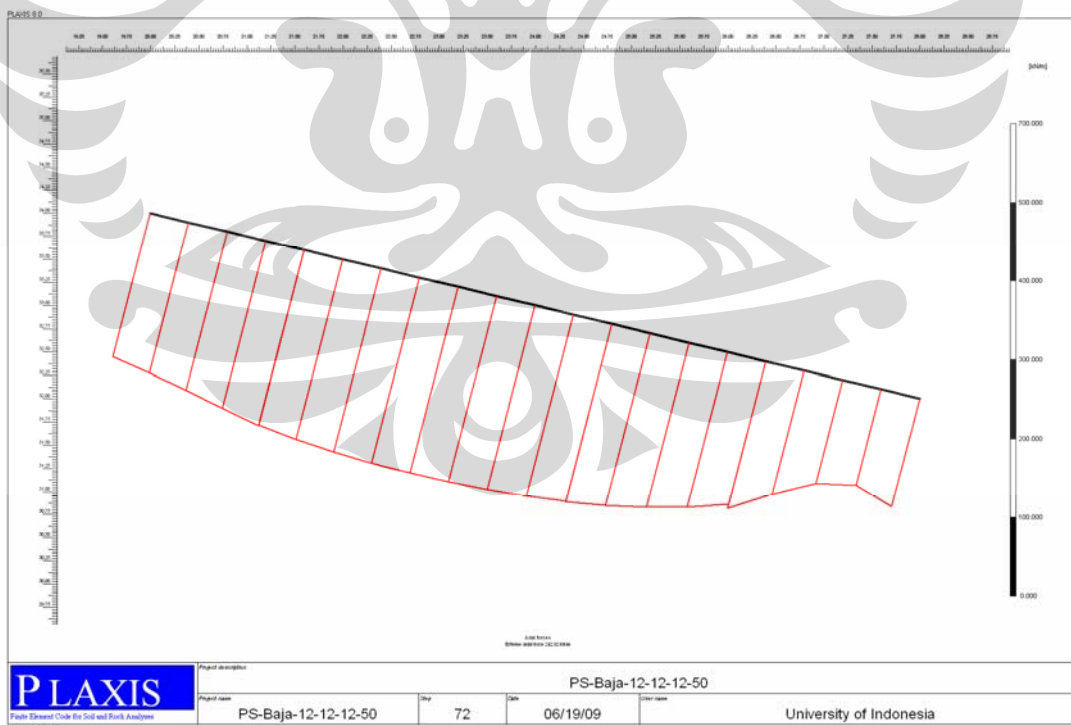
**Gambar 4.12** Deformasi lateral dan vertikal pada plaxis

2. Bending momen pada turap



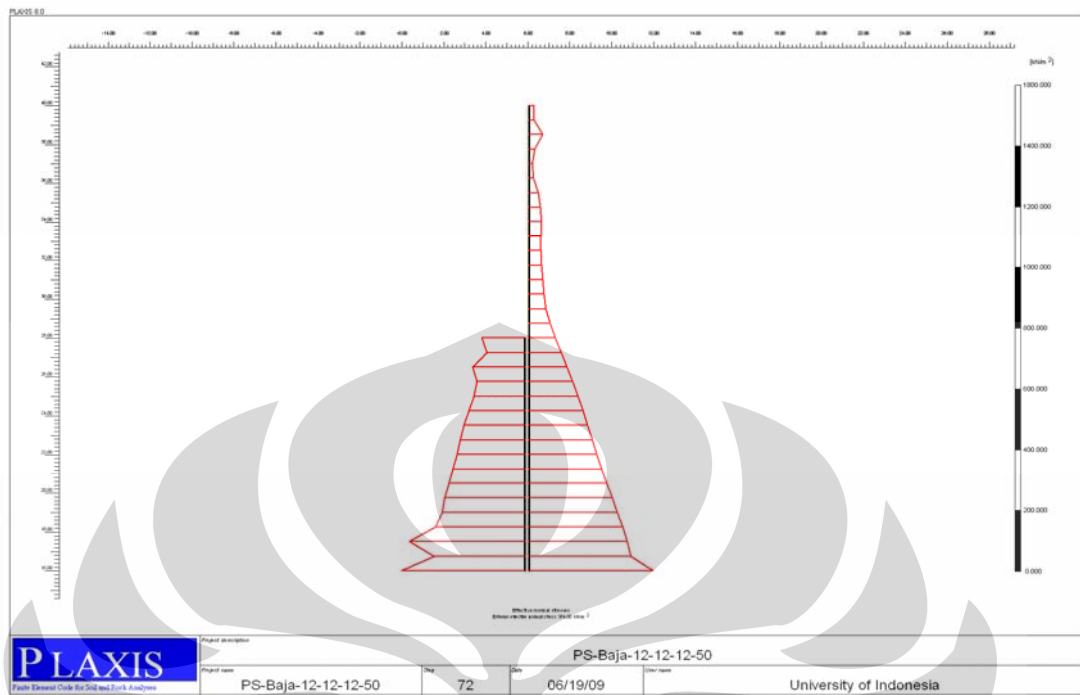
**Gambar 4.13** Bending momen pada plaxis

3. Gaya aksial angkur F1 (Angkur yang paling dekat permukaan tanah)



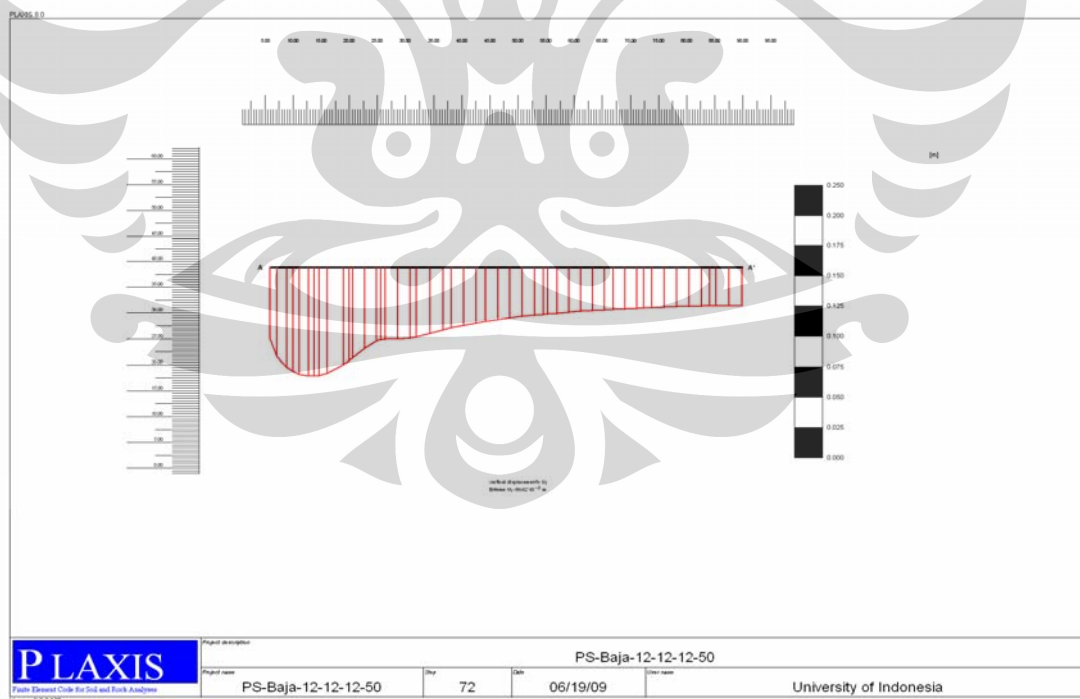
**Gambar 4.14** Gaya aksial angkur pada plaxis

## 4. Tekanan Tanah aktif dan pasif



Gambar 4.15 Tekanan tanah aktif-pasif pada plaxis

## 5. Settlement pada permukaan tanah disepanjang sisi galian

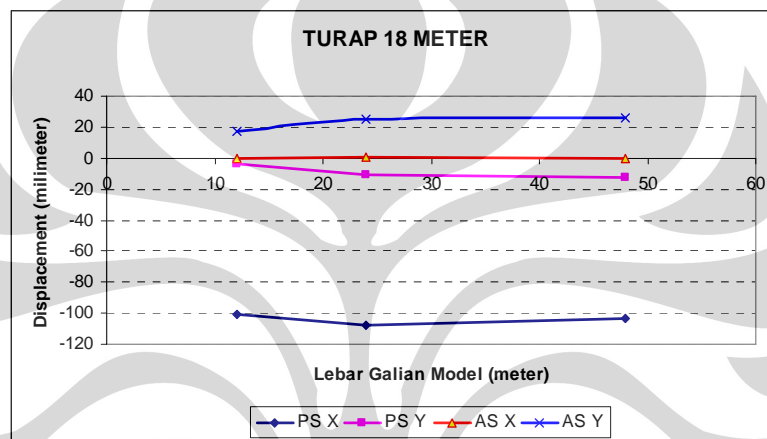


Gambar 4.16 Settlement pada permukaan tanah pada plaxis

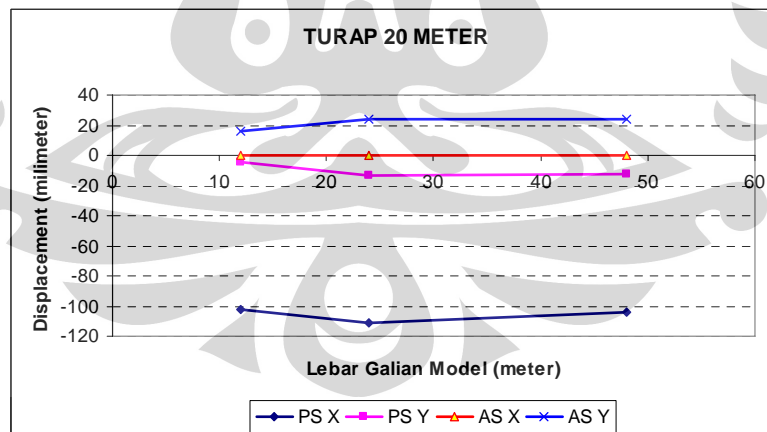
#### 4.2.1 Analisa Lendutan Ujung Atas Turap Berdasarkan Lebar Galian

Dibawah ini adalah grafik-grafik lendutan dari hasil permodelan plaxis yang telah diplot kedalam data excel. Ada dua displacement dalam grafik ini, yaitu displacement arah lateral (X) dan displacement arah vertikal (Y). Arah X positif berarti displacement kearah galian, sedangkan Arah X negatif berarti displacement menjauhi galian. Arah Y positif berarti displacement keatas galian, sedangkan Arah Y negatif berarti displacement kebawah.

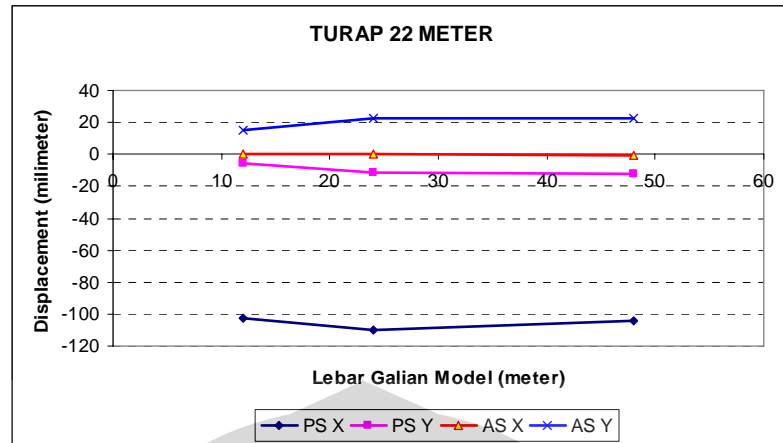
A. Turap baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



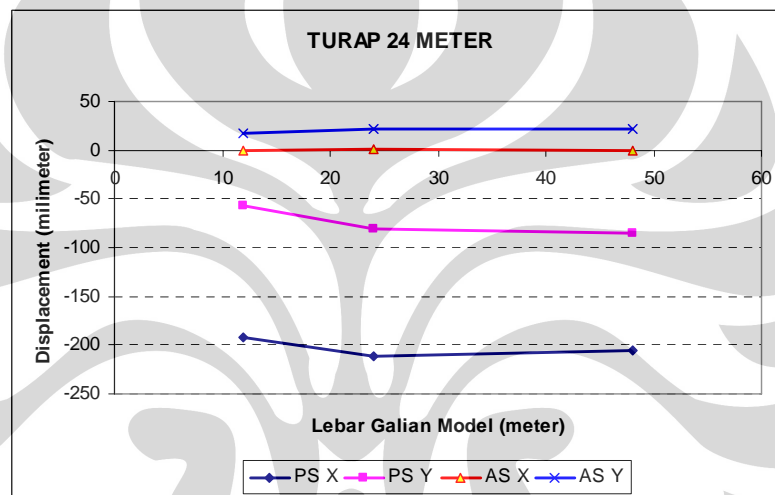
Grafik 4.17a Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)



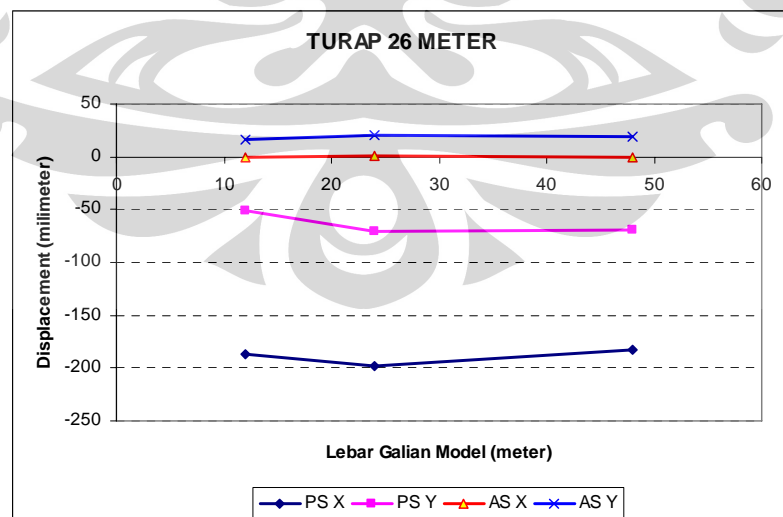
Grafik 4.17b Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)



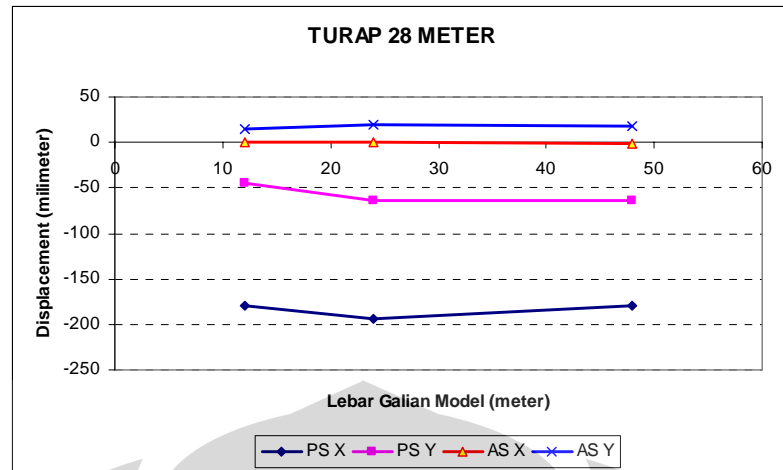
**Grafik 4.17c** Lentutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.17d** Lentutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)

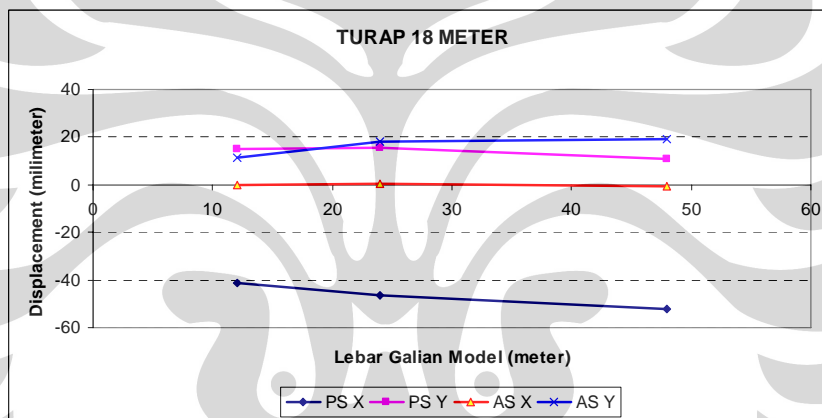


**Grafik 4.17e** Lentutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)

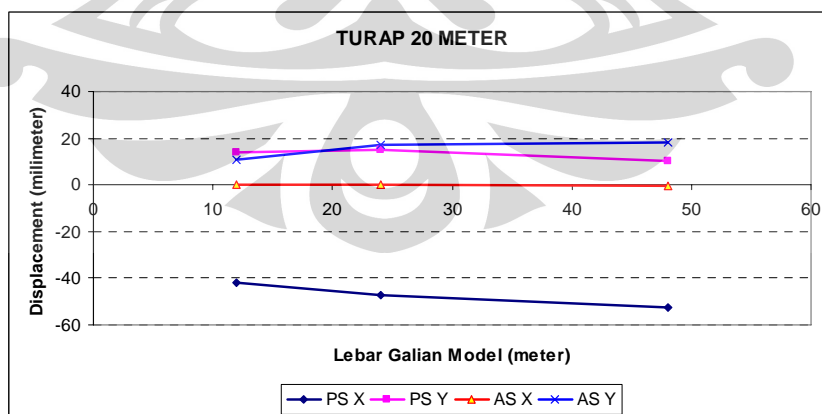


**Grafik 4.17f** Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)

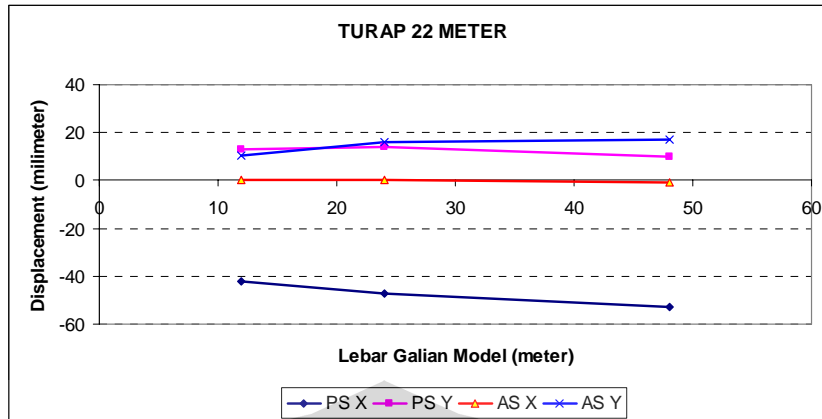
B. Turap baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



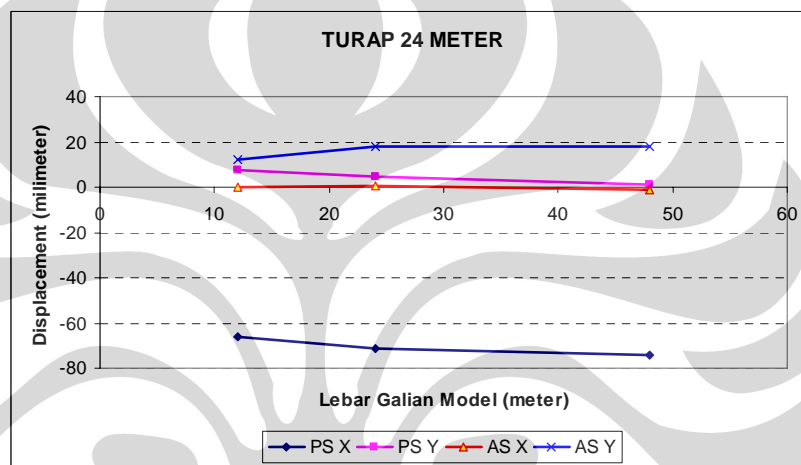
**Grafik 4.18a** Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)



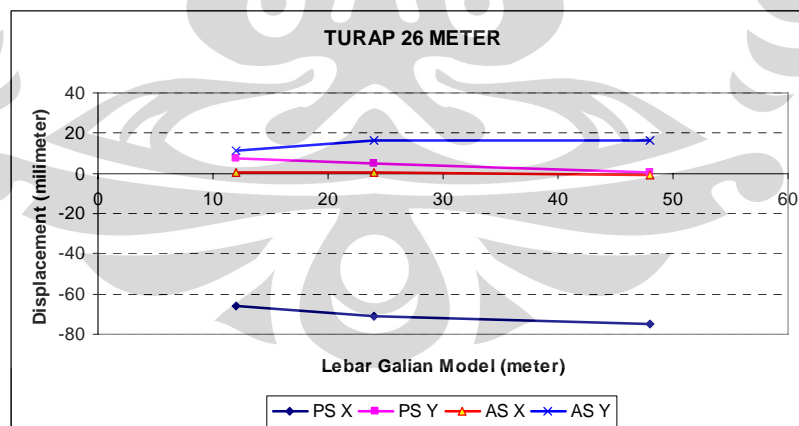
**Grafik 4.18b** Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)



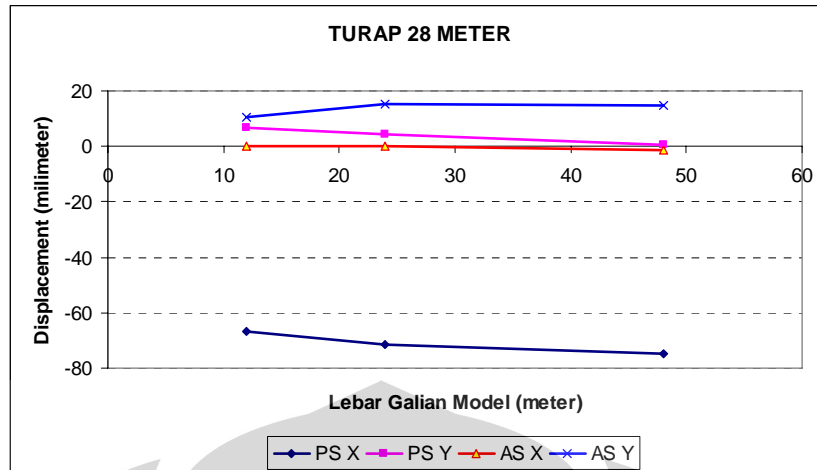
Grafik 4.18c Lentutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)



Grafik 4.18d Lentutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)

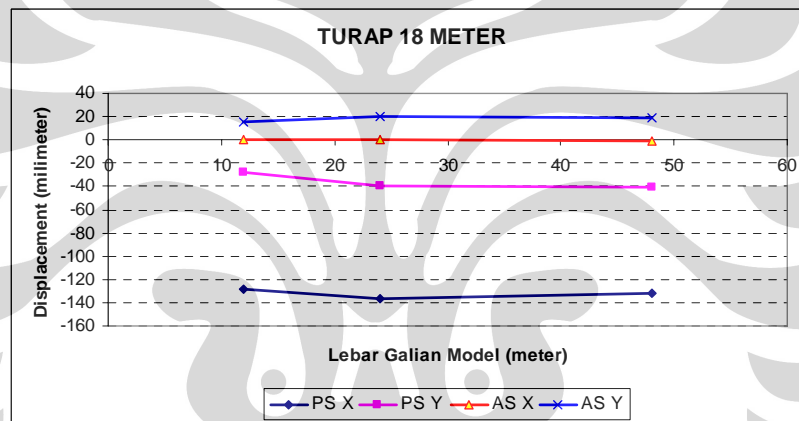


Grafik 4.18e Lentutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)

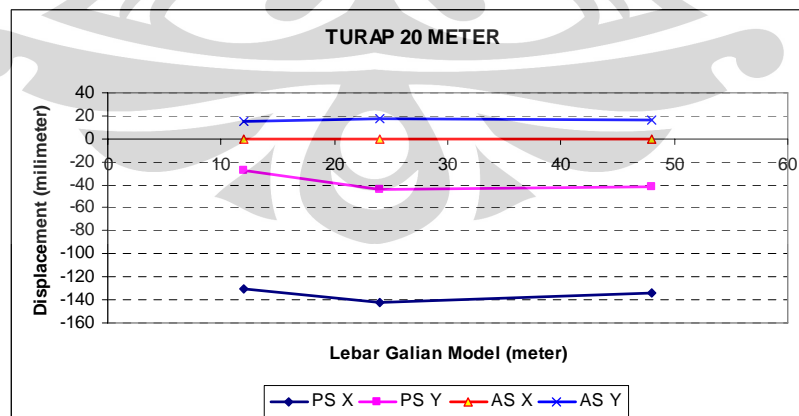


Grafik 4.18f Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)

C. Turap beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$

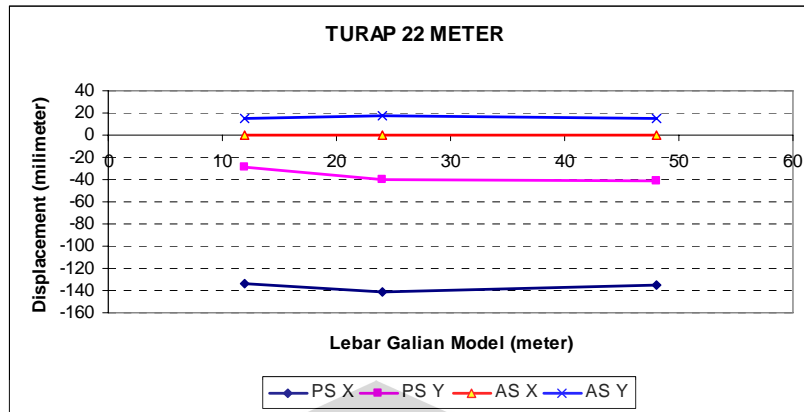


Grafik 4.19a Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)

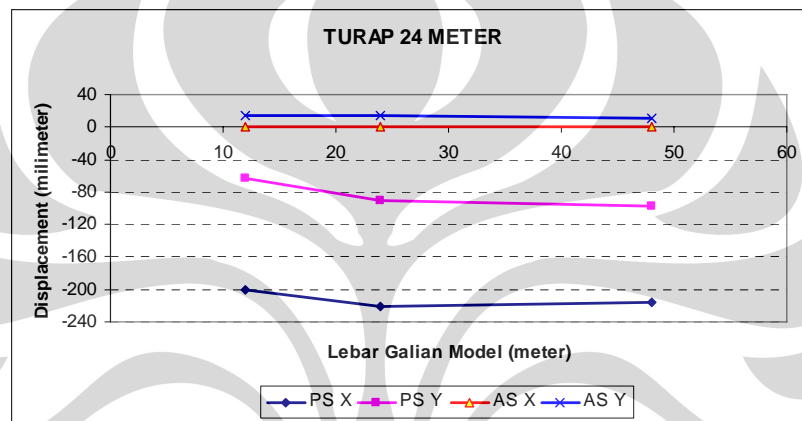


Grafik 4.19b Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)

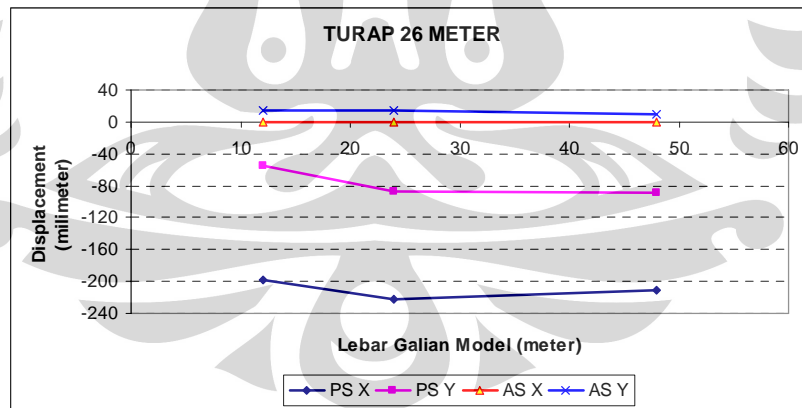




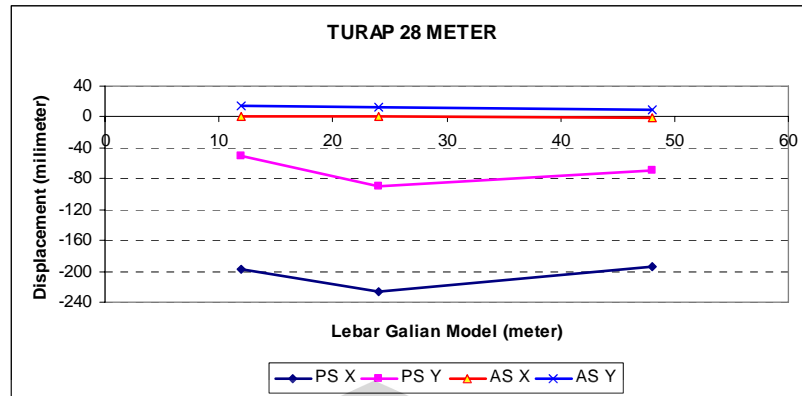
Grafik 4.19c Lendutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)



Grafik 4.19d Lendutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)

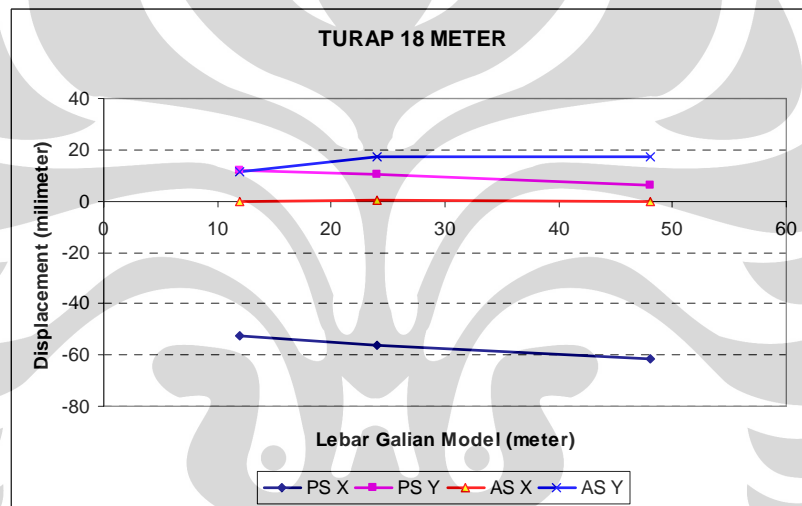


Grafik 4.19e Lendutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)

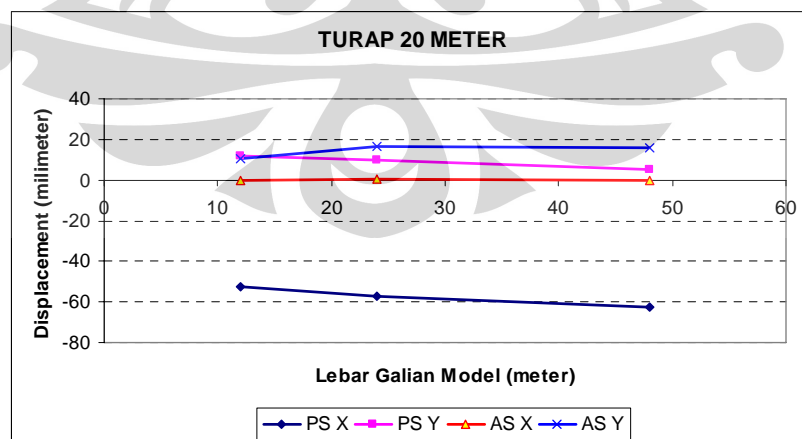


Grafik 4.19f Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)

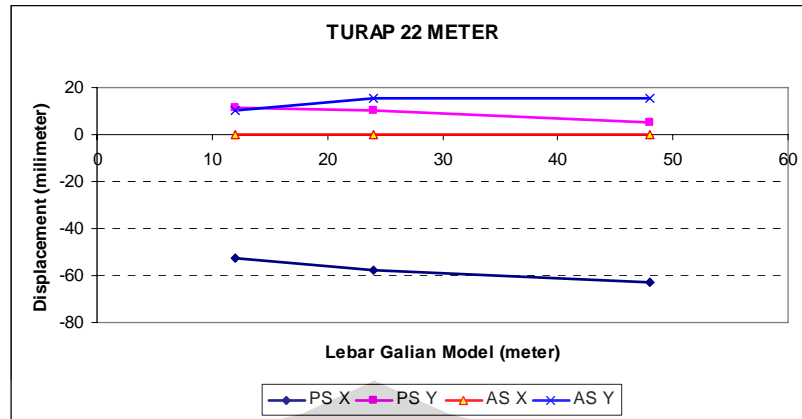
D. Turap beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



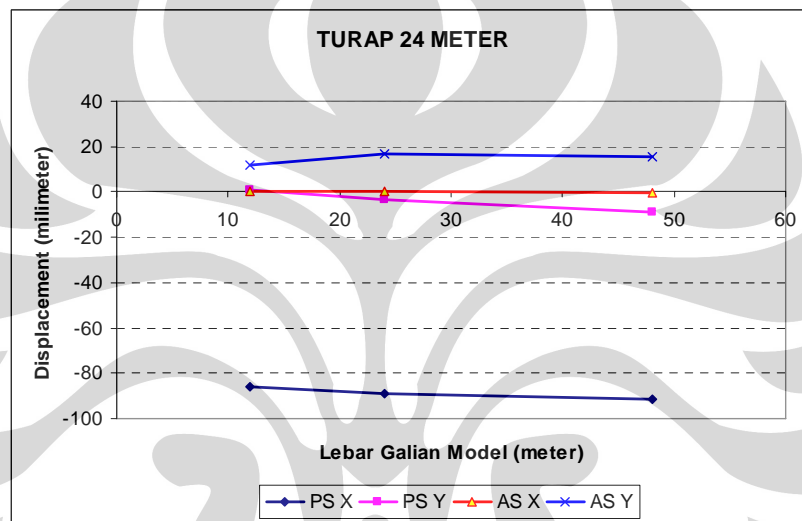
Grafik 4.20a Lendutan ujung atas turap 18 meter (galian 9 meter)



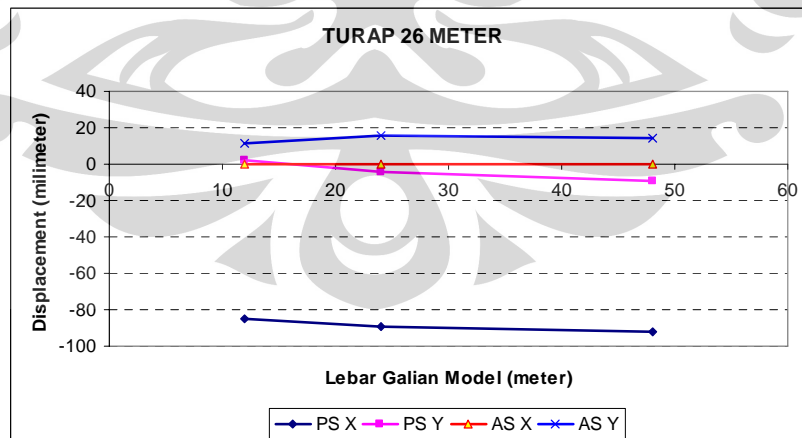
Grafik 4.20b Lendutan ujung atas turap 20 meter (galian 9 meter)



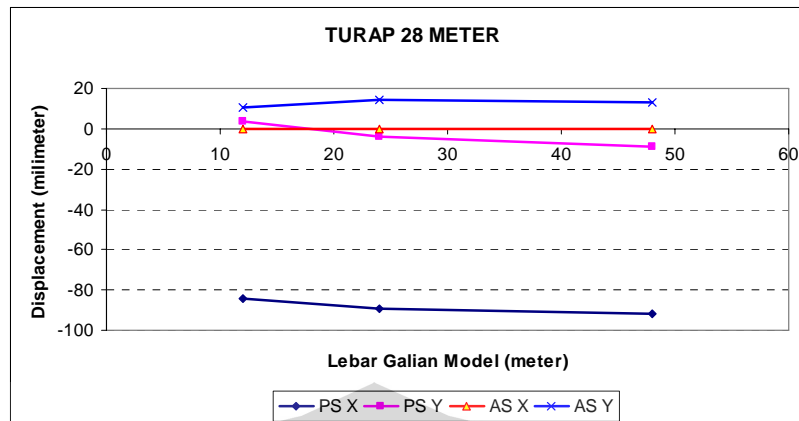
Grafik 4.20c Lentutan ujung atas turap 22 meter (galian 9 meter)



Grafik 4.20d Lentutan ujung atas turap 24 meter (galian 12 meter)



Grafik 4.20e Lentutan ujung atas turap 26 meter (galian 12 meter)



**Grafik 4.20f** Lendutan ujung atas turap 28 meter (galian 12 meter)

Dari grafik perbandingan lendutan dinding turap diatas, maka dapat terlihat satu per satu perilaku lendutan di ujung atas dinding akibat pertambahan lebar galian, pertambahan panjang embedment, variasi nilai kekuatan geser tanah ( $S_u$ ), variasi kekakuan material dinding, serta akibat variasi kedalaman galian.

Peninjauan pertama adalah **lendutan arah lateral pada galian 9 meter pada model plane strain**. Pertambahan embedment tampak tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan lateral yang terjadi. Hal ini, misalnya, terlihat dari peralihan grafik 4.17a, 4.17b, dan 4.17c. Dari grafik-grafik tersebut, nilai-nilai lendutan tidak berubah secara signifikan. Sementara itu, pertambahan lebar galian pada lempung dengan  $S_u$  100 akan menyebabkan pertambahan lendutan sebesar 3 sampai 6 mm. Hal ini, misalnya, terlihat pada grafik 4.18a dimana pertambahan *displacement* dari lebar 12 ke 24 sebesar 5 mm, dan dari 24 ke 48 sebesar 6 meter. Pada grafik yang lain menunjukkan kisaran yang tidak jauh berbeda. Sementara untuk lempung  $S_u$  50, terjadi peningkatan setelah itu penurunan. Contohnya pada grafik 4.17a. Ini berarti lendutan terbesar terjadi pada galian dengan lebar 24 meter, sedangkan galian dengan lebar 12 meter dan 48 meter cenderung sama. Dari lebar 12 ke 24 meter dan dari 24 ke 48 meter, peningkatan dan penurunannya berkisar antara 10 sampai 15 mm.

Faktor kekuatan geser tanah atau nilai  $S_u$  juga berpengaruh terhadap lendutan. Semakin besar nilai  $S_u$ , maka lendutannya akan semakin kecil. Misal, bandingkan grafik 4.17a dengan grafik 4.18a. Untuk lebar galian 12 m, penurunan

lendutannya mencapai 59 mm, untuk lebar 24 m mencapai 61 mm, dan untuk lebar 48 m mencapai 51 mm.

Jenis material struktur yang digunakan juga berpengaruh terhadap lendutan yang terjadi. Sheet pile baja cenderung menunjukkan lendutan lebih kecil dari sheet pile beton. Tercatat lendutan terbesar pada sheet pile baja sebesar 111,315 mm (Grafik 4.17b), sedangkan pada sheet pile beton sebesar 142,065 mm (Grafik 4.19f).

Yang kedua adalah **lendutan arah vertikal pada galian 9 meter pada model plain strain**. Sama seperti kasus sebelumnya, penambahan embedment tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan vertikal yang terjadi. Sementara itu, penambahan lebar galian pada lempung dengan Su 50, akan menyebabkan pembesaran lendutan ke bawah permukaan (misal, grafik 4.17a, 4.17b, dan 4.17c), sedangkan penambahan lebar galian pada lempung dengan Su 100 akan menyebabkan pengecilan lendutan arah atas permukaan galian (misal 4.18a, 4.18b, 4.18c).

Dari keterangan diatas dapat diketahui bahwa faktor kekuatan geser lempung berpengaruh terhadap arah lendutan. Lempung dengan kekuatan geser lebih besar cenderung akan menyebabkan lendutan ke arah atas, sedangkan lempung dengan kekuatan geser lebih kecil akan menyebabkan lendutan mengarah ke bawah permukaan.

Jenis material struktur yang digunakan berpengaruh terhadap lendutan vertikal dinding turap. Sheet pile baja menunjukkan tren lendutan lebih kecil yaitu, untuk Su 50 berkisar antara 3 sampai 13 mm ke bawah permukaan (lihat grafik 4.17a, 4.17b, dan 4.17c), untuk Su 100 berkisar antara 9 sampai 15 mm ke atas permukaan (lihat grafik 4.18a, 4.18b, 4.18c). Sementara untuk sheet pile beton menunjukkan tren lendutan yang lebih besar yaitu, untuk Su 50 berkisar antara 27 sampai 44 mm ke arah bawah permukaan (lihat grafik 4.19a, 4.19b, dan 4.19c), untuk Su 100 berkisar antara 5 sampai 12 mm ke arah atas permukaan (lihat grafik 4.20a, 4.20b, dan 4.20c).

Yang ketiga adalah **lendutan arah lateral pada galian 12 meter pada model plain strain**. Penambahan embedmen berpengaruh kecil terhadap penambahan lendutan yaitu berkisar antara 1 sampai 3 mm (bandingkan kenaikan lendutan pada grafik 4.17d, 4.17e, dan 4.17f). Sementara itu, penambahan lebar

galian untuk tanah lempung Su 50, terjadi peningkatan setelah itu penurunan (Lihat grafik 4.17d, 4.17e, dan 4.17f). Sama seperti galian 9 meter, ini berarti lendutan terbesar terjadi pada galian dengan lebar 24 meter, sedangkan untuk lebar galian 12 dan 48 meter cenderung tak berbeda jauh. Untuk tanah lempung Su 100, lendutan terbesar terjadi pada galian 48 meter dengan membentuk tren, semakin besar lebar galian semakin besar lendutannya (Lihat grafik 4.18a, 4.18b, 4.18c).

Faktor kekuatan geser tanah mempengaruhi lendutan yang terjadi. Semakin besar kekuatan geser tanah, semakin kecil lendutan yang terjadi (bandingkan grafik 4.17d dengan 4.18d). Sementara itu, kekakuan struktur juga berpengaruh. Sheet pile baja mengalami lendutan lebih kecil yaitu berkisar antara 66 sampai 74 mm, sedangkan sheet pile beton mengalami lendutan lebih besar yaitu berkisar antara 85 sampai 91 mm (Lihat grafik 4.18d dan 4.20d).

Yang ke-empat adalah **lendutan arah vertikal pada galian 12 meter pada model plain strain**. Penambahan panjang embedmen tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan yang terjadi. Sementara itu, penambahan lebar galian cenderung akan menambah lendutan vertikal meskipun kecil.

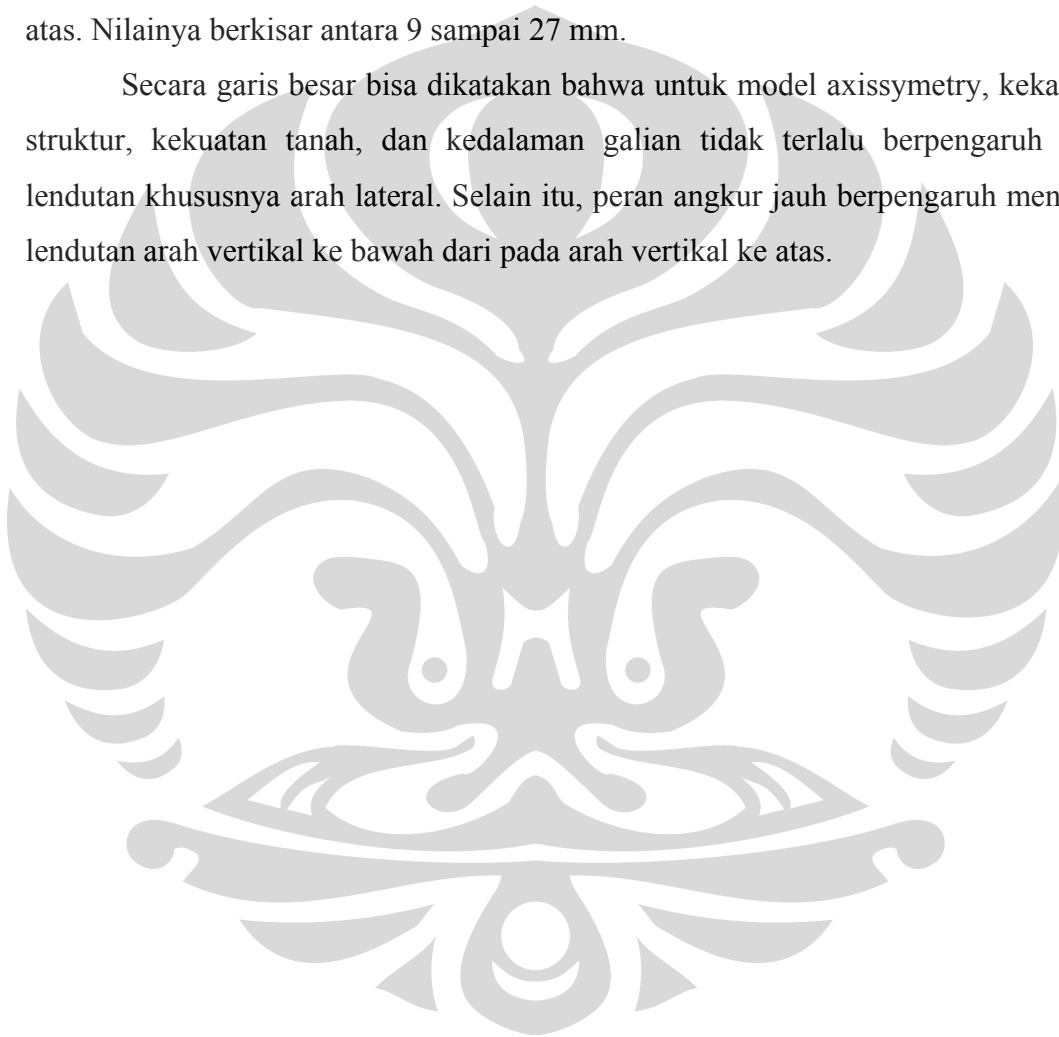
Kekuatan geser tanah berpengaruh terhadap lendutan arah vertikal. Tanah dengan kekuatan yang lebih besar (Su 100) mula-mula akan cenderung mengalami lendutan vertikal ke atas permukaan, namun semakin turun ke permukaan seiring penambahan lebar galian (Lihat grafik 4.18a, 4.18b, dan 4.18c). Sementara untuk tanah dengan kekakuan lebih kecil, akan cenderung mengalami lendutan ke bawah permukaan dan semakin menjauhi permukaan seiring penambahan lebar galian (lihat grafik 4.17a, 4.17b, dan 4.17c).

Dari grafik diatas terlihat bahwa sheet pile beton mengalami lendutan arah vertikal lebih kecil dari sheet pile baja. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kekakuan material cukup signifikan dalam menahan lendutan secara vertikal.

Secara garis besar, permodelan dengan bentuk plain strain menunjukkan bahwa kekakuan struktur, kekuatan geser tanah, dan kedalaman galian mendominasi pengaruh lendutan. Semakin besar nilai kekakuan struktur dan kekuatan geser tanah, semakin kecil lendutannya. Selain itu, semakin besar kedalaman galian semakin besar pula lendutannya.

Selanjutnya akan dibahas mengenai perilaku **lendutan pada model axissymetry**. Pada model axissymetry, lendutan arah x bisa dibilang tidak terjadi karena nilainya hampir mendekati nol (bisa dilihat dari semua grafik). Ini dikarenakan bentuk axissymetry memiliki gaya melingkar (hoop force) yang menyebabkan lendutan lateral sulit terjadi. Sementara untuk lendutan vertikal, semuanya menunjukkan lendutan ke arah atas permukaan. Ini menunjukkan bahwa angkur tanah lebih berperan besar menahan dinding ke arah bawah dari pada ke arah atas. Nilainya berkisar antara 9 sampai 27 mm.

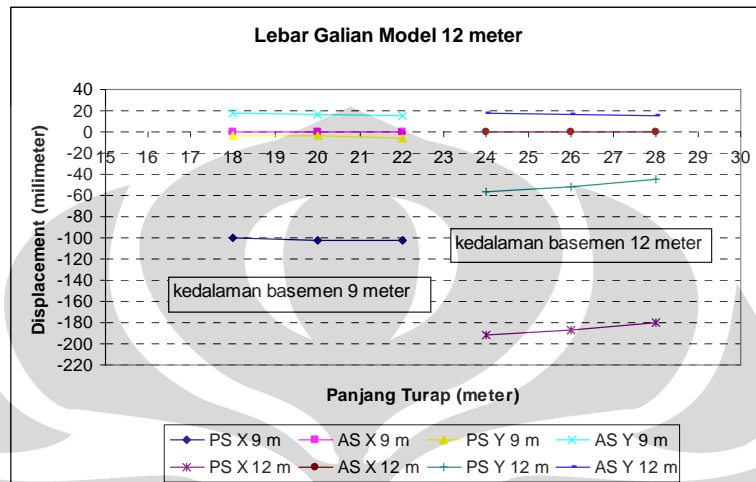
Secara garis besar bisa dikatakan bahwa untuk model axissymetry, kekakuan struktur, kekuatan tanah, dan kedalaman galian tidak terlalu berpengaruh pada lendutan khususnya arah lateral. Selain itu, peran angkur jauh berpengaruh menahan lendutan arah vertikal ke bawah dari pada arah vertikal ke atas.



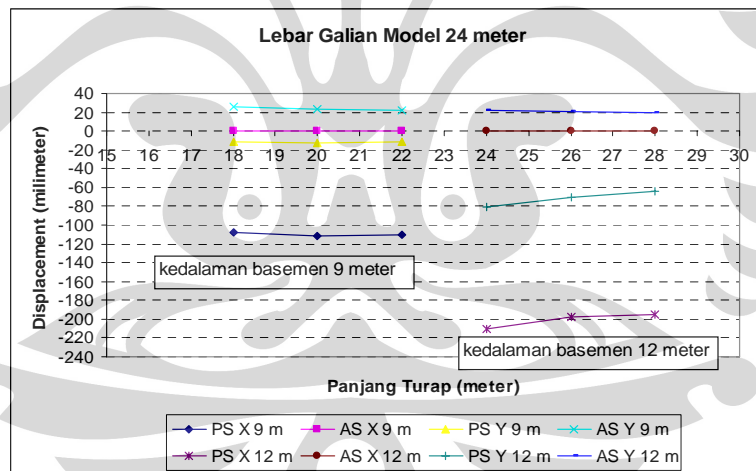
#### 4.2.2 Analisa Lendutan Ujung Atas Turap Berdasarkan Panjang Turap

Berikut adalah masih merupakan analisa lendutan ujung atas turap, namun sumbu x-nya didasarkan pada penambahan panjang turap.

A. Turap baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$

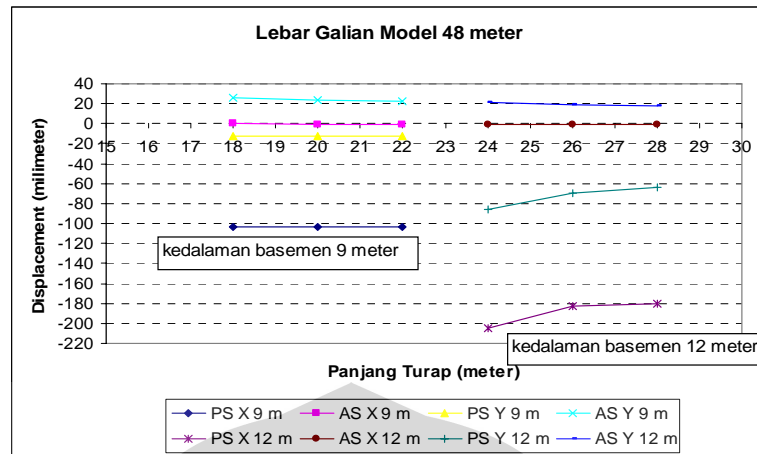


**Grafik 4.21a** Lendutan pada lebar galian 12 meter



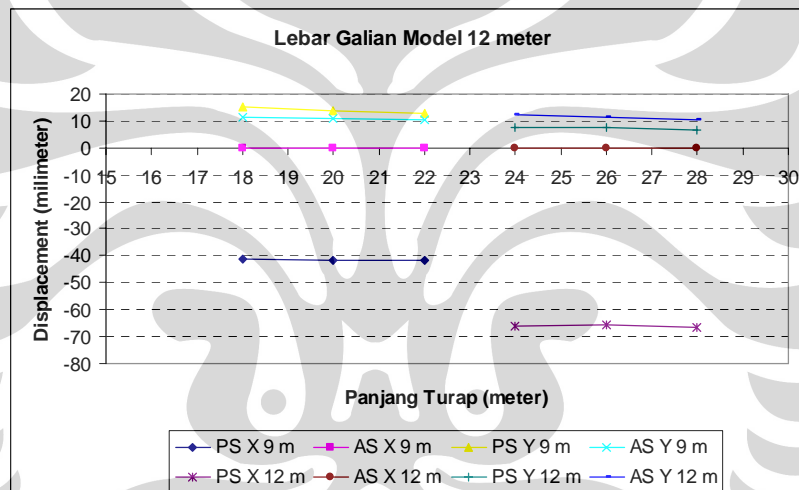
**Grafik 4.21b** Lendutan pada lebar galian 24 meter



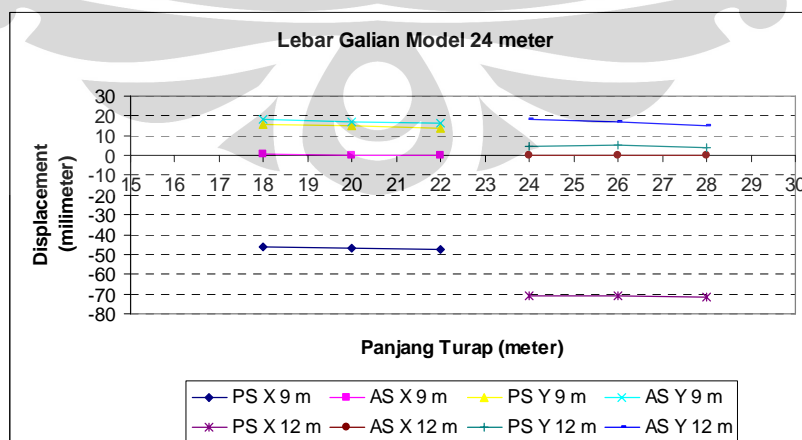


**Grafik 4.21c** Lendutan pada lebar galian 48 meter

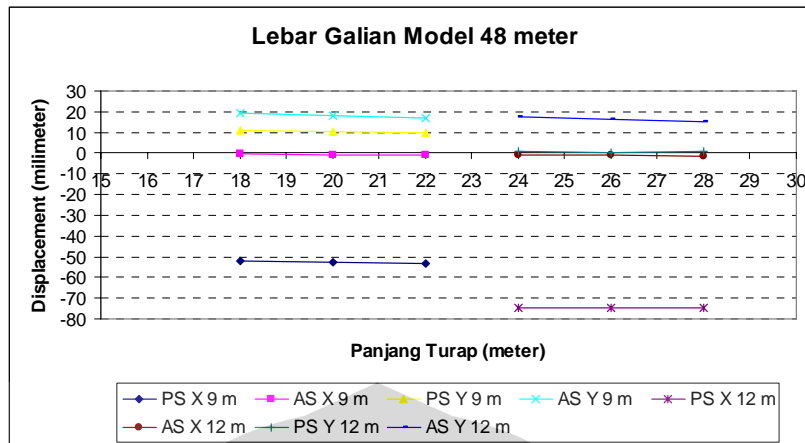
B. Turap baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.22a** Lendutan pada lebar galian 12 meter

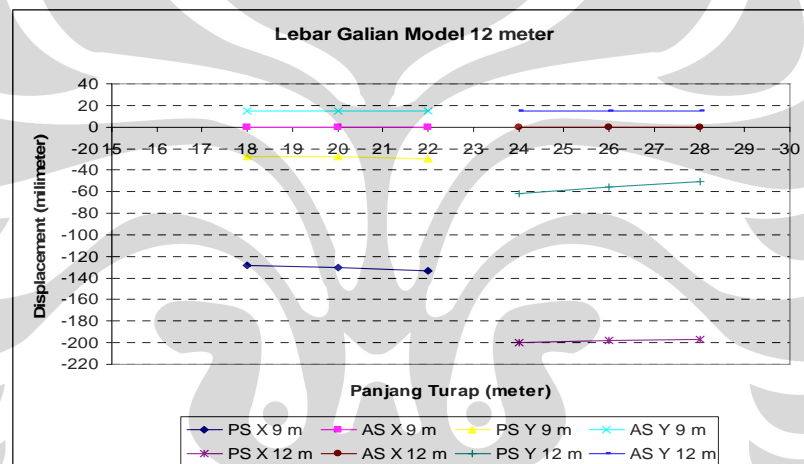


**Grafik 4.22b** Lendutan pada lebar galian 24 meter

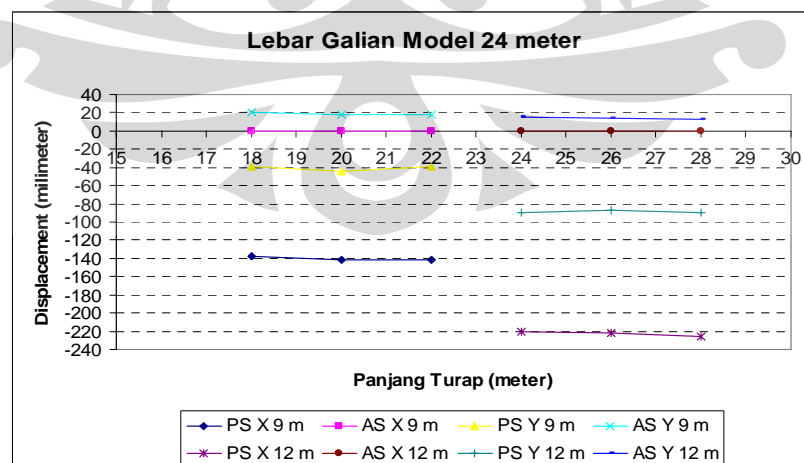


**Grafik 4.22c** Lendutan pada lebar galian 48 meter

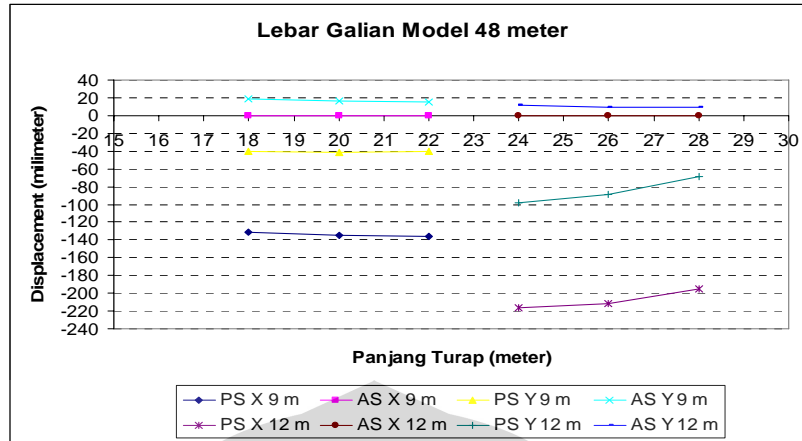
C. Turap beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.23a** Lendutan pada lebar galian 12 meter

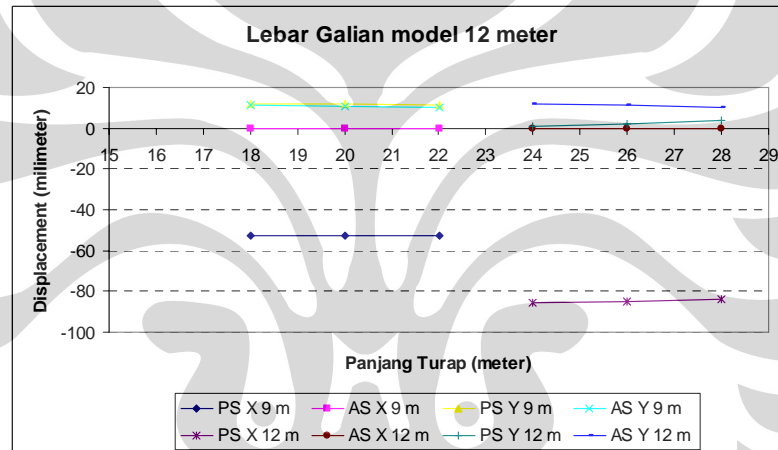


**Grafik 4.23b** Lendutan pada lebar galian 24 meter

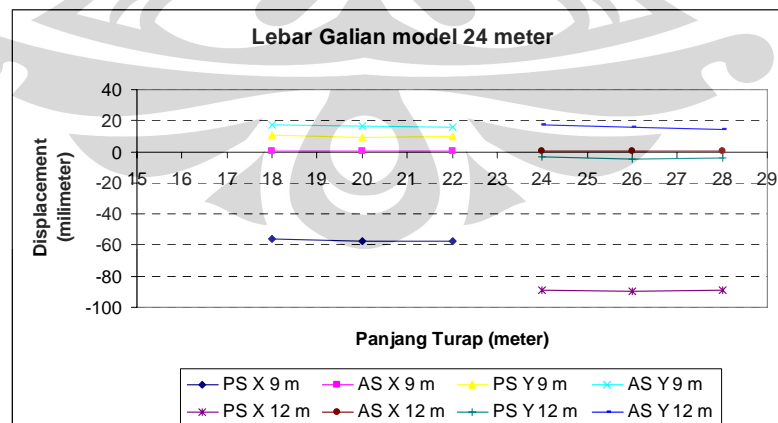


**Grafik 4.23c** Lendutan pada lebar galian 48 meter

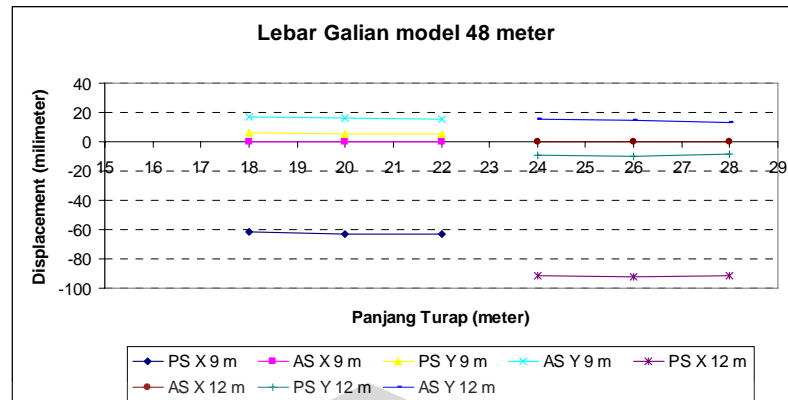
D. Turap beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.24a** Lendutan pada lebar galian 12 meter



**Grafik 4.24b** Lendutan pada lebar galian 24 meter



**Grafik 4.24c** Lendutan pada lebar galian 48 meter

Peninjauan pertama adalah pada perilaku **lendutan lateral pada model plain strain**. Secara umum, lendutan akan cenderung sama dengan semakin bertambahnya panjang turap. Nilainya rata-rata bertambah tapi hanya berkisar antara 0 sampai 7 mm (lihat semua grafik dengan kedalaman basemen 9 meter).

Kekuatan geser tanah sangat mempengaruhi nilai lendutan yang dihasilkan. Kekuatan geser tanah yang kecil akan menghasilkan lendutan yang relatif besar sementara kekuatan tanah yang besar akan menghasilkan lendutan yang relatif kecil (Bandingkan grafik 4.21a dengan 4.22a). Hal ini terlihat dari pengurangan lendutan pada galian 9 meter dari Su 100 ke Su 50 rata-rata sebesar 50 mm pada turap baja, dan rata-rata sebesar 80 mm pada turap beton.

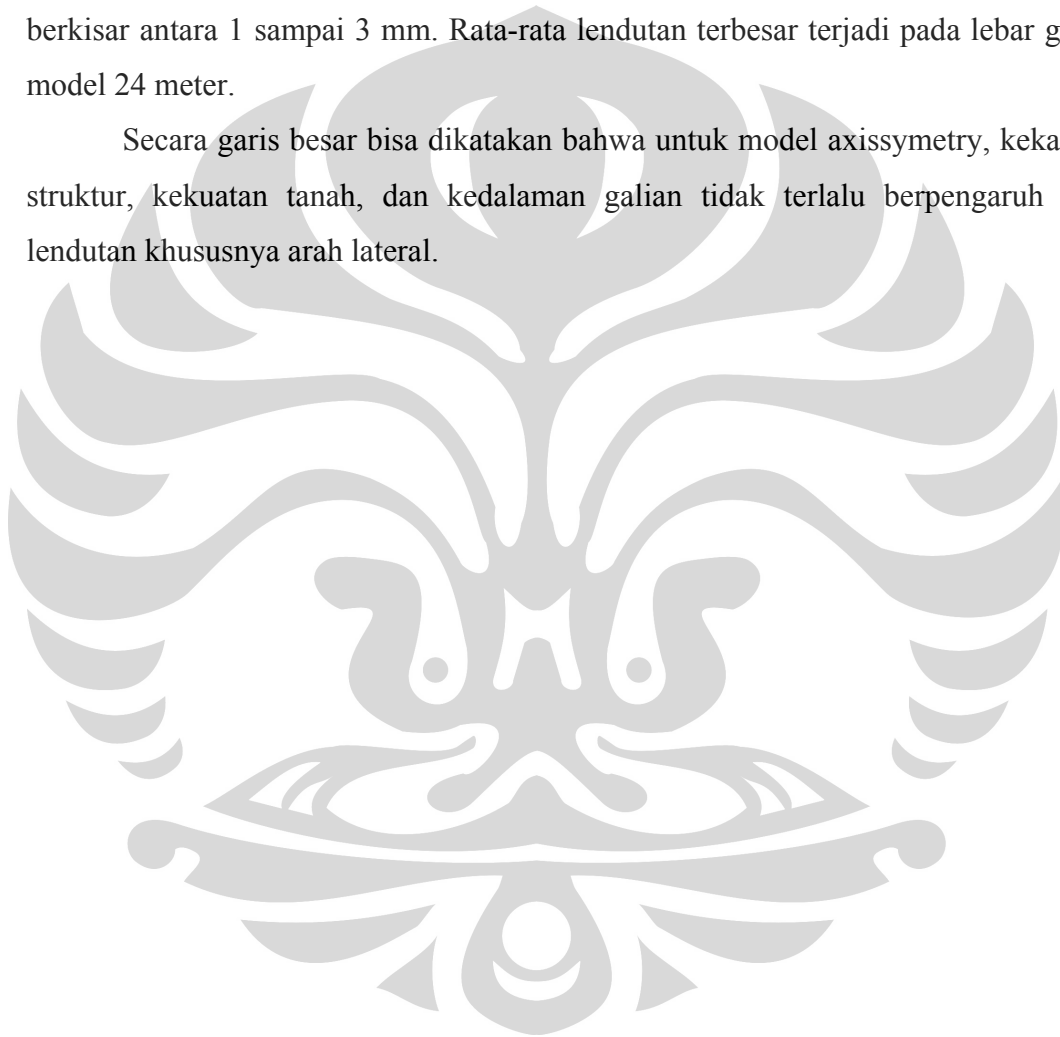
Seperti pada analisa sebelumnya, Kekakuan material dinding juga mempengaruhi hasil lendutan. Material dinding baja cenderung memperlihatkan lendutan lateral yang lebih kecil ketimbang material dinding beton. Perilaku ini sama pada galian 9 meter maupun 12 meter. Lagi-lagi membuktikan bahwa peran angkur pada turap baja untuk menahan lendutan lateral lebih besar dari pada turap beton.

Peninjauan selanjutnya adalah pada **lendutan arah vertikal pada model plain strain**. Peningkatan panjang turap mengesankan tak ada pengaruh pada lendutan arah vertikal, sama halnya seperti lendutan arah horizontal. Kekuatan tanah berpengaruh pada lendutan arah vertikal ini. Semakin kecil kekuatan tanah, lendutan vertikalnya cenderung semakin mengarah ke bawah permukaan. Sementara itu, Material struktur juga mempengaruhi nilai lendutan. Sheet pile baja menunjukkan

lendutan yang lebih kecil dari sheet pile beton. Tren lendutan yang terjadi adalah dibawah permukaan, baik baja maupun beton.

Untuk bentuk **model axissymetry**, tidak terjadi arah lendutan secara horizontal baik pada galian 9 meter maupun 12 meter. Nilai-nilai lendutannya hampir mendekati nol. Adapun secara vertikal, tren lendutan yang terjadi adalah ke arah atas permukaan. Semakin besar panjang turap, lendutannya menunjukkan angka yang semakin kecil mendekati permukaan. Adapun penyusutan nilai lendutannya adalah berkisar antara 1 sampai 3 mm. Rata-rata lendutan terbesar terjadi pada lebar galian model 24 meter.

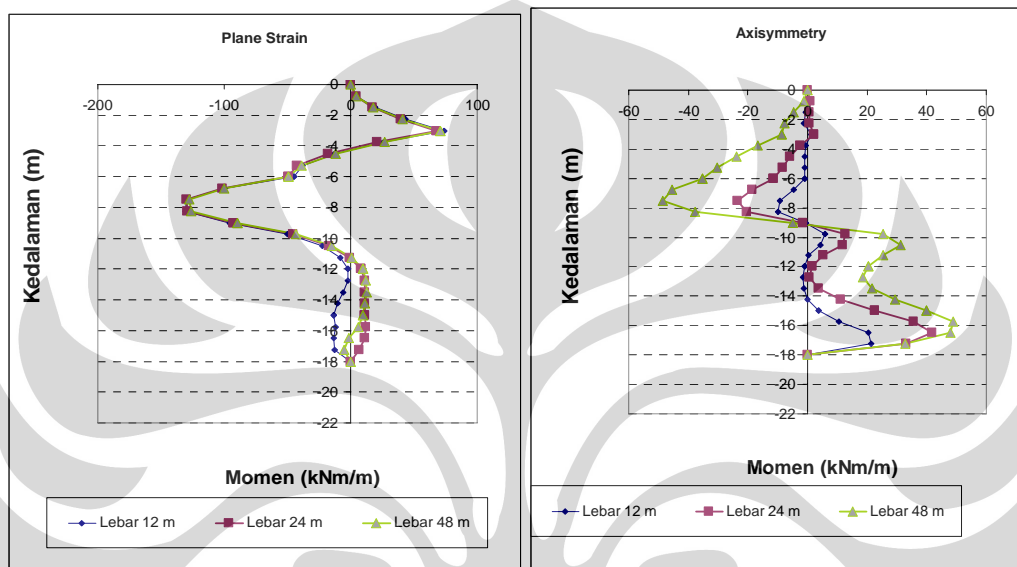
Secara garis besar bisa dikatakan bahwa untuk model axissymetry, kekakuan struktur, kekuatan tanah, dan kedalaman galian tidak terlalu berpengaruh pada lendutan khususnya arah lateral.



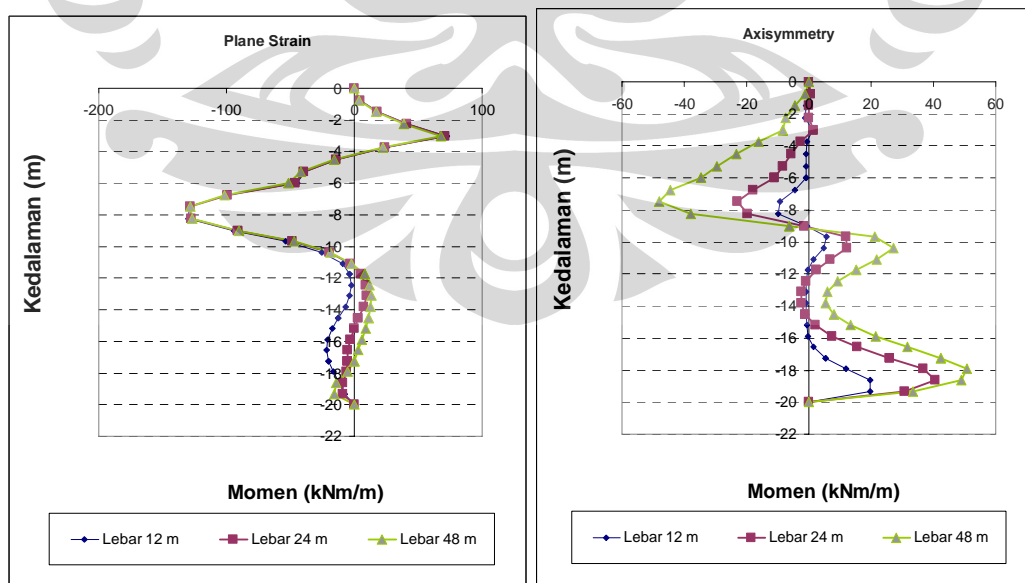
### 4.2.3 Analisa Diagram Momen Berdasarkan Panjang Turap

Berikut adalah berbagai perilaku momen pada turap dengan variasi lebar galian dan panjang turap. Pada turap dengan galian 9 meter, letak angkurnya adalah berturut-turut pada elevasi -3 meter dan -6 meter. Sedangkan pada turap dengan galian 12 meter, letak angkurnya berturut-turut adalah pada elevasi -3 meter, -6 meter, dan -9 meter.

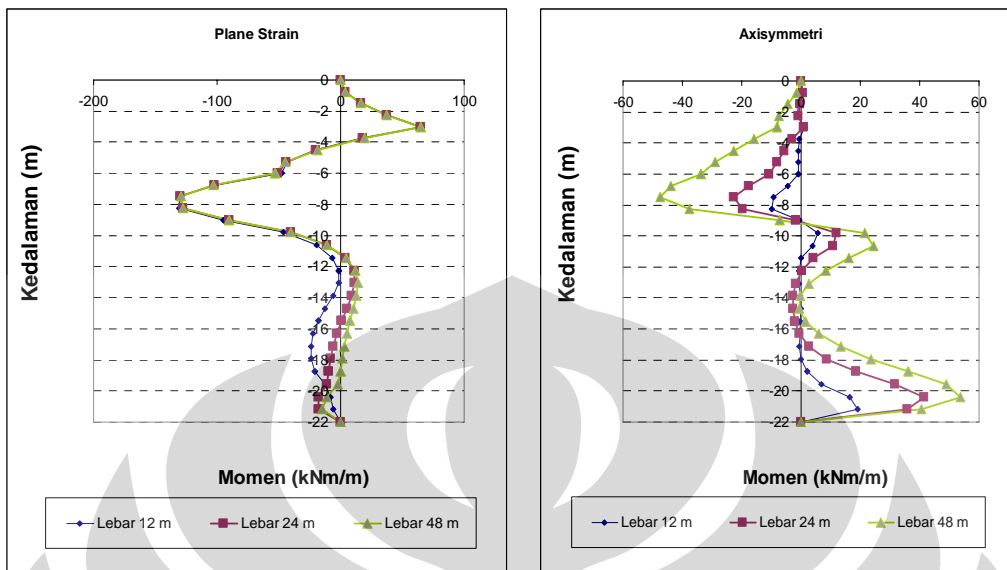
A. Turap baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



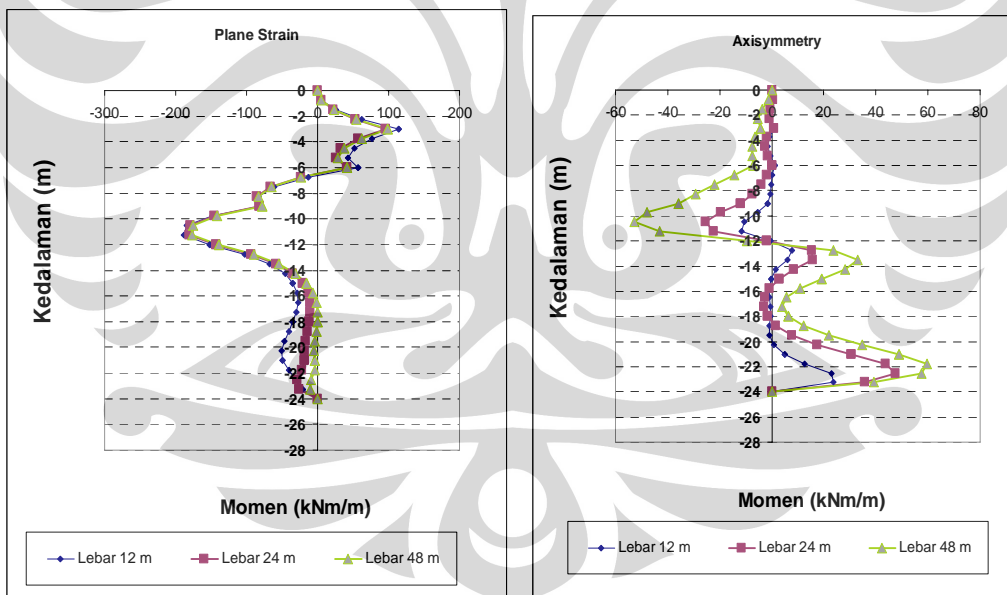
Grafik 4.25a Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)



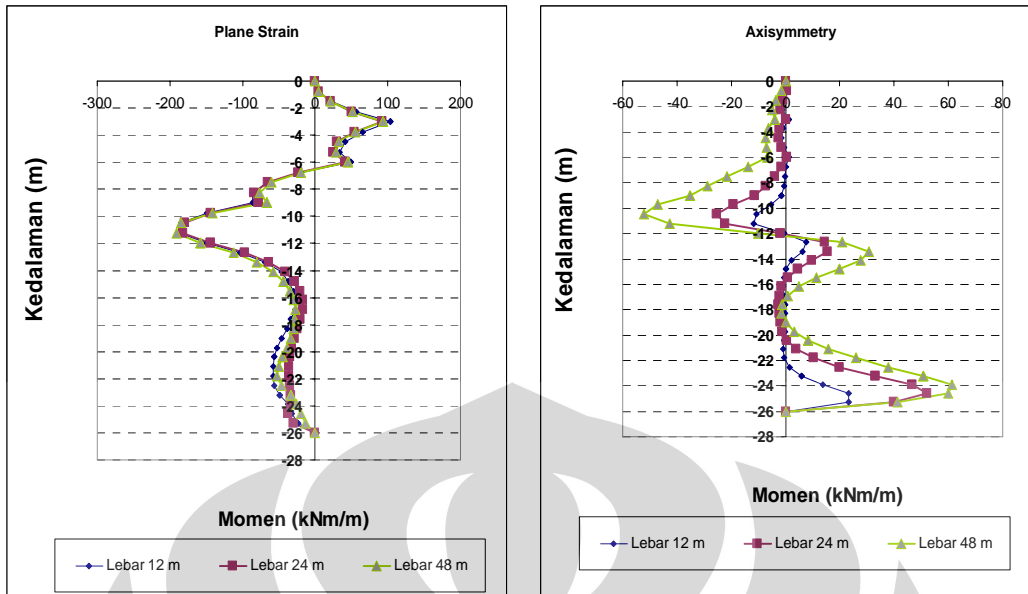
**Grafik 4.25b** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)



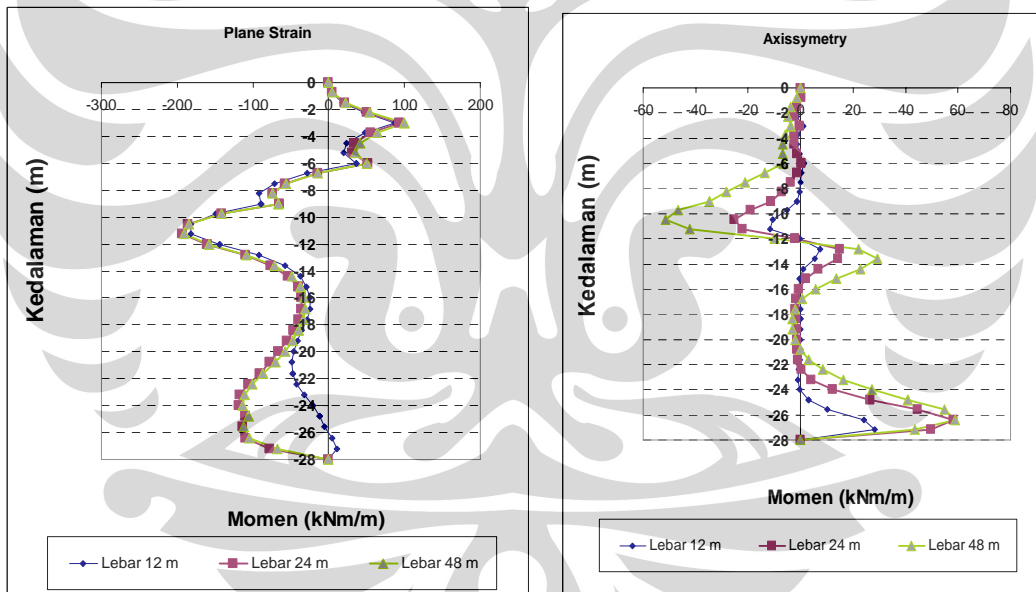
**Grafik 4.25c** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)



**Grafik 4.25d** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)



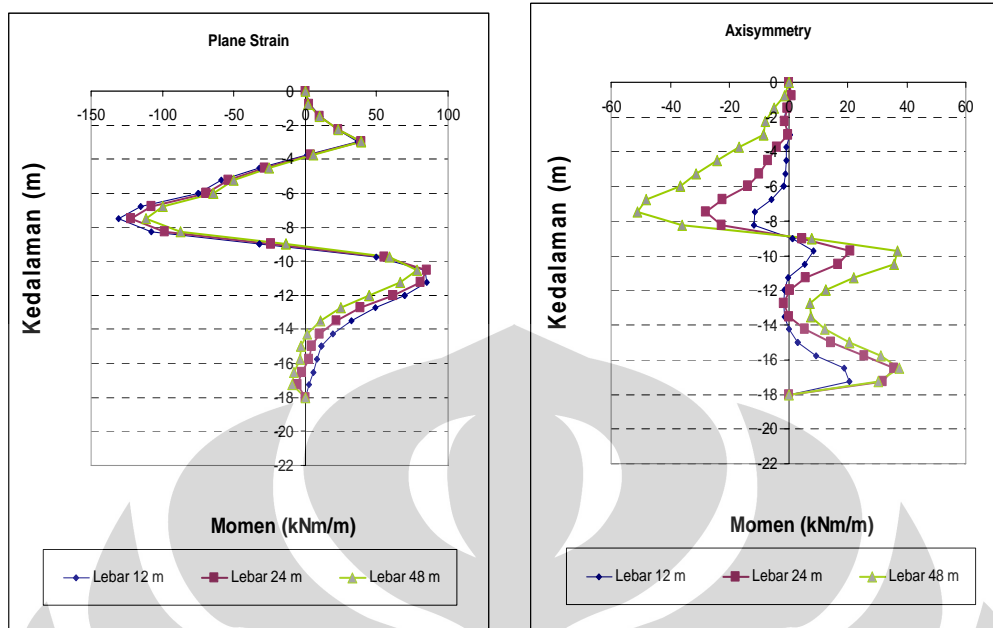
Grafik 4.25e Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)



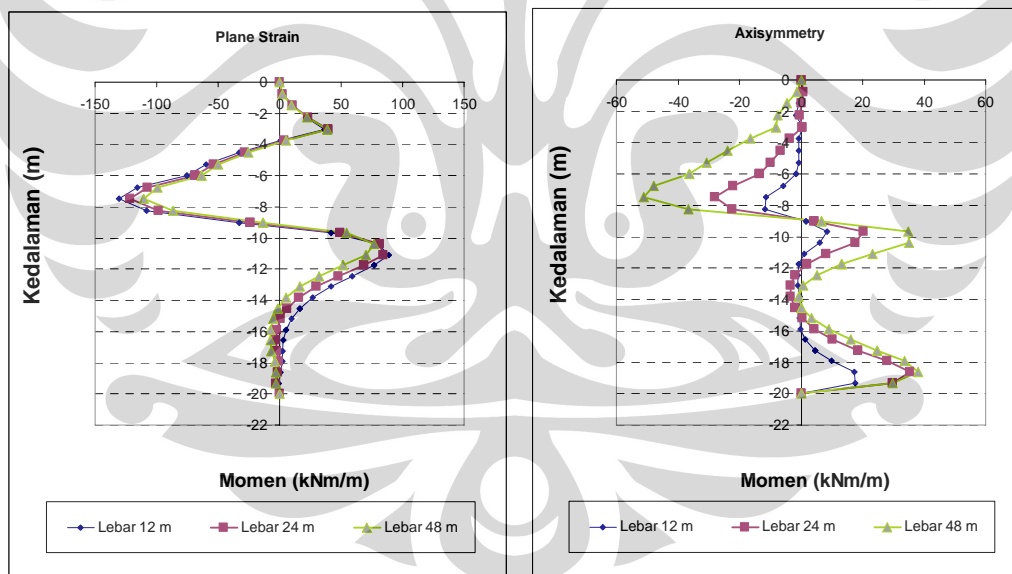
Grafik 4.25f Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)



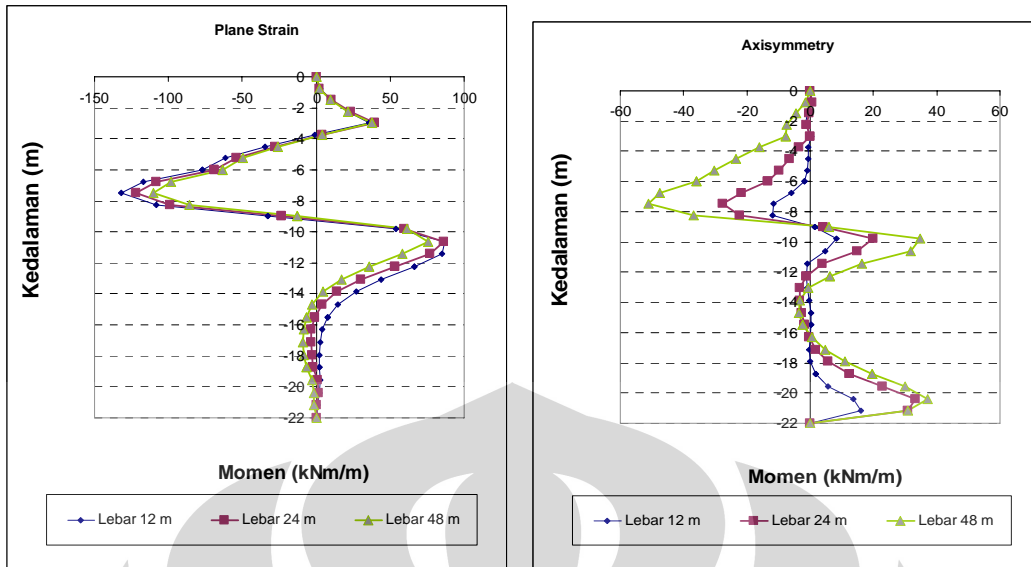
B. Turap baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



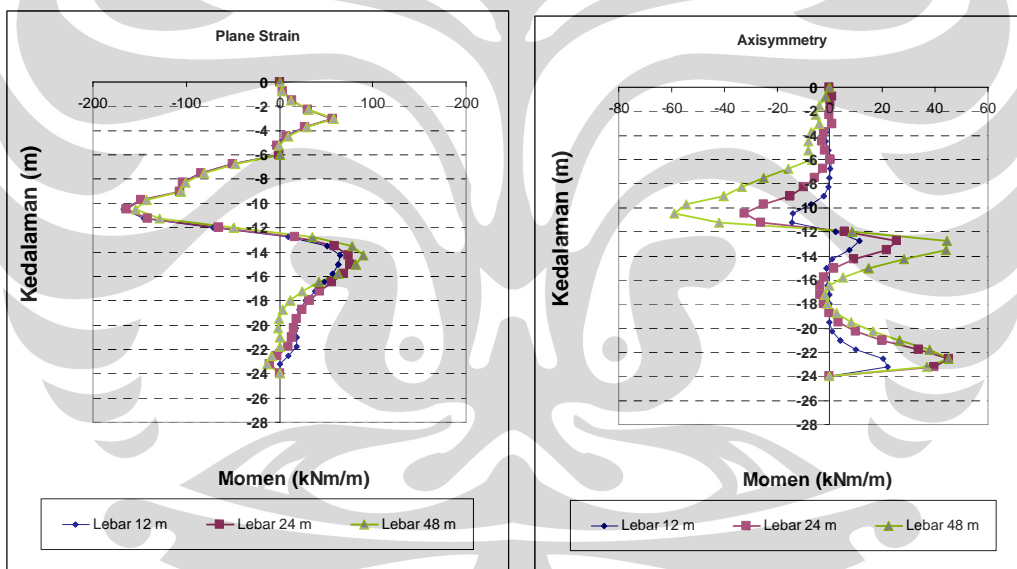
**Grafik 4.26a** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)



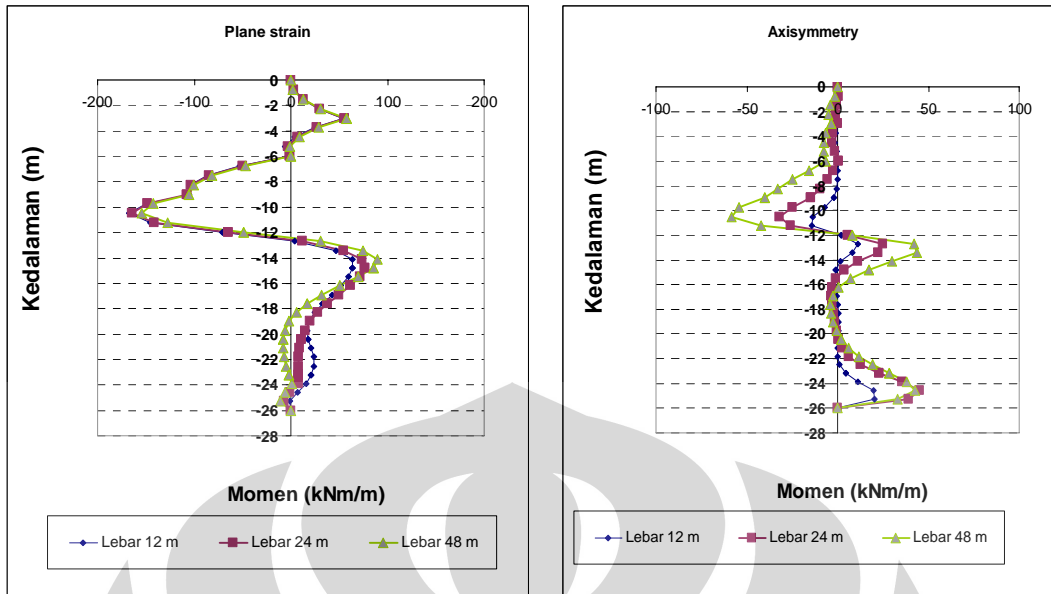
**Grafik 4.26b** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)



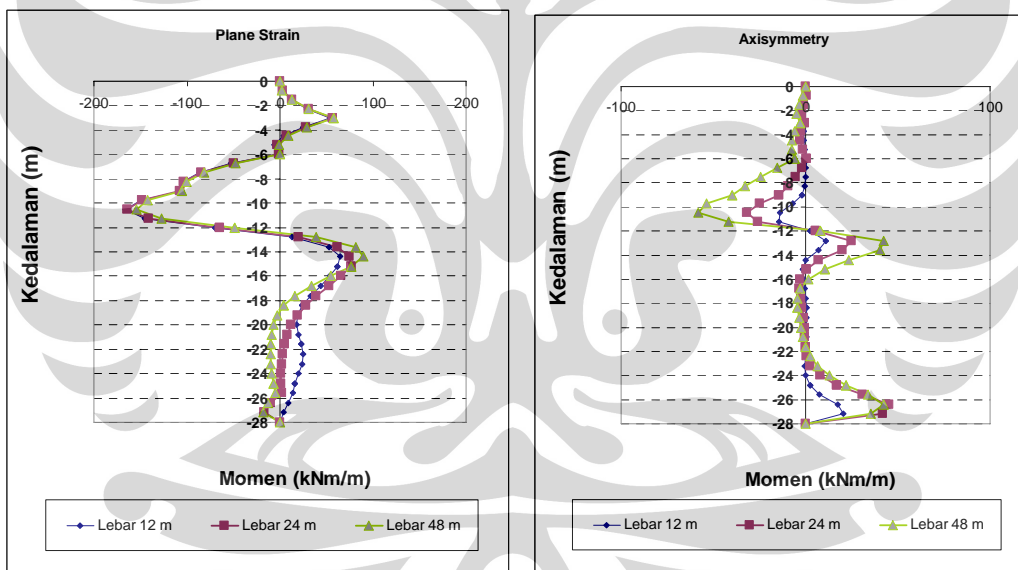
Grafik 4.26c Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)



Grafik 4.26d Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)

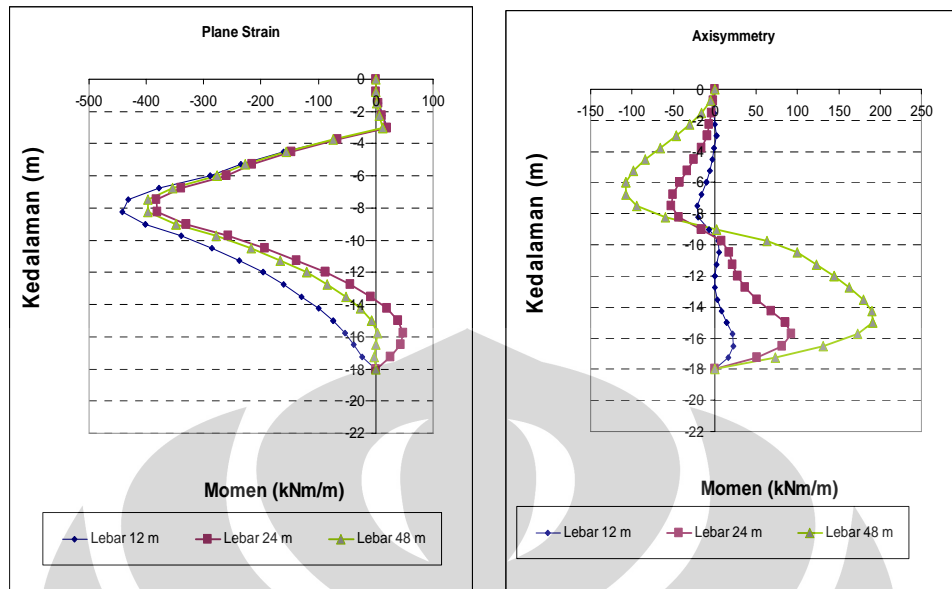


**Grafik 4.26e** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)

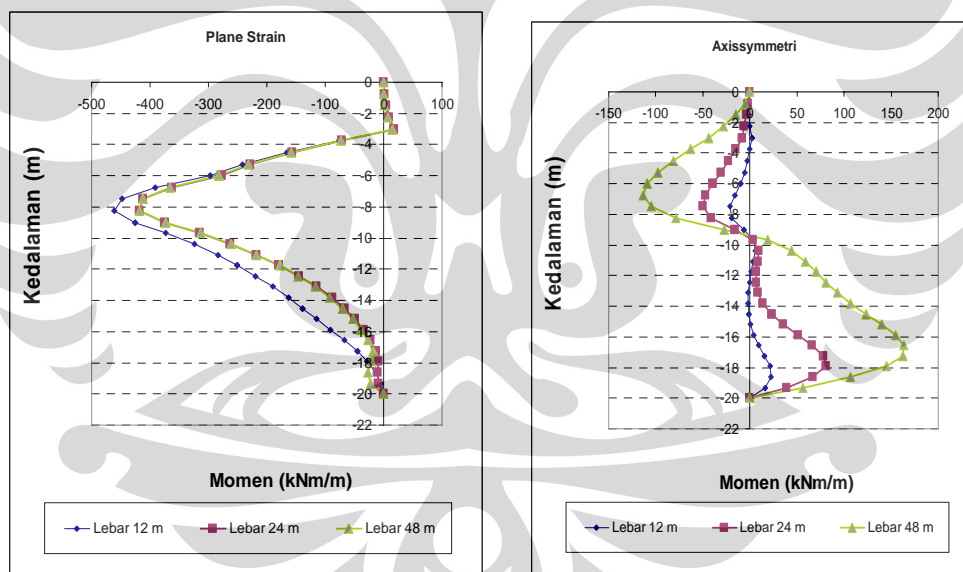


**Grafik 4.26f** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)

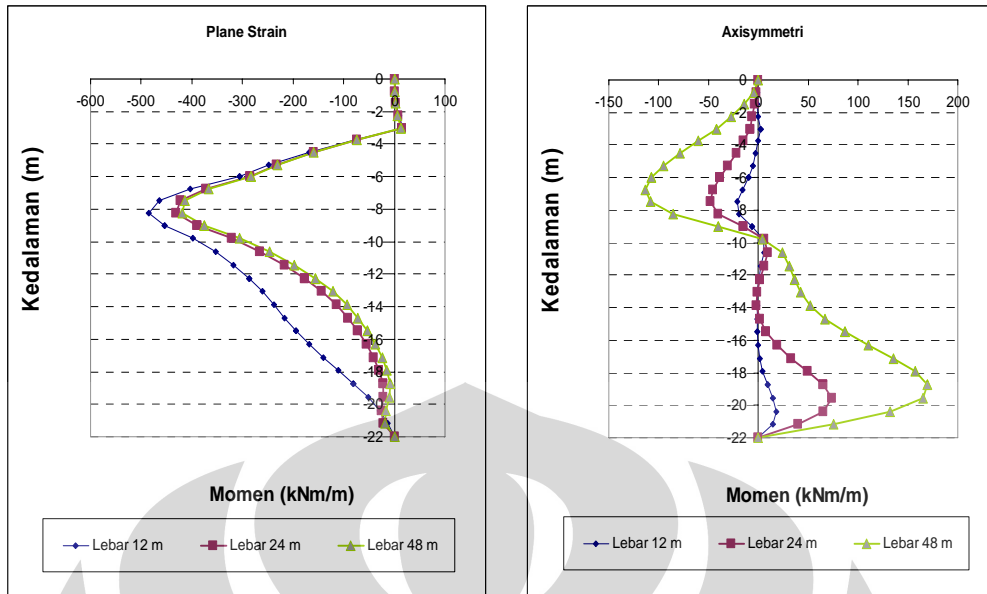
C. Turap beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



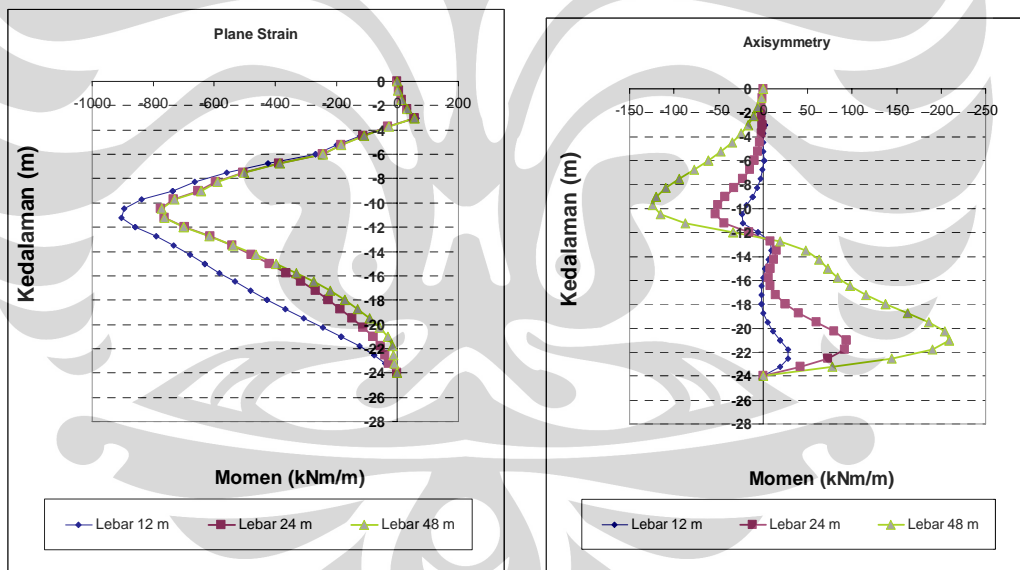
**Grafik 4.27a** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)



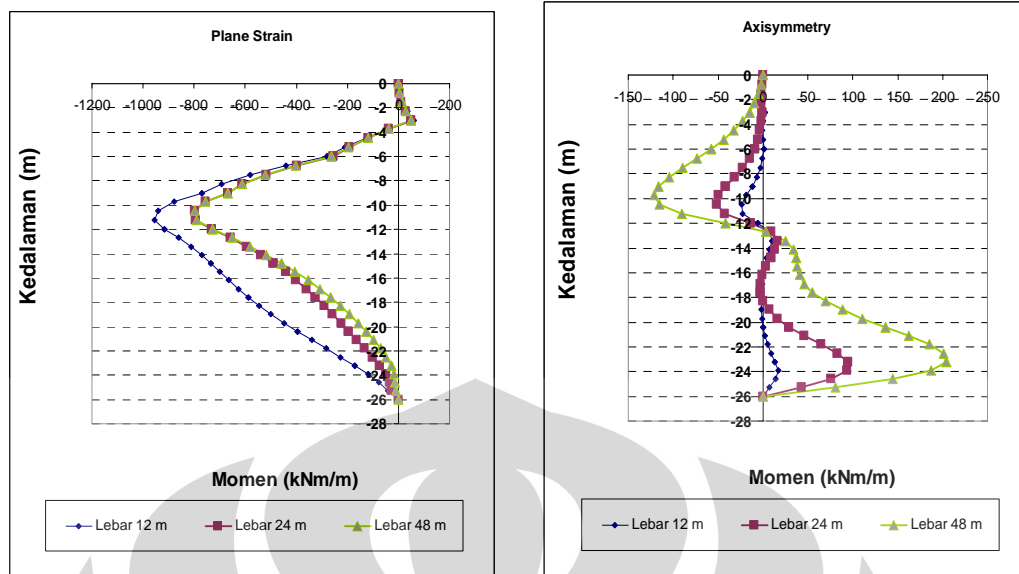
**Grafik 4.27b** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)



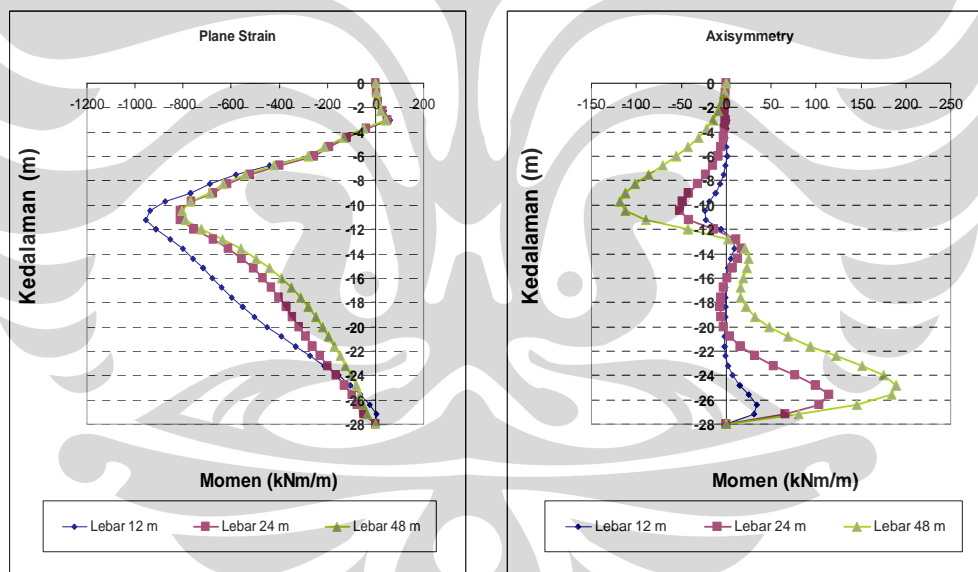
**Grafik 4.27c** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter  
(Galian 9 meter)



**Grafik 4.27d** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter  
(Galian 12 meter)

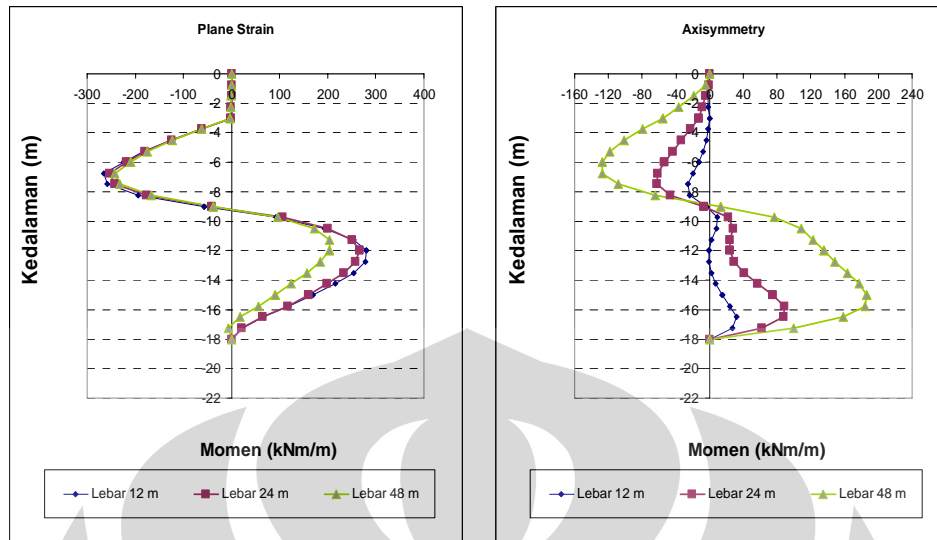


**Grafik 4.27e** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)

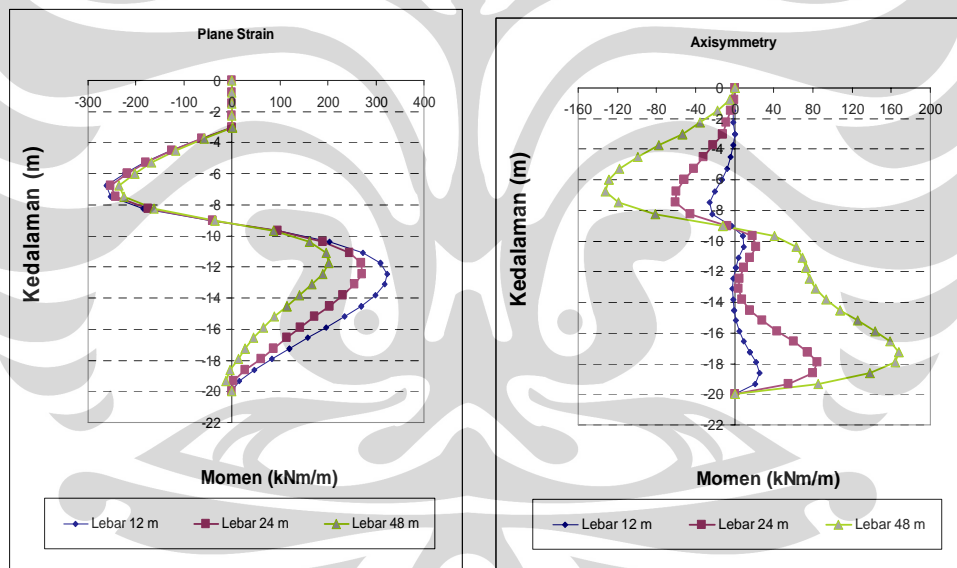


**Grafik 4.27f** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)

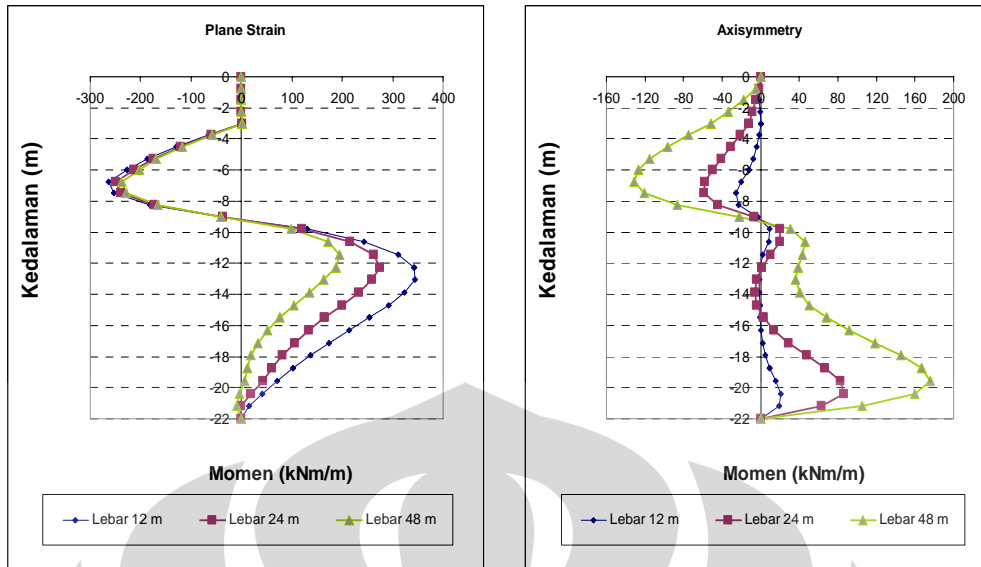
D. Turap beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



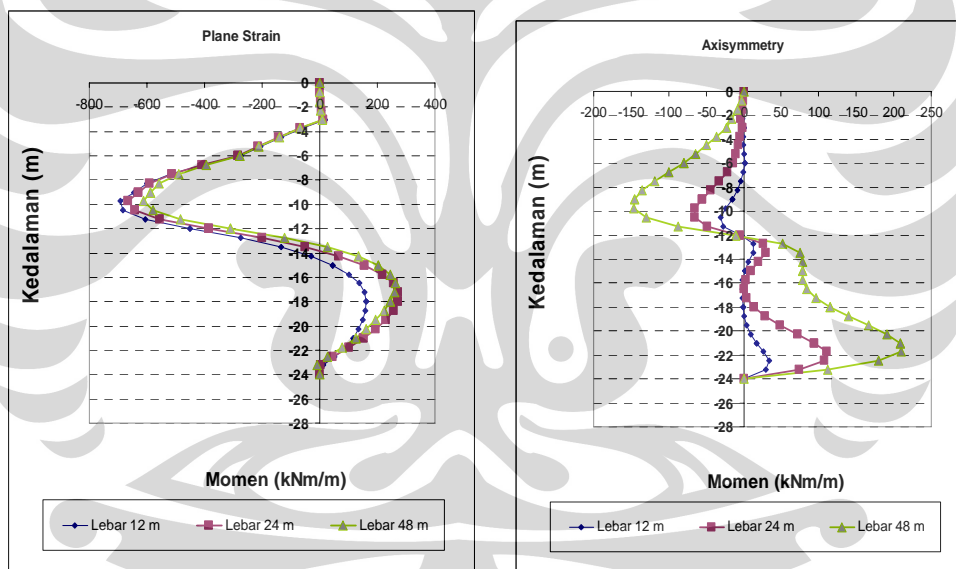
**Grafik 4.28a** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 18 meter (Galian 9 meter)



**Grafik 4.28b** Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 20 meter (Galian 9 meter)

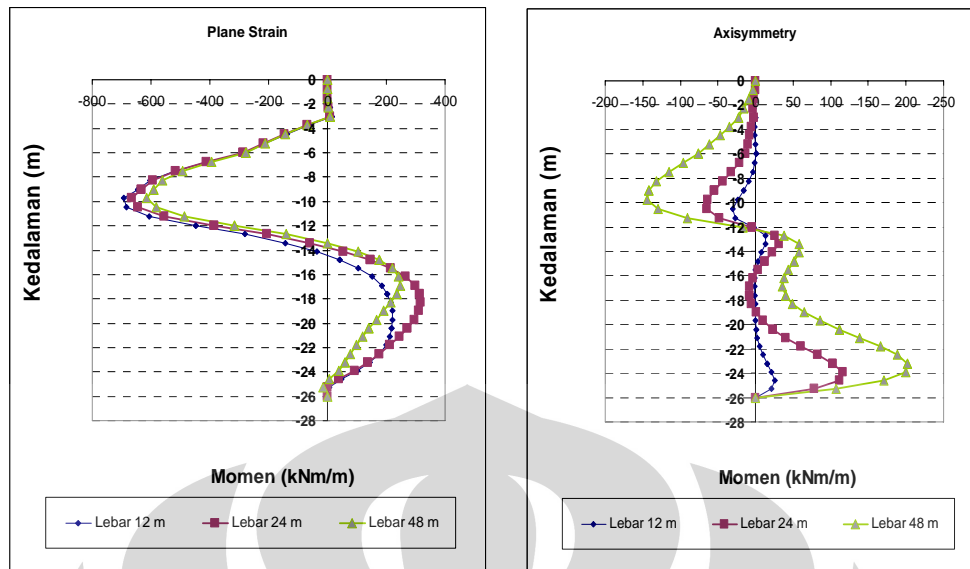


Grafik 4.28c Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 22 meter (Galian 9 meter)

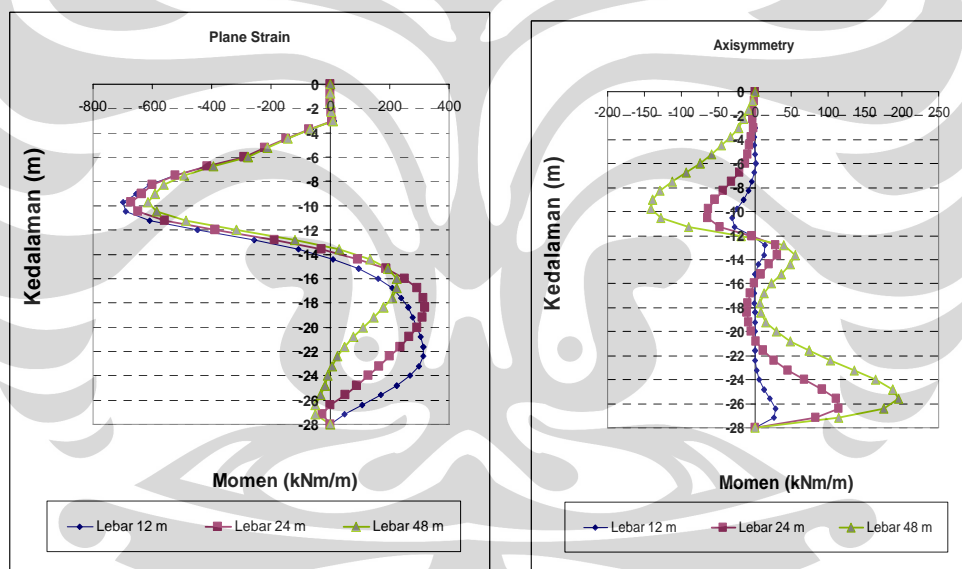


Grafik 4.28d Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 24 meter (Galian 12 meter)





Grafik 4.28e Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 26 meter (Galian 12 meter)



Grafik 4.28f Diagram momen plane strain dan axisymmetry pada turap 28 meter (Galian 12 meter)

Peninjauan pertama adalah pada **perilaku momen pada galian 9 meter bentuk plain strain**. Penambahan embedmen pada turap relatif tidak mempengaruhi perubahan momen secara signifikan (Bandingkan grafik 4.25a, 4.25b, dan 4.25c untuk bentuk plane strain). Momen yang terjadi cenderung sama. Namun, semakin besar lebar galian menunjukkan semakin kecil bidang momen yang terjadi. Selain itu, faktor kekuatan geser tanah juga berpengaruh. Semakin besar kekuatan geser

tanah, bidang momen yang dihasilkan semakin kecil (Bandingkan grafik 4.27a dengan grafik 4.28a bentuk plane strain). Indikasi ini lebih terlihat pada dinding beton daripada baja karena peran angkur untuk menahan defleksi pada beton kurang dominan. Faktor kekakuan struktur juga berpengaruh terhadap kinerja momen disepanjang dinding. Sheet pile beton mengalami bending momen yang jauh lebih besar ketimbang sheet pile baja, yaitu sekitar dua kali lipatnya (Bandingkan grafik 4.25a dengan 4.27a bentuk plane strain).

Peninjauan selanjutnya adalah pada **perilaku momen pada galian 12 meter bentuk plain strain**. Sama seperti pada galian 9 meter, penambahan panjang embedment pada turap tidak mempengaruhi bending momen yang terjadi. Sementara penambahan lebar galian kasusnya pun mirip dengan galian 9 meter. Semakin besar lebar galian, bending momen yang terjadi semakin kecil. Begitu juga dengan kekuatan geser tanahnya, bending momen akan mengecil jika kekuatan tanah semakin besar. Serta kekakuan struktur yang lebih besar akan menghasilkan bending momen yang besar pula.

Dari grafik diatas dapat dilihat juga bahwa kedalaman galian mempengaruhi bending momen yang dihasilkan. Galian yang lebih dalam cenderung menghasilkan bending momen yang lebih besar pula (Bandingkan grafik 4.27a dengan 4.27d bentuk plane strain). Hal ini menunjukkan, semakin besar kedalaman galian semakin besar pula bending momen yang terjadi.

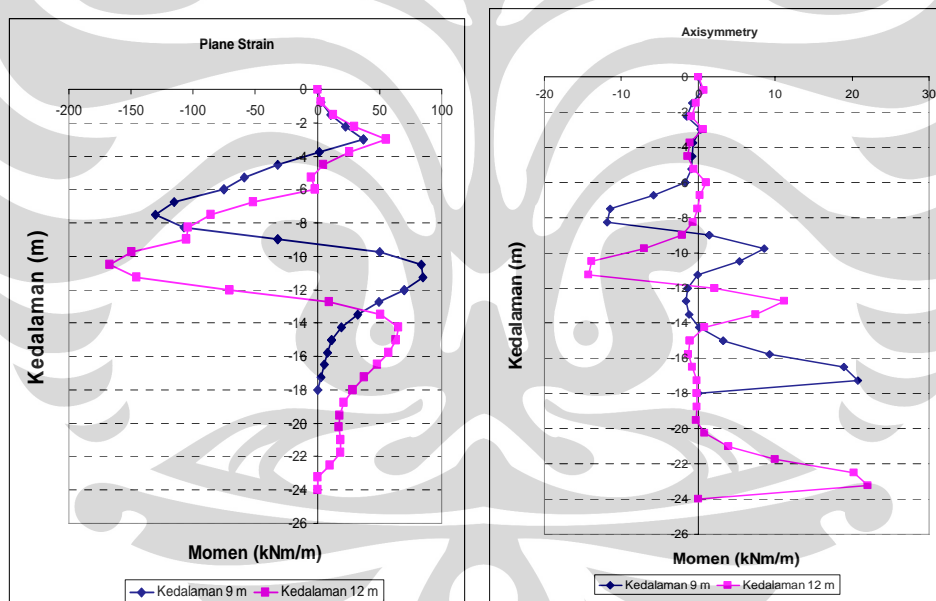
Peninjauan berikutnya adalah mengenai **perilaku bending momen pada bentuk model axissymmetry**. Berbeda dengan perilaku bending momen pada plain strain, pada axissymmetry, penambahan lebar galian menyebabkan bending momen yang semakin besar (Bisa dilihat dari semua grafik dengan bentuk axisymmetry). Hal ini berlaku pada galian 9 meter maupun 12 meter. Sementara itu, perubahan embedment pada turap tidak terlalu mempengaruhi bending momen yang terjadi. Faktor nilai kekuatan geser tanah juga tidak terlalu berpengaruh pada axisymmetry. Kekuatan tanah yang besar dengan yang kecil cenderung memperlihatkan bending momen yang sama besar, walaupun berbeda tapi tidak terlalu signifikan. Begitu juga faktor kekakuan material struktur. Hanya saja pada sheet pile baja tampak jelas defleksi-defleksi bending momen yang terjadi disetiap titik pemasangan angkur

daripada pada sheet pile beton. Hal ini menunjukkan peran angkur lebih besar pada baja yang memiliki kekakuan lebih kecil daripada beton.

Kedalaman galian model berpengaruh terhadap bending momen yang terjadi baik pada plain strain maupun axisymmetry meskipun memang pada axisymmetry perubahannya tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan yang terjadi pada model plane strain.

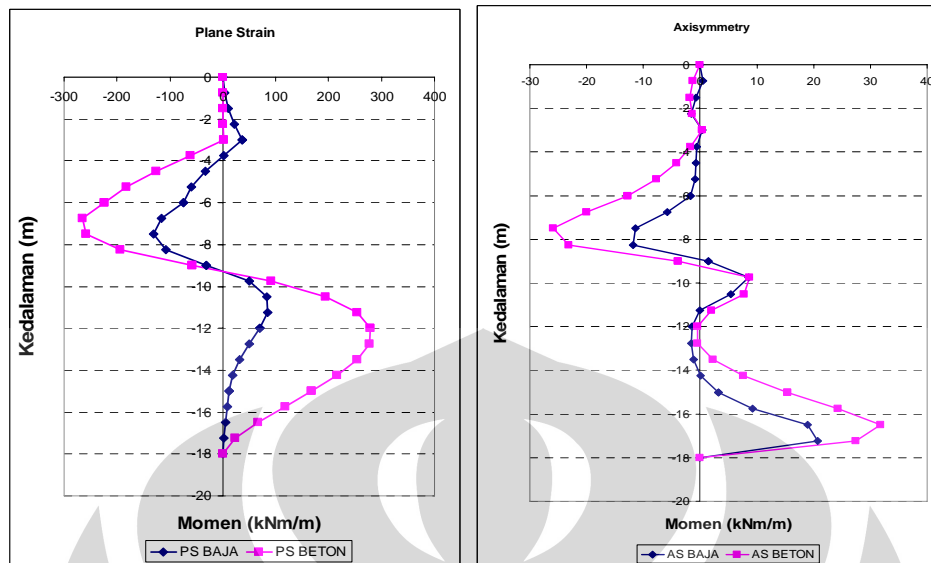
Selain perilaku momen berdasarkan berbagai perbandingan diatas, Berikut ini ada beberapa tambahan perilaku momen berdasarkan **perbandingan kedalaman, kekakuan material, dan panjang embedmen** :

1. Perilaku momen berdasarkan efek kedalaman. Perlu diingat bahwa pada galian dengan kedalaman 9m panjang turap adalah 18m, sedangkan galian dengan kedalaman 12m panjang turap adalah 24m.



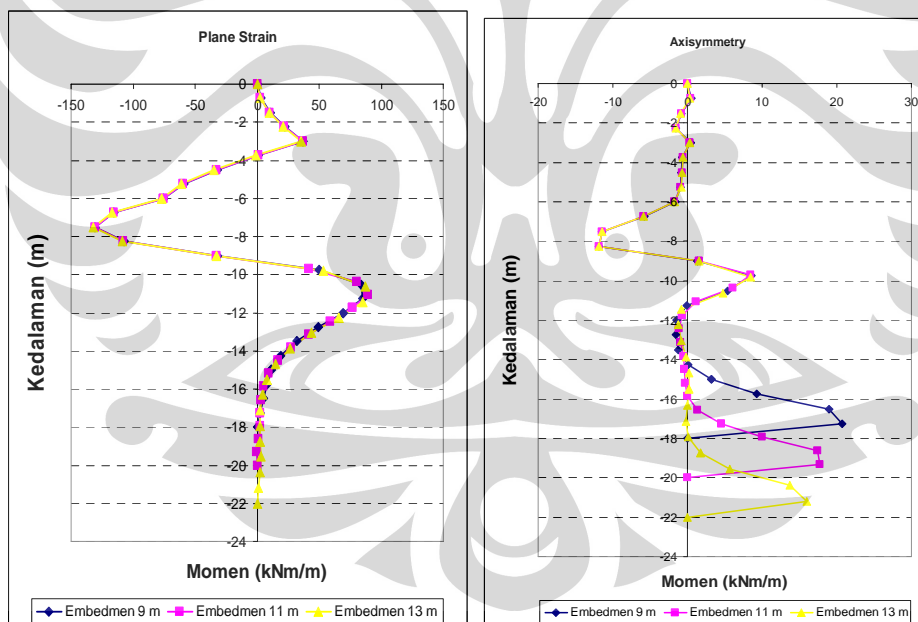
Grafik 4.29a Turap Baja,  $S_u = 100$ , lebar galian 12 meter

## 2. Perilaku momen berdasarkan efek kekakuan struktur



Grafik 4.29b Lempung  $S_u = 100$ , lebar galian 12 meter, Turap 18 meter

## 3. Perilaku momen berdasarkan efek panjang embedmen

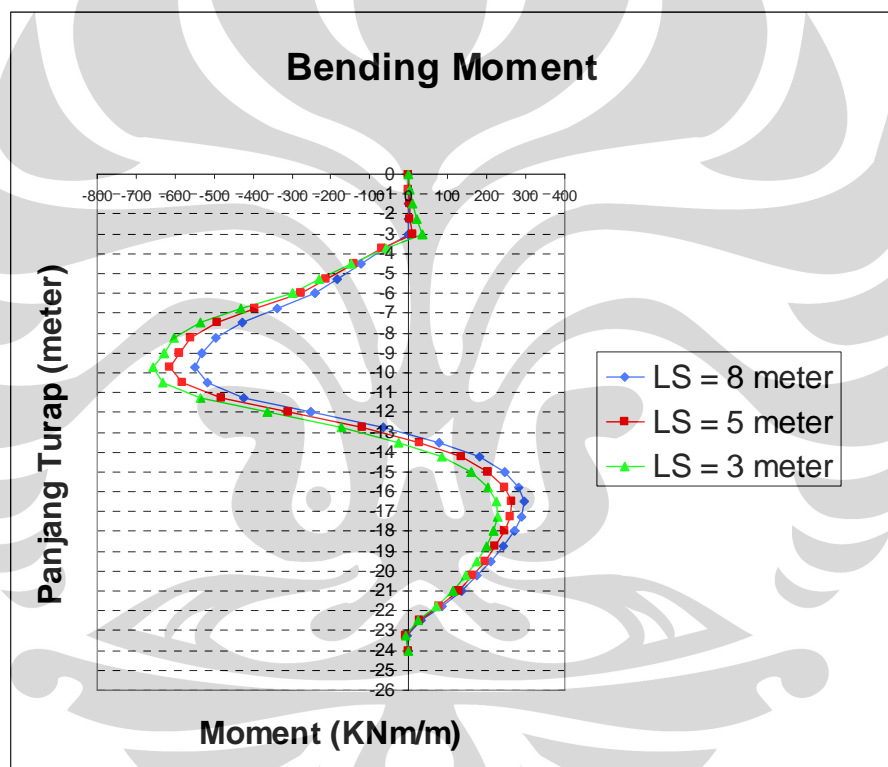


Grafik 4.29c Turap Baja,  $S_u = 100$ , Lebar galian 12 meter

Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat bahwa perubahan kekakuan struktur mempengaruhi perubahan perilaku momen secara signifikan. Dari grafik 4.29b tersebut terlihat bending momen maksimum pada turap beton sebesar dua kali lipatny dari turap baja bahkan lebih. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa

efek kekakuan struktur adalah faktor terbesar dalam perubahan perilaku momen, diikuti efek kedalaman, dan yang terakhir adalah efek embedmen.

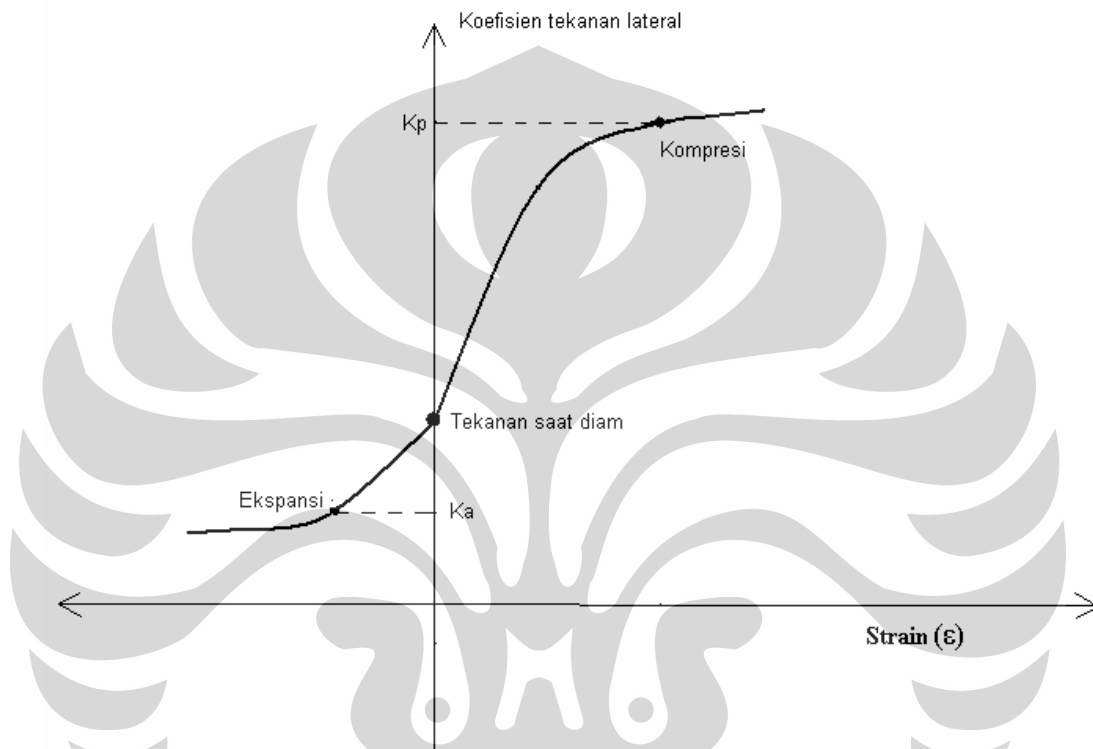
Selain ketiga faktor diatas, ada satu faktor lagi yang ikut mempengaruhi perubahan perilaku bending momen pada turap, yaitu faktor jarak horizontal antar angkur. Faktor ini mengindikasikan sebuah hasil, semakin kecil jarak horizontal antar angkur, maka bending momennya semakin kecil. Berikut ini adalah gambaran perbandingan perilaku bending momen berdasarkan perbedaan jarak horizontal antar angkur. Model yang diambil adalah model galian PS (Plain strain), turap beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$ , lebar 48 m, galian 12 m, dan embedment 12 m.



Gambar 4.30 Bending momen pada turap dengan variasi jarak horizontal antar angkur (LS).

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin nilai kecil LS, maka semakin kecil pula maksimum bending momennya. Namun perlu diperhatikan disini bahwa, maksimum bending momen yang semakin kecil adalah maksimum bending momen di area embedment dan bukan di area galian. Untuk maksimum bending momen di area galian perilakunya justru semakin besar seiring semakin kecilnya

nilai LS. Hal ini dikarenakan, nilai LS yang mengecil akan memperkecil displacement pada turap karena kondisi turap yang semakin kaku. Displacement yang mengecil akan mengecilkan tekanan tanah pasif, namun akan memperbesar tekanan tanah aktif. Kenyataan tersebut dapat terlihat dari grafik hubungan antara regangan lateral dengan koefisien tekanan lateral seperti di bawah ini :



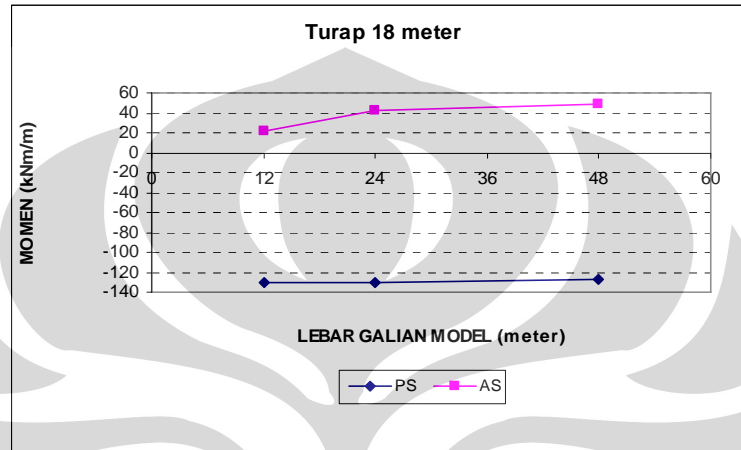
**Gambar 4.31** Grafik hubungan antara regangan lateral dengan koefisien tekanan lateral

Dari grafik tersebut terlihat, semakin kecil nilai displacement, maka akan mengecilkan tekanan tanah pasif namun akan memperbesar tekanan tanah aktif. Itulah mengapa pada area embedment dimana tekanan tanah pasif bekerja, bending momen maksimumnya semakin kecil sementara pada area galian dimana tekanan tanah aktif bekerja, bending momen maksimumnya semakin besar.

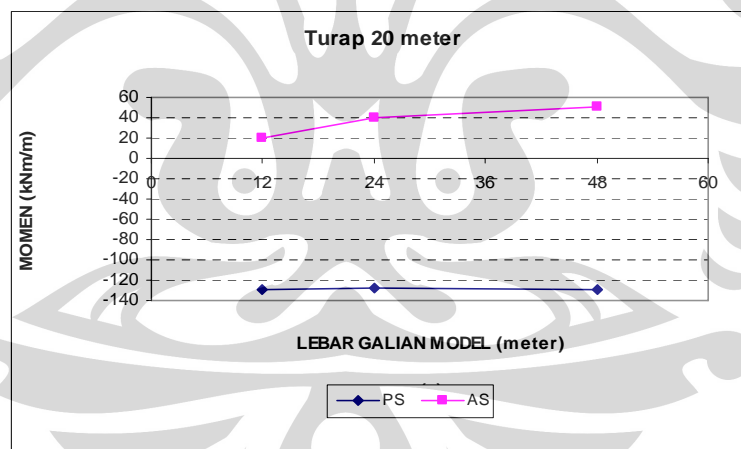
#### 4.2.4 Analisa Momen Maksimum pada Turap Berdasarkan Lebar Galian

Berikut ini adalah nilai momen-momen maksimum yang terjadi pada setiap dinding turap berdasarkan perubahan lebar galian model. Momen bernilai positif artinya momen maksimum berada di area sumbu x positif, sedangkan momen bernilai negatif artinya momen maksimum berada di area sumbu x negatif.

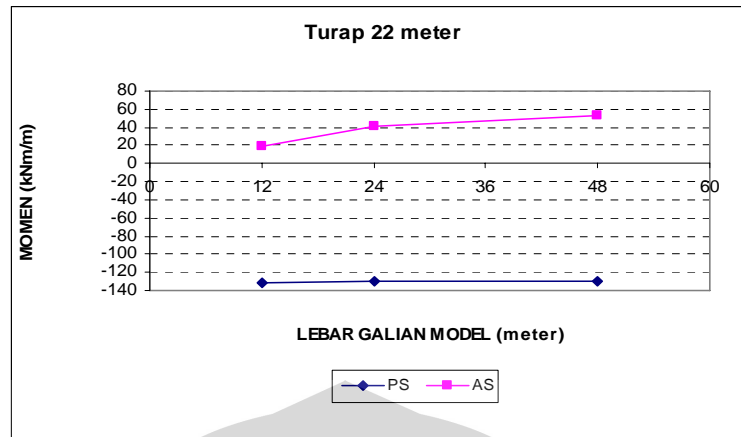
A. Turap Baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



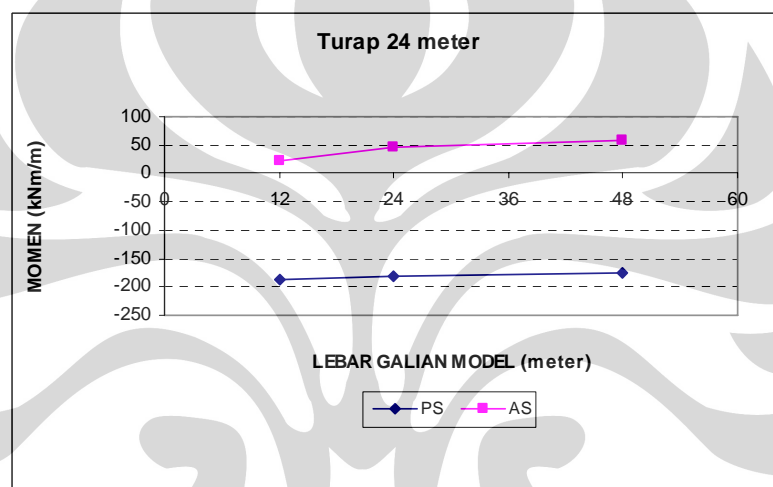
Grafik 4.32a Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)



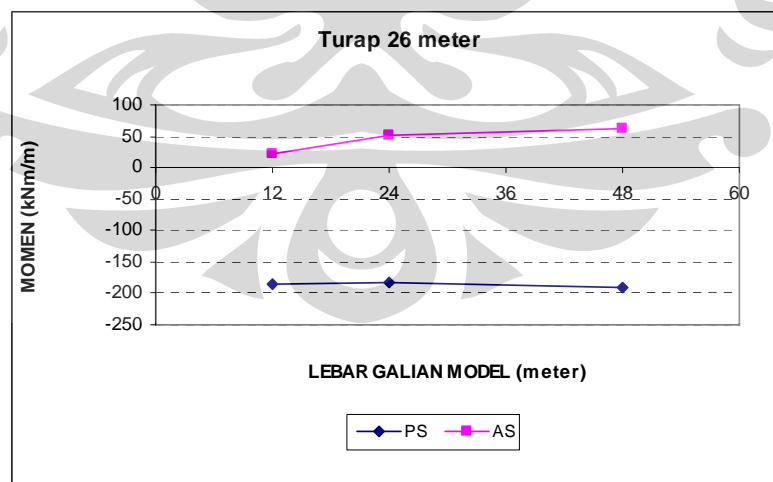
Grafik 4.32b Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)



Grafik 4.32c Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)

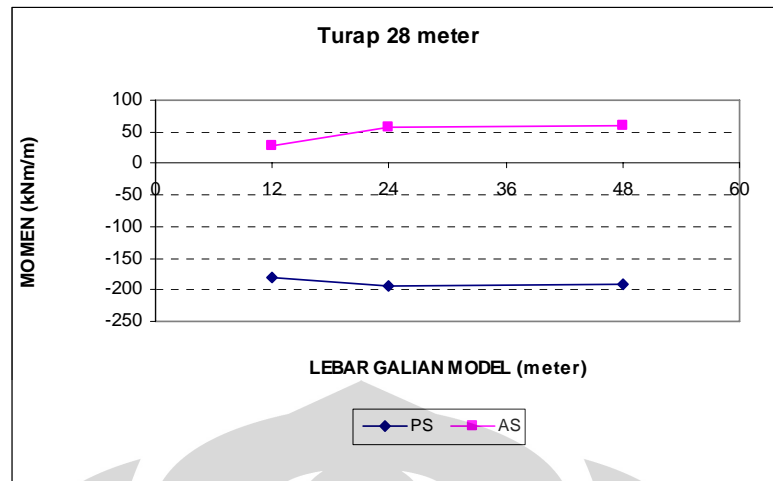


Grafik 4.32d Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)



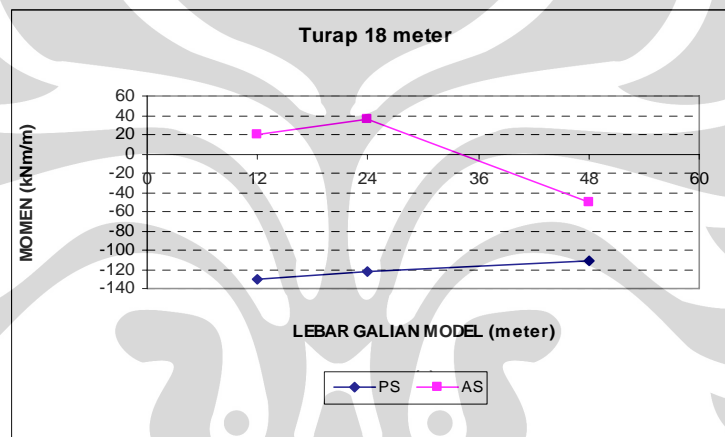
Grafik 4.32e Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)



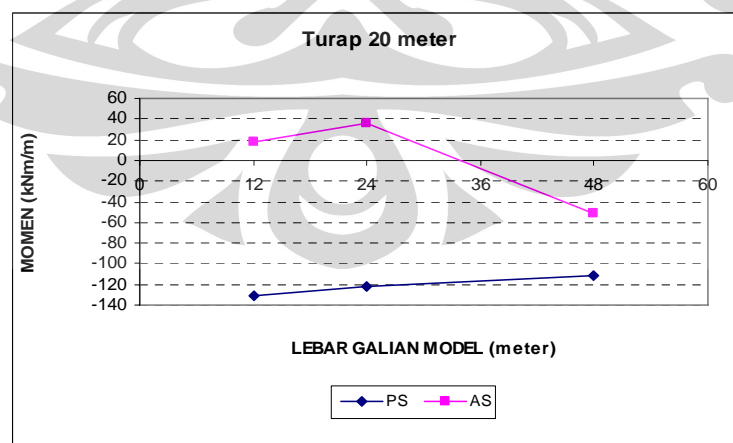


**Grafik 4.32f** Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)

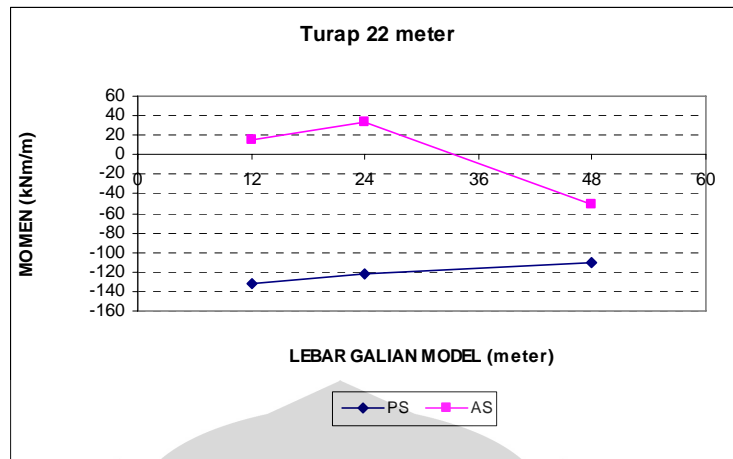
B. Turap Baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



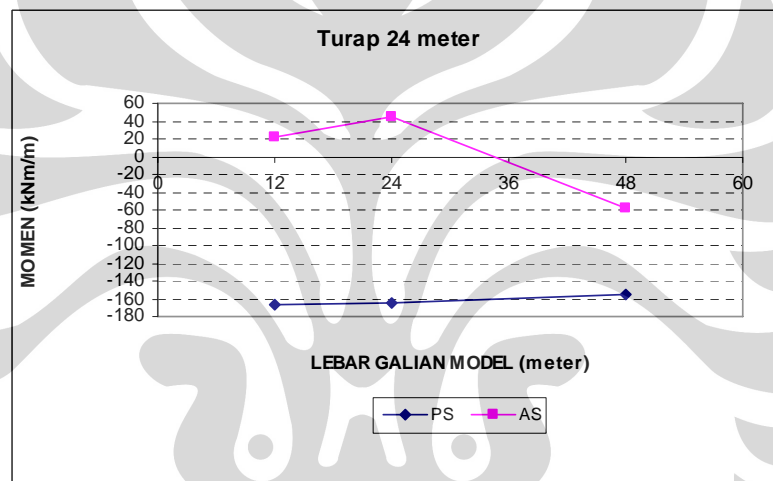
**Grafik 4.33a** Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)



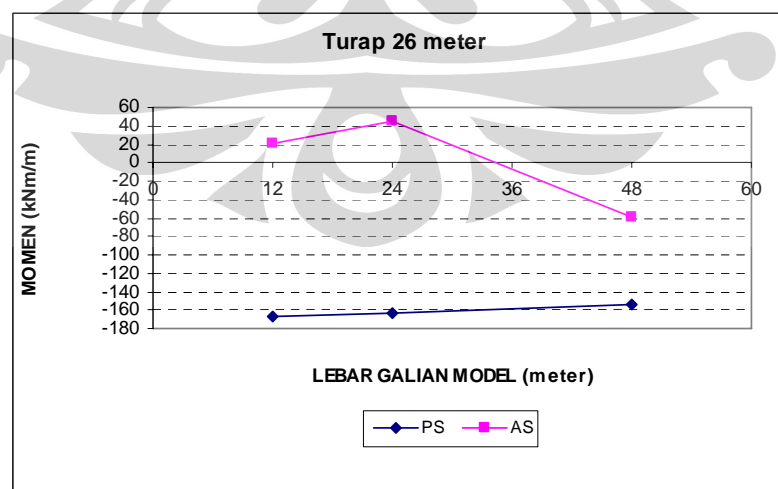
**Grafik 4.33b** Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)



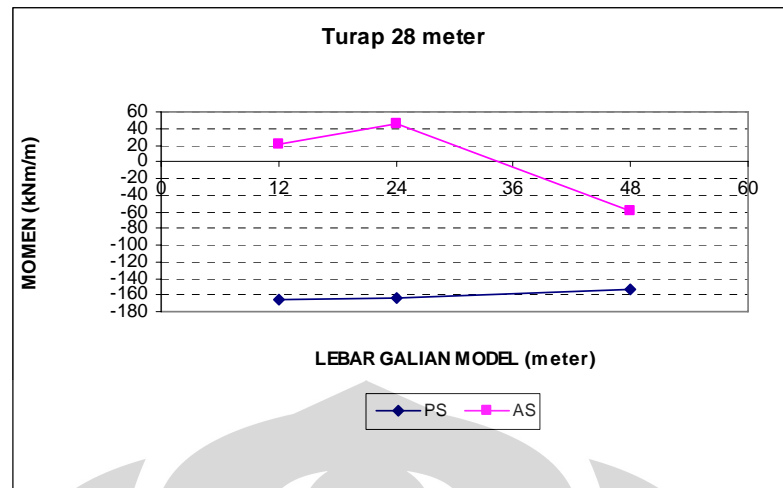
**Grafik 4.33c** Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.33d** Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)

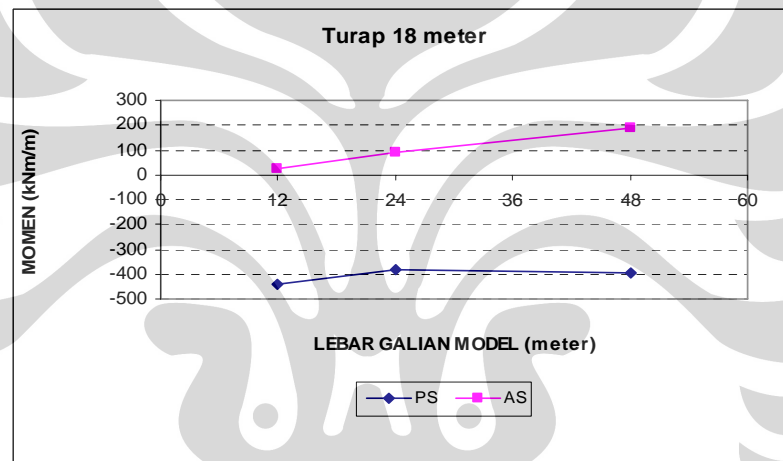


**Grafik 4.33e** Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)

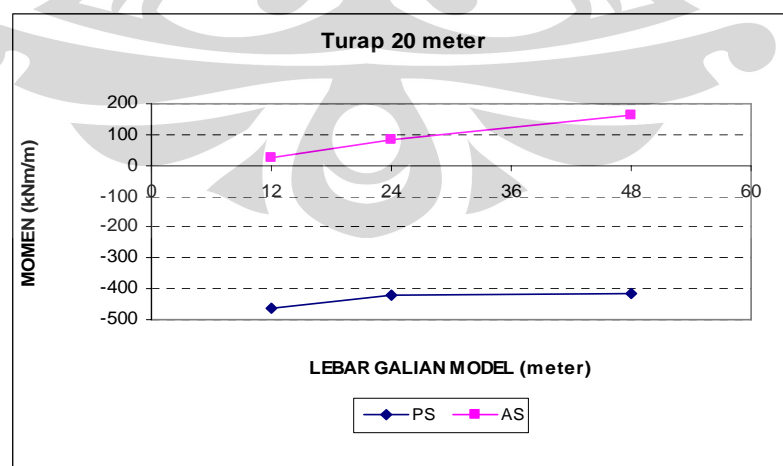


**Grafik 4.33f** Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)

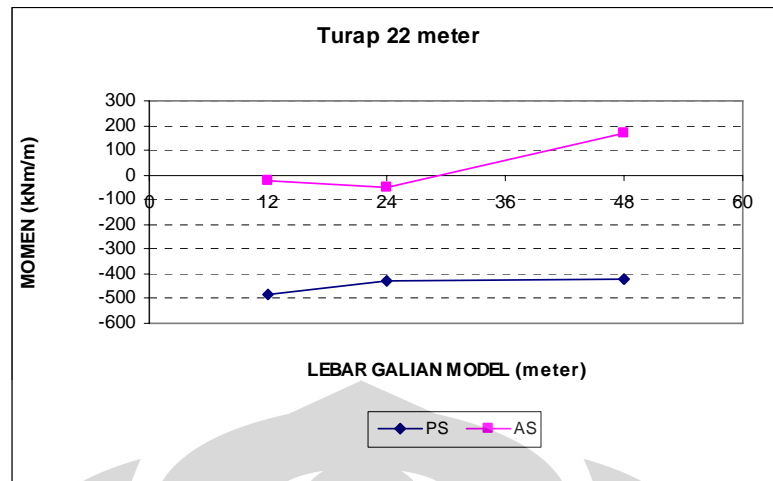
C. Turap Beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



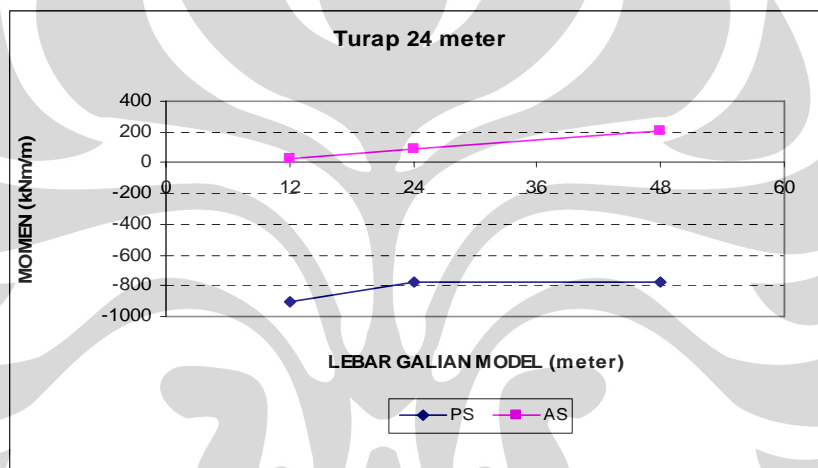
**Grafik 4.34a** Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)



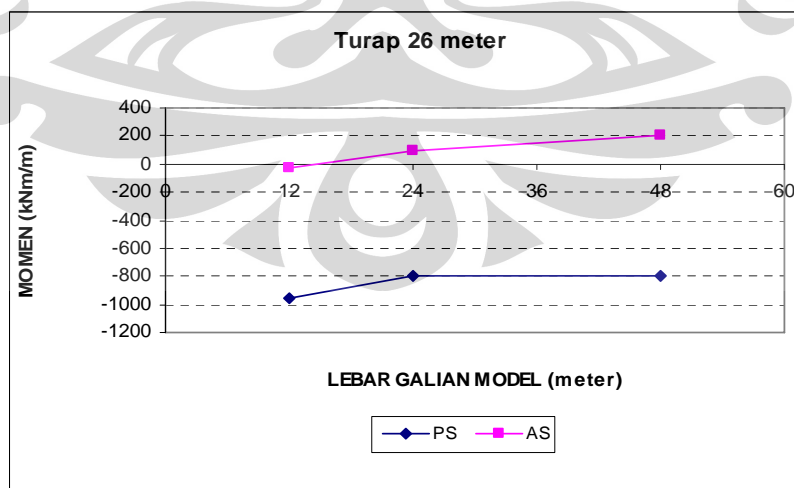
**Grafik 4.34b** Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)



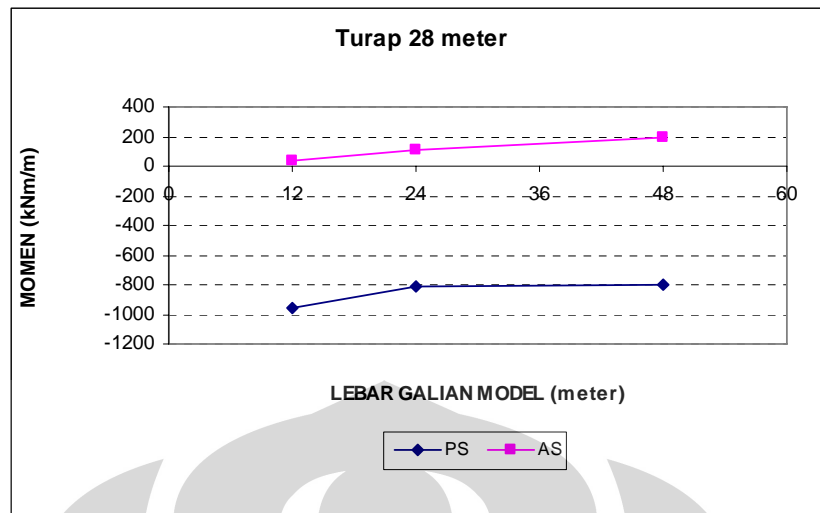
**Grafik 4.34c** Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.34d** Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)

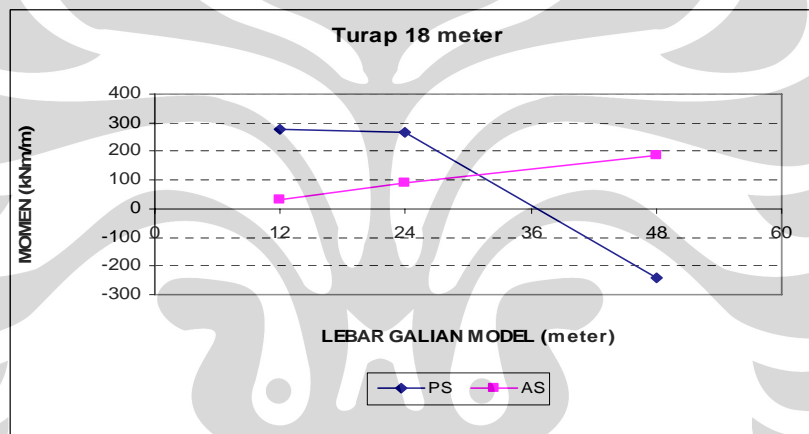


**Grafik 4.34e** Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)

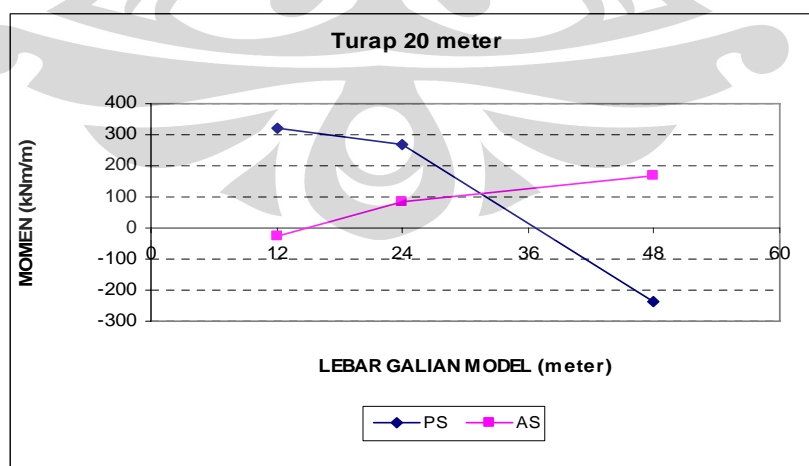


Grafik 4.34f Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)

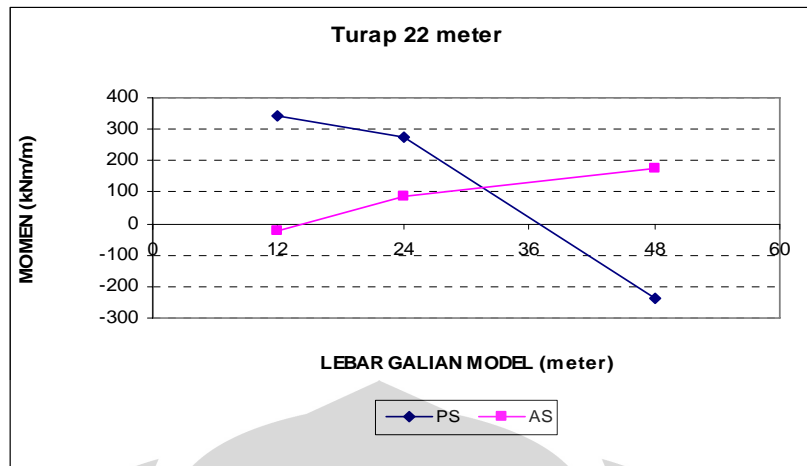
D. Turap Beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



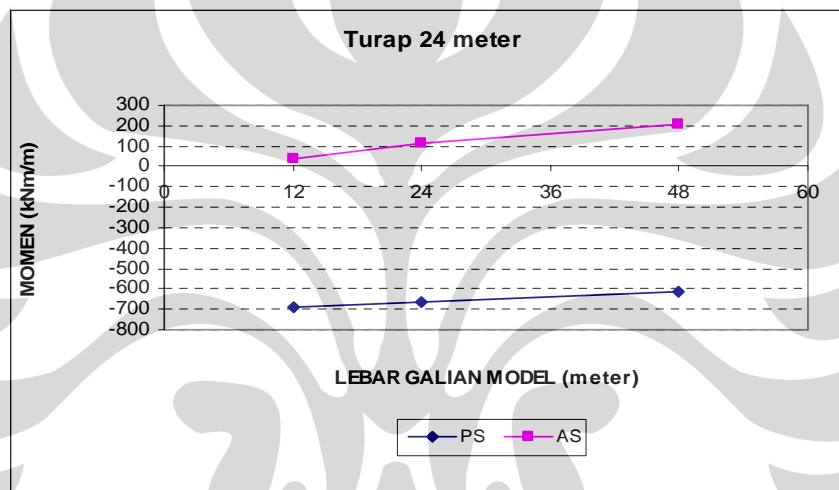
Grafik 4.35a Momen maximum turap 18 meter (galian 9 meter)



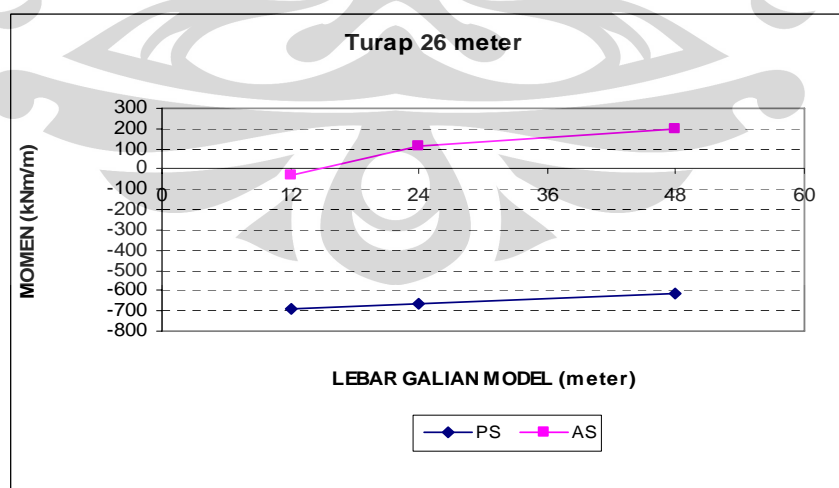
Grafik 4.35b Momen maximum turap 20 meter (galian 9 meter)



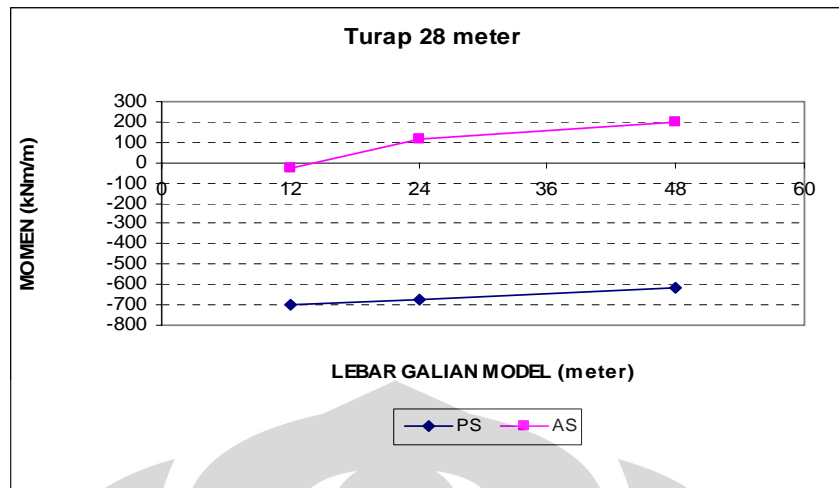
**Grafik 4.35c** Momen maximum turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.35d** Momen maximum turap 24 meter (galian 12 meter)



**Grafik 4.35e** Momen maximum turap 26 meter (galian 12 meter)



Grafik 4.35f Momen maximum turap 28 meter (galian 12 meter)

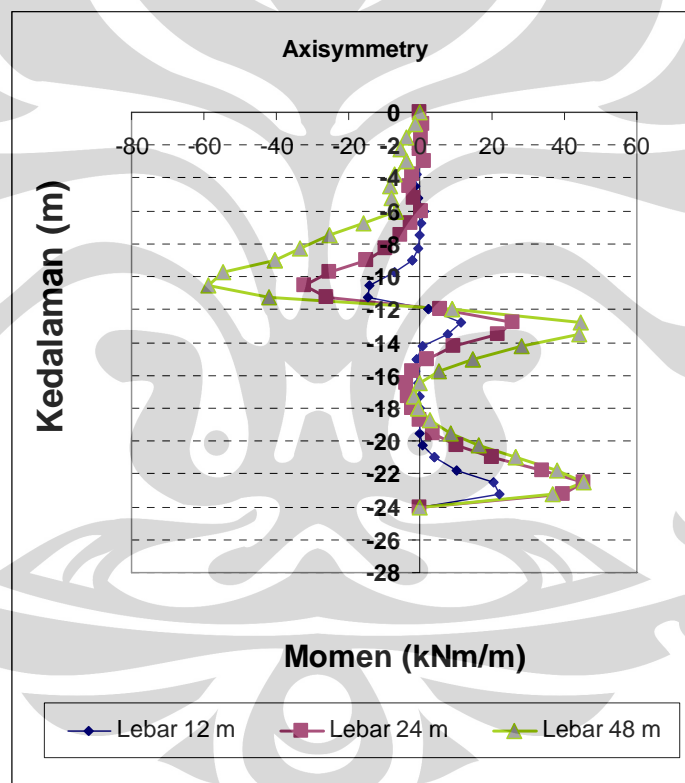
Pertama-tama akan ditinjau **perilaku bending momen maksimum pada model plain strain dengan galian 9 meter**. Berdasarkan Lebar galian model, semakin lebar galian maksimum bending momennya semakin mengecil (misal, grafik 4.33a, 4.33b, 4.33c). Hal ini terjadi baik pada baja maupun beton. Berdasarkan kekuatan geser tanah, trennya menunjukkan nilai bending momen maksimum yang semakin kecil seiring dengan kekuatan tanah yang semakin besar (Misal, bandingkan grafik 4.32a dengan grafik 4.33a). Ini mengindikasikan bahwa kekakuan struktur punya pengaruh yang signifikan terhadap maksimum bending momen yang terjadi.

**pada model plain strain dengan galian 12 meter**, perilaku bending momen yang terjadi sama dengan yang terjadi pada galian 9 meter. Namun pada galian ini nilai bending momen maksimum naik hampir satu kali lipatnya (Bandingkan grafik 4.34a dengan 4.34d). Hal ini menunjukkan ada pengaruh kedalaman galian. Semakin besar kedalaman galian, maka maksimum bending momen yang terjadi semakin besar.

Berbeda dengan plain strain, pada **bentuk axisymmetry**, maksimum bending momen justru semakin membesar seiring dengan bertambahnya lebar galian (terlihat di semua grafik). Ini terjadi baik pada galian 9 meter maupun 12 meter. Sementara faktor kekuatan tanah pada model ini juga tidak terlalu berpengaruh terhadap momen yang terjadi. Maksimum bending momen tak mengalami perubahan yang signifikan seiring berubahnya kekuatan geser tanah. Sementara itu, faktor

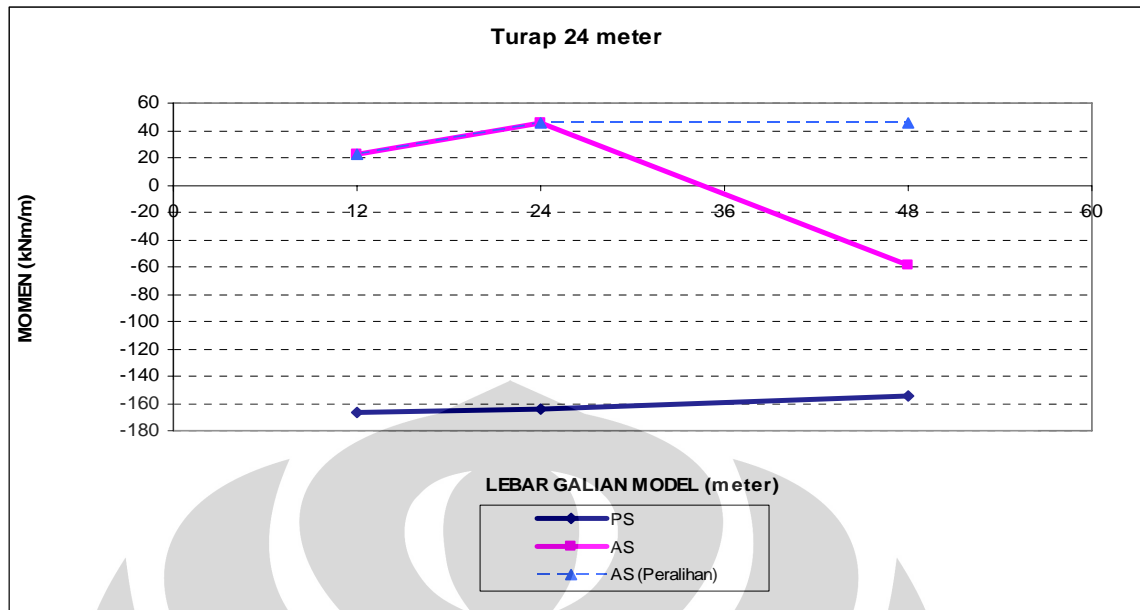
kekakuan material mempengaruhi nilai maksimum bending momen yang terjadi. Pada sheet pile baja, peningkatan maksimum bending momen seiring dengan meningkatnya lebar galian relatif kecil. Sedangkan pada beton, peningkatannya relatif besar. Lagi-lagi ini menunjukkan peran angkur pada sheet pile baja lebih besar dari pada beton.

Pada beberapa grafik, terjadi peralihan maksimum bending momen dari positif ke negatif. Hal ini terjadi karena salah satu dari tiga dinding turap yang dibandingkan memiliki bending momen maksimum yang berlawanan arah dengan yang lain, seperti yang terjadi pada grafik 4.14d. Gambar di bawah ini menjelaskan lebih detail kenapa hal tersebut terjadi.



**Grafik 4.36a.** Diagram momen pada turap 24 (Galian 12 m),  $S_u = 100$



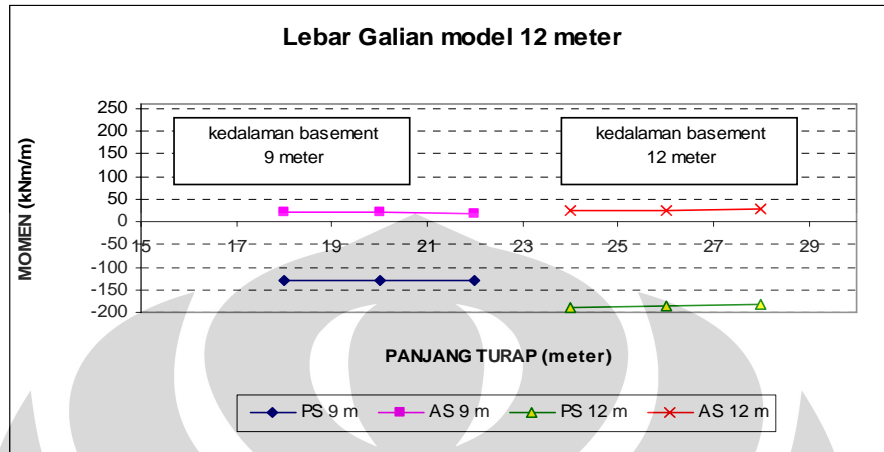


**Grafik 4.36b** Diagram peralihan momen maksimum

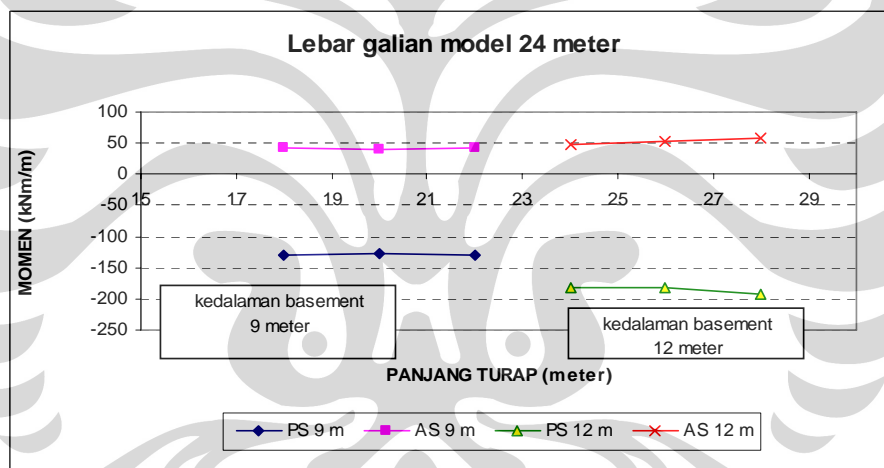
Dari grafik 4.36a terlihat bahwa pada lebar galian 48 m maksimum bending momen turap tergambar di sebelah kiri (Sb.X negatif), berbeda dengan kedua turap yang lain. Sementara pada grafik 4.36b memperlihatkan garis putus-putus berwarna biru yang merupakan nilai maksimum bending momen yang seharusnya tergambar seandainya peralihan itu tidak terjadi.

## 4.2.5 Analisa Momen Maksimum pada Turap Berdasarkan Kedalaman Turap

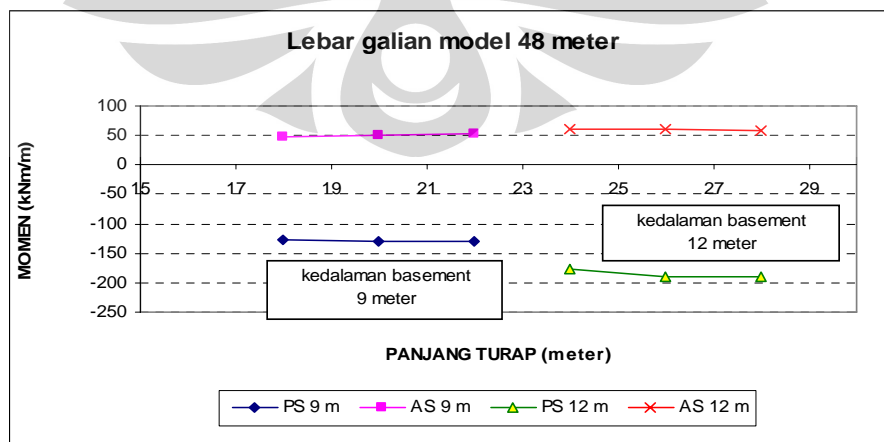
A. Turap Baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.37a** Momen maximum pada lebar galian 12 meter

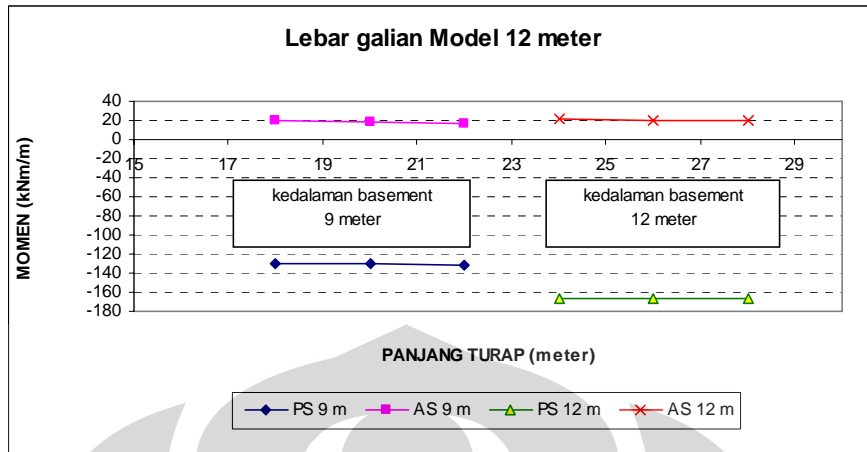


**Grafik 4.37b** Momen maximum pada lebar galian 24 meter

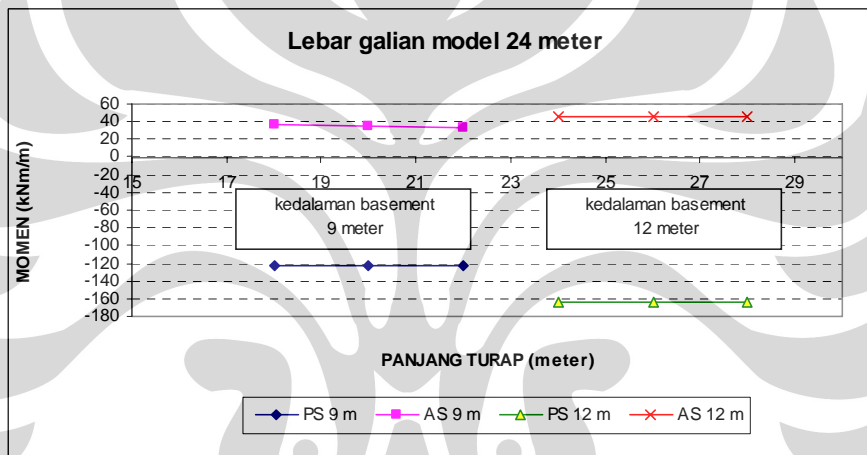


**Grafik 4.37c** Momen maximum pada lebar galian 48 meter

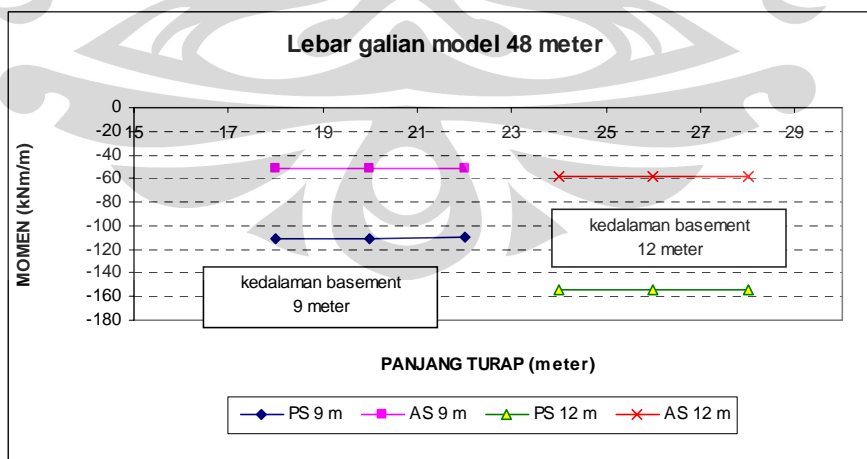
B. Turap Baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.37d** Momen maximum pada lebar galian 12 meter

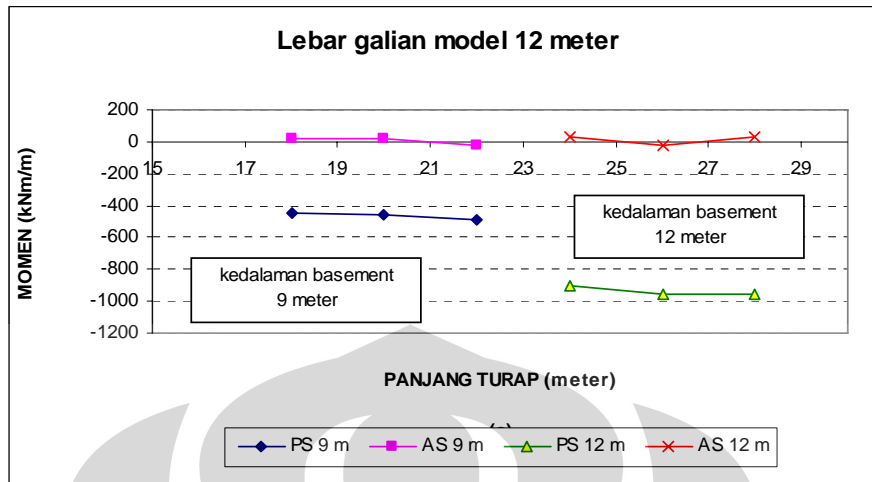


**Grafik 4.37e** Momen maximum pada lebar galian 24 meter

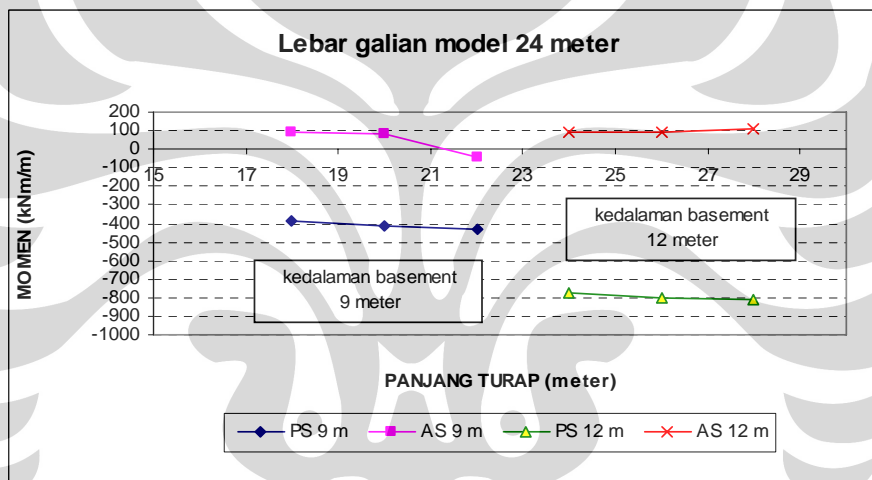


**Grafik 4.37f** Momen maximum pada lebar galian 48 meter

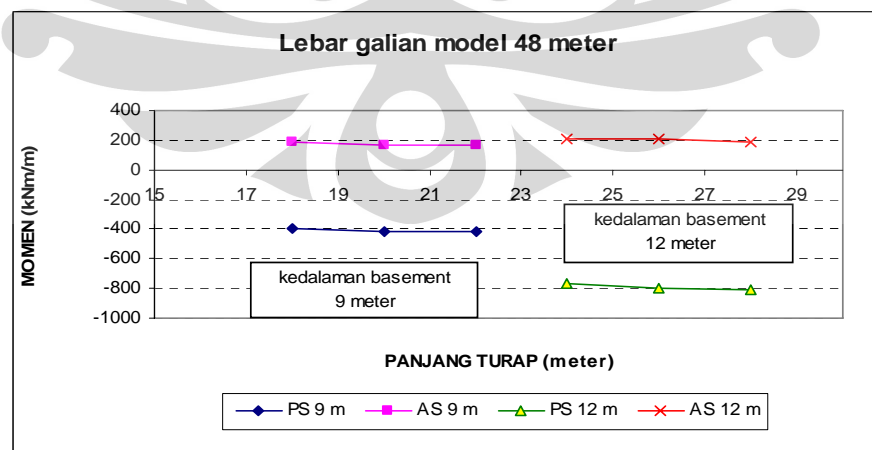
C. Turap Beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.38a** Momen maximum pada lebar galian 12 meter

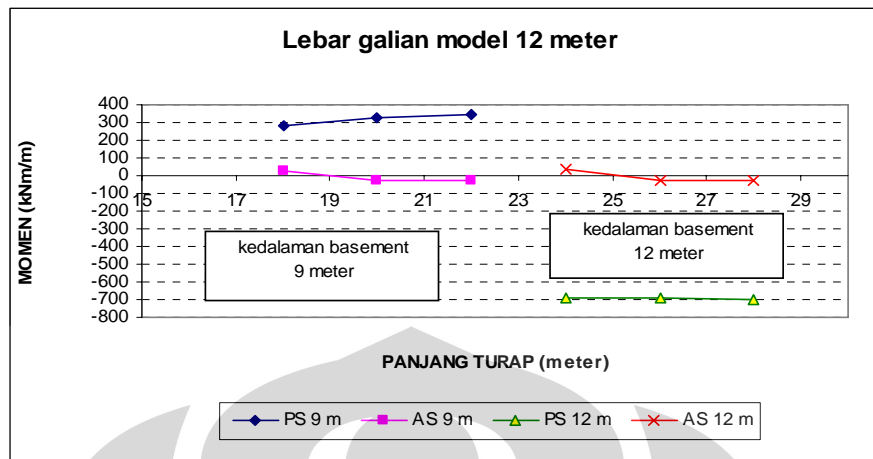


**Grafik 4.38b** Momen maximum pada lebar galian 24 meter

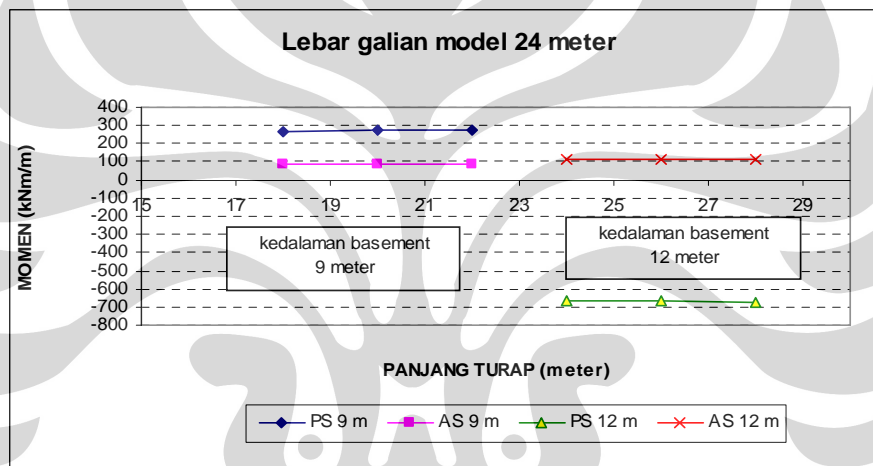


**Grafik 4.38c** Momen maximum pada lebar galian 48 meter

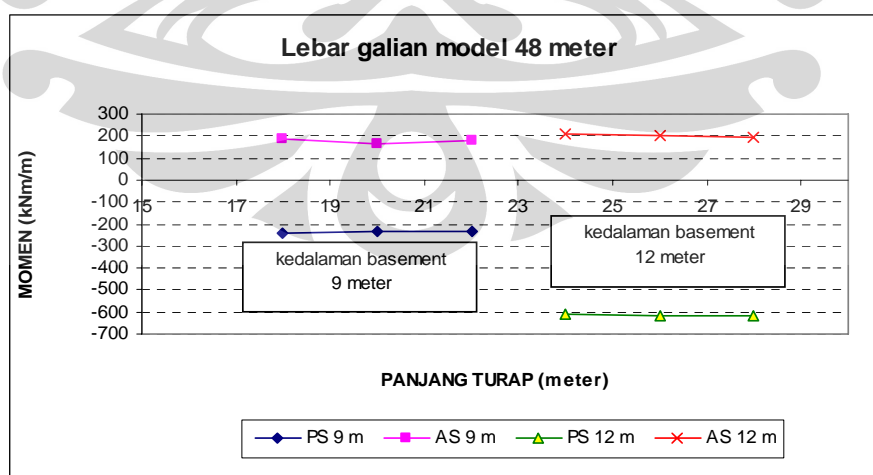
D. Turap Beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.38d** Momen maximum pada lebar galian 12 meter



**Grafik 4.38e** Momen maximum pada lebar galian 24 meter



**Grafik 4.38f** Momen maximum pada lebar galian 48 meter

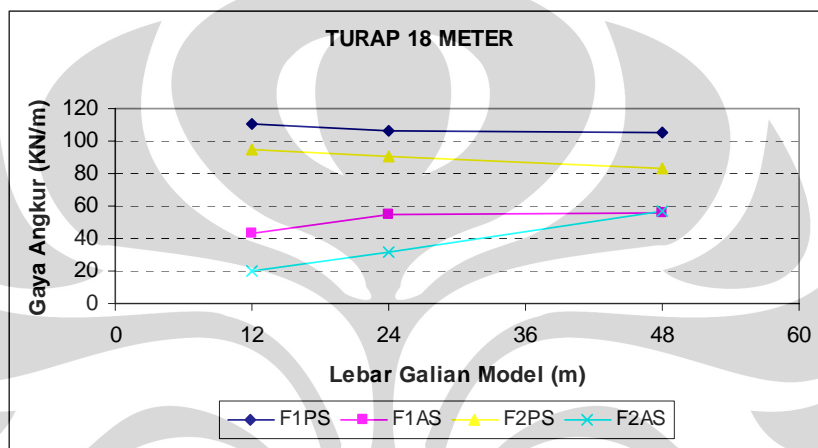
Pertama akan ditinjau **perilaku bending momen maksimum pada galian model plain strain**. Seperti terlihat di grafik, meningkatnya kedalaman embedment cenderung tidak mempengaruhi bending momen maksimum yang terjadi (Hampir semua terjadi disemua grafik, yaitu yang menunjukkan bahwa grafik berupa garis lurus). Bending momen maksimum relatif tetap meskipun kedalaman turapnya bertambah. Ini terjadi baik pada galian 9 maupun 12 meter. Sementara itu, kedalaman galian punya pengaruh yang signifikan terhadap perubahan maksimum bending momen. Bending momen pada kedalaman basement 12 meter lebih besar ketimbang bending momen pada kedalaman basement 9 meter (Perhatikan bentuk PS 9 m dan PS 12 m di semua grafik). Ini menunjukkan maksimum bending momen akan meningkat seiring dengan meningkatnya kedalaman galian. Seperti pada analisa sebelumnya, faktor kekuatan geser tanah mempengaruhi maksimum bending momen yang terjadi. Semakin besar kekuatan tanah, bending momen maksimum cenderung semakin kecil. Sementara kekakuan material juga demikian. Kekakuan material dinding semakin besar, maka bending momen yang terjadi juga semakin besar.

Selanjutnya adalah **perilaku bending momen maksimum pada galian dengan model axisymmetry**. Sama seperti pada kasus model plain strain, penambahan kedalaman embedment tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan maksimum bending momen yang terjadi. Kekuatan tanah yang semakin besar membuat maksimum bending momen yang dihasilkan semakin kecil. Begitu juga dengan kekakuan strukturnya, yang akan menghasilkan maksimum bending momen semakin besar dengan semakin besarnya kekakuan struktur.

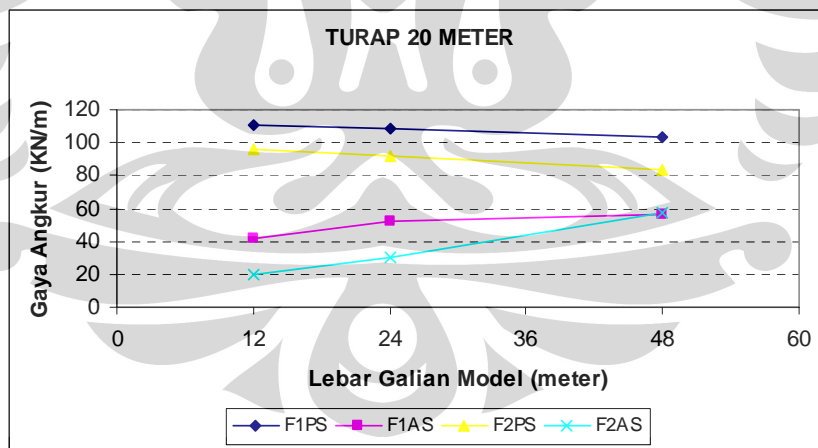
#### 4.2.6 Analisa Gaya Angkur Berdasarkan Lebar Galian

Di bawah ini adalah besarnya gaya – gaya angkur akibat tekanan tanah lateral yang terjadi pada turap. F1 adalah angkur pertama, yaitu angkur yang letaknya paling dekat dengan permukaan tanah, berada dikedalaman 3m dari permukaan tanah. F2 adalah angkur kedua, berjarak 6m dari permukaan tanah. Yang terakhir adalah F3, yaitu angkur ketiga, berjarak 9m dari permukaan tanah.

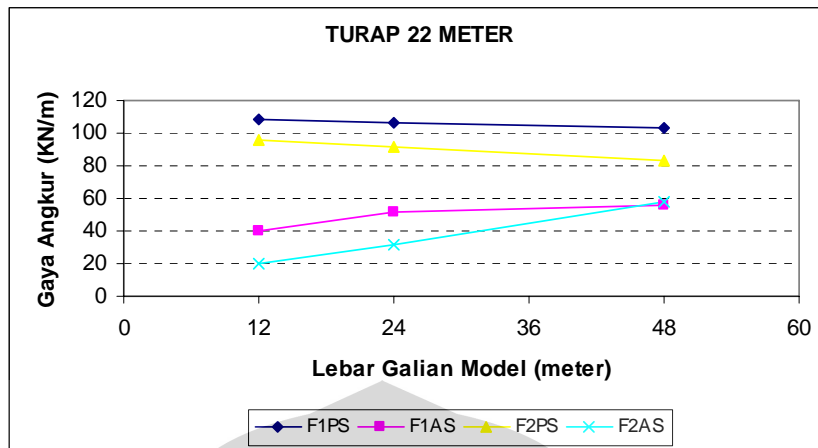
A. Turap Baja,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



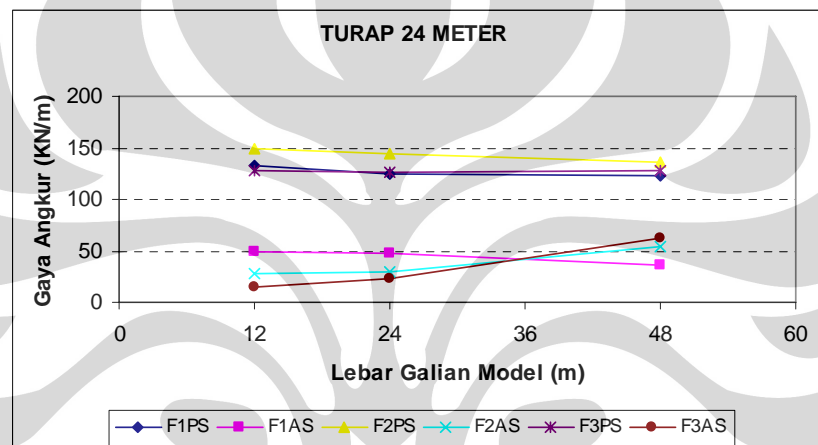
**Grafik 4.39a** Gaya angkur pada turap 18 meter (galian 9 meter)



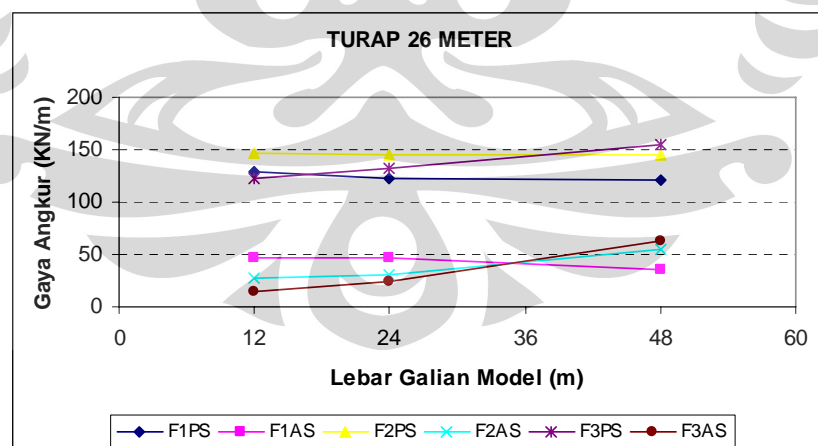
**Grafik 4.39b** Gaya angkur pada turap 20 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.39c** Gaya angkur pada turap 22 meter (galian 9 meter)

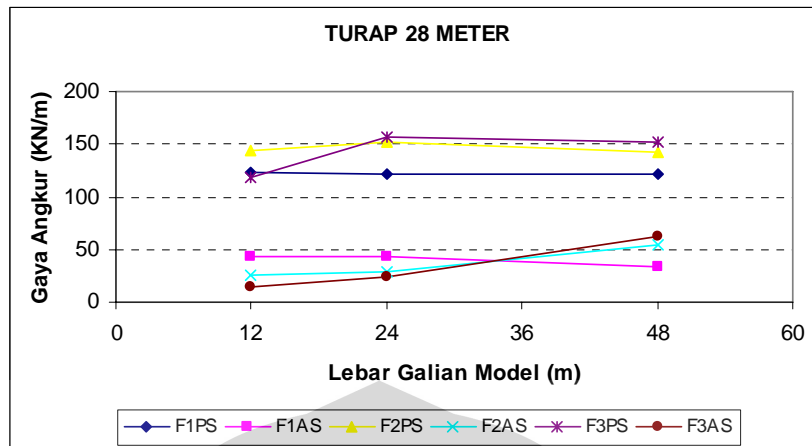


**Grafik 4.39d** Gaya angkur pada turap 24 meter (galian 12 meter)



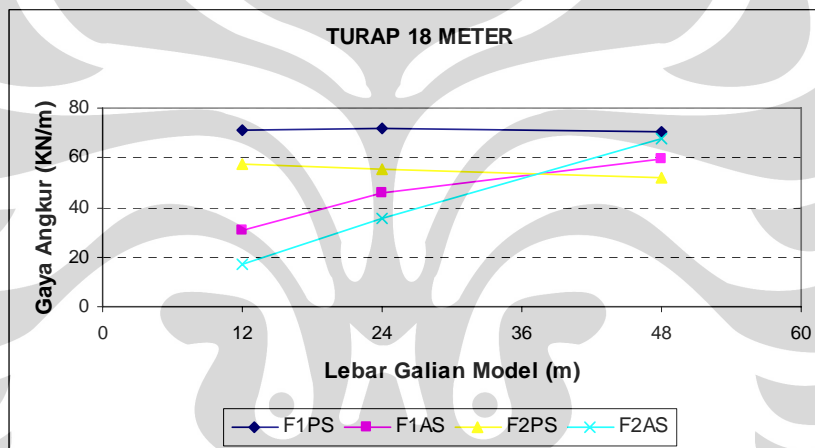
**Grafik 4.39e** Gaya angkur pada turap 26 meter (galian 12 meter)



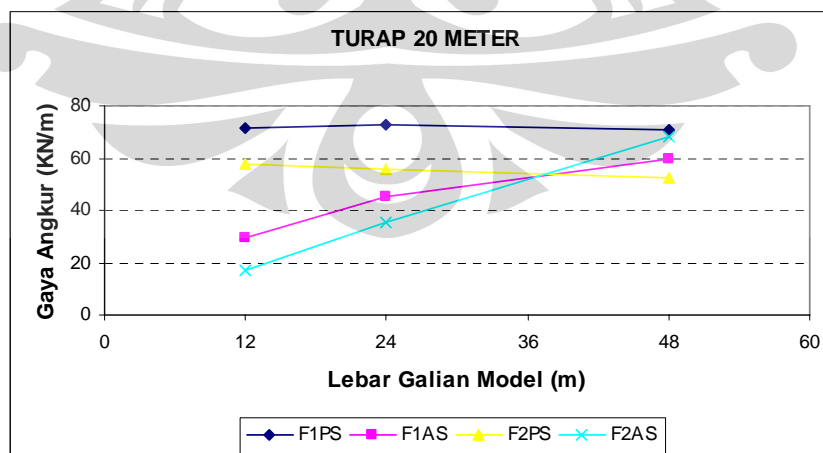


Grafik 4.39f Gaya angkur pada turap 28 meter (galian 12 meter)

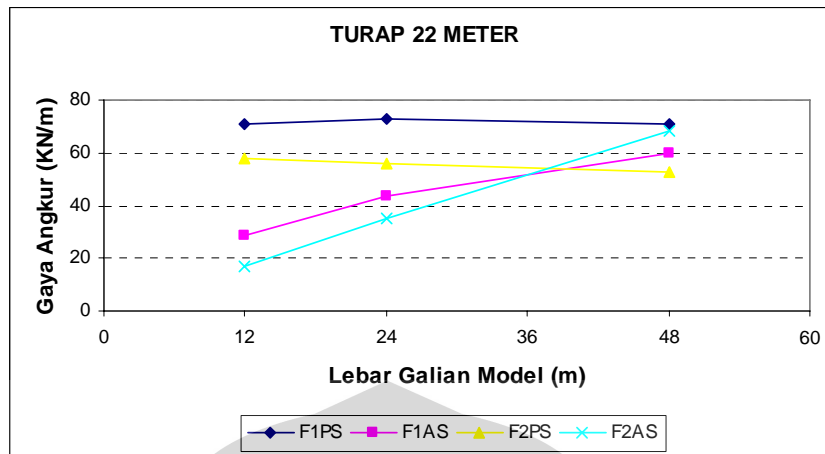
B. Turap Baja,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



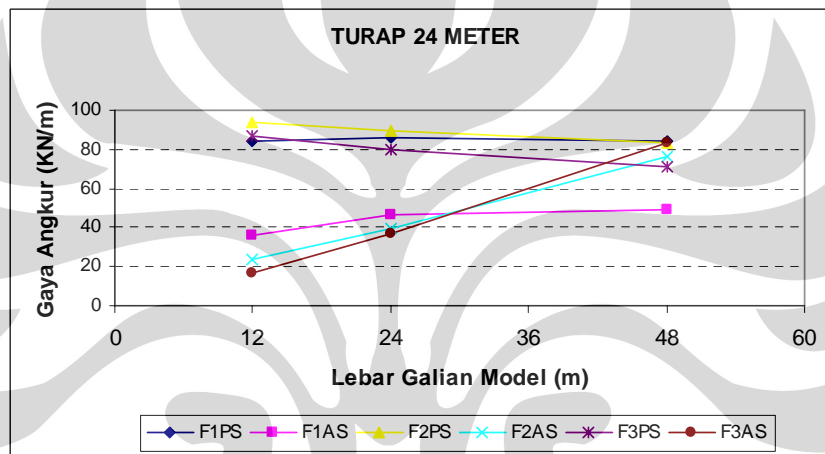
Grafik 4.40a Gaya angkur pada turap 18 meter (galian 9 meter)



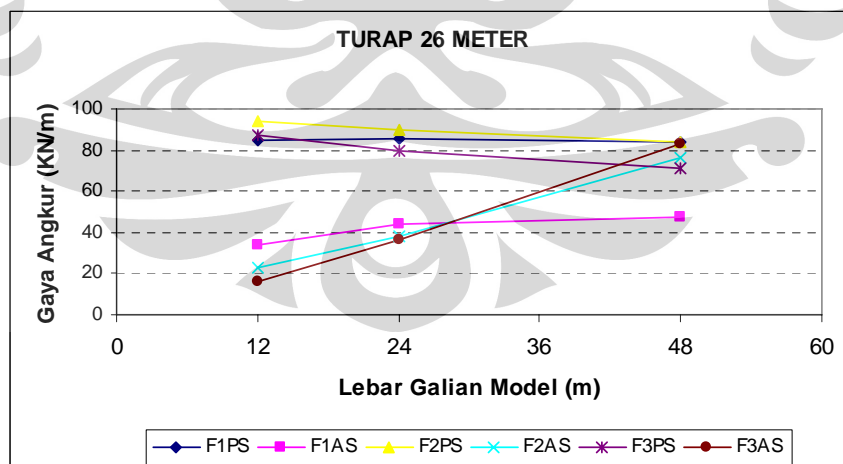
Grafik 4.40b Gaya angkur pada turap 20 meter (galian 9 meter)



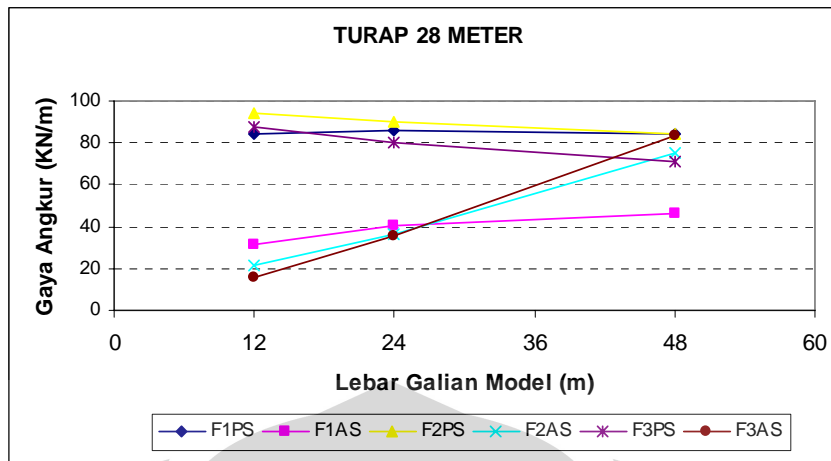
**Grafik 4.40c** Gaya angkur pada turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.40d** Gaya angkur pada turap 24 meter (galian 12 meter)

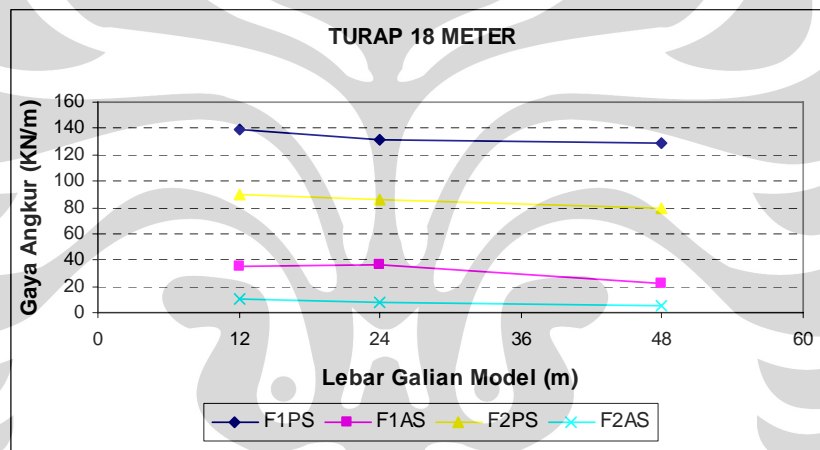


**Grafik 4.40e** Gaya angkur pada turap 26 meter (galian 12 meter)

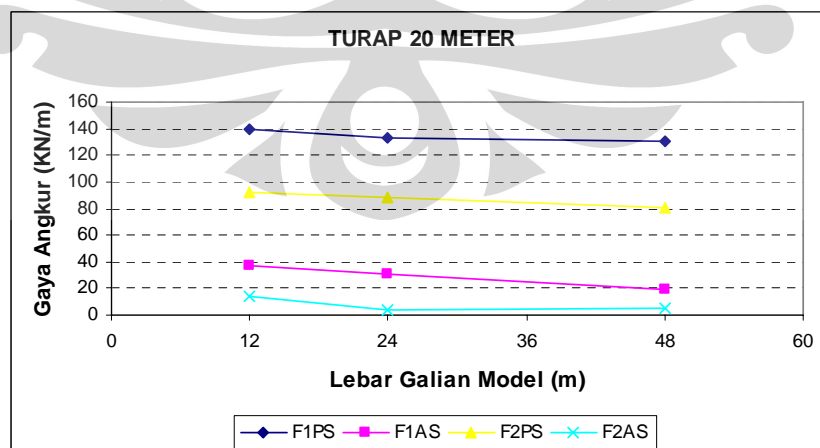


Grafik 4.40f Gaya angkur pada turap 28 meter (galian 12 meter)

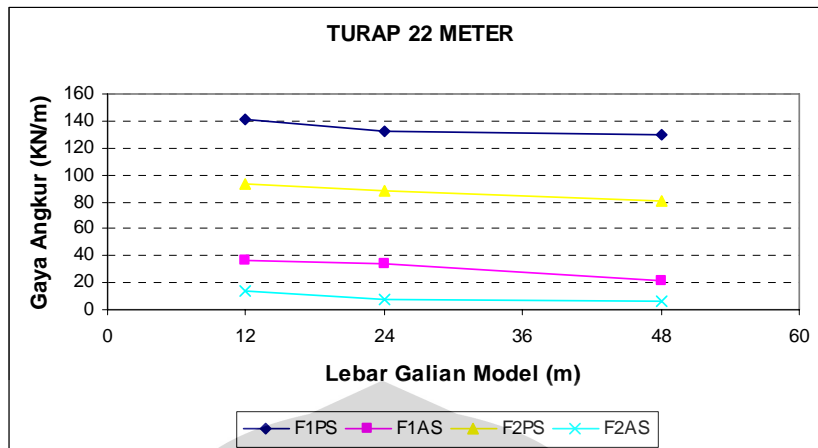
C. Turap Beton,  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



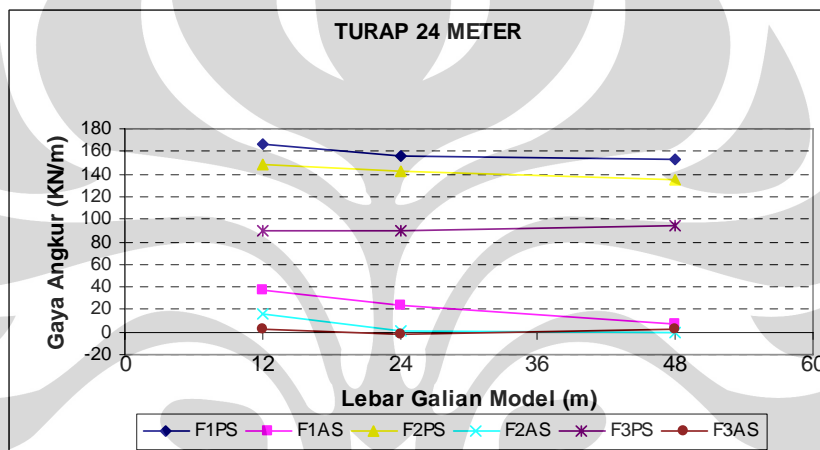
Grafik 4.41a Gaya angkur pada turap 18 meter (galian 9 meter)



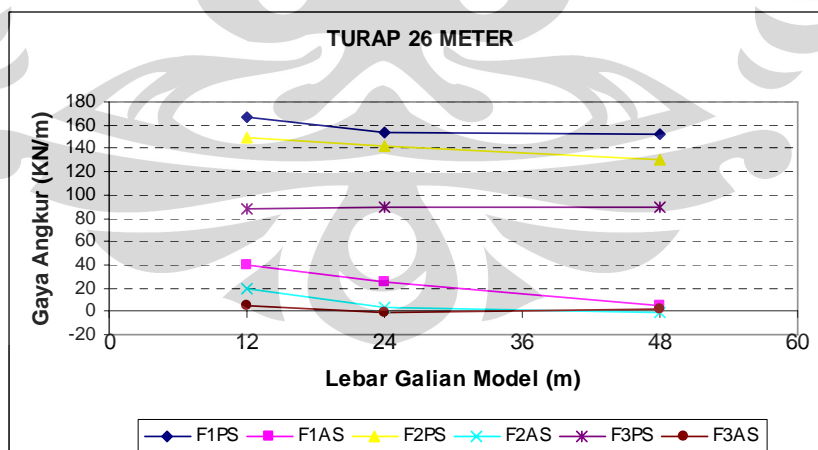
Grafik 4.41b Gaya angkur pada turap 20 meter (galian 9 meter)



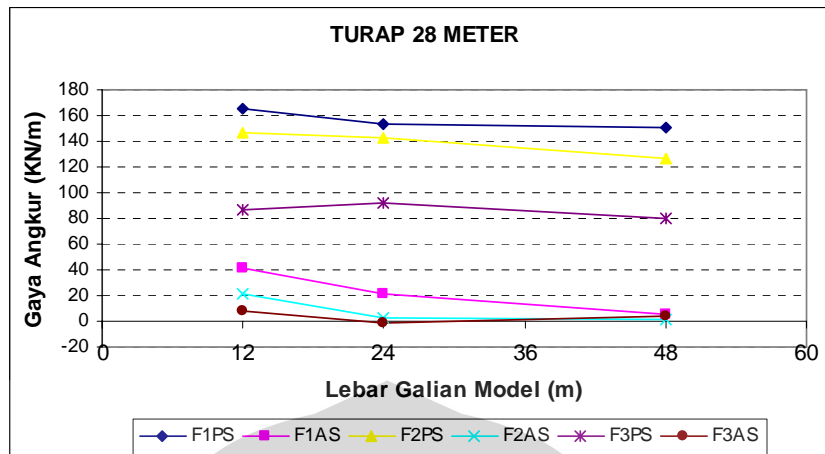
**Grafik 4.41c** Gaya angkur pada turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.41d** Gaya angkur pada turap 24 meter (galian 12 meter)

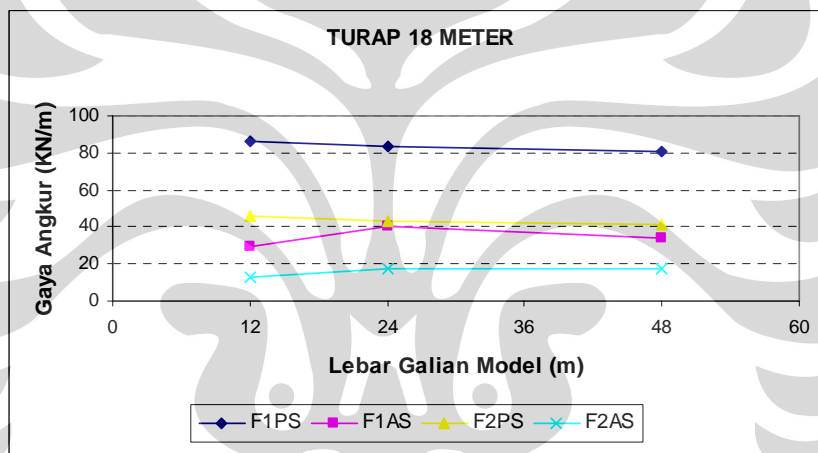


**Grafik 4.41e** Gaya angkur pada turap 26 meter (galian 12 meter)

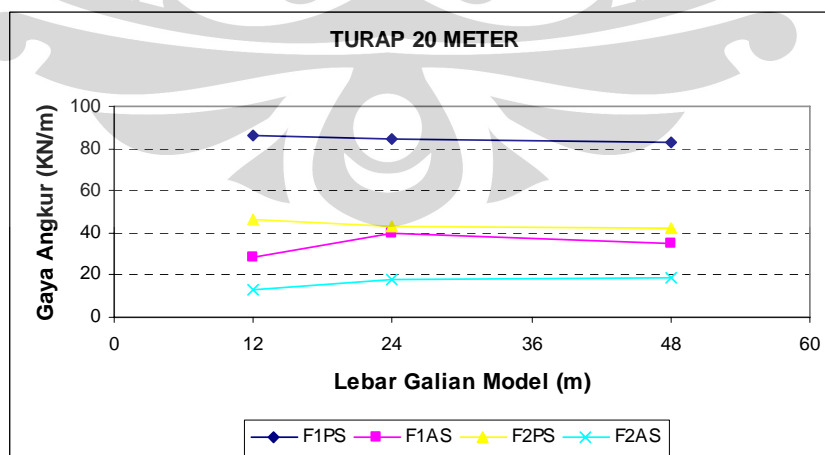


Grafik 4.41f Gaya angkur pada turap 28 meter (galian 12 meter)

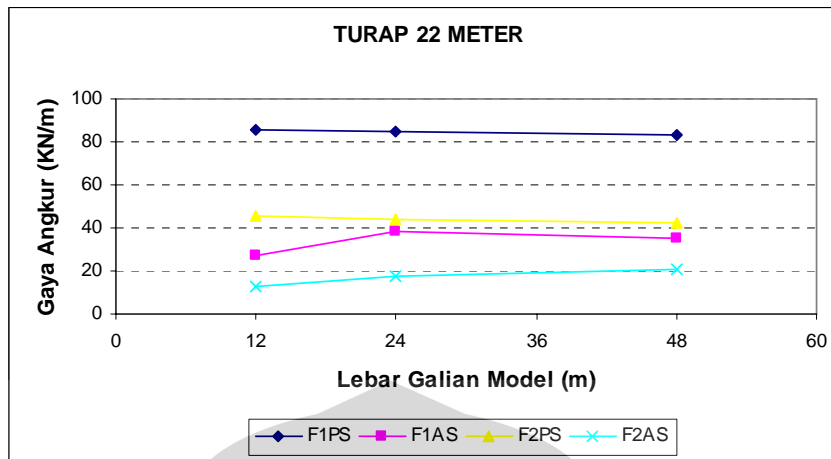
D. Turap Beton,  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



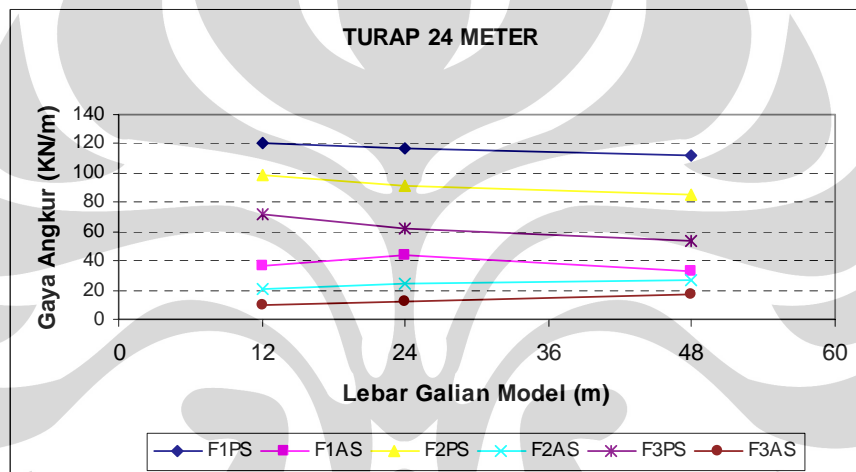
Grafik 4.42a Gaya angkur pada turap 18 meter (galian 9 meter)



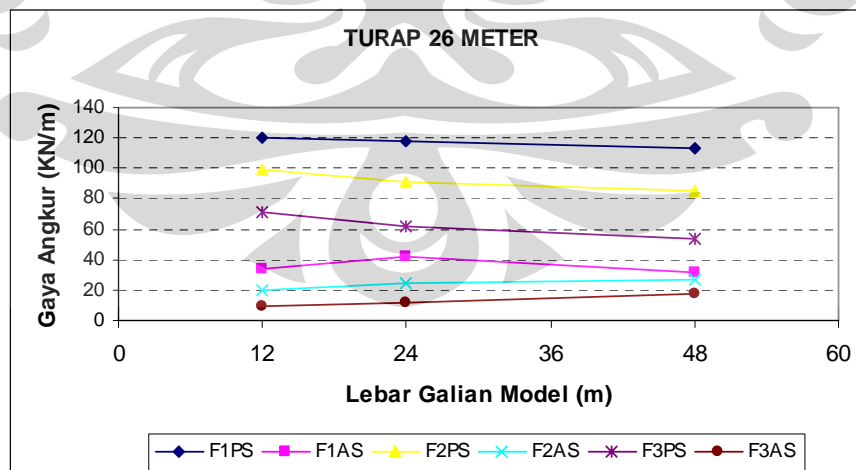
Grafik 4.42b Gaya angkur pada turap 20 meter (galian 9 meter)



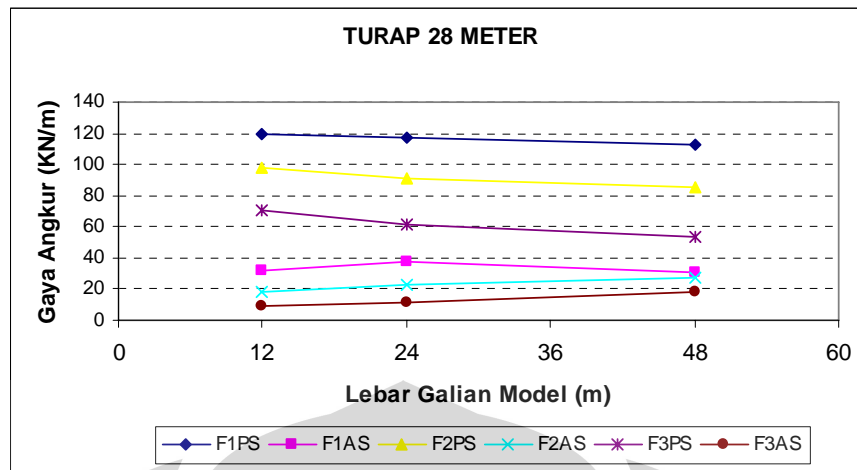
**Grafik 4.42c** Gaya angkur pada turap 22 meter (galian 9 meter)



**Grafik 4.42d** Gaya angkur pada turap 24 meter (galian 12 meter)



**Grafik 4.42e** Gaya angkur pada turap 26 meter (galian 12 meter)



**Grafik 4.42f** Gaya angkur pada turap 28 meter (galian 12 meter)

Hal pertama yang akan dianalisa adalah **gaya angkur dengan galian 9 meter model plain strain**. Penambahan panjang embedment pada turap cenderung tidak mengubah besarnya gaya angkur yang terjadi. Namun seiring dengan bertambahnya lebar galian, besarnya gaya angkur semakin kecil. Faktor kekuatan geser tanah juga berpengaruh terhadap besarnya gaya angkur yang dihasilkan. Semakin besar kekuatan tanah maka semakin kecil pula gaya yang ditahan oleh angkur. Ini terjadi baik pada angkur pertama maupun kedua. Sementara itu, faktor kekakuan material dinding pun berpengaruh terhadap *performance* angkur. Pada dinding beton, gaya angkur yang terjadi cenderung lebih besar daripada yang didinding baja. Namun ini terjadi hanya pada angkur yang pertama, sedangkan pada angkur yang kedua cenderung tetap.

Selanjutnya adalah **gaya angkur dengan galian 12 meter model plain strain**. Penambahan embedment pada dinding turap memiliki tren yang sama dengan galian 9 meter yaitu tidak memberikan perubahan secara signifikan. Sedangkan penambahan lebar galian menyebabkan gaya yang ditopang angkur semakin kecil. Faktor kekuatan geser tanah pun menunjukkan hal yang sama dengan galian 9 meter, begitu juga faktor kekakuan strukturnya.

Dari grafik diatas dapat juga terlihat bahwa tren besarnya gaya yang ditopang angkur dari yang terbesar hingga terkecil selaras dengan urutan susunan angkur dari atas kebawah. Semakin keatas posisi angkur, maka gaya yang ditopangnya semakin

besar. Ini selalu terjadi pada turap beton dimana peran angkur kurang begitu dominan. Selain itu terjadi juga pada dinding baja dengan galian 9 meter. Namun pada turap baja dimana peran angkur sangat dominan, ada pemerataan gaya yang diterima oleh setiap angkur. Ini terjadi pada galian 12 meter dengan dinding turap baja. Selain itu, pada galian 12 meter menunjukkan gaya yang diterima angkur meningkat. Ini mengindikasikan bahwa semakin besar kedalaman galian maka semakin besar pula gaya angkur yang dihasilkan. Selain itu, fakta ini semakin menguatkan bahwa kinerja dinding turap baja dengan angkur lebih bersinergi dibandingkan kinerja turap beton dengan angkur.

Selanjutnya adalah **gaya angkur yang terjadi pada model axisymmetry**. Seperti pada plain strain, peningkatan kedalaman embedment tidak mempengaruhi perubahan gaya angkur secara signifikan. Sementara itu, semakin besar lebar galian, trennya menunjukkan semakin besar juga gaya angkur yang musti ditopang. Hal ini berkebalikan dengan yang terjadi pada model plain strain.

Berdasarkan kekuatan geser tanah, pengaruh kekuatan tanah tidak terlalu signifikan terhadap beban yang harus ditopang oleh angkur. Ini berlaku pada galian 9 meter maupun 12 meter, turap baja maupun beton.

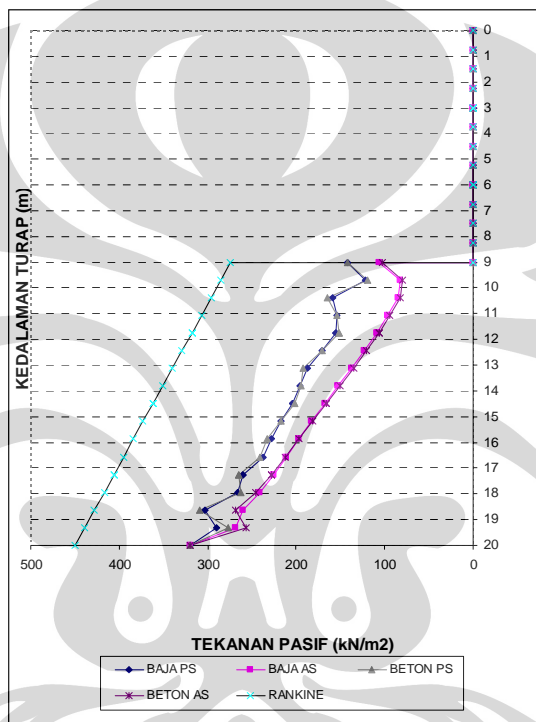
Secara garis besar, gaya-gaya yang ditanggung oleh setiap angkur memiliki nilai yang berbeda-beda karena adanya perbedaan tekanan disetiap level angkur sehingga beban yang diterima angkur pun berbeda-beda.



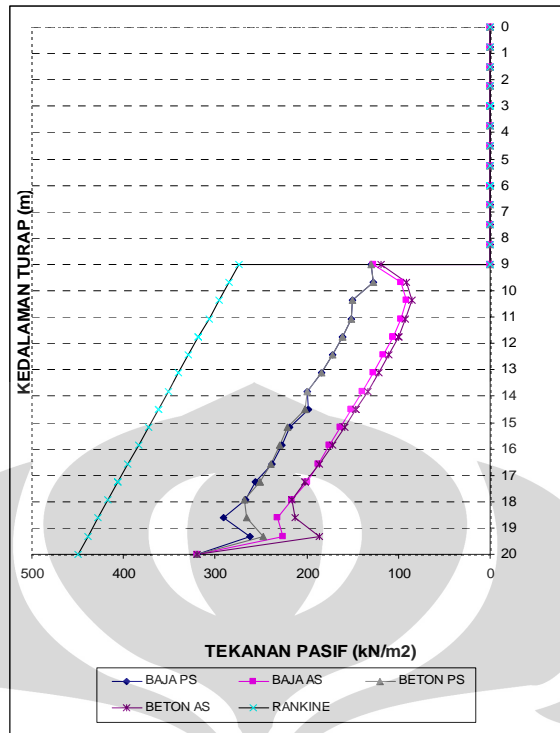
#### 4.2.7 Analisa Tekanan Tanah pada Turap Berdasarkan Tipe Material Struktur

Di bawah ini adalah grafik tekanan aktif-pasif yang terjadi pada dinding turap. Tekanan aktif terjadi disebelah kanan galian, sedangkan tekanan pasif terjadi di sebelah kiri galian (sepanjang embedmen). Selain hasil dari permodelan, grafik ini juga berisi hasil perhitungan tekanan aktif-pasif berdasarkan teori Rankine.

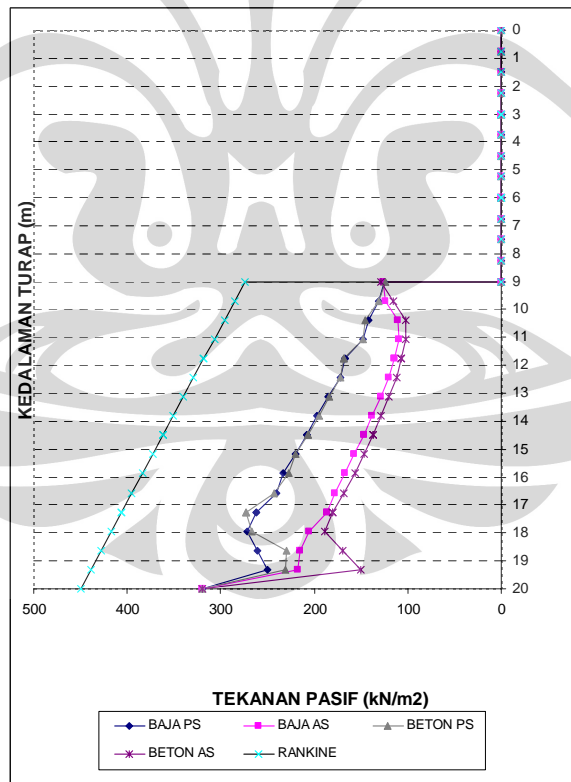
A. Turap 20 meter (galian 9 meter),  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



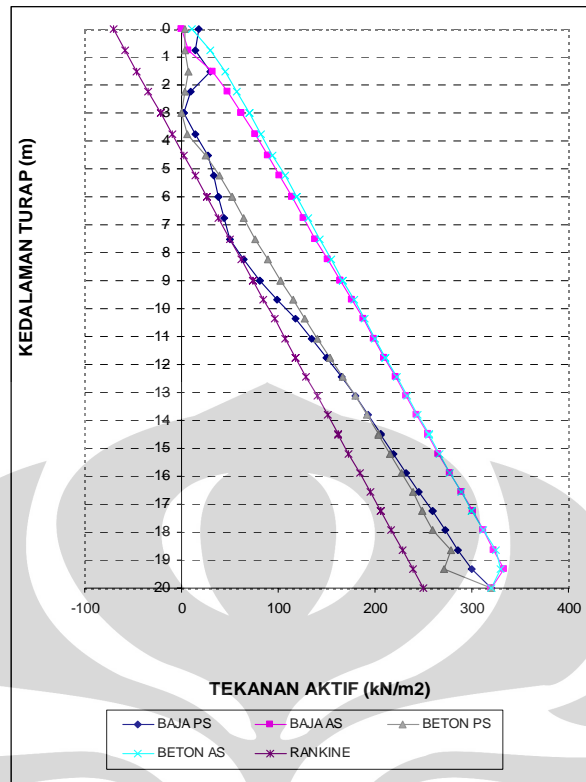
Gambar 4.43a Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter



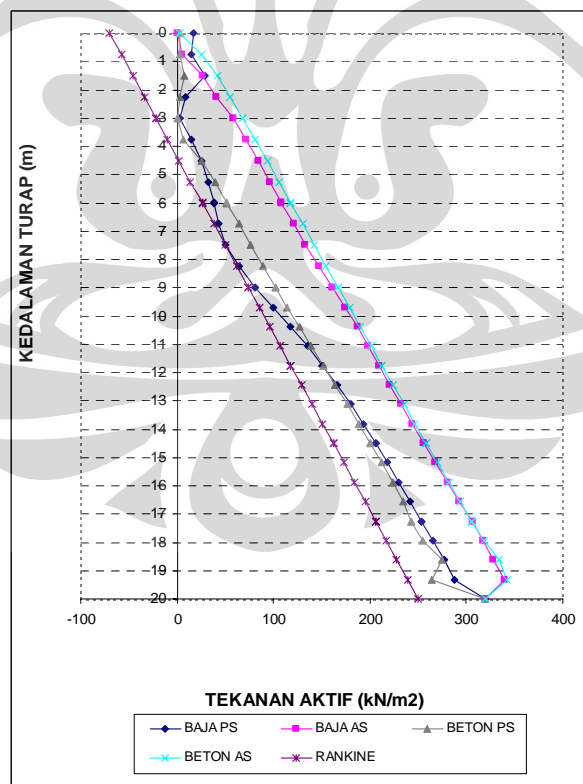
Gambar 4.43b Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter



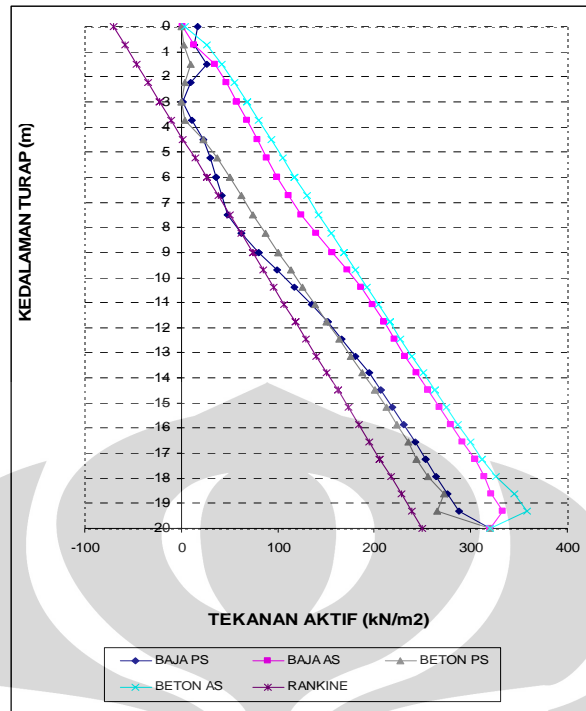
Gambar 4.43c Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter



Gambar 4.43d Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter

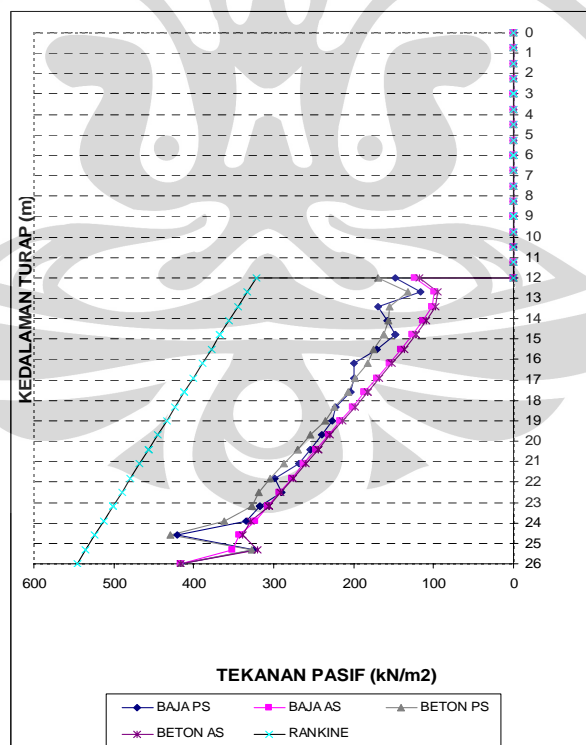


Gambar 4.43e Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter

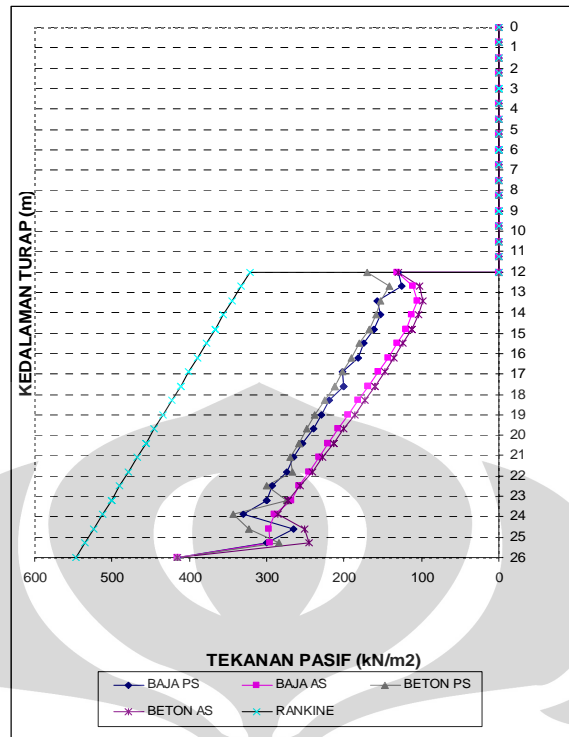


**Gambar 4.43f** Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter

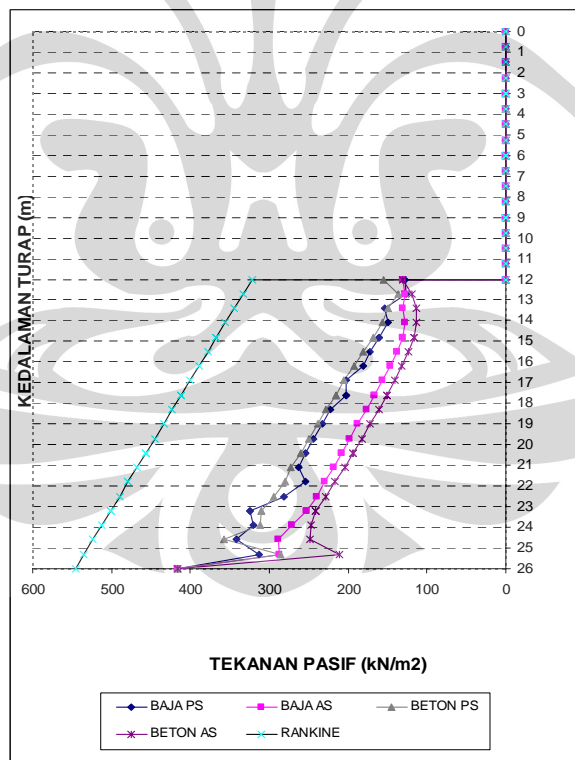
B. Turap 26 meter (galian 12 meter),  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



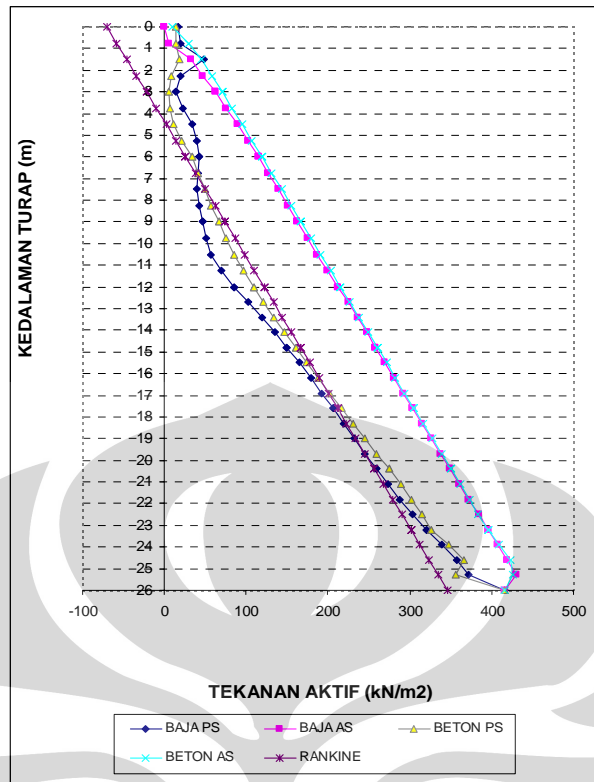
**Gambar 4.44a** Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter



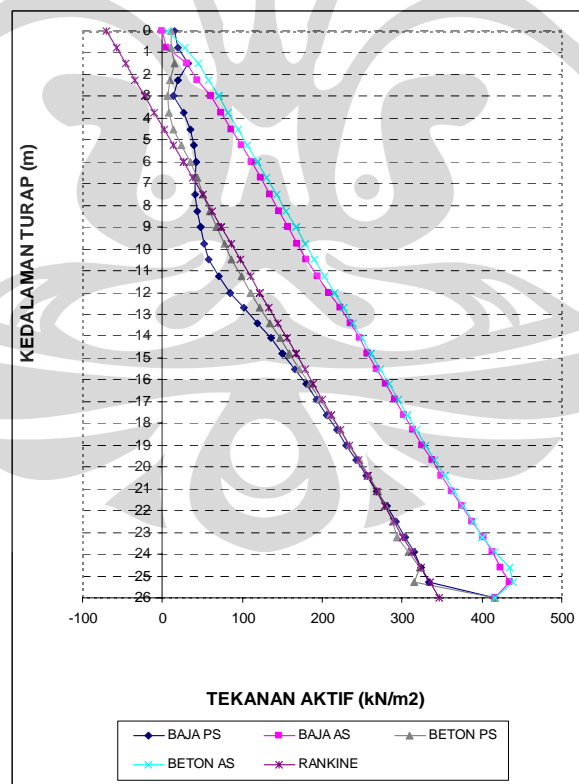
Gambar 4.44b Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter



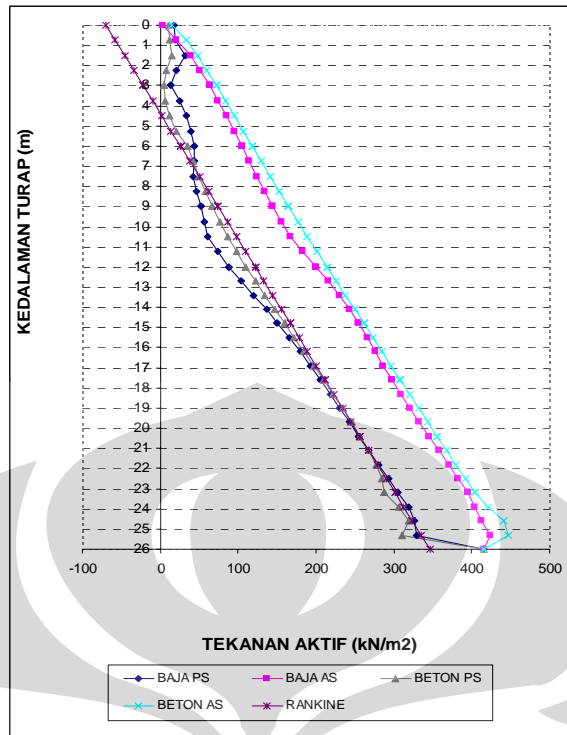
Gambar 4.44c Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter



Gambar 4.44d Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter

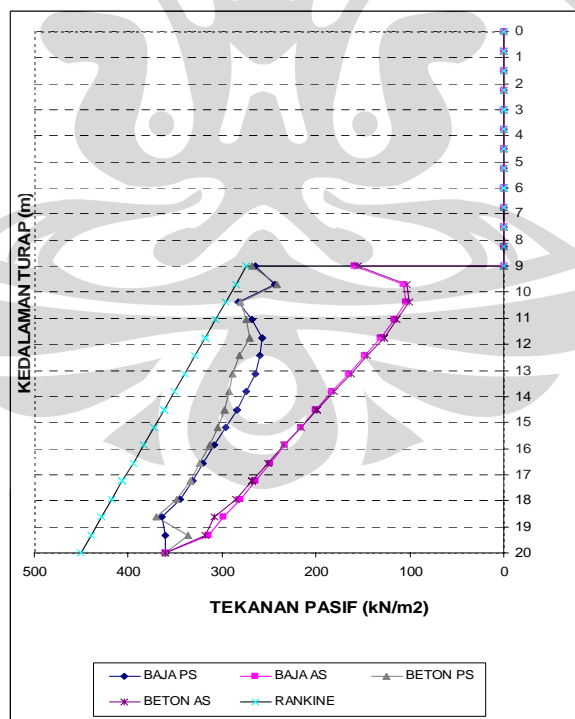


Gambar 4.44e Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter

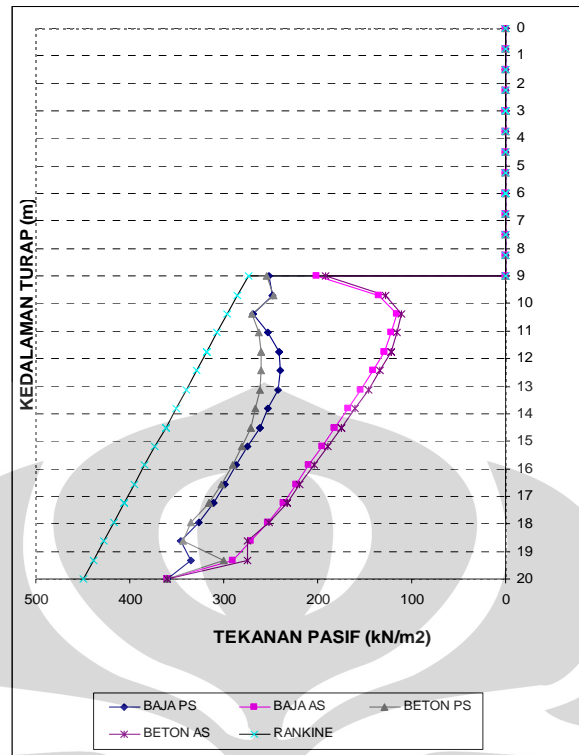


**Gambar 4.44f** Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter

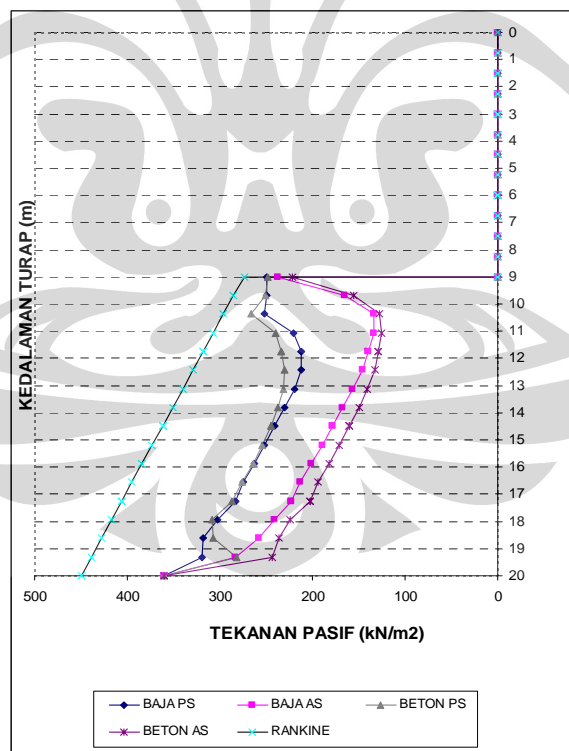
C. Turap 20 meter (galian 9 meter),  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Gambar 4.45a** Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter

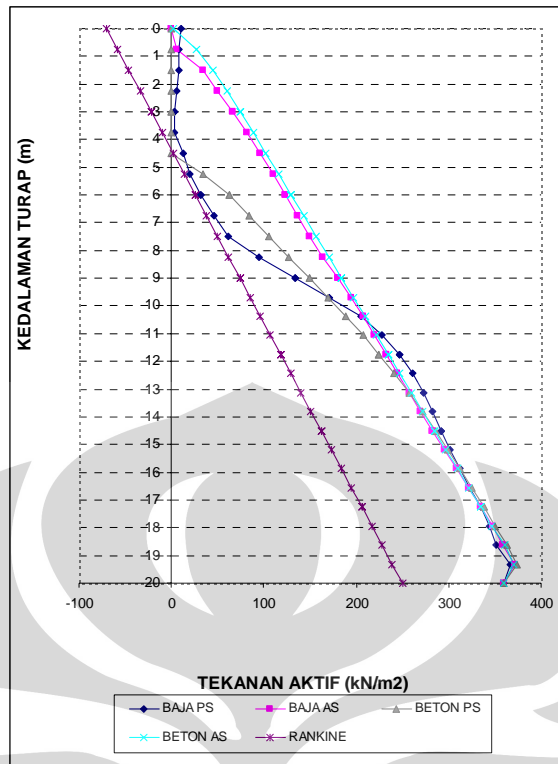


Gambar 4.45b Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter

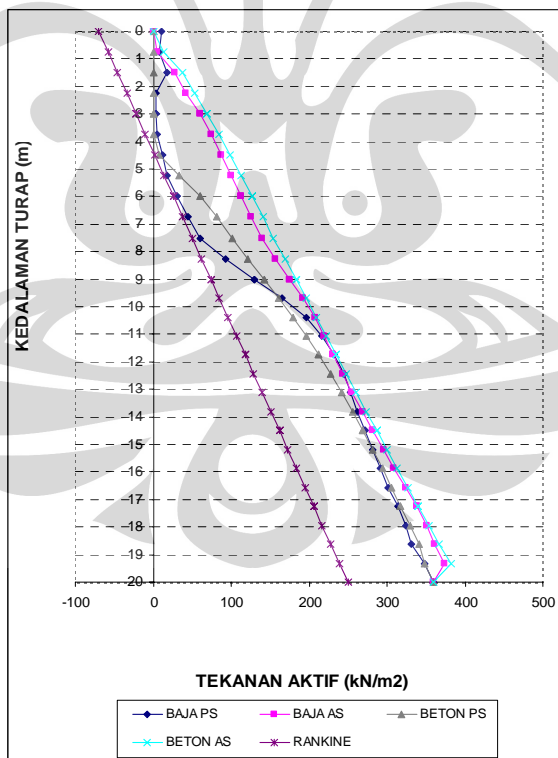


Gambar 4.45c Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter

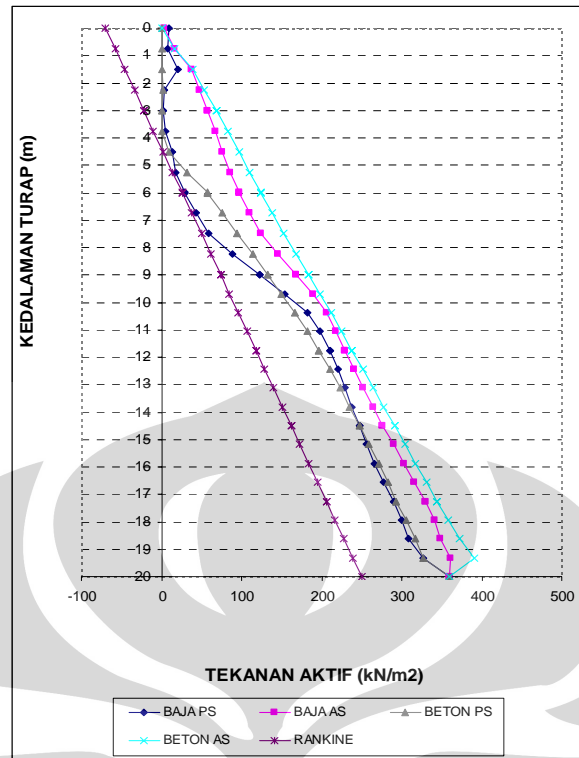




Gambar 4.45d Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter

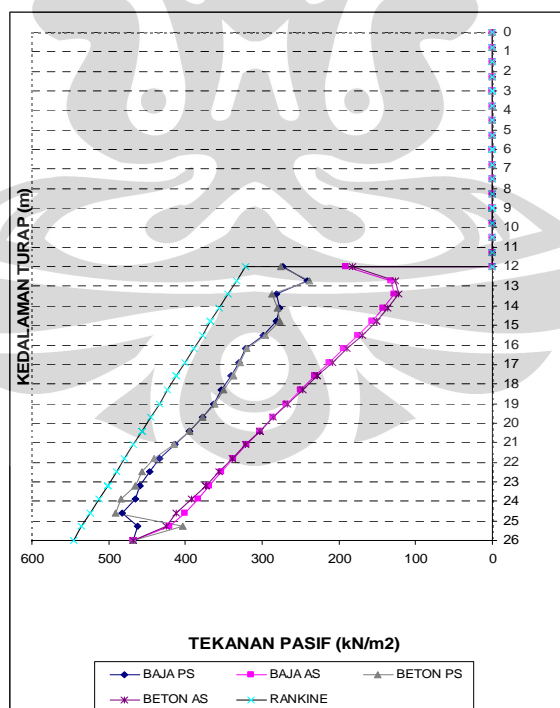


Gambar 4.45e Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter

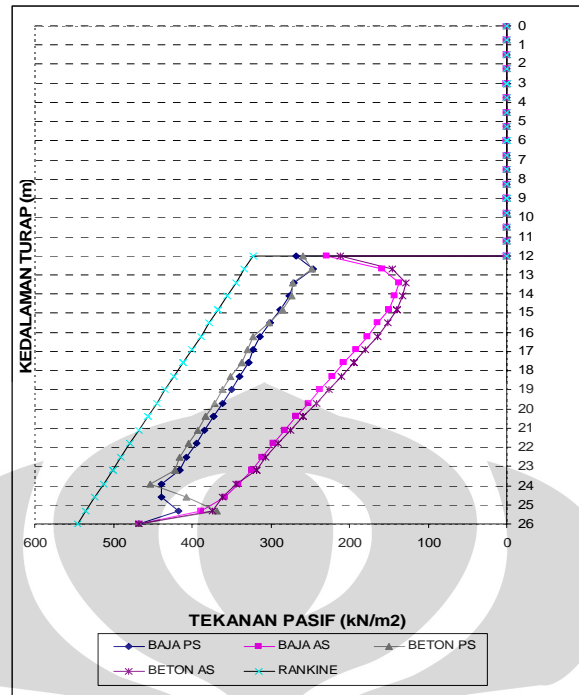


**Gambar 4.45f** Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter

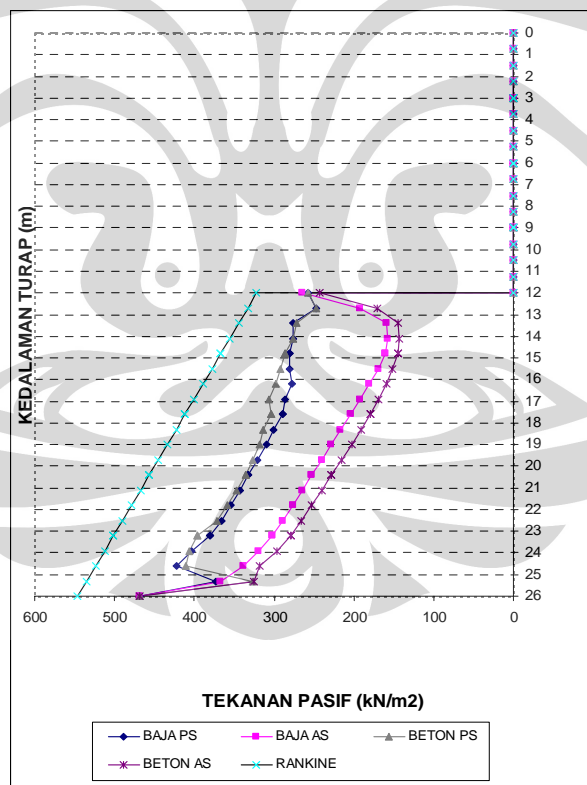
D. Turap 26 meter (galian 12 meter),  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



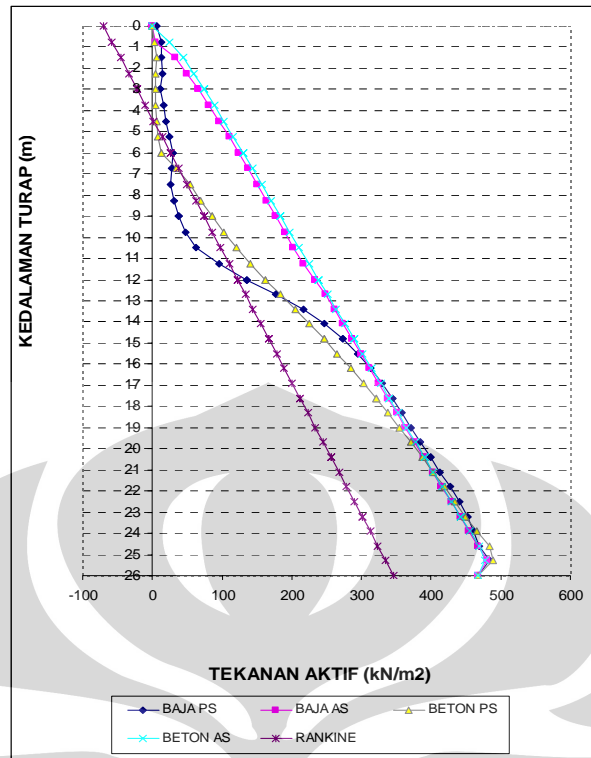
**Gambar 4.46a** Tekanan Pasif dengan lebar galian 12 meter



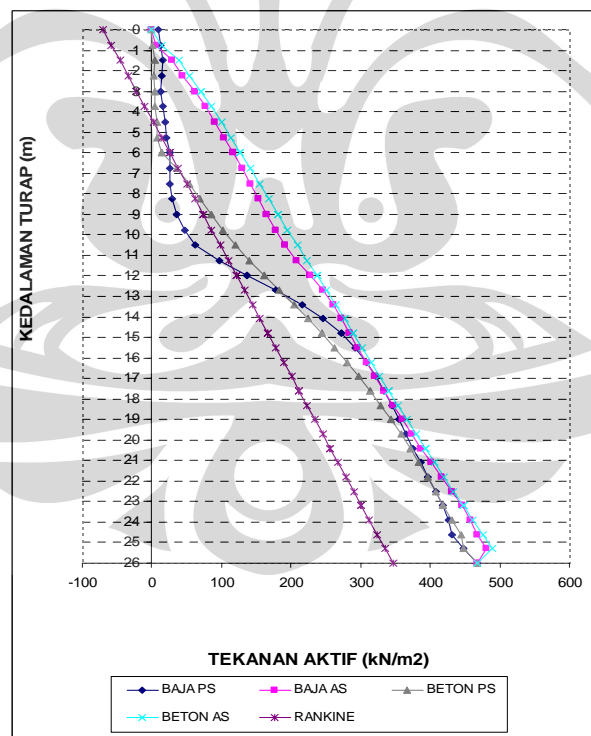
Gambar 4.46b Tekanan Pasif dengan lebar galian 24 meter



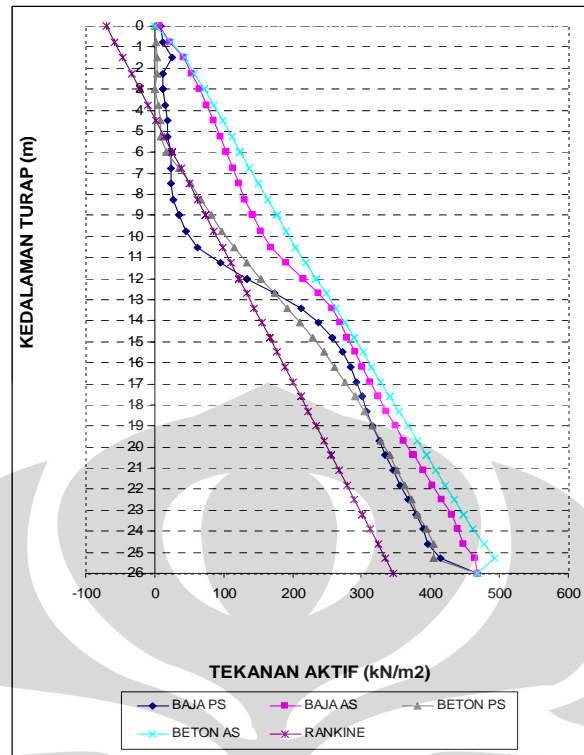
Gambar 4.46c Tekanan Pasif dengan lebar galian 48 meter



Gambar 4.46d Tekanan Aktif dengan lebar galian 12 meter



Gambar 4.46e Tekanan Aktif dengan lebar galian 24 meter



**Gambar 4.46f** Tekanan Aktif dengan lebar galian 48 meter

Dari grafik-grafik diatas akan ditinjau satu per satu perilaku tekanan tanah aktif dan pasif berdasarkan peningkatan kekakuan struktur, kekuatan tanah, serta kedalaman galian.

Pembahasan pertama adalah mengenai **perilaku tekanan tanah pasif pada turap plain strain**. Tren grafik diatas menunjukkan semakin besar kekakuan struktur, semakin besar tekanan pasif yang terjadi (Misal, lihat grafik 4.45a, baja PS dan beton PS). Dari grafik juga terlihat, kenaikan kekuatan tanah terhadap kenaikan kekakuan struktur, maka tren tekanan pasifnya pun akan mengalami peningkatan (Misal, bandingkan grafik 4.43a dengan grafik 4.45a). Dari kenyataan itu juga bisa dilihat bahwa kekuatan tanah mempengaruhi tekanan pasif yang terjadi. Semakin besar kekuatan geser tanah, tekanan pasif yang terjadi juga semakin besar.

Berdasarkan lebar galian model, pada jenis tanah dan kedalaman yang sama, peningkatan lebar galian model tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan tekanan pasif yang terjadi (Misal, bandingkan grafik 4.43a dengan 4.43b).

Sementara itu peningkatan kedalaman galian model menunjukkan peningkatan pada nilai tekanan pasif (Bandingkan 4.43a dengan 4.44a).

Selanjutnya akan dibahas adalah **perilaku tekanan tanah pasif pada turap Axisymmetry**. Pada model ini, terlihat grafik tekanan pasif lebih bersifat linear ketimbang kurvatur. Seperti pada model plain strain, peningkatan kekuatan tanah menunjukkan tren peningkatan pada tekanan pasif. Sementara itu, kenaikan besarnya lebar galian juga tak berpengaruh pada tekanan pasif yang terjadi. Peningkatan kedalaman galian memiliki tren yang sama dengan model plain strain. Semakin besar kedalamannya, semakin besar pula tekanan pasifnya.

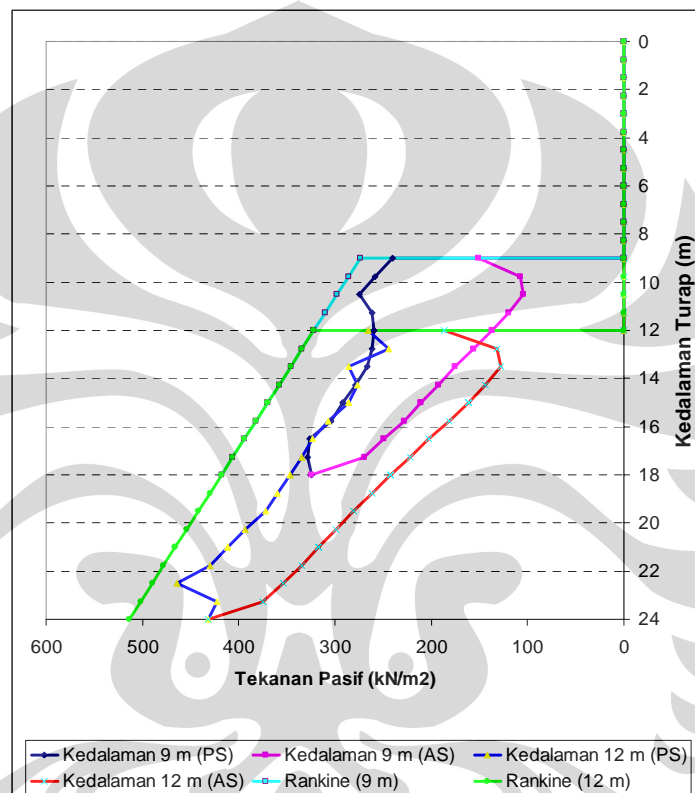
Selanjutnya akan dibahas **perilaku tekanan aktif pada bentuk plain strain**. Berdasarkan peningkatan kekakuan struktur maka akan menyebabkan peningkatan pada tekanan tanah aktif. Hal ini sama dengan yang terjadi pada tekanan tanah pasif. Ini jelas menandakan bahwa kekakuan struktur mempengaruhi besar kecilnya tekanan tanah. Tanah selalu akan membutuhkan tekanan yang semakin besar untuk membuat dirinya runtuh seiring dengan semakin tingginya kekakuan struktur. Berdasarkan lebar galian model, seperti pada analisa sebelumnya, penambahan besarnya galian model tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tekanan aktif yang terjadi. Kedalaman galian pun ikut mempengaruhi perilaku tekanan tanah aktif yang terjadi. Semakin besar kedalaman galian semakin besar pula tekanan aktif yang terjadi.

**Berikutnya adalah perilaku tekanan aktif pada model axisymmetry.** Kekakuan struktur memiliki pengaruh yang sama dengan plain strain, begitu juga kekuatan tanah. Kedalaman galian pun demikian.

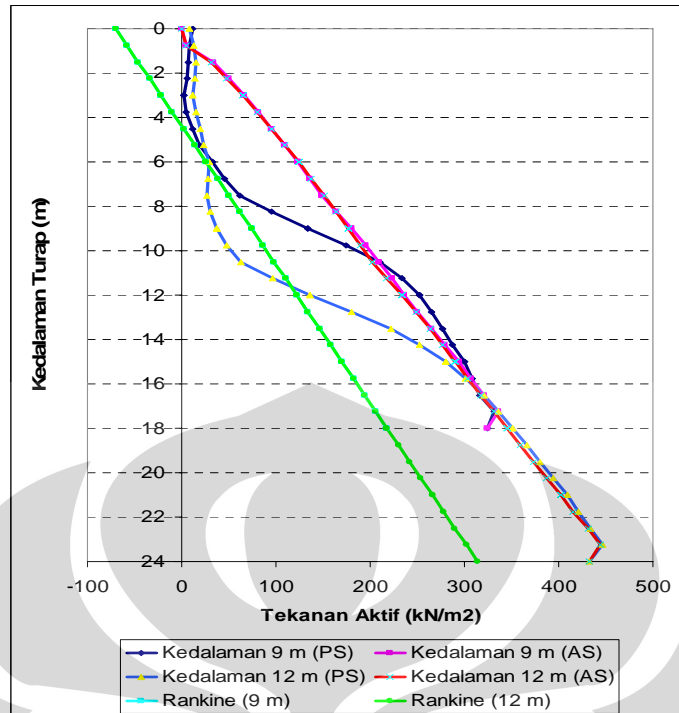
Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan tekanan tanah baik aktif maupun pasif berdasarkan teori Rankine, terlihat bahwa untuk tekanan tanah aktif dan pasif menghasilkan nilai-nilai yang cukup berbeda. Ini dikarenakan teori Rankine hanya menghitung tekanan tanah berdasarkan parameter tanah (nilai kohesi, berat isi tanah lempung, dan beban di atasnya). Selain itu teori Rankine menganggap permukaan dinding adalah halus. Sementara perhitungan lewat modelisasi mempertimbangkan nilai kekakuan struktur serta adanya friksi antara tanah dengan dinding.

Selain grafik-grafik dengan perbandingan diatas, ada beberapa grafik tambahan dibawah ini yang menggambarkan beberapa tipikal tekanan tanah aktif dan pasif yang terjadi berdasarkan variasi kedalaman, kekakuan struktur, dan panjang embedmen :

1. Tekanan aktif-pasif berdasarkan variasi kedalaman galian. Perlu diingat bahwa pada galian 9m panjang turap adalah 18m, sedangkan pada galian 12m, panjang turap adalah 24m.

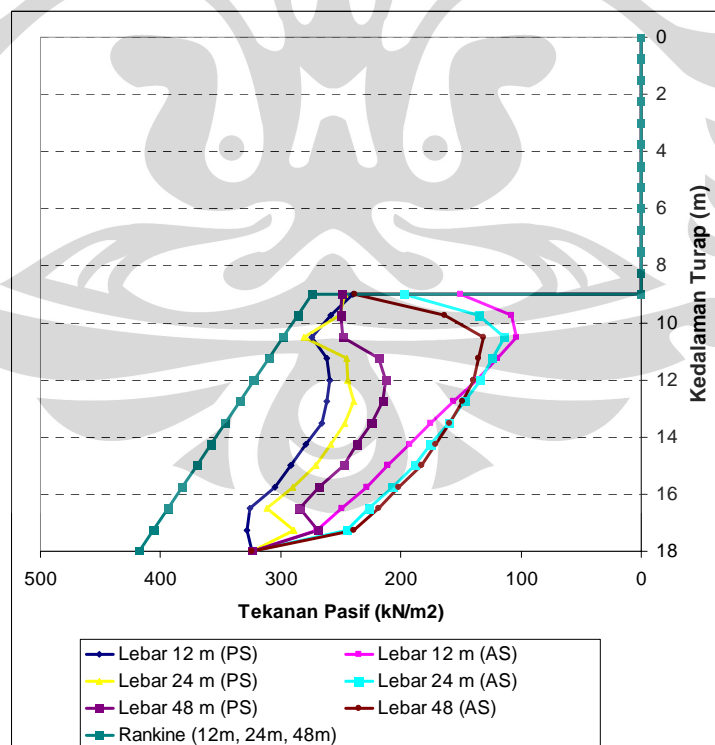


**Grafik 4.47a** Tekanan Pasif (Turap Baja,  $S_u = 100$ , Lebar galian 12 m)



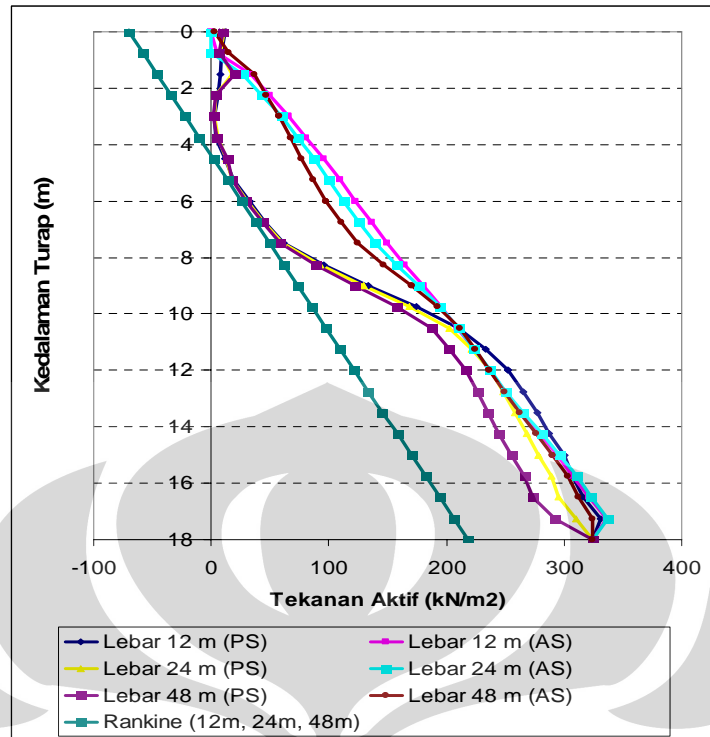
**Grafik 4.47b** Tekanan Aktif (Turap Baja,  $S_u = 100$ , Lebar galian 12 m)

2. Tekanan aktif-pasif berdasarkan variasi Lebar galian



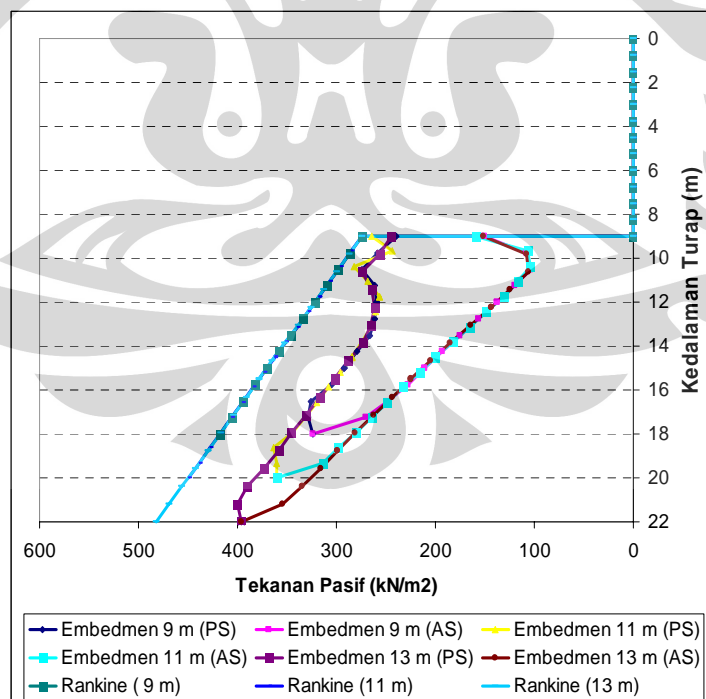
**Grafik 4.47c** Tekanan Pasif (Turap Baja 18 m,  $S_u = 100$ )



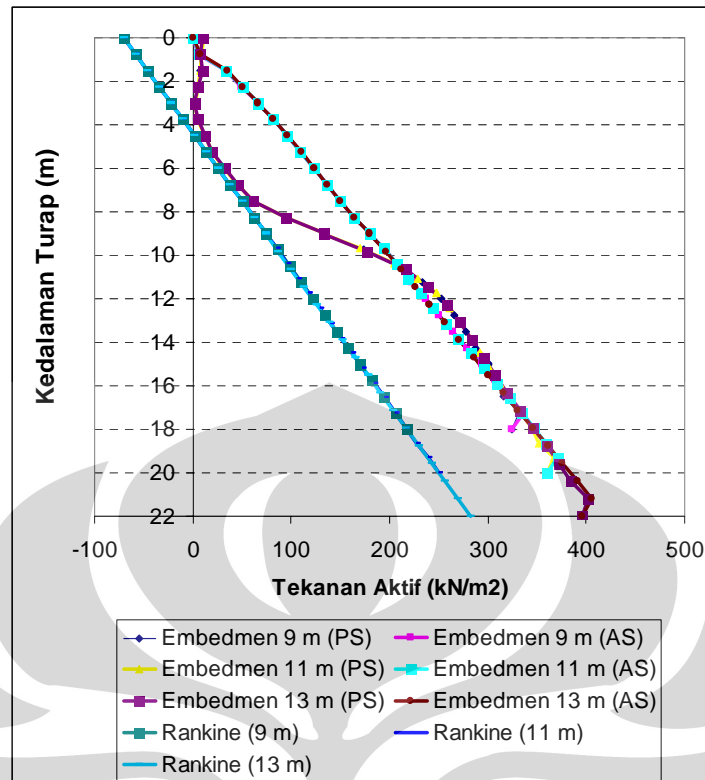


**Grafik 4.47d** Tekanan Aktif (Turap Baja 18 m,  $S_u = 100$ )

### 3. Tekanan aktif-pasif berdasarkan variasi embedmen



**Grafik 4.47e** Tekanan Pasif (Turap Baja, galian 9 m, lebar 12 m,  $S_u = 100$ )



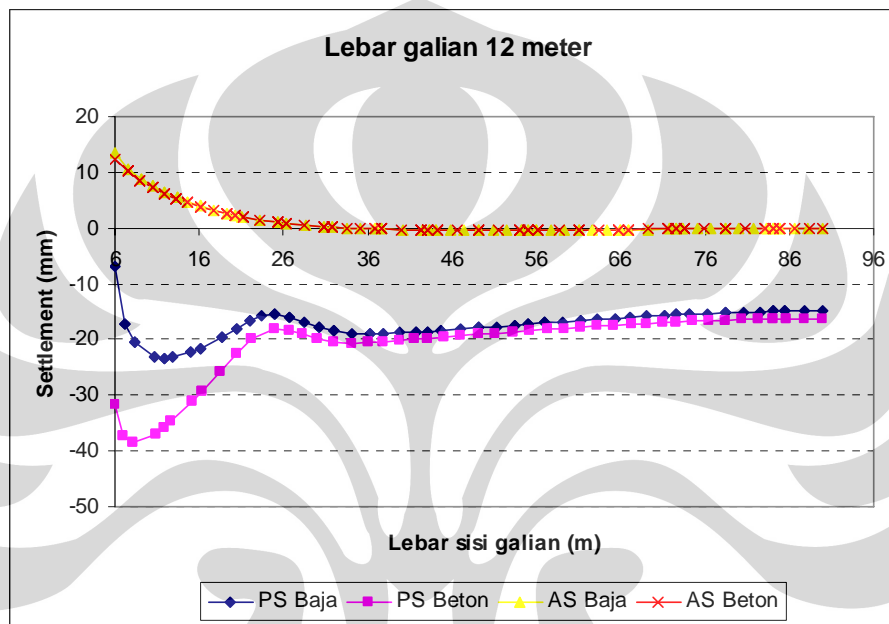
**Grafik 4.47f** Tekanan Aktif (Turap Baja, galian 9 m , lebar 12 m,  $S_u = 100$ )

Dari grafik-grafik diatas, kita bisa lihat bahwa variasi embedmen mengindikasikan adanya peningkatan nilai tekanan aktif-pasif yang terjadi (Lihat grafik 4.47e, dan 4.47f, grafiknya saling tumpang tindih). Hal ini karena semakin panjang embedmen, maka tekanan yang paling dasar menjadi semakin besar. Selain itu, sesuai dengan analisa sebelumnya, pengaruh lebar galian pun tak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan tekanan pasif maupun aktif (Lihat grafik 4.47c, dan 4.47d. Memang ada perubahan namun nilainya kecil. Variasi kedalaman galian juga punya pengaruh terhadap perubahan tekanan aktif maupun pasif. Ini terjadi karena panjang turap bertambah seiring dengan kedalaman galian yang bertambah.

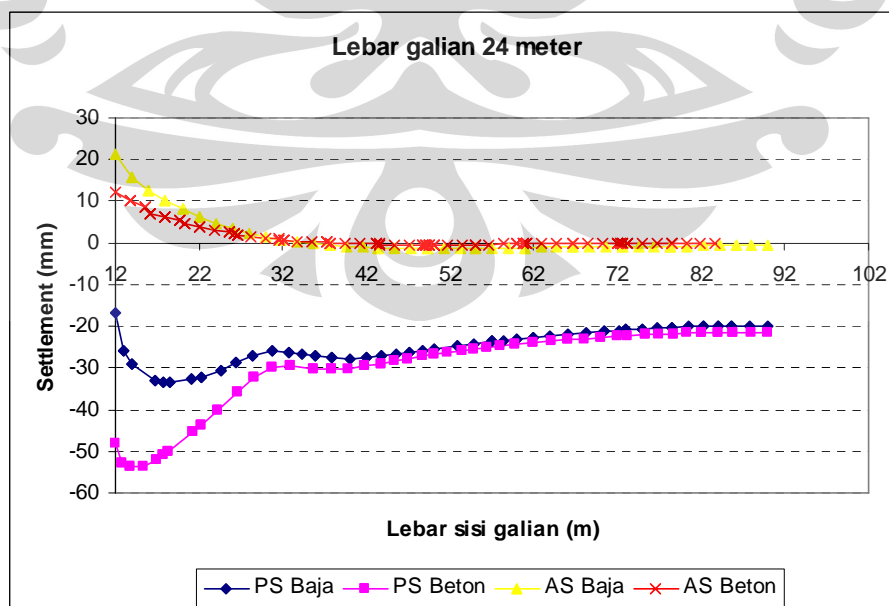
#### 4.2.8 Analisa Settlement pada Sisi Galian Tanah Berdasarkan Tipe Material Struktur

Dibawah ini adalah *settlement* arah vertikal dari sisi galian model. *Settlement* bernilai negatif artinya terjadi penurunan ke bawah permukaan, sedangkan *settlement* bernilai positif berarti terjadi kenaikan ke atas permukaan.

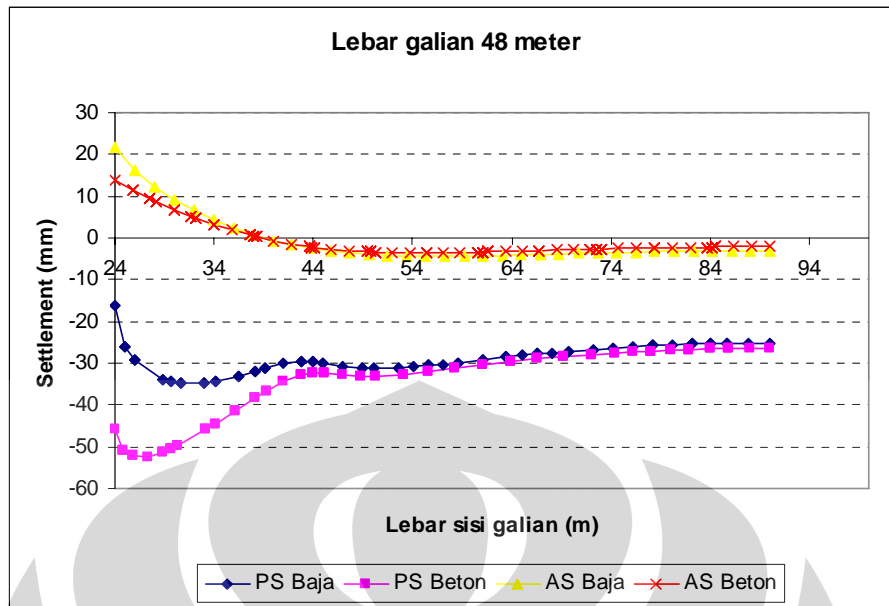
A. Turap 20 meter (galian 9 meter),  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



Grafik 4.48a Settlement dengan lebar galian 12 meter

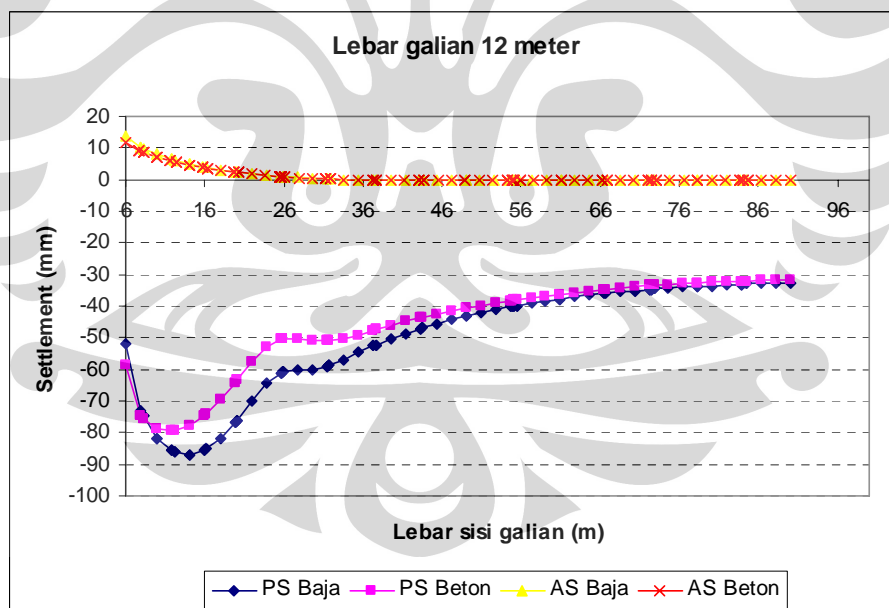


Grafik 4.48b Settlement dengan lebar galian 24 meter

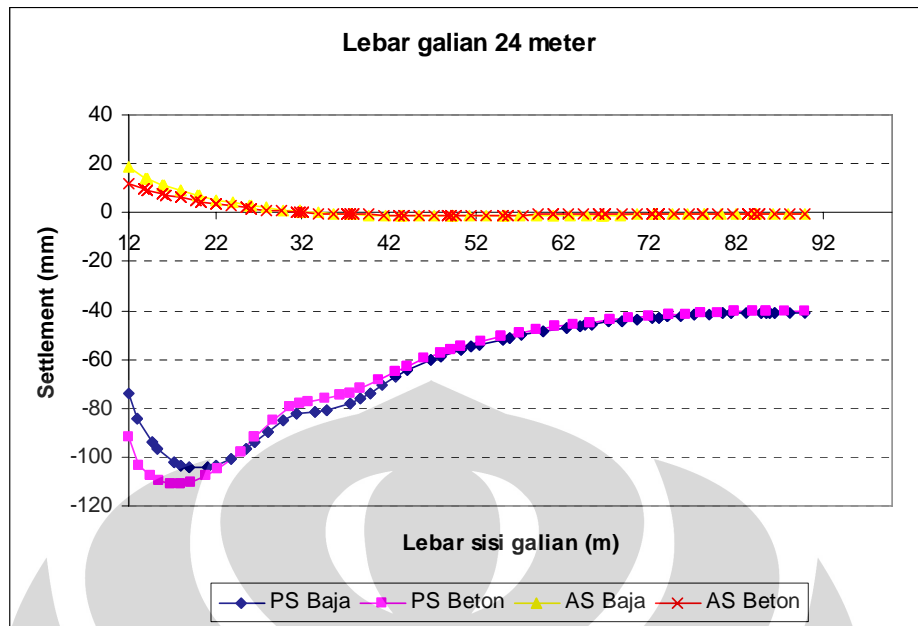


**Grafik 4.48c** Settlement dengan lebar galian 48 meter

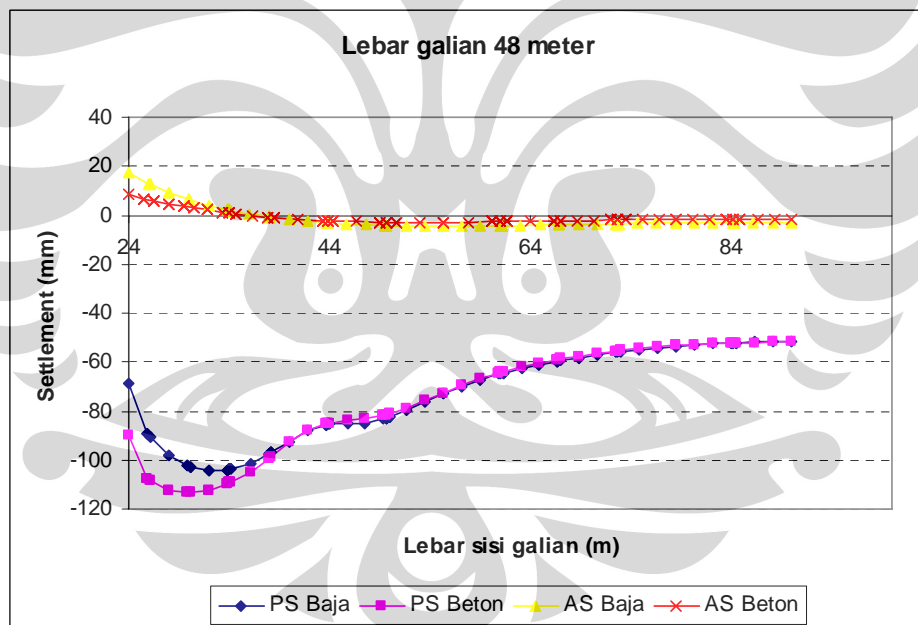
B. Turap 26 meter (galian 12 meter),  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.48d** Settlement dengan lebar galian 12 meter

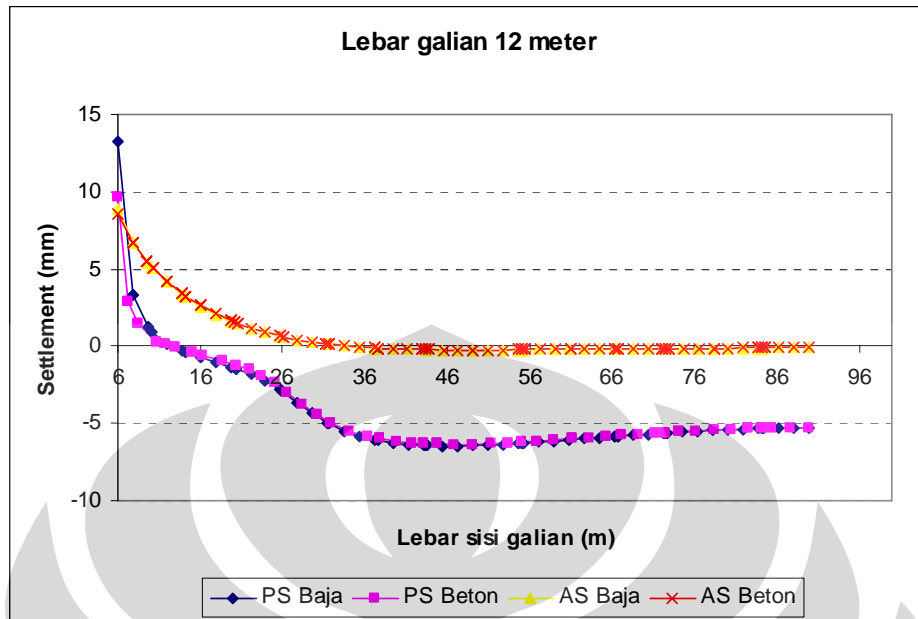


**Grafik 4.48e** Settlement dengan lebar galian 24 meter

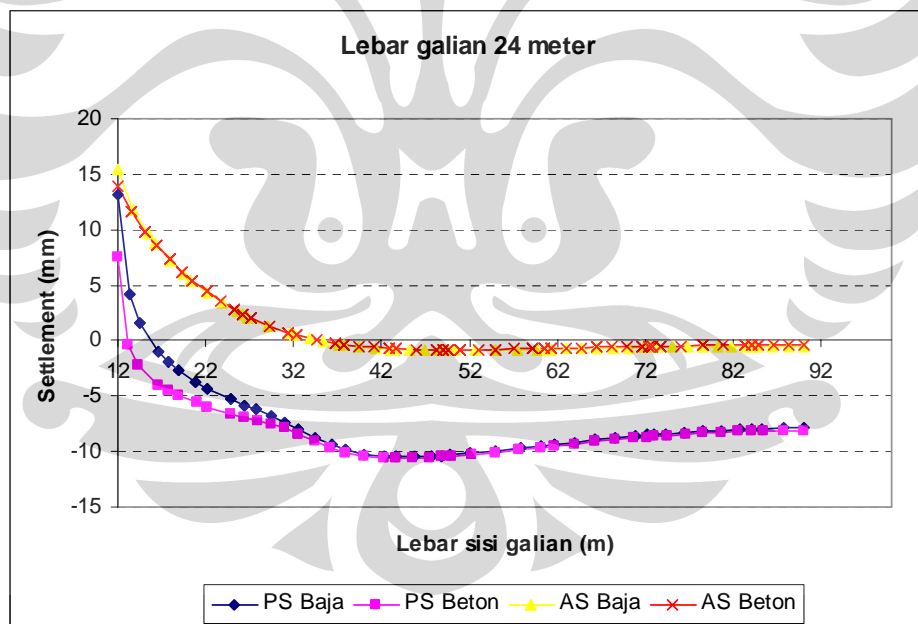


**Grafik 4.48f** Settlement dengan lebar galian 48 meter

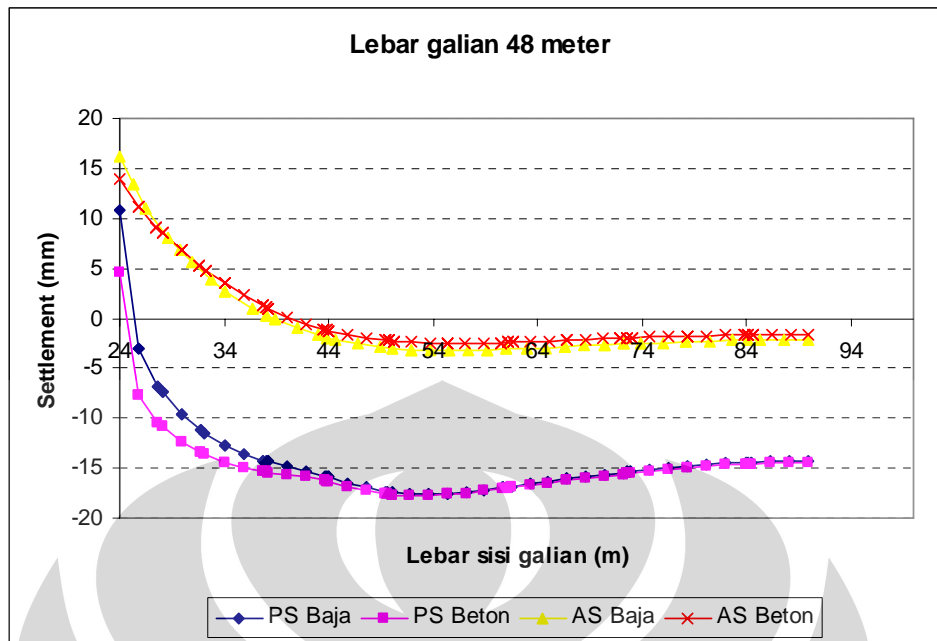
C. Turap 20 meter (galian 9 meter),  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.49a** Settlement dengan lebar galian 12 meter

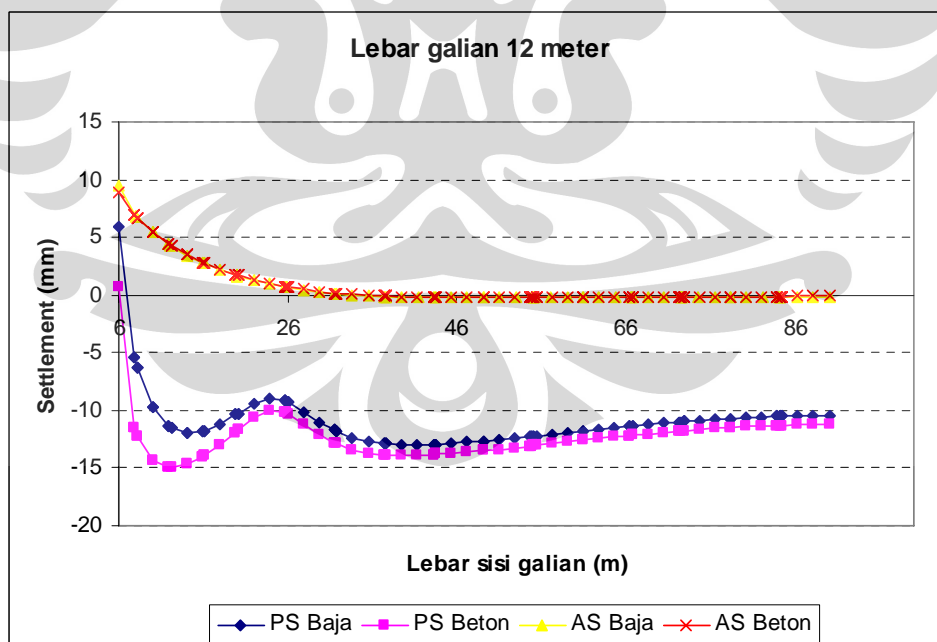


**Grafik 4.49b** Settlement dengan lebar galian 24 meter

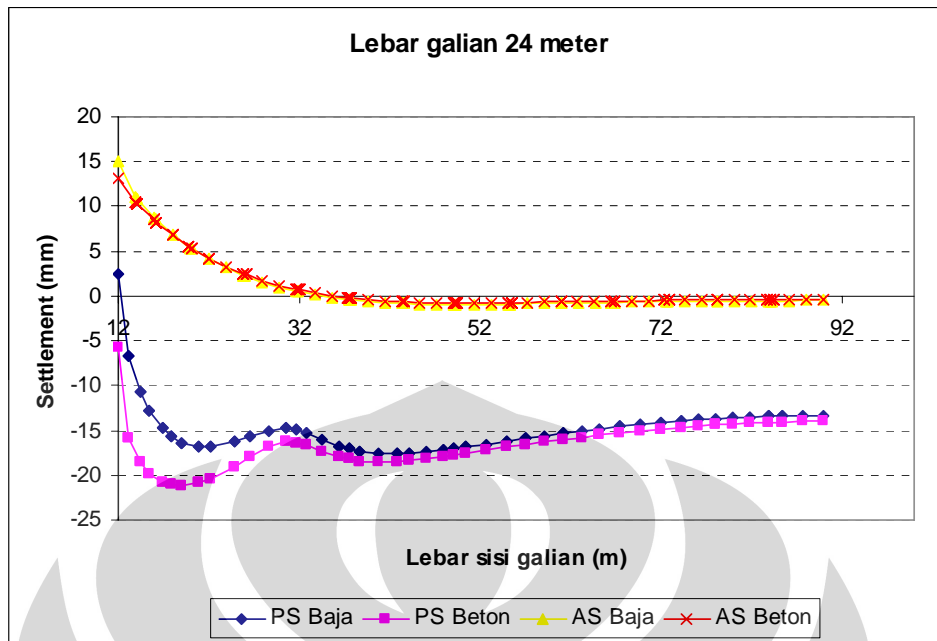


**Grafik 4.49c** Settlement dengan lebar galian 48 meter

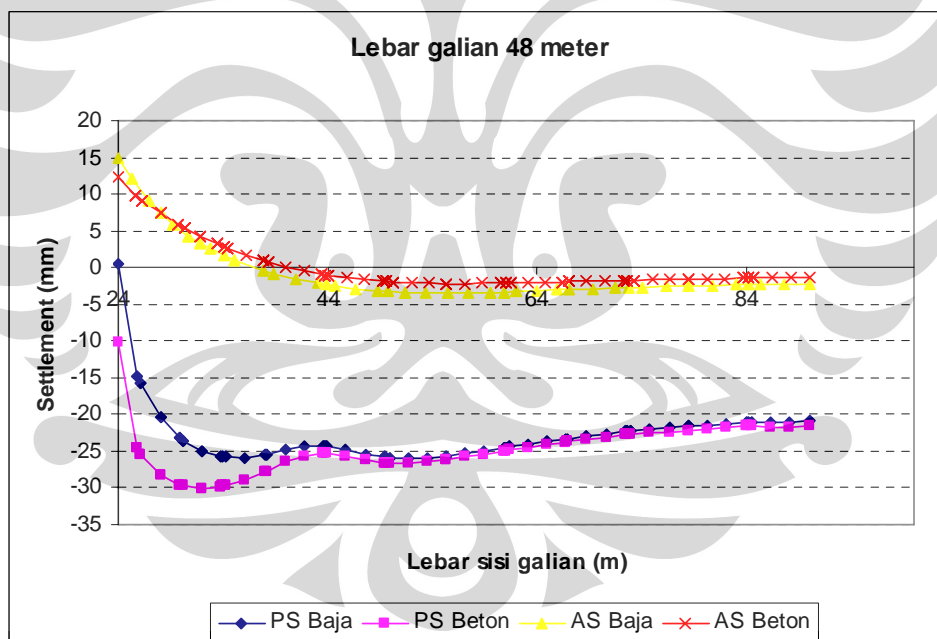
D. Turap 26 meter (galian 12 meter),  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$



**Grafik 4.49d** Settlement dengan lebar galian 12 meter



**Grafik 4.49e** Settlement dengan lebar galian 24 meter



**Grafik 4.49f** Settlement dengan lebar galian 48 meter

Dari grafik diatas dapat dilihat beberapa tren yang bisa menjelaskan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi settlement tanah di sisi galian. Yang pertama akan dibahas adalah **settlement tanah pada galian bentuk plain strain**. Tampak bahwa settlement terjadi lebih besar dengan sheet pile berupa baja dari pada



beton. Ini terjadi pada kasus tanah yang memiliki kekuatan geser rendah ( $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$ ) dan kedalaman galian terdalam (galian 12 meter). Ini membuktikan bahwa semakin besar kekakuan struktur dinding, semakin kecil settlement pada sisi dinding yang terjadi.

Sementara itu, lebar galian ikut mempengaruhi settlement pada sisi galian ini. Tren menunjukkan, semakin besar lebar galian, settlement pada sisi galian semakin besar. Untuk faktor kekuatan geser tanah, dapat dikatakan bahwa semakin besar kekuatan geser tanah, maka semakin kecil settlement yang terjadi. Kedalaman galian pun turut mempengaruhi besarnya settlement yang terjadi. Semakin besar galian semakin besar pula settlementnya.

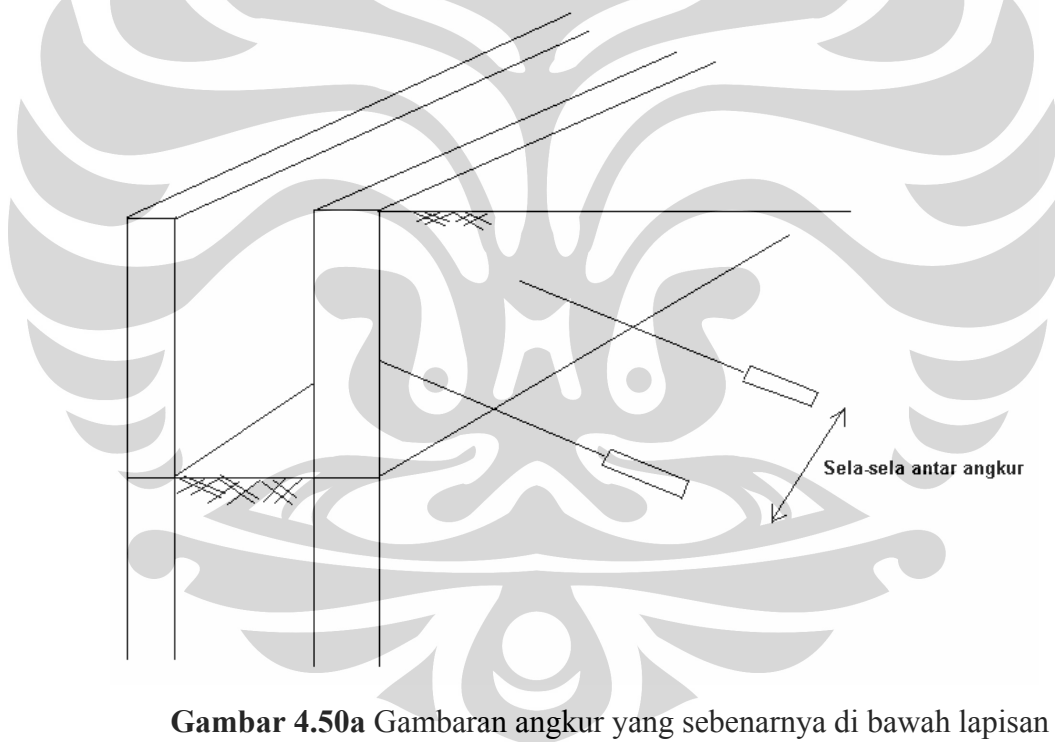
Selanjutnya akan dibahas mengenai **settlement tanah pada galian bentuk axisymmetry**. Pada model ini, kekakuan struktur tidak terlalu berpengaruh pada besar kecilnya settlement pada sisi galian yang terjadi. Begitu juga dengan lebar galian. Settlementnya menunjukkan hasil yang tak jauh berbeda dengan semakin meningkatnya lebar galian model. Faktor kekuatan geser tanah bisa dikatakan punya pengaruh meski nilainya pun tak terlalu besar. Grafik diatas menunjukkan gejala settlement yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya kekuatan geser tanah.

Fenomena lain yang terjadi adalah terjadinya kecenderungan kenaikan permukaan tanah pada lempung  $S_u = 100$ , sementara pada lempung  $S_u = 50$  kecenderungannya turun. Ini menunjukkan bahwa kekuatan geser tanah berpengaruh terhadap arah settlement yang terjadi. Selain itu, fenomena cekungan pada grafik-grafik yang mengalami penurunan, khususnya pada bentuk plane strain, adalah akibat pengaruh dari *grout length* pada anchor yang melintang dibawah permukaan tanah, sehingga menghalangi penurunan. Akibatnya, grafik penurunannya menjadi tidak mulus.

Secara umum bisa dilihat bahwa lebar galian model, kekuatan geser tanah, dan kekakuan struktur adalah hal-hal yang paling mempengaruhi settlement pada sisi galian tanah. Dari grafik tersebut dapat dilihat juga bahwa settlement pada sisi galian model plain strain cenderung ke arah bawah permukaan (sumbu y negatif), sedangkan pada model axisymmetry cenderung ke arah atas permukaan (sumbu y positif).

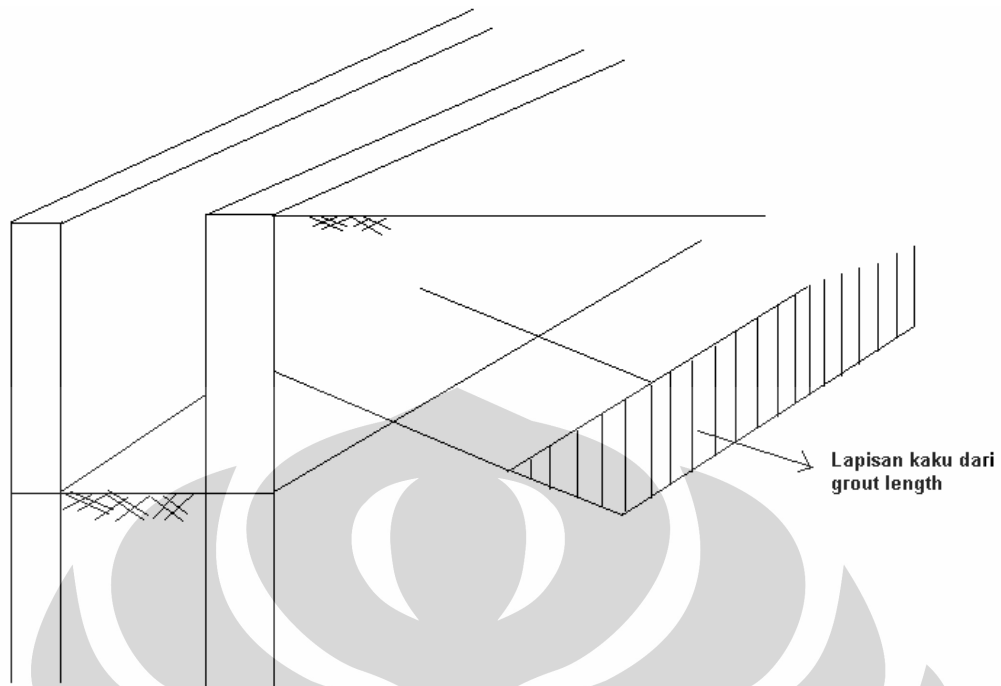
### 4.3 Permasalahan Numerik pada *Settlement* di Sisi Galian Tanah.

*Settlement* pada sisi galian tanah yang dibahas pada subab sebelumnya telah menunjukkan sebuah fenomena dimana terjadi pembentukkan bukit pada grafik *settlement* di sisi galian tanah (misal, grafik 4.49d). Pada keadaan nyata di lapangan fenomena ini seharusnya tidak terjadi karena didalam tanah, angkur merupakan sebuah garis dan bukan sebuah bidang sehingga *settlement* sepenuhnya bisa terjadi lewat sela-sela antara satu angkur dengan angkur disebelahnya. Namun kenyataannya, hasil permodelan menunjukkan fenomena yang demikian. Ini membuktikan bahwa ada permasalahan numerik pada plaxis dan hal tersebut merupakan sebuah kelemahan. Berikut adalah gambaran yang bisa menjelaskan kenapa fenomena tersebut terjadi.



**Gambar 4.50a** Gambaran angkur yang sebenarnya di bawah lapisan tanah

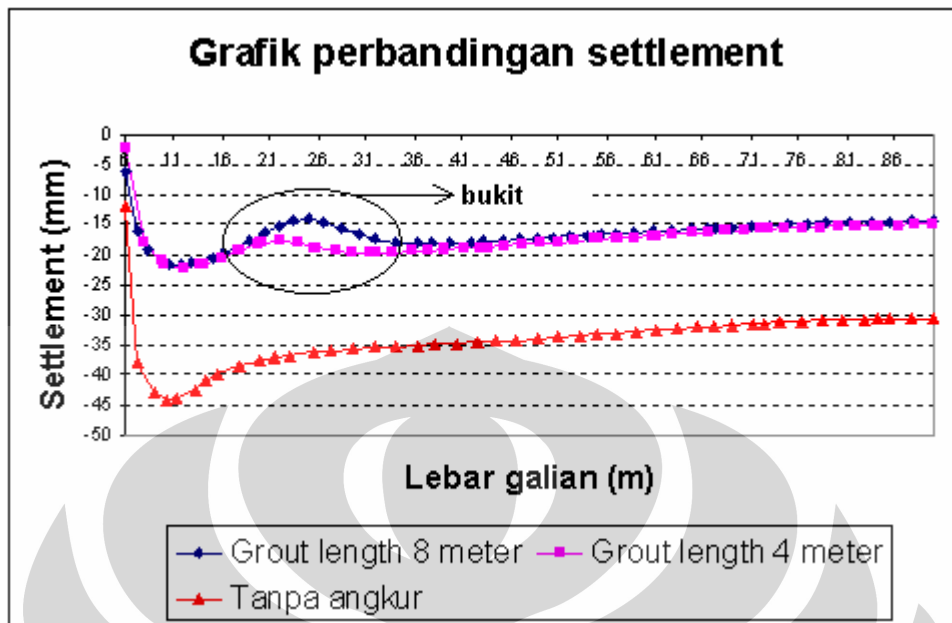
Pada gambar 4.50a diatas, dapat terlihat adanya sela antara angkur yang satu dengan yang lain. Lewat sela inilah tanah akan turun pada peristiwa *settlement*. Keberadaan angkur dibawah tanah tidak akan menahan *settlement* tanah.



**Gambar 4.50b** Gambaran angkur yang yang terjadi pada permodelan plaxis

Gambar 4.50b diatas adalah keadaan yang terjadi pada program plaxis manakala grout length diaplikasikan pada dinding penahan tanah. Di dalam tanah grout length membentuk semacam lapisan kaku sehingga menghalangi turunnya elemen-elemen tanah pada peristiwa *settlement*. Akibatnya, grafik *settlement* menjadi tidak mulus karena membentuk bukit di daerah sepanjang grout length.

Berikut adalah tiga grafik *settlement* yang bisa dijadikan perbandingan untuk lebih memperjelas fenomena pembentukan bukit pada grafik *settlement* tersebut :



Gambar 4.50c Dinding turap baja (Plane strain) 18 meter (galian 9 m),  $S_u = 50$ , lebar 12 m.

Dari ketiga grafik tersebut dapat terlihat bahwa *settlement* tanah dengan angkur tanah berada dibawahnya mengalami pembentukan bukit karena grout length menghalangi elemen tanah untuk turun. Sementara itu, pada model tanpa angkur tanah, grafik settlement tidak mengalami pembentukan bukit.

## **BAB 5**

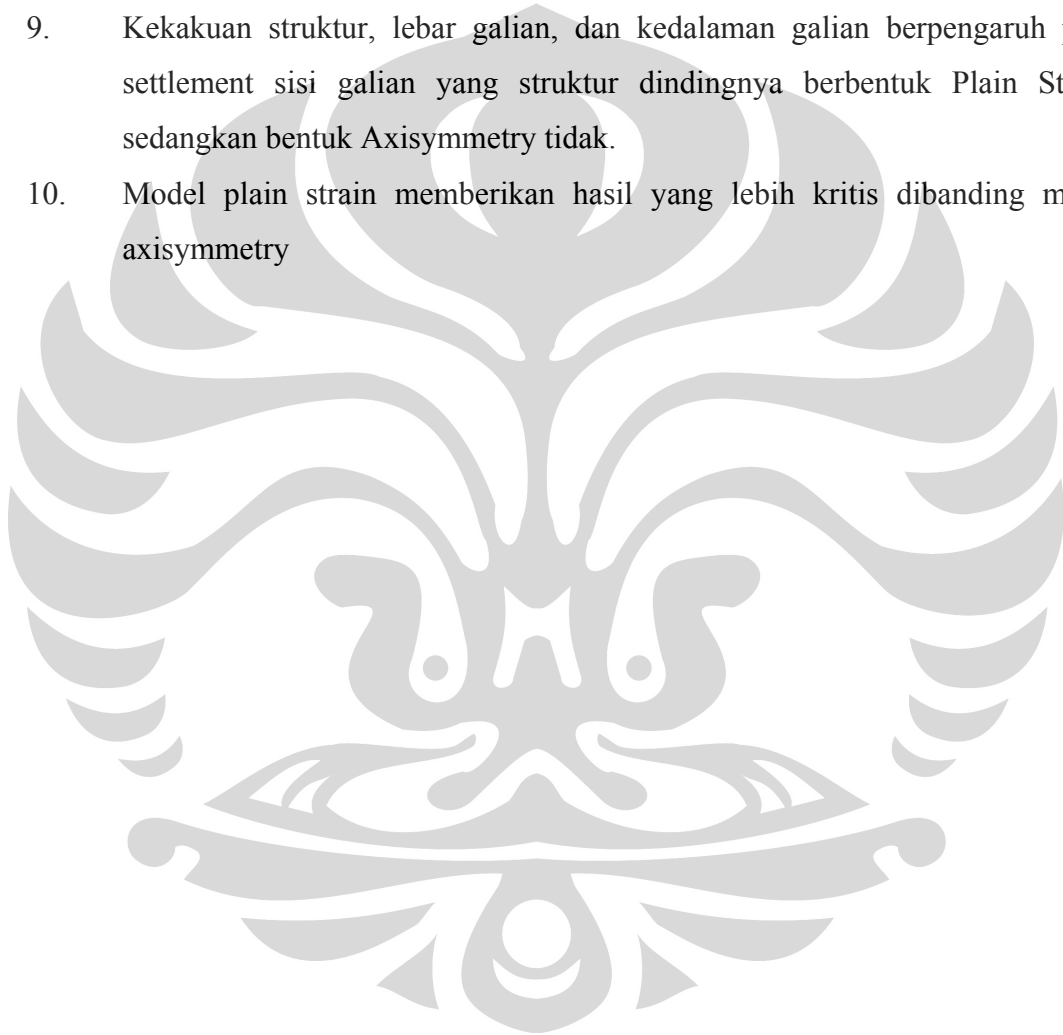
### **KESIMPULAN**

Skripsi ini merupakan studi permodelan galian tanah dengan menggunakan dinding turap serta lateral support berupa angkur tanah. Adapun angkur tanah yang digunakan adalah jenis strand tendon. Sementara itu, beban luar disisi galian diaplikasikan sebesar  $30 \text{ kN/m}^2$ . Variasi model terdiri dari variasi tanah lempung dengan cara memvariasikan nilai  $S_u$  (kekuatan geser lempung), yaitu :  $S_u = 50 \text{ kN/m}^2$  dan  $S_u = 100 \text{ kN/m}^2$ . Berikutnya adalah variasi dinding turap berupa baja, dan beton dengan memvariasikan nilai kekakuannya. Lalu variasi kedalaman galian, yaitu 9 meter dan 12 meter. Kemudian variasi embedment turap sebesar 9, 11, dan 13 meter untuk galian 9 meter, dan sebesar 12, 14, dan 16 meter untuk galian 12 meter. Terakhir adalah variasi lebar galian, yaitu sebesar 12 meter, 24 meter, dan 48 meter. Untuk angkur tanah divariasikan dalam jumlah, yaitu sebanyak 2 angkur untuk galian 9 meter, dan sebanyak 3 angkur untuk galian 12 meter.

Kesimpulan-kesimpulan penting mengenai hasil analisis numerik yang perlu di garis bawahi dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Secara keseluruhan, kekakuan struktur sangat dominan mempengaruhi setiap perilaku mekanis yang terjadi baik pada tanah dan dinding turap. Selain itu, faktor-faktor lain yang memberi pengaruh secara berurutan dari yang terbesar ke yang terkecil adalah, kedalaman galian, lebar galian, nilai  $S_u$ , dan yang terakhir embedment.
2. Pada model axissymetry, tidak terjadi lendutan arah x (nilainya mendekati nol)
3. Permodelan dengan bentuk plain strain menunjukkan bahwa kekakuan struktur, kekuatan geser tanah, dan kedalaman galian mendominasi pengaruh lendutan, sementara pada model axissymetry tidak terlalu berpengaruh.
4. Kekuatan geser tanah pada galian model plain strain berpengaruh terhadap bidang momen, tapi tidak untuk model axissymetry.
5. Semakin keatas posisi angkur, maka gaya yang ditopangnya semakin besar. Ini terjadi baik pada plain strain, maupun axisymmetry.
6. Semua gaya angkur bernilai positif yang berarti bersifat tarik

7. Pada bentuk Plain Strain dan Axisymmetry, kenaikan kekuatan geser tanah, kekakuan struktur, dan kedalaman galian menyebabkan peningkatan pada tekanan pasif dan aktif
8. Teori Rankine hanya menghitung tekanan tanah berdasarkan parameter tanah (nilai kohesi, berat isi tanah lempung, dan beban di atasnya) tanpa memperhitungkan kekakuan struktur dan friksi struktur dengan tanah sehingga hasilnya cukup berbeda dengan hasil permodelan plaxis
9. Kekakuan struktur, lebar galian, dan kedalaman galian berpengaruh pada settlement sisi galian yang struktur dindingnya berbentuk Plain Strain, sedangkan bentuk Axisymmetry tidak.
10. Model plain strain memberikan hasil yang lebih kritis dibanding model axisymmetry



## DAFTAR PUSTAKA

1. Craig, R.F. (1987) : Soil Mechanics, Fourth Edition. Van Nostroad Reinhold Co. Ltd, UK.
2. Bowles, J.E. (1988) : Foundation Analysis and Design. McGrawHill, Singapore.
3. Geotechnical Engineering Circular No.4. Ground Anchor and Anchorage System. By Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
4. Peck and Terzaghi. (1973). Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley & Sons, New York.
5. JFESP (Steel sheet pile product by JFE), "Product U-Shape and linear steel sheet piles that conform to the new JIS standard (JIS A 5523), Japan 2000.
6. Reference Manual of PLAXIS version.8. Edited by R.B.J Brinkgreve. Netherlands : A.A. Balkema Publishers, 2002.