



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK SHIELDING PILES TERHADAP PERILAKU
PASSIVE PILES**

SKRIPSI

**RAMADONA SIMATUPANG
0405010523**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK SHIELDING PILES TERHADAP PERILAKU
PASSIVE PILES**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RAMADONA SIMATUPANG
0405010523**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ramadona Simatupang

NPM : 0405010523

Tanda Tangan :

Tanggal : 5 Januari 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ramadona Simatupang

NPM : 0405010523

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Efek Shielding Piles Terhadap Perilaku Passive Piles

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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 A Prakoso, M.Sc, Ph.D (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng (.....)

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Januari 2010

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widjojo A Prakoso, MSc, Phd selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulisan seminar skripsi ini serta mengajarkan cara menyusun pemikiran yang sistematis.
2. Ibu dan Bapak, Abang-abangku, kakakku, diniku, dan para sahabatku iqbal dan ojan yang telah memberikan dukungan serta doa.
3. Mbak Dian yang selalu membantu dan mempermudah urusan-urusan akademis.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT memberikan kasih dan karunia-Nya kepada kita semua. Amin.

Depok, 5 Januari 2010

Penulis

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ramadona Simatupang
NPM : 0405010523
Departemen : 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 :

EFEK SHIELDING PILES TERHADAP PERILAKU PASSIVE PILES

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 sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 5 Januari 2010
Yang menyatakan

(Ramadona Simatupang)

ABSTRAK

Nama : Ramadona Simatupang
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Efek Shielding Piles Terhadap Perilaku Passive Piles

Semakin banyaknya kegiatan konstruksi pada lahan terbatas menyebabkan jarak antara bangunan satu dengan lainnya sangat dekat. Misalnya pada kasus *embankment* yang berdekatan dengan suatu bangunan yang sudah ada. Konstruksi *embankment* ini dapat menyebabkan tanah di bawahnya bergerak sehingga dapat mengganggu tiang-tiang eksisting yang menopang struktur bangunan. Pengaruh tersebut antara lain terjadinya *settlement* dan *lateral soil movement*. Komponen terakhir dianggap lebih kritis dampaknya terhadap *adjacent piles*, khususnya pada kondisi tanah yang lunak yang mengalami tekanan akibat konstruksi embakment sehingga tanah bergerak secara horizontal menekan *adjacent piles*. Untuk itu perlu diberikan *shielding piles* pada tanah yang berfungsi meminimalisasi efek *embankment* terhadap *lateral soil movement*.

Kata Kunci :

Gerakan tanah lateral, tekanan ultimate tanah lateral, shielding piles

ABSTRACT

Name : Ramadona Simatupang
Study Program : Civil Engineering
Title : Effects Of Shielding Piles On Behavior Of Passive Piles

Increasing number of construction activities on a limited land causes distance between the buildings to each other very closely, For example in embankment case adjacent to an existing building. Embankment construction can cause the ground beneath him move that can interfere with the existing pillars that support the structure buildings. Influences include the settlement and lateral soil movement. The last component is considered more critical impact on the adjacent piles, especially in soft ground conditions that have pressure due to construction so that the soil mbakment moves horizontal pressing adjacent piles. It needs to be given to shielding Pile on the ground that serves to minimize the effects of Embankment on lateral soil movement.

Keywords :

Lateral soil movement, lateral soil movement, shielding piles

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Metode Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pendahuluan	4
2.2 Tanah.....	4
2.2.1 Tanah Lempung	5
2.2.2 Kuat Geser Tanah Lempung	5
2.2.3 Elastisitas pada Tanah Lempung.....	8
2.3 Tiang	10
2.3.1 Tiang Pancang.....	11
2.3.2 Elastisitas Pada Tiang Pancang.....	12
2.4 Py Curve.....	12
2.4.1 Definisi Py Curve.....	13
2.4.2 Py Curve pada Pile Subjected to Lateral Loading	14
2.4.3 Pile Subjected To Lateral Soil Movement	30
2.4 Plaxis.....	37
2.4.1 Definisi Plaxis	37
2.4.2 Analisis Permodelan Pada Plaxis.....	40
2.4.3 Plastic Calculation Pada Plaxis	41
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	42
3.1 Penjelasan Penelitian.....	42
3.1.1 Mohr-Coulomb model.....	42
3.1.2 Linear elastic model	43
3.2 Diagram Alir Penelitian	45
3.3 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	46
3.3.1 Permodelan Tiang dan Tanah.....	46
3.3.2 Tanah bergerak menekan tiang	47
3.3.3 Catat Pu/Cu	48

3.3.4	Tambahkan Shielding Piles.....	49
3.3.5	Catat Pu/Cu	50
3.3.6	Bandingkan Pu/Cu Sebelum dan Sesudah Pemberian <i>Shielding Piles</i>	51
BAB 4 PEMBAHASAN		52
4.1	Pendahuluan	52
4.2	Hasil Dan Analisis Permodelan Tanpa Shielding Piles	53
4.3	Permodelan Dengan Shielding Piles	60
4.3.1	Jarak pemberian Shielding Piles 5w dengan ukuran 100% w.....	60
4.3.2	Jarak pemberian Shielding Piles 2.5w dengan ukuran 100% w.....	62
4.3.3	Jarak pemberian Shielding Piles 5w dengan ukuran 50% w.....	64
4.3.4	Jarak pemberian Shielding Piles 2.5 w dengan ukuran 50% w.....	66
4.4	Permodelan Dengan Shielding Piles Di Depan Dan Di Belakang Tiang....	68
4.4.1	Ukuran Shieding Pile 50% w	68
4.4.2	Ukuran Shielding Pile 100% w	70
4.5	Efektifitas Shielding Piles	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran.....	76
DAFTAR REFERENSI		77
LAMPIRAN		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mohr untuk UU test lempung tersaturasi 100%	7
Gambar 2.2 <i>py curve</i>	13
Gambar 2.3 Nilai E_{smax}/c	14
Gambar 2.4 distribusi tegangan disekitar tiang yang terdorong secara lateral	16
Gambar 2.5 <i>Single Pile loaded laterally</i>	17
Gambar 2.6 Element mesh untuk single pile loaded laterally.....	18
Gambar 2.7 <i>py curve</i> pada <i>single pile loaded laterally</i>	19
Gambar 2.8 deformed mesh dan vektor displacement unruk single pile loaded laterally.....	20
Gambar 2.9 Empat kasus untuk analsis <i>group piles</i>	21
Gambar 2.10 <i>element mesh</i> untuk kasus a	22
Gambar 2.11 <i>Py Curve</i> pada untuk kasus a.....	23
Gambar 2.12 Element mesh untuk kasus b	23
Gambar 2.13 <i>Py Curve</i> untuk kasus b.....	24
Gambar 2.14 Element mesh untuk kasus c	26
Gambar 2.15 <i>Py Curve</i> pada <i>active pile</i> untuk kasus c	27
Gambar 2.16 efek spasi tiang pada pu	27
Gambar 2.17 elemen mesh untuk kasus d.....	29
Gambar 2.18 hubungan <i>py curve</i> untuk 6 pile group.....	29
Gambar 2.19 hubungan <i>py curve</i> rata-rata untuk 6 pile group	30
Gambar 2.20 elemen mesh yang digunakan untuk infinitely long row of pile	32
Gambar 2.21 hubungan pu/c untuk single pile subjected to lateral soil movement..	33
Gambar 2.22 efek spasi tiang terhadap pu untuk one long row piles	34
Gambar 2.23 Penamaan tiang pada kasus <i>lateral soil movement</i>	36
Gambar 2.24 hubungan <i>py curve</i> untuk piles kasus I-1	37
Gambar 2.25 contoh model plane strain dan axisymmetric.....	38
Gambar 2.26 Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah.....	39
Gambar 3.1 Parameter untuk <i>Mohr-Coulomb model</i>	43
Gambar 3.2 Parameter untuk <i>Linear elastic model</i>	44
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 3.4 Permodelan tanpa shileding pile	47
Gambar 3.5 Gerakan tanah lateral.....	48
Gambar 3.6 Permodelan dengan shileding pile.....	49
Gambar 3.7 Gerakan tanah lateral.....	50
Gambar 4.1 Permodelan tanpa <i>Shielding Piles</i>	52
Gambar 4.2 Permodelan dengan <i>Shielding Pile</i>	53
Gambar 4.3 Penamaan Tiang	53
Gambar 4.4 Tanpa <i>Shielding Piles</i> , 2x1	58
Gambar 4.5 Tanpa <i>Shielding Piles</i> ; (a) 2x3, (b)2x5, (c) 2x7	59
Gambar 4.6 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> , 5w dan 100% w.....	61
Gambar 4.7 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> , 2.5w dan 100% w	64
Gambar 4.8 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> , 5m dan 50%..	65
Gambar 4.9 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> ,	

2.5w dan 50% w	66
Gambar 4.10 Tegangan pada Tiang (a) Tanpa <i>Shielding Piles</i> , (b) Dengan <i>Shielding Piles</i>	67
Gambar 4.11 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> , 2.5w dan 50% w	69
Gambar 4.12 Perbandingan model tanpa dan dengan <i>Shielding Piles</i> , 2.5w dan 50% w	70
Gambar 4.13 Tegangan pada Tiang (a) <i>Shielding Piles</i> di depan, (b) Dengan <i>Shielding Piles</i> di depan dan di belakang	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Cu	8
Tabel 2.2 Nilai Es.....	9
Tabel 2.3 Jangkauan nilai poisson μ	10
Tabel 2.4 tiga kasus spasi berbeda	37
Tabel 3.1 Parameter tanah dan tiang.....	46
Tabel 4.1 Pu/Cu tanpa <i>shielding piles</i> , $S_h=2.5w$ dan $S_v=2.5w$	54
Tabel 4.2 Pu/Cu tanpa <i>shielding piles</i> , $S_h=2.5w$ dan $S_v=4w$	55
Tabel 4.3 Pu/Cu tanpa <i>shielding piles</i> , $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$	56
Tabel 4.4 Pu/Cu tanpa <i>shielding piles</i> , $S_h=4w$ dan $S_v=4w$	57
Tabel 4.5 Pu/Cu dengan <i>shielding pile</i> 5w dari tiang, ukuran 100% w	60
Tabel 4.6 Pu/Cu dengan <i>shielding pile</i> 2.5w dari tiang, ukuran 100%	62
Tabel 4.7 Pu/Cu dengan <i>shielding pile</i> 5w dari tiang, ukuran 50% w	64
Tabel 4.8 Pu/Cu dengan <i>shielding pile</i> 2.5w dari tiang, ukuran 50% w	66
Tabel 4.9 Pu/Cu dengan <i>shielding pile</i> depan dan belakang; ukuran 50% w	68
Tabel 4.10 Pu/Cu dengan <i>shielding piles</i> depan dan belakang; ukuran 100% w.....	70



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin banyaknya kegiatan konstruksi pada lahan terbatas menyebabkan jarak antara bangunan satu dengan lainnya sangat dekat. Misalnya pada kasus *embankment* yang berdekatan dengan suatu bangunan yang sudah ada. Konstruksi *embankment* ini dapat menyebabkan tanah di bawahnya bergerak sehingga dapat mengganggu tiang-tiang eksisting, *adjacent piles* (tiang-tiang yang berdekatan dengan konstruksi *embankment*), yang menopang struktur bangunan. Pengaruh tersebut antara lain terjadinya *settlement* dan *lateral soil movement*. Komponen terakhir dianggap lebih kritis dampaknya terhadap *adjacent piles*, khususnya pada kondisi tanah yang lunak yang mengalami tekanan akibat konstruksi embakment sehingga tanah bergerak secara horizontal menekan *adjacent piles*. Untuk itu perlu diberikan *soil support* pada tanah berupa *shielding pile* yang berfungsi meminimalisasi efek *embankment* terhadap *lateral soil movement*. *Shielding piles* merupakan tameng yang terdiri dari sekelompok pile yang terletak di antara konstruksi embankment dengan *adjacent piles*. Untuk itu diperlukan penelitian untuk mengetahui efek dari penggunaan *adjacent piles* beserta variasi jaraknya terhadap *adjacent piles*.

1.2 Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengetahui apakah pemberian *shielding piles* pada tanah lempung dapat mengurangi tekanan tanah ultimate (P_u) akibat embakment, dan jarak efektif *shielding piles* terhadap *adjacent piles* sehingga dapat diketahui efek *shielding piles* terhadap perilaku *passive piles* pada adjacent piles. Dari penulisan skripsi ini diharapkan dapat menemukan perubahan nilai p_u/c_u sebelum dan sesudah pemberian *shielding piles*.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian pada skripsi ini adalah analisa mengenai P_u , untuk single pile dan group pile (2x1, 2x3, 2x5, dan 2x7). Penelitian ini akan membahas nilai tekanan ultimate tanah lateral (p_u/c_u) pada kondisi sebelum dan sesudah pemberian *shielding piles*. Permodelan yang digunakan adalah tiang panjang dengan permodelan plain strain.

1.4 Metode Penelitian

- Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah metode numerik dengan menggunakan software PLAXIS. PLAXIS merupakan alat bantu berupa program komputer finite element yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Jenis tanah yang dianalisis pada penelitian ini adalah tanah lempung lunak. Permodelan yang digunakan adalah mohr coulomb untuk tanah dan linear elastis untuk tiang.
- Pada penelitian ini akan digunakan beberapa variasi, yaitu variasi jumlah tiang, variasi spasi tiang, variasi jarak *shielding pile* terhadap tiang, dan variasi ukuran *shielding pile*. Dari penelitian ini, hasil yang akan diperoleh adalah tekanan tanah lateral ultimate per kohesi *undrained* (p_u/c_u) terhadap gerakan tanah lateral.

1.5 Sistematika Penulisan

a. Bab 1 : Pendahuluan

Pada bagian ini dijelaskan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penulisan laporan ini seperti: latar belakang dilakukannya analisa efek *shielding piles* terhadap perilaku *passive piles*, tujuan, ruang lingkup penelitian, metode penulisan dan pengumpulan data, serta sistematika penelitian.

b. Bab 2 : Studi Literatur

Pada bagian ini diuraikan dasar teori yang digunakan dari penulisan laporan ini. Pada bagian ini dibahas teori mengenai tanah secara umum dilanjutkan dengan pembahasan tentang tanah lempung, kuat geser tanah lempung, dan elastisitas pada tanah lempung. Sub bab kedua membahas tiang secara umum yang dilanjutkan dengan pembahasan mengenai tiang pancang dan elastisitas pada tiang. Sub bab ketiga membahas *py curve* yang terdiri dari definisi *py curve*, *py curve* pada *pile subjected to lateral loading*, *py curve* pada *pile subjected to lateral soil movement*, dan sub bab keempat membahas plaxis yang terdiri dari definisi plaxis, analisis permodelan pada plaxis, dan *plastic calculation* pada plaxis.

c. Bab 3 : Metode Penelitian

Penulis melakukan penelitian mengenai perbedaan P_u dari *adjacent piles* pada kondisi sebelum dan sesudah pemberian *shielding piles* yang digambarkan dengan grafik. Metode penelitian yang digunakan adalah analisa dengan menggunakan software PLAXIS.

d. Bab 4 : Pembahasan

Pada bagian ini disajikan pembahasan setiap permodelan beserta hasil dan pengolahan data. Analisis yang dilakukan dilengkapi dengan tabel dan grafik.

e. Bab 5 : Kesimpulan dan Saran

Pada bagian ini penulis menarik kesimpulan berdasarkan analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya lalu memberikan beberapa saran.

BAB 2 **TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini, peneliti akan menyajikan landasan teori yang akan digunakan untuk penelitian ini. Adapun materi bahasan yang disajikan pada bab ini dibagi menjadi empat sub bab yang mana setiap bagian akan terdiri dari beberapa sub sub bab. Sub bab pertama membahas tanah secara umum dilanjutkan dengan pembahasan tentang tanah lempung, kuat geser tanah lempung, dan elastisitas pada tanah lempung. Sub bab kedua membahas tiang secara umum yang dilanjutkan dengan pembahasan mengenai tiang pancang, elastisitas pada tiang, dan analisis linear elastis. Sub bab ketiga membahas *py curve* yang terdiri dari definisi *py curve*, *py curve* pada *pile subjected to lateral loading*, *py curve* pada *pile subjected to lateral soil movement*, dan sub bab keempat membahas plaxis yang terdiri dari definisi plaxis, analisis permodelan pada plaxis, dan tipe-tipe kalkulasi pada plaxis.

2.2 Tanah

Tanah merupakan kumpulan partikel-partikel yang ukurannya dapat mencakup rentang yang sangat luas. Tanah dihasilkan sebagai produk sampingan pelapukan batuan secara mekanis dan secara kimiawi. Sebagian dari partikel-partikel ini diberi nama-nama khusus seperti kerikil, pasir, lanau, lempung, dan sebagainya.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan parameter tanah lempung, sehingga pembahasan lebih difokuskan mengenai tanah lempung.

2.2.1 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan partikel berukuran kurang dari 0.002 mm yang merupakan hal yang penting dalam rekayasa pondasi karena jenis tanah ini cenderung paling menyulitkan dalam arti kekuatan dan penurunan. Lempung ialah suatu silikat hidro aluminium yang kompleks



Di mana n dan k merupakan nilai-nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk massa yang sama. Mineral lempung mempunyai daya tarik-menarik individual yang mampu menyerap 100^+ kali volume partikelnya. Ada atau tidak adanya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang sangat besar. Partikel-partikel lempung juga memiliki gaya tarik antar partikel yang sangat kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan sangat tinggi pada suatu bongkah kering (atau bata-lempung).

2.2.2 Kuat Geser Tanah Lempung

Kekuatan tanah ialah tahanan yang terbentuk dari suatu kombinasi partikel yang bergulir, bergeser dan meremuk oleh setiap tekanan pori berlebih yang terjadi selama pergerakan partikel. Ketahanan terhadap deformasi ini ialah kekuatan geser tanah sebagaimana yang melawan kekuatan pampat atau regang dari bahan-bahan rekayasa yang lain. Kekuatan geser tanah merupakan aspek yang sangat penting dalam geoteknik. *Bearing capacity* pada pondasi dangkal maupun dalam, *slope stability*, disain dinding penahan tanah, dan disain *pavement* secara tidak langsung dipengaruhi oleh kekuatan geser. Struktur dan lereng harus stabil dan aman terhadap keruntuhan total ketika mengalami gaya yang sangat besar.

Kekuatan geser ini diukur dalam dua istilah parameter tanah, yaitu kohesi ,c, atau tarik-menarik antar partikel dan sudut gesekan , ϕ , atau tahanan terhadap gesekan antar partikel. Pada hakikatnya permukaan butir tahanan terhadap gulir dan faktor-faktor lain tercakup dalam kedua parameter ini. Kekuatan geser dalam arti tegangan total pada bentuk suatu persamaan adalah

$$\tau = c + \sigma \tan\phi$$

dan dengan menggunakan tegangan efektif

$$\tau' = c' + \sigma' \tan\phi'$$

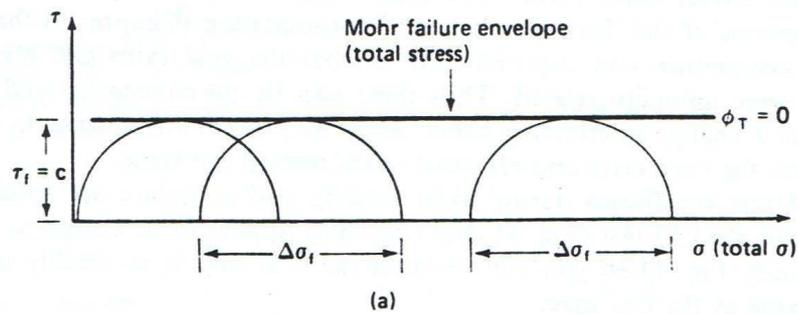
di mana: τ = Kekuatan Geser (kN/m^2)

c = kohesi

σ = tegangan normal pada bidang geser (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser ($^\circ$)

Kekuatan geser dapat ditentukan dengan beberapa cara; biasanya didapatkan dari hasil pengujian laboratorium maupun uji lapangan. Uji lapangan yang dapat dilakukan adalah vane shear test atau penetrometer. Sedangkan pengujian laboratorium dapat diperoleh dengan pengujian triaksial. Pada pengujian ini terdiri dari tiga macam pengujian yaitu *Unconsolidated- Undrained, UU*, *Consolidated- Undrained, CU*, dan *Consolidated Drained, CD*. Pada penelitian ini, penulis menggunakan tanah lempung lunak yang sangat kritis sehingga tanah diasumsikan tersaturasi 100 %. Berdasarkan asumsi tersebut, pengujian triaksial yang sesuai adalah *Unconsolidated- Undrained, UU*, dimana pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mohr untuk UU test lempung tersaturasi 100%

Dari gambar 2.1 di atas terlihat bahwa tiga lingkaran mohr memiliki $\Delta\sigma$ yang sama. Hal ini menyebabkan nilai sudut geser total, ϕ , adalah 0. Di samping itu, semakin besar $\Delta\sigma$, maka semakin besar pula diameter lingkaran yang menyebabkan semakin besarnya nilai kohesi tanah. Sebaliknya, semakin kecil $\Delta\sigma$, maka semakin kecil pula diameter lingkaran yang menyebabkan nilai kohesi tanah menjadi lebih kecil. Penulis mengambil nilai kohesi tanah undrained, C_u , berdasarkan tabel 2.1.

Pada tabel ini, disebutkan bahwa nilai C_u untuk tanah lunak adalah 20 kN/m. Penulis menggunakan angka ini dengan pertimbangan bahwa akibat sudut geser tanah 0 maka kekuatan geser hanya bergantung pada nilai kohesi tanah, sehingga semakin kecil kohesi tanah maka semakin kecil pula kekuatan gesernya.

Tabel 2.1 Nilai C_u

Undrained Shear Strength	Su (kPa)	
Hard soil	Su > 150 kPa	
Stiff soil	Su = 75-150 kPa	
Firm soil	Su = 40-75 kPa	
Soft soil	Su = 20-40 kPa	
Very soft soil	Su < 20 kPa	
Drained shear strength	C' (kPa)	Φ (deg)
Compact sands	0	35°-45°
Loose sands	0	30°-35°
Unweathered overconsolidated clay		
Critical state	0	18°-25°
Peak state	10-25 kPa	20°-28°
Residual	0-5 kPa	8°-15°

Sumber (Dr. Leslie Davison, University of the West of England, Bristol, May 2000 in association with Prof. Sarah Springman, Swiss Federal Technical Institute, Zurich)

2.2.3 Elastisitas pada Tanah Lempung

Modulus tegangan-regangan E_s dan rasio poisson μ adalah sifat-sifat elastis yang penting. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dimana : E = modulus elastisitas (kN/m^2)

σ = tegangan (kN/m^2)

ε = regangan

Penulis mengambil nilai $E_s = 2667 \text{ kN/m}^2$ berdasarkan tabel.2.2 di bawah ini

Tabel 2.2 Nilai Es

Soil	Es, Mpa
Clay	
Vey soft	2-15
Soft	5-25
Medium	15-50
Hard	50-100
Sandy	25-250
Glacial till	
Loose	10-150
Dense	150-720
Very dense	500-1440
Loess	15-60
Sand	
Silty	5-20
Loose	10-25
Dense	50-81
Sand and Gravel	
Loose	50-150
Dense	100-200
Shale	150-5000
Silt	2-20

(sumber: Joseph E.Bowles, Foundation Analysis and Design, hal 125)

Ratio Poisson merupakan perbandingan antara regangan lateral dan regangan aksial.

$$\mu = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a}$$

Nilai μ untuk beberapa jenis material diberikan pada tabel 2.3. Akan tetapi, nilai tanah itu sangat tidak menentu terhadap nilai-nilai pada tabel yang umumnya diperkirakan karena teramat sukar untuk membuat penentuan μ secara langsung.

Tabel 2. 3 Jangkauan nilai poisson μ

Type of Soil	μ
Clay, saturated	0.4-0.5
Clay, unsaturated	0.1-0.3
Sandy clay	0.2-0.3
Silt	0.3-0.35
Sand, gravelly sand	0.1-1.0
commonly used	0.3.0.4
Rock	0.1-0.4 (depends somewhat on what type of rock)
Loess	0.1-0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

(sumber: Joseph E.Bowles, Foundation Analysis and Design, hal.123)

Terlihat bahwa nilai μ untuk tanah lempung jenuh berkisar antara 0.4-0.5. Penulis mengambil $\mu = 0.495$. Hal ini dengan alasan semakin besar nilai μ maka semakin besar pula regangan lateralnya.

2.3 Tiang

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Pondasi dapat digolongkan berdasarkan di mana beban itu ditopang oleh tanah, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

Pondasi dangkal dinamakan sebagai alas, telapak, telapak sebar atau pondasi rakit (mats). Kedalamannya pada umumnya $D/B \leq 1$ tetapi mungkin agak lebih. Sedangkan pondasi dalam adalah tiang pancang, tembok/tiang yang dibor, dsb yang mana $D/B \geq 4^+$. Pada penelitian ini, penulis menggunakan pondasi dalam jenis tiang pancang.

2.3.1 Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Biasanya spasi antar tiang pada group kurang dari 6 lebar tiang. Sumber lain mengatakan sekelompok tiang pancang memiliki jarak $2B-4B$ di mana B adalah lebar atau diameter masing-masing tiang pancang. Bahan utama dari tiang adalah kayu, baja, dan beton. Tiang pancang yang terbuat dari bahan ini dipukul, dibor, atau didongkrak ke dalam tanah dan dihubungkan dengan *pile cap* (kepala tiang). Tiang yang terbuat dari kayu (timber pile) dipasang dengan dipukul ke dalam tanah dengan tangan atau lubang yang digali dan diisi dengan pasir dan batu. Pada tahun 1740, Christoffoer Polhem menemukan peralatan pile driving yang mana menyerupai mekanisme Pile driving saat ini. Tiang baja (Steel pile) sudah digunakan selama 1800 dan Tiang beton (concrete pile) sejak 1900. Pada penelitian ini penulis menggunakan tiang pancang beton. Seperti tipe pondasi yang lainnya, fungsi tiang pancang adalah:

- untuk menyalurkan beban pondasi ke tanah keras,
- untuk menahan beban vertikal, lateral, dan beban *uplift*

Struktur yang menggunakan pondasi tiang pancang apabila tanah dasar tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai. Kalau hasil pemeriksaan tanah menunjukkan bahwa tanah dangkal tidak stabil dan kurang keras atau apabila besarnya hasil estimasi penurunan tidak dapat diterima, pondasi tiang pancang dapat menjadi bahan pertimbangan. Dalam kasus konstruksi berat kapasitas daya pikul dari tanah dangkal tidak akan memuaskan, dan konstruksi seharusnya dibangun di atas pondasi tiang. Tiang pancang juga digunakan untuk kondisi tanah yang normal untuk menahan beban horizontal. Tiang pancang merupakan metode yang tepat untuk pekerjaan di atas tanah lunak maupun di atas air, seperti dermaga.

2.3.2 Elastisitas Pada Tiang Pancang

Sama halnya dengan tanah, material tiang pancang juga memiliki nilai modulus elastisitas dan rasio poisson. Tiang pancang yang digunakan adalah beton. Untuk modulus elastisitas tiang pancang, penulis menggunakan $E_p = 2400 \text{ GPa}$ ($2.4 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$). Sedangkan untuk ratio poisson pada tiang pancang, penulis mengambil nilai berdasarkan tabel 2.3. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai μ beton adalah 0.15.

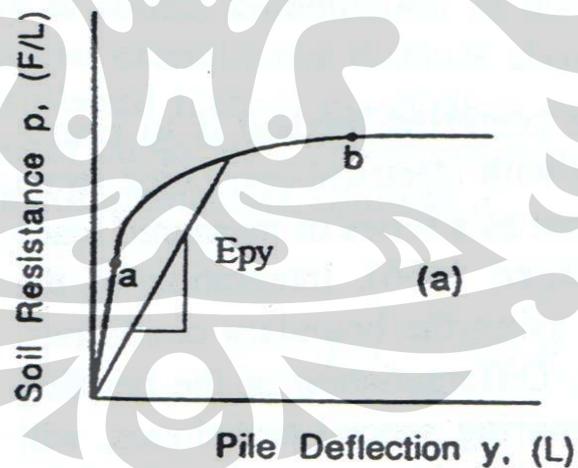
2.4 Py Curve

Analisis dan desain dari sebuah tiang di bawah kondisi beban lateral membutuhkan solusi sebuah masalah nonlinear pada interaksi tanah-struktur. Kemampuan untuk membuat analisis detail dan disain yang tepat dari sebuah tiang untuk menahan beban lateral tergantung terutama pada prediksi *soil response* dengan akurasi yang tepat. Analisis mengenai permasalahan ini bisa digambarkan dengan salah metode yaitu *py curve*.

2.4.1 Definisi Py Curve

py curves merupakan kurva yang menggambarkan tekanan tanah ultimate versus pergeseran. Dimana y menunjukkan defleksi lateral dan p menunjukkan daya dukung tanah dalam gaya per satuan panjang.

Bentuk *p-y curves* ditunjukkan pada gambar 2.2, digambarkan hanya pada kuadran pertama untuk kemudahan, dan dimaksudkan untuk menunjukkan kasus dimana dimana sebuah *short-term monotonic loading*, atau “static” loading, yang diberikan pada sebuah tiang. Kurva pada gambar 2.2 menunjukkan sebuah hubungan garis lurus antara p dan y dari titik asal hingga titik a . Dengan mengasumsikan bahwa regangan dari tanah berhubungan secara linear terhadap tekanan untuk regangan yang kecil, asumsi tersebut menunjukkan bahwa p berhubungan secara linear terhadap y untuk defleksi yang kecil.

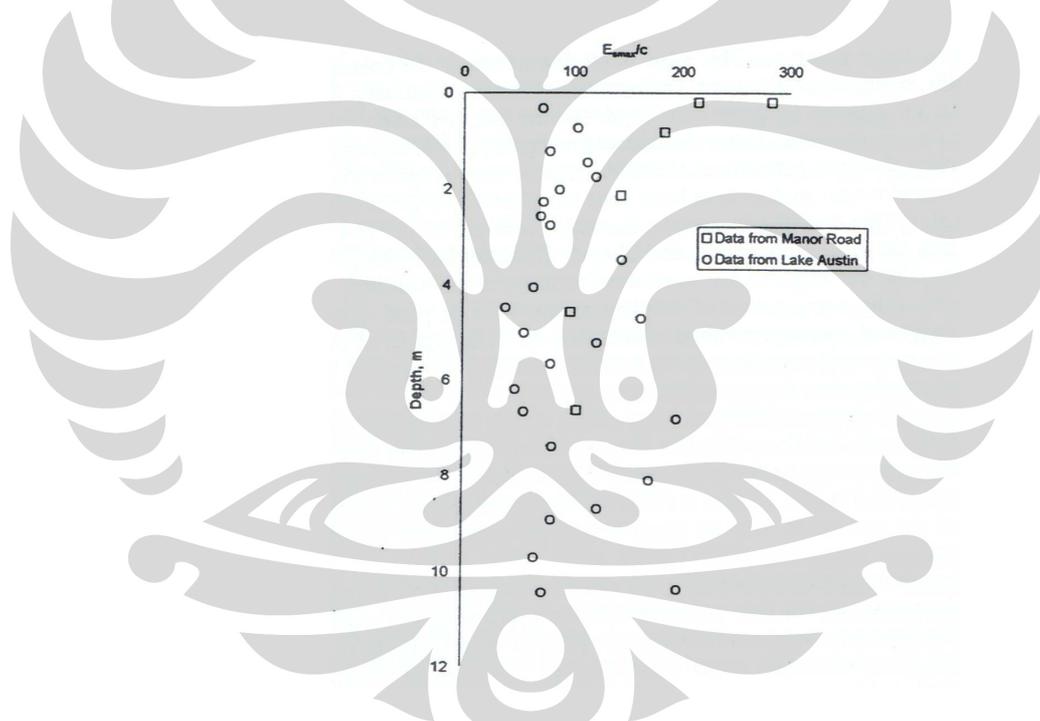


Gambar 2. 2 *py curve*

(Sumber: Lymon C.Rees, Analysis and Design of Shallow and Deep Foundation)

Bagian dari kurva pada gambar 2.2. dari titik a ke titik b menunjukkan bahwa nilai p meningkat pada saat penurunan nilai yang berkenaan dengan y . Sifat ini mencerminkan bagian nonlinear

dari kurva *stress-strain* untuk tanah alami; tidak ada metode analisis untuk menghitung bagian *a-b* dari sebuah *p-y curve*. Bagian horizontal dari *p-y curve* pada gambar 2.2. menunjukkan bahwa tanah bersifat plastis, dengan tidak adanya kehilangan *shear strength* dengan peningkatan *strain*. Model analisis bisa digunakan untuk menghitung ultimate resistance p_u sebagai sebuah fungsi dari dimensi tiang dan soil properties. Untuk satu hal, nilai dari E_{smax} untuk tanah tidak bisa ditentukan dengan mudah. Kurva *stress-strain* dari UCT (Unconfined Compression Tests) dipelajari dan ditemukan bahwa initial modulus E_{smax} berkisar dari 40 hingga sekitar 200 kali undrained shear strength c (data pribadi), lihat gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Nilai E_{smax}/c

(Lymon C.Rees, Analysis and Design of Shallow and Deep Foundation)

2.4.2 Py Curve pada Pile Subjected to Lateral Loading

Pile subjected to lateral loading merupakan kondisi dimana tiang dikenakan beban lateral. Akibat dari pembebanan tersebut, tiang akan mengalami defleksi sejarak y . Tanah di sekitar

tiang mungkin mencapai kondisi ultimate dan mencapai tekanan ultimate, P_u .

2.4.2.1 Nilai P_u dari Pile Subjected To Lateral Loading

Tingkah laku dari bagian “active” bisa dianggap sebagai sebuah “active” pile (misalnya tiang yang dibebani secara lateral), dan oleh karena itu nilai P_u untuk bagian “active” bisa diperoleh dari solusi-solusi yang ditunjukkan untuk “active” piles.

Untuk tiang-tiang pada tanah non kohesif, Broms (1964b) menyatakan, berdasarkan observasi dari uji laboratorium oleh peneliti lain, bahwa bentuk dari bagian tiang hanya mengalami efek yang kecil pada tahanan lateral ultimate dan mengemukakan sebuah formula untuk menghitung tekanan tanah ultimate yang ditulis sebagai

$$P_u = 3P_p$$

dimana

P_p = Tekanan pasif Rankine, $= \gamma z K_p$;

γ = Berat tanah;

z = kedalaman di bawah permukaan tanah;

K_p = koefisien tekanan pasif Rankine.

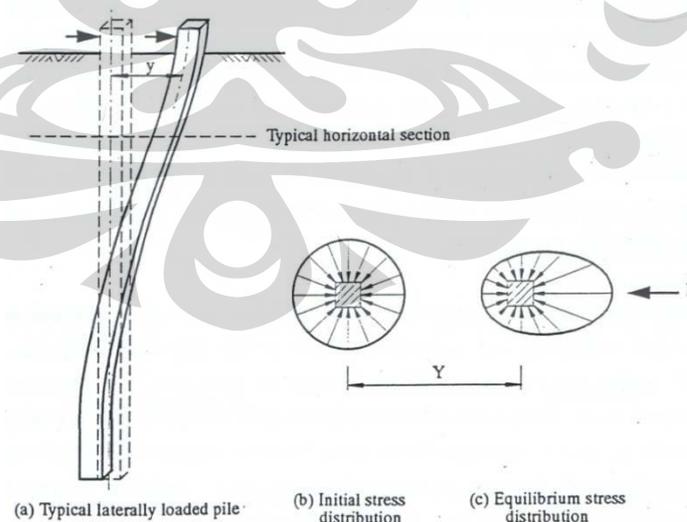
Untuk tanah non kohesif, tekanan tanah ultimate P_u secara normal dinyatakan dalam istilah kuat geser tanah *undrained* sebagai berikut:

$$P_u = K c_u$$

dimana K adalah koefisien luas dan c_u adalah kuat geser *undrained* dari lempung.

2.4.2.2 Analisis Pile Subjected To Lateral Loading

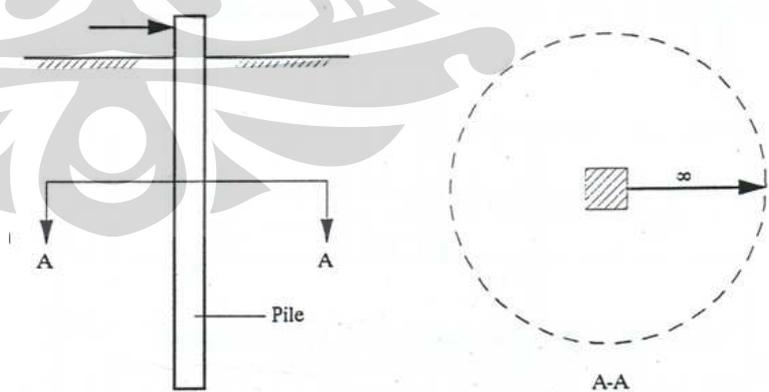
Ketika sebuah tiang dikenakan beban lateral, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.4, tiang akan mengalami *displacement* secara lateral hingga keseimbangan tercapai yang berhubungan dengan tegangan dan *displacement* dari tanah dan tiang pada setiap titik sepanjang tiang. Karena tiang bergerak sejauh y , tegangan yang bekerja pada keliling tiang pada setiap level akan berubah dari kondisi *uniform* ke kondisi *non-uniform*. Tegangan rata-rata (p) (per unit panjang tiang), lebar tiang yang tegak lurus dengan arah gerakan tiang, dihitung dari jumlah dari tegangan-tegangan yang bekerja pada arah gerakan tiang. Jadi sebuah kurva “ p - y ” dari tiang pada kedalaman tertentu dapat dibuat dan sebagai akibatnya, pada failure, tekanan tanah lateral bisa diperoleh. Jadi solusi analitis yang tersedia untuk nilai P_u , sebagaimana yang digambarkan pada bagian II.4.21, adalah kondisi *plane strain*, untuk perbandingan, analisis *plane strain* pertama kali dilakukan untuk *single pile* dan sejumlah *group piles*.



Gambar 2.4 distribusi tegangan disekitar tiang yang terdorong secara lateral
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

2.4.2.3 Single Pile and Group Pile Subjected To Lateral Loading

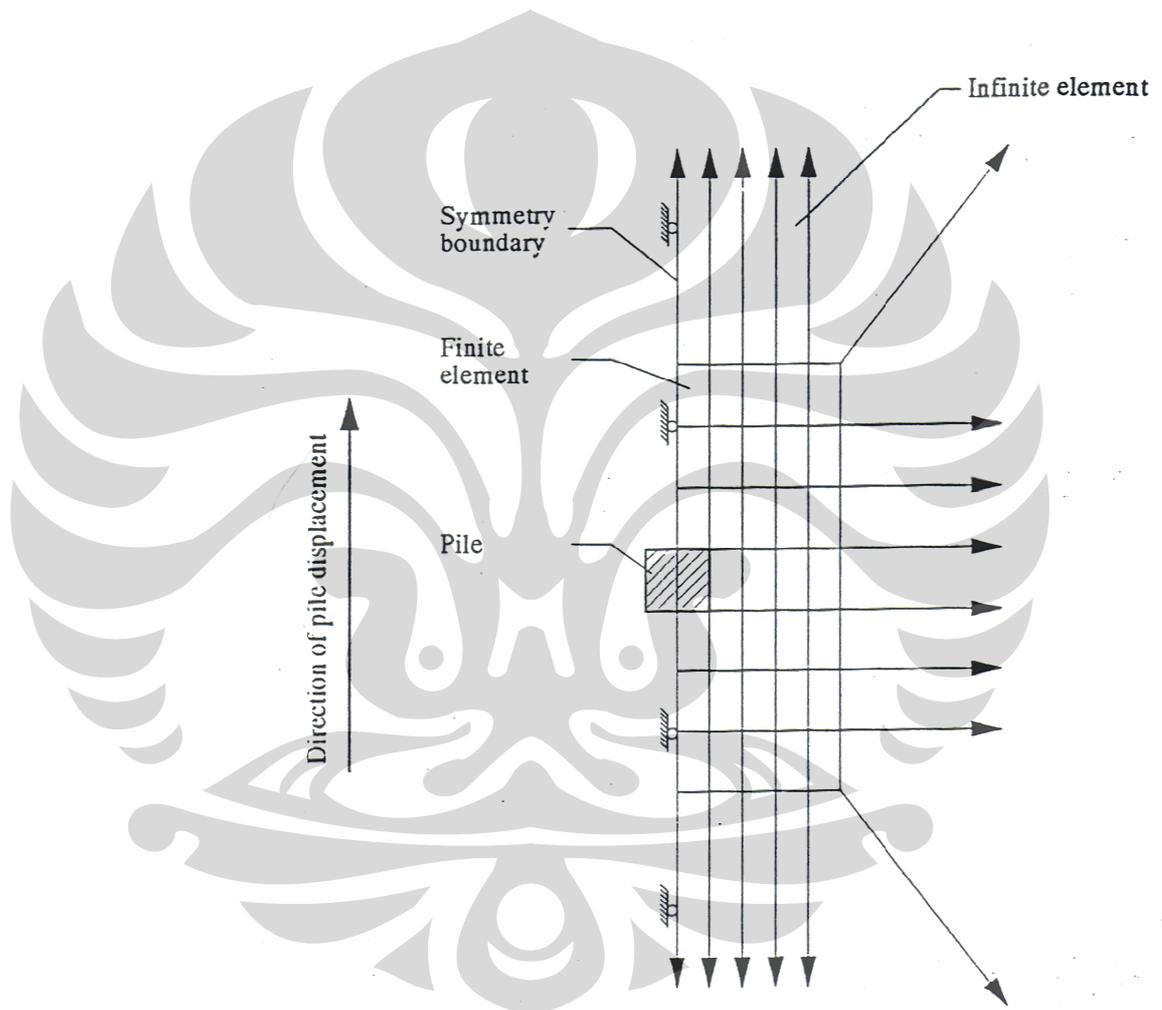
Single pile pertama kali dianalisis. Gambar 2.5 mengilustrasikan belahan horizontal dari single pile yang dibebankan secara lateral. Untuk tujuan dari analisis, tiang persegi dengan lebar 0.5 m diasumsikan dan kondisi tegangan awal yang menunjukkan *overburden stress* pada kedalaman 6 kali lebar tiang yang dipilih. Untuk lebih mudah, tegangan awal yang diasumsikan dianggap *uniform* untuk seluruh *mesh*; pada kenyataannya, tidak seperti ini karena *localized stress* yang meningkat pada tanah di sekitar tiang selama dan setelah instalasi. Gambar 2.6 menunjukkan *infinite* dan *finite element mesh* yang digunakan untuk analisis ini. Hanya setengah dari kasus yang dianalisis karena bentuk yang simetri, dan perletakkan rol digunakan untuk menunjukkan kesimetrian ini. Karena *infinite element* yang dibuat digunakan untuk memodelkan tingkah laku dari tanah, kondisi batas untuk 3 batas dipenuhi secara otomatis.



Gambar 2.5 Single Pile loaded laterally

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Displacement seragam diberikan dengan kenaikan kepada tiang pada arah gerakan tiang. Tegangan normal dan tegangan geser pada interface dihitung dengan analisis *infinite* dan *finite element* dan merubah menjadi tekanan rata-rata p , sepanjang lebar tiang, sehingga untuk tiap-tiang kenaikan titik tunggal pada *py curve* untuk tiang bisa dihasilkan.



Gambar 2.6 Element mesh untuk single pile loaded laterally

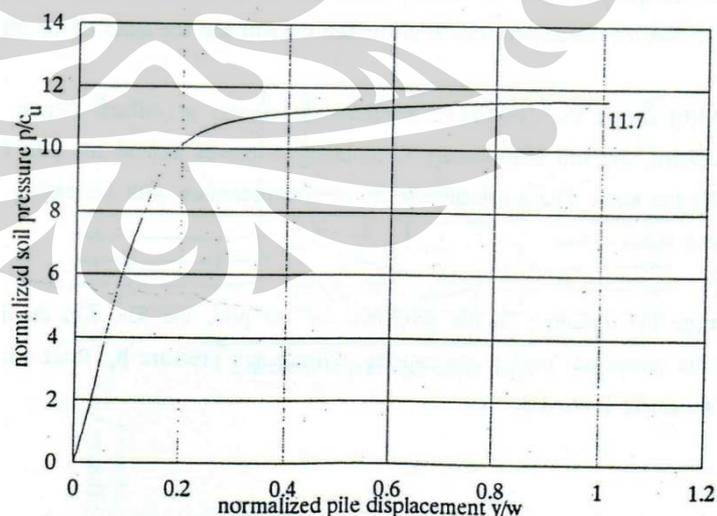
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation,

Liefeng T. Chen)

Karena hanya memiliki kemampuan yang terbatas untuk menahan gaya tarik, pemisahan

antara tiang dan tanah bisa saja terjadi. Pada analisis saat ini, tanah diasumsikan memiliki kekuatan geser nol dan diperbolehkan untuk terpisah dari tiang segera setelah tanah mengalami tegangan tarik.

Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara tekanan normal tanah p/c_u , dan *displacement* tiang y/w . *py curve* yang diperoleh dari analisis ini mirip dengan yang dilakukan oleh berbagai peneliti lain, misalnya Matlock (1970) dan Yegian & Wright (1973). Meskipun demikian, tidak ada percobaan yang telah dilakukan di sini untuk menggunakan *py curve* yang dihitung; cukup, perhatian difokuskan pada tekanan *lateral ultimate*. Walaupun pemisahan tidak diperbolehkan pada analisis ini, meskipun demikian, untuk single pile dengan tekanan tanah ultimate p_u/c_u 11.7 masih sesuai dengan prediksi analitis yang didiskusikan sebelumnya dan persetujuan ini menguji metode saat ini dan untuk solusi group piles.

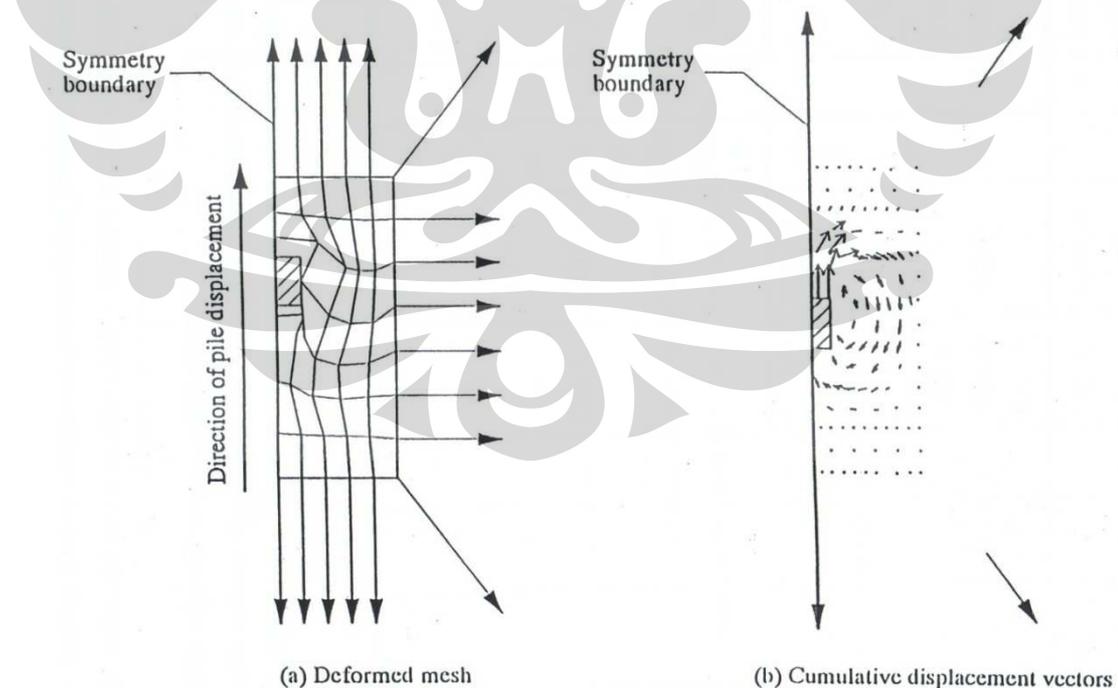


Gambar 2.7 *py curve* pada *single pile loaded laterally*

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Deformasi mesh pada kondisi failure diilustrasikan pada gambar 2.8 (a). Karena tegangan awal pada tanah dimasukkan dalam perhitungan, tidak terdapat pemisahan antara tanah dan tiang. Akan tetapi karena tanah diasumsikan tidak memiliki kekuatan tarik, celah antara tanah dan sisi belakang dari tiang mulai timbul ketika tegangan-tegangan berubah menjadi tarikan. Gambar ini juga secara jelas menunjukkan *slip* antara tanah dan sisi-sisi tiang.

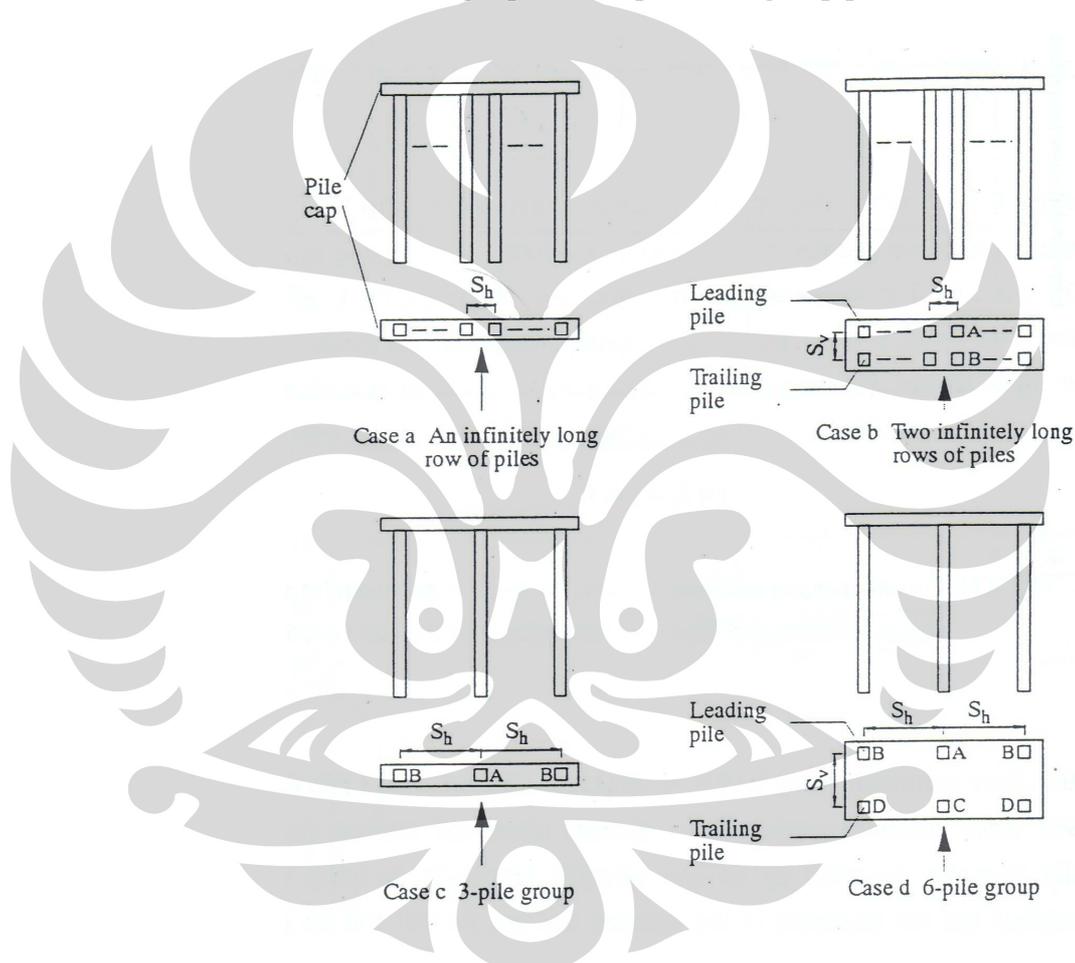
Gambar 2.8 (b) menunjukkan vektor akumulasi *displacement* pada kondisi failure. Pada saat tiang bergerak ke depan, tanah disekitar tiang dengan segera bergerak mengelilingi tiang dari depan ke belakang. *Displacement* dari tanah menurun seiring meningkatnya jarak dari tiang.



Gambar 2.8 deformed mesh dan vektor displacement unruk single pile loaded laterally

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Analisis dilakukan untuk empat kondisi pada group piles yang ditunjukkan secara diagram pada gambar 2.9 pada masing-masing kasus, group diasumsikan bahwa tiang dihubungkan dengan *rigid cap*, dan cukup kaku untuk mengalami *displacement* bersamaan pada setiap level. Sebuah teknik yang mirip untuk membuat *py curve* untuk single pile diadopsi untuk group pile.

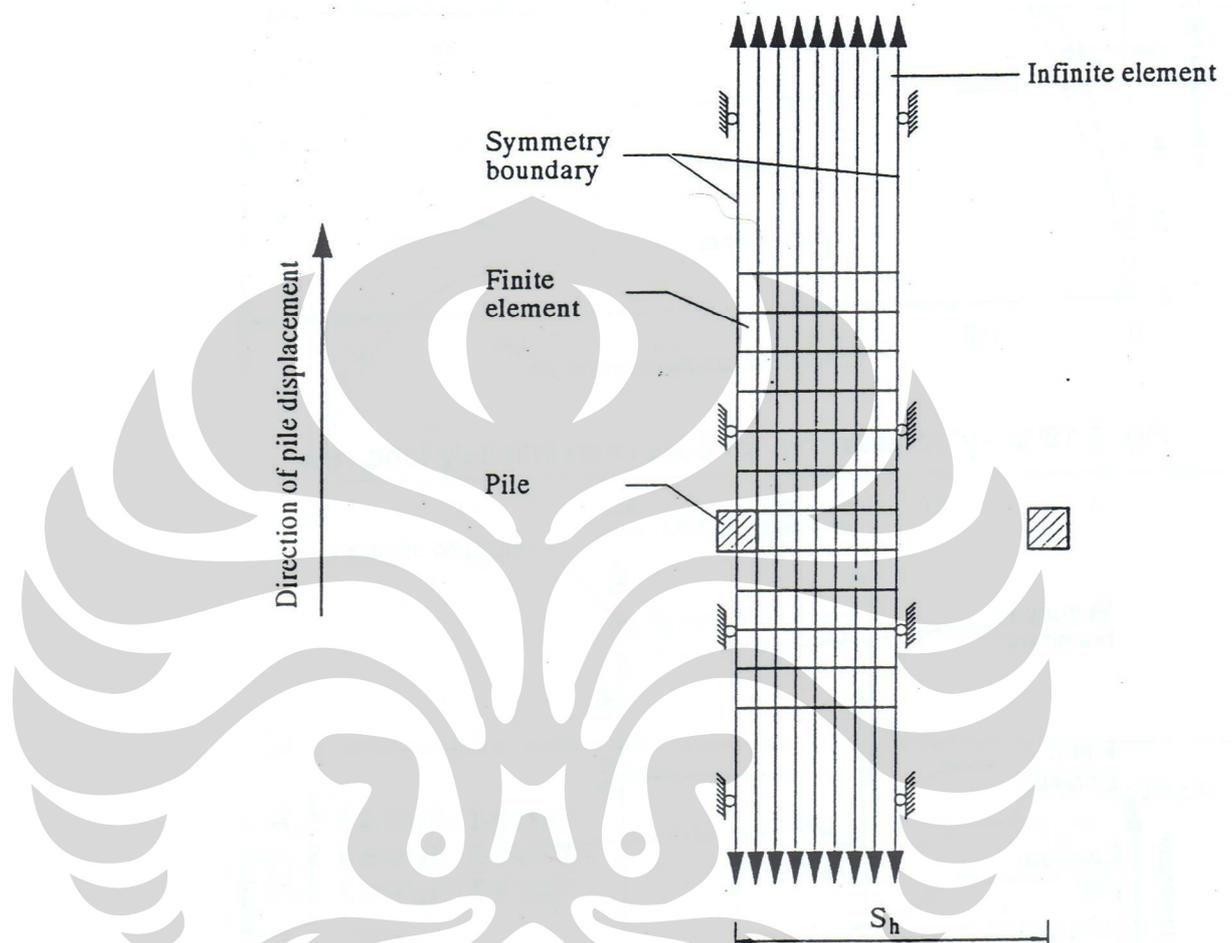


Gambar 2.9 Empat kasus untuk analisis *group piles*

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Untuk kasus *group piles* yang sebaris, beberapa spasi yang berbeda dianalisis. Gambar 2.10 menunjukkan mesh yang digunakan dan

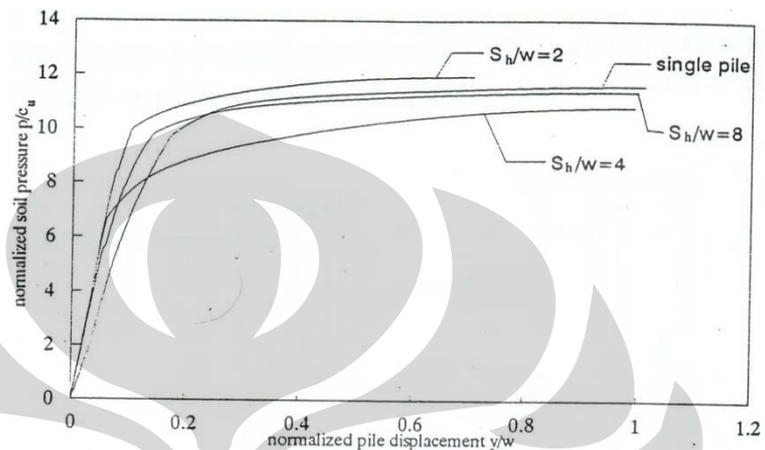
gambar 2.11 menunjukkan *py curve* yang diprediksi, bersamaan dengan *single pile* untuk perbandingan.



Gambar 2.10 *element mesh* untuk kasus a
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile
foundation, Liefeng T. Chen)

Ketika S_h lebih besar dari $2w$, ada trend p_u menurun sebagaimana spasi antara tiang menurun, tetapi pengurangannya kecil. Ketika spasi sangat kecil, misalnya $s_h=2w$, p_u menjadi sedikit lebih besar *single pile*. Meskipun demikian, karena dalam pelaksanaannya spasi antara tiang-tiang jarang

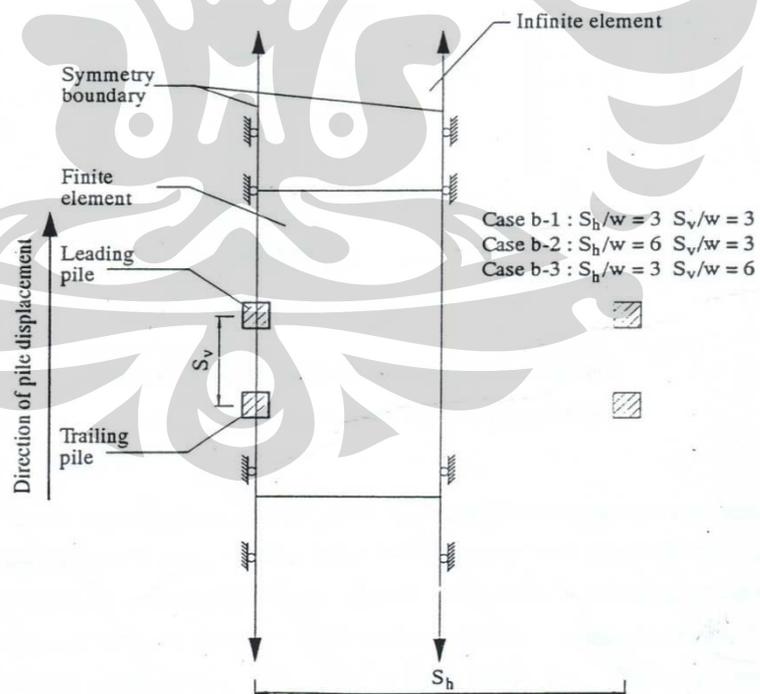
kurang dari $2.5w$, dari gambar terlihat bahwa untuk *group piles* satu baris, interaksi group memiliki efek yang kecil pada tahanan lateral ultimate p_u , dan hal ini juga dikemukakan oleh Yegian dan Wright (1973).



Gambar 2.11 P_y Curve pada untuk kasus a

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation,

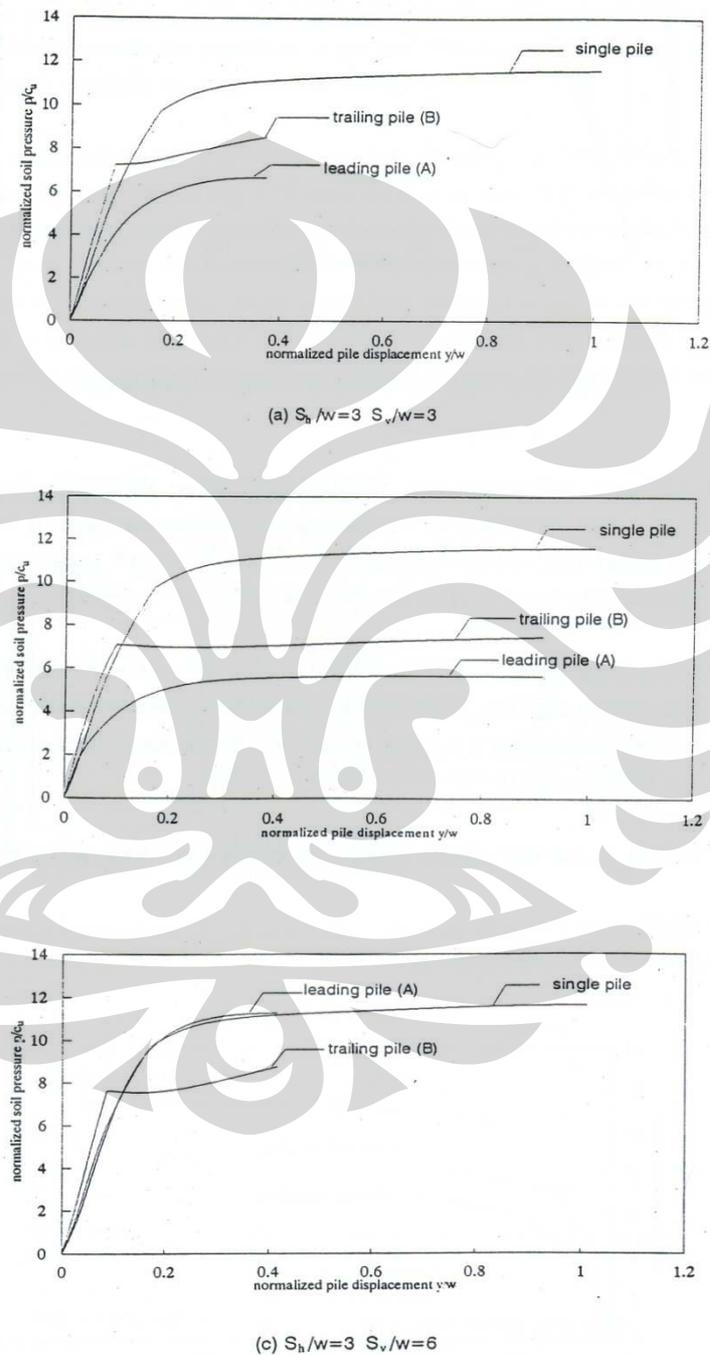
Liefeng T. Chen)



Gambar 2.12 Element mesh untuk kasus b

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Tiga spasi yang berbeda dipilih dan dianalisa untuk kasus b (*two infinitely long rows of piles*), kasus b1: $S_h/w = S_v/w = 3$; $S_h/w = 6$, $S_v/w = 3$; $S_h/w = 3$, $S_v/w = 6$ (lihat gambar 2.12).



Gambar 2. 13 Py Curve untuk kasus b

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Gambar 2.13 menunjukkan *py curve* untuk tiga kasus. Pengurangan nilai *pu* yang sangat besar untuk *single pile* terlihat pada kasus 1 baik untuk *leading* maupun *trailing pile*, dengan pengurangan sekitar 43% dan 24% berturut-turut. Nilai *pu* untuk *trailing pile* lebih besar dari pada nilai *pu* untuk *leading pile*.

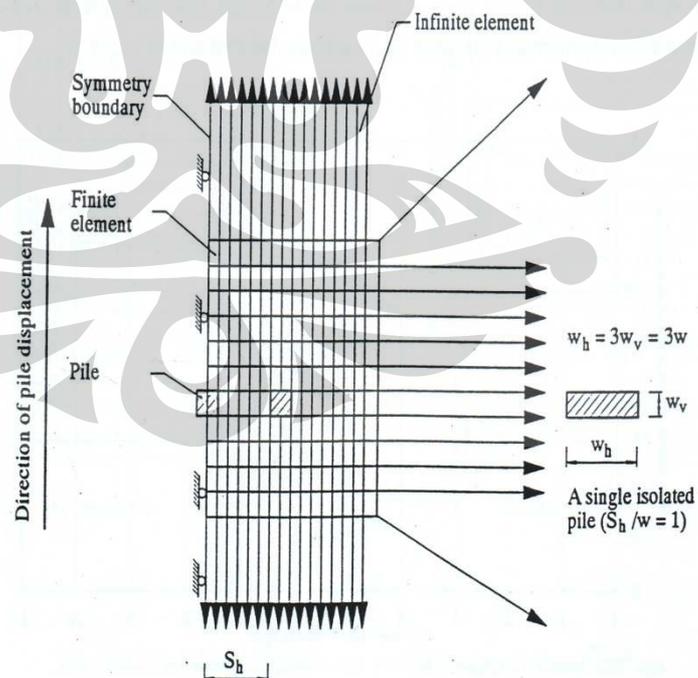
Pada kasus (b-2), *Sv* dijaga tetap konstan sementara *Sh* diatur menjadi 6 kali lebar tiang. Bisa dilihat dari gambar 2.13 (b) bahwa hasilnya mirip dengan kasus (b-1), kecuali bahwa dibutuhkan displacement yang lebih besar untuk mencapai kondisi ultimate, dan *pu* lebih kecil dibandingkan dengan kasus (b-1).

Pada kasus (b-3), *Sh* dijaga tetap konstan sedangkan diatur menjadi 6 kali lebar tiang. Gambar 2.13 (c) menunjukkan bahwa nilai *pu* untuk *leading pile* lebih besar dari pada untuk *trailing pile*. Dibandingkan dengan *single pile*, *leading pile* hampir memiliki *py curve* yang sama meskipun nilai *pu* lebih kecil; *trailing pile* memiliki *py curve* yang berbeda dan *pu* berkurang sekitar 24%. Perlu diperhatikan bahwa *py curve* dan nilai *pu* untuk *trailing pile* pada kasus ini hampir sama untuk kasus (b-1). Hasil ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa peningkatan *Sv* merubah tingkah laku dari *leading pile*, tetapi memiliki efek yang kecil pada *trailing pile*.

Untuk tiang-tiang pada *two infinitely long rows*, terlihat bahwa spasi pada arah tegak lurus terhadap pembebanan memiliki efek yang

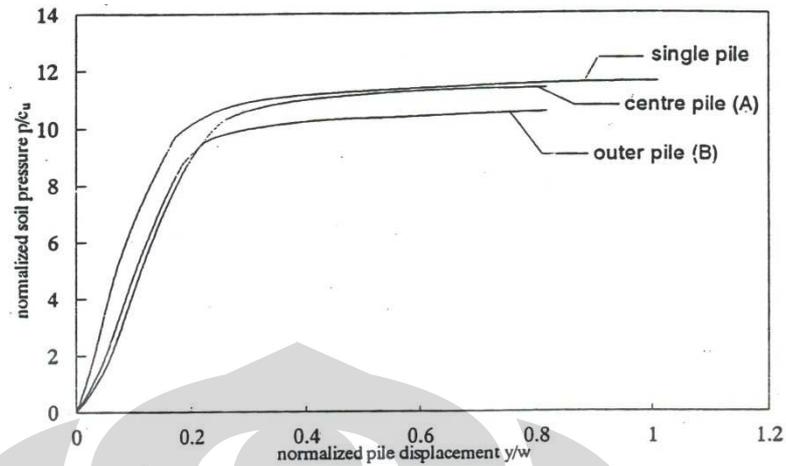
sangat kecil pada nilai p_u , sementara spasi pada arah yang sejajar terhadap pembebanan memiliki efek yang sangat besar pada nilai p_u , khususnya untuk tiang-tiang pada *leading row*.

Mesh yang digunakan untuk kasus c (3 pile group) diilustrasikan pada gambar 2.14 beberapa perbedaan dianalisa, gambar 2.15 menunjukkan p_y curve untuk spasi empat kali lebar tiang. Terlihat bahwa *centre* dan *outer piles* memiliki p_y curve yang hampir mirip dengan p_y curve untuk single pile. Meskipun p_u lebih besar untuk *centre pile* ketimbang *outer pile*. Terdapat reduksi yang sangat kecil pada p_u untuk *centre pile*, sedangkan pengurangan sekitar 9% diamati untuk *outer pile*. Hasil-hasil untuk spasi lainnya juga menunjukkan bahwa *centre* dan *outer pile* memiliki p_y curve yang mirip dan



Gambar 2.14 Element mesh untuk kasus c

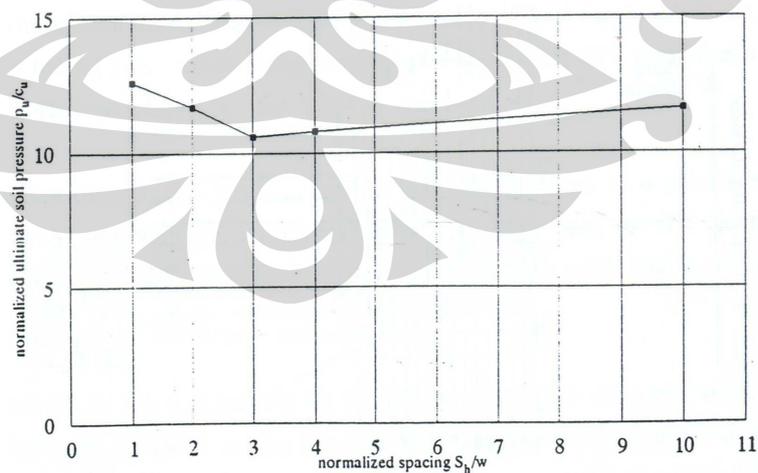
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)



Gambar 2.15 Py Curve pada *active pile* untuk kasus c

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

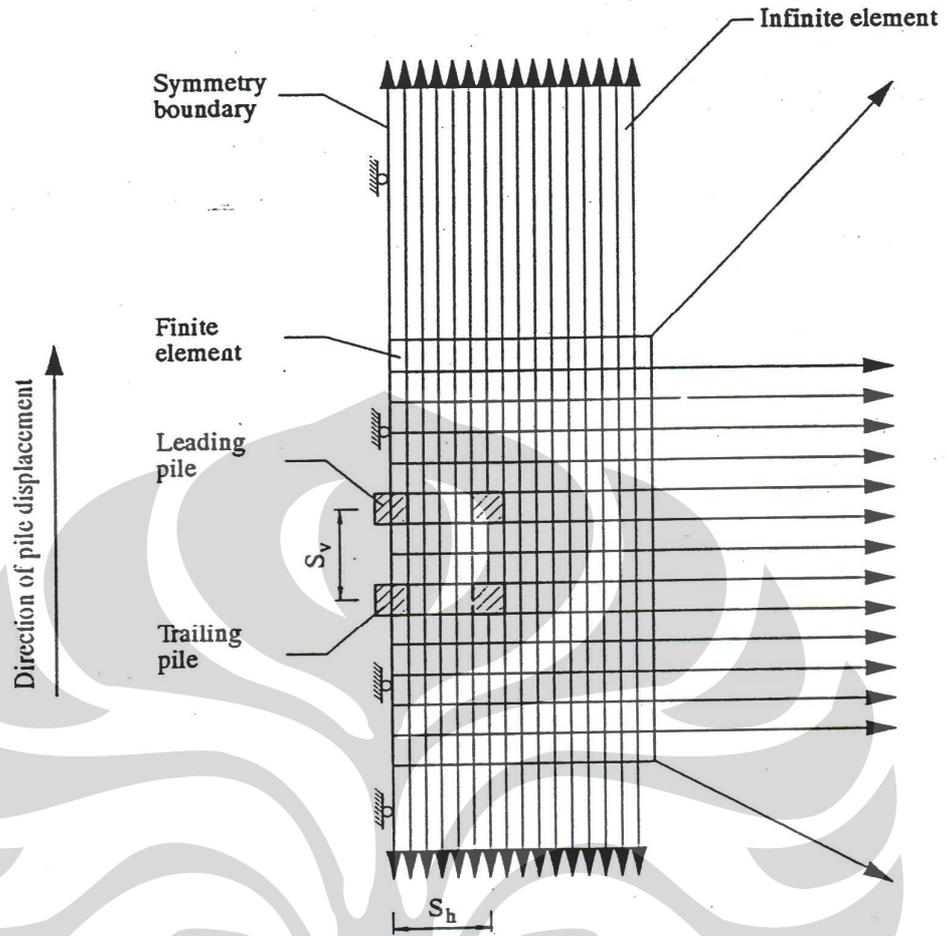
nilai p_u yang agak mirip. Hubungan antara nilai rata-rata dari p_u/c_u , dan spasi S_h/w ditunjukkan pada gambar 2.16. Perlu dicatat bahwa ketika spasi S_v sama dengan satu lebar tiang, pemecahannya sama untuk single pile dengan lebar $3w$.



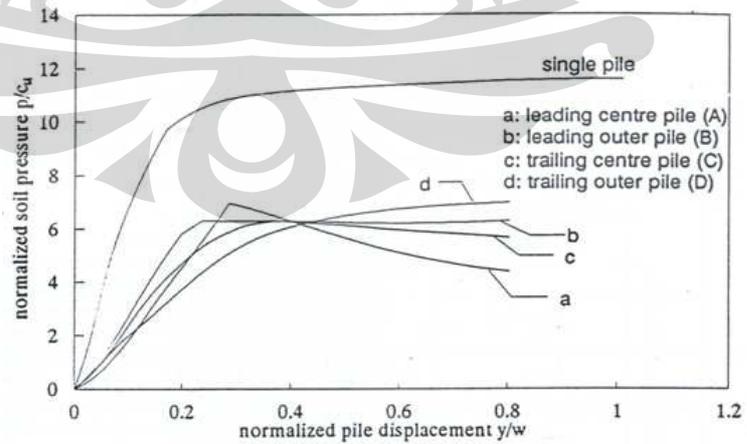
Gambar 2.16 efek spasi tiang pada p_u

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

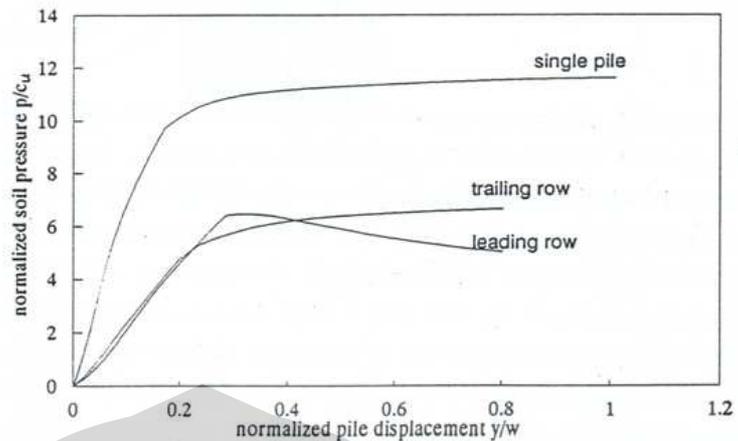
Gambar 2.17 menunjukkan mesh yang digunakan untuk kasus d (3x2 group) dan gambar 2.18 menunjukkan *py curve*. Karena lebih banyak tiang yang terlibat pada analisis ini, mekanisme dari interaksi antara tanah dan tiang-tiang lebih sulit dari pada kasus-kasus sebelumnya. Tiang-tiang pada posisi yang berbeda-beda menunjukkan *py curve* dan nilai p_u yang berbeda-beda pula. Untuk *outer pile*, kekuatan tanah p meningkat dengan *displacement* tiang hingga *failure*, sementara untuk *centre pile*, p meningkat hingga titik puncak dan kemudian menurun sebelum mencapai *failure*. Penurunan nilai p untuk *centre pile* bisa disebabkan oleh load redistribution (pendistribusian kembali dari beban). Ketika seluruh group hancur, *outer pile* menunjukkan nilai p_u yang lebih tinggi dari pada *centre pile*. Karena efek dari tiang-tiang lain, kekuatan dari masing-masing tiang menurun dramatis dari *single pile*, dengan reduksi berkisar 40%-65% (gambar 2.18). Sebuah *py curve* rata-rata juga diplot secara berturut-turut untuk *leading row* dan *trailing row* pada gambar 2.19. Terlihat bahwa *py curve* agak mirip dengan kondisi awal, tetapi berbeda pada *ultimate failure*, dengan *trailing row* memiliki nilai p_u yang lebih besar dari pada *leading row*.



Gambar 2.17 elemen mesh untuk kasus d
 (sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation,
 Liefeng T. Chen)



Gambar 2.18 hubungan p_y curve untuk 6 pile group
 (sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation,
 Liefeng T. Chen)



Gambar 2.19 hubungan p_y curve rata-rata untuk 6 pile group
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation,
Liefeng T. Chen)

2.4.3 Pile Subjected To Lateral Soil Movement

Pile subjected to lateral soil movement merupakan kondisi dimana tiang dikenakan gerakan tanah lateral. Akibatnya tanah di sekitar tiang mungkin mencapai kondisi ultimate dan mencapai tekanan ultimate, P_u . Nilai P_u bisa berbeda untuk bagian “*passive*” dan bagian “*active*”, dan oleh karena itu harus diperiksa secara terpisah. Persoalan dalam menemukan nilai P_u baik untuk bagian “*active*” maupun bagian “*passive*” telah dilakukan oleh beberapa peneliti.

2.4.3.1 Nilai P_u Dari Pile Subjected To Lateral Soil Movement

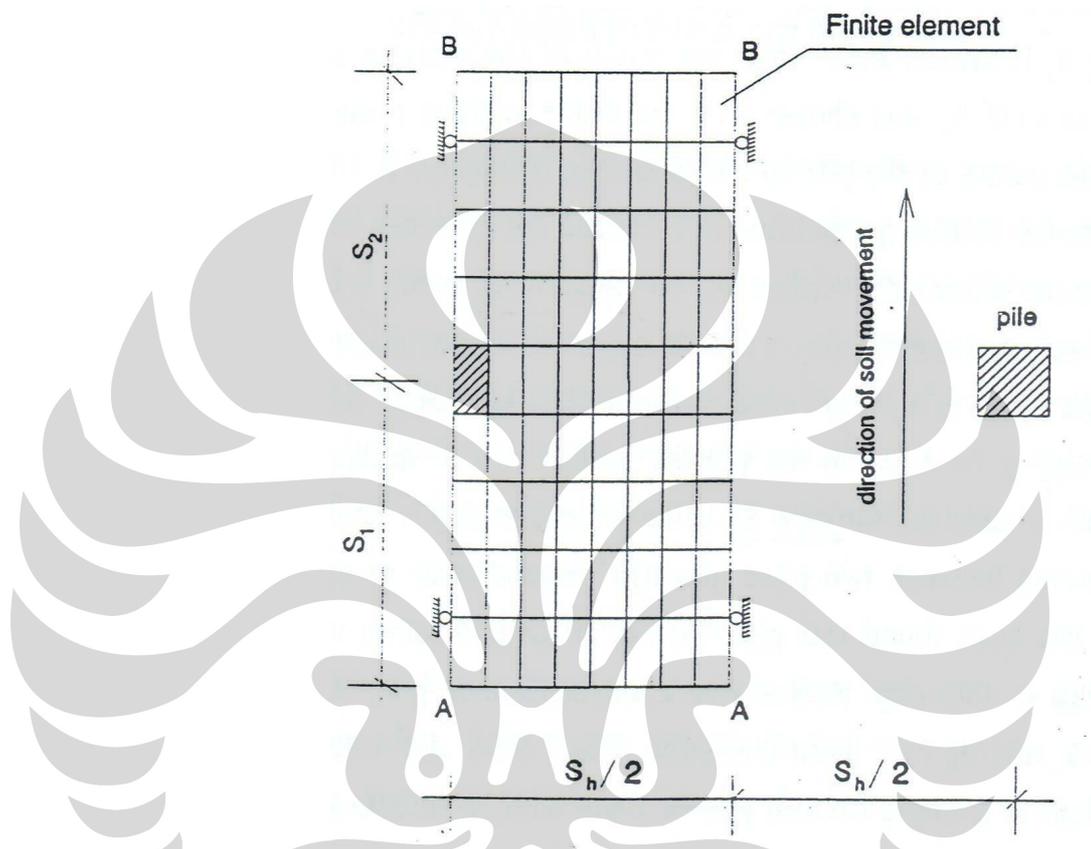
Penelitian P_u untuk bagian “*passive*” tidak memadai relatif terhadap bagian “*active*”. Kebanyakan nilai p_u disarankan pada pekerjaan yang berhubungan dengan *laterally loaded pile* (tiang yang dibebankan secara lateral).

2.4.3.2 Analisa Pile Subjected To Lateral Soil Movement

Sebuah tiang pada tanah yang mengalami gerakan lateral memiliki bagian “*passive*” dan bagian “*active*”. Sementara nilai p_u terjadi sepanjang bagian “*active*” yang mungkin diperoleh dari solusi-solusi yang ditunjukkan untuk tiang “*active*” sebagaimana yang digambarkan pada bagian II.4.2.2, bagian ini fokus hanya pada nilai p_u yang terjadi sepanjang bagian “*passive*” tersebut. Juga, walaupun analisis *plane-stress* digunakan untuk tanah pada kedalaman dangkal, tanah pada kedalaman yang lebih besar berhubungan dengan analisis *plane strain*. Parameter yang sama yang digunakan untuk menganalisa tiang “*active*” juga digunakan untuk analisis tiang “*passive*”, tetapi dengan tipe mesh yang berbeda dikarenakan kondisi batas.

2.4.3.3 Single Pile and Group Pile Subjected To Lateral Soil Movement

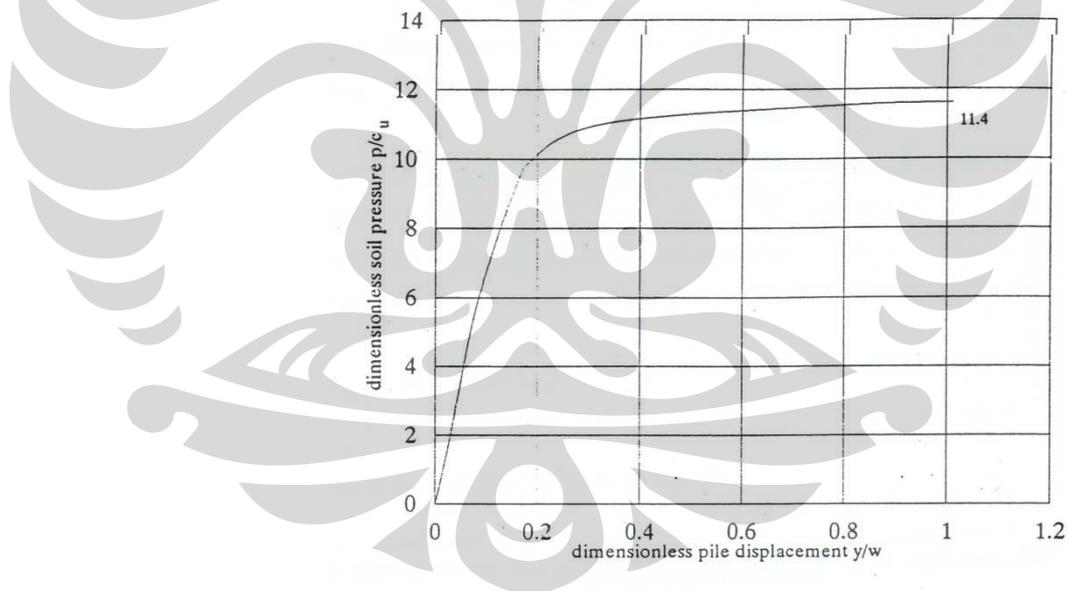
Gambar 2.20 menunjukkan mesh yang digunakan untuk analisis *plane strain finite element*.



Gambar 2.20 elemen mesh yang digunakan untuk *infinitely long row of piles* (sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Hanya setengah dari sebuah tiang yang dianalisa karena bentuk yang simetri, dan perletakkan rol digunakan untuk menunjukkan batas kesimetrian. Gerakan tanah seragam (y) diberikan secara inkremental pada baris pertama pada batas terluar (AA), sementara batas atas terluar (BB) di atur menjadi stress-free (bebas). Tiang diberikan total fixity (Jepit), yaitu tidak ada *displacement*

yang terjadi pada tiang. Karena tanah bergerak melewati tiang, tegangan-tegangan yang bekerja pada sekeliling tiang pada setiap kedalaman akan berubah dari *initial uniform state ke non-uniform state*. Tegangan rata-rata p (per unit panjang tiang), pada lebar tiang tegak lurus pada arah gerakan tanah, dihitung dari jumlah tegangan-tegangan yang bekerja pada arah gerakan tiang. Sama halnya seperti p_y curve untuk *laterally loaded pile*, kurva p versus y (dikenal juga sebagai p_y curve) untuk tiang pada kedalaman tertentu dapat dibuat dan sebagai akibatnya, pada kondisi *failure*, tekanan tanah ultimate (p_u) bisa diperoleh.



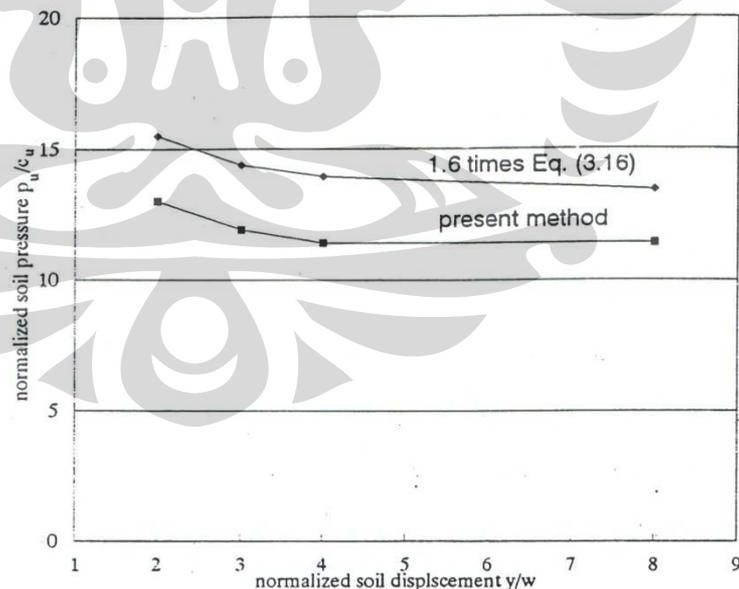
Gambar 2.21 hubungan p_u/c_u untuk single pile subjected to lateral soil movement

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Gambar 2.21 menunjukkan hubungan antara tekanan tanah (p/c_u), dan perpindahan tanah yang

diberikan (y/w) untuk *single pile*. P_y curve yang diperoleh dari analisis ini mirip dengan dengan p_y curve untuk *pile laterally loaded* sebagaimana yang ditunjukkan pada bagian bagian II.4.2.3 gambar 2.7, dan tekanan tanah ultimate (p_u/c_u) 11.4 sangat dekat dengan 11.7. Ini menunjukkan bahwa, dengan keakuratan analisis finite element, tekanan tanah ultimate p_u pada dasarnya sama untuk *single pile* baik *lateral soil movement* (perpindahan tanah lateral) maupun *lateral loading* (beban lateral).

Efek group terhadap tekanan tanah ultimate dianalisis, untuk kisaran nilai dari variasi spasi. Gambar 2.22 menunjukkan hubungan antara p_u/c_u dan s_H/w . Bisa dilihat bahwa ketika nilai S_H/w lebih kecil dari 4.5, terdapat trend p_u/c_u meningkat dengan menurunnya spasi walaupun

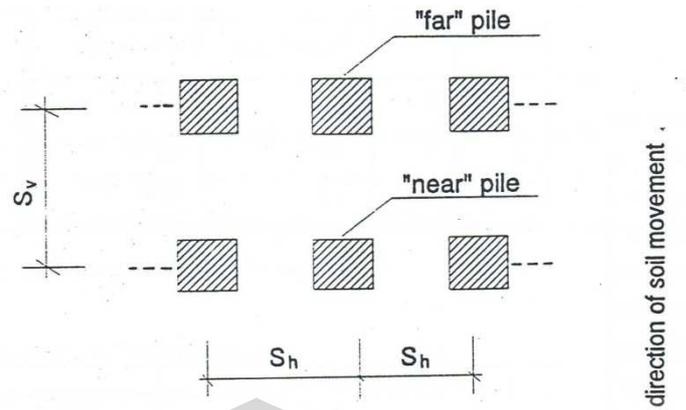


Gambar 2.22 efek spasi tiang terhadap p_u untuk *one long row piles*

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

kenaikannya tidak banyak, tetapi p_u/c_u konstan ketika S_h/w lebih dari 4.5. Hal ini menunjukkan untuk tiang-tiang sebaris, ketika S_h/w lebih kecil dari 4.5, efek group cenderung sedikit mempertinggi nilai p_u , dan ketika S_h/w lebih besar dari 4.5, tidak terdapat efek group. Untuk perbandingan, gambar 2.22 juga menunjukkan hasil dari penelitian Ito dan Matsui (1975) dan Matsui et al (1982). Ito dan Matsui (1975) menyatakan bahwa apa yang terpenting dari tiang-tiang sebaris yang dikenakan gerakan tanah bukan lah tekanan tanah ultimate, tetapi tekanan tanah ketika tanah di sekitar tiang menjadi plastis.

Perlu dicatat bahwa istilah yang digunakan untuk tiang "*passive*" yang tersusun lebih dari satu baris, berkenaan dengan posisi-posisi tiang di dalam group berbeda dengan tiang "*active*". Sementara istilah "*leading*" dan "*Trailing*" untuk kasus tiang "*active*" sudah jelas dan telah sering digunakan, Istilah-istilah tersebut membingungkan untuk kasus tiang "*passive*". Oleh karena itu, untuk tiang "*passive*" yang tersusun lebih dari satu baris, istilah "*near*" atau "*far*" digunakan. Hal tersebut bisa dilihat pada gambar 2.23. berdasarkan definisi tersebut, "*near*" pile mengalami gerakan tanah sebelum "*far*" pile.



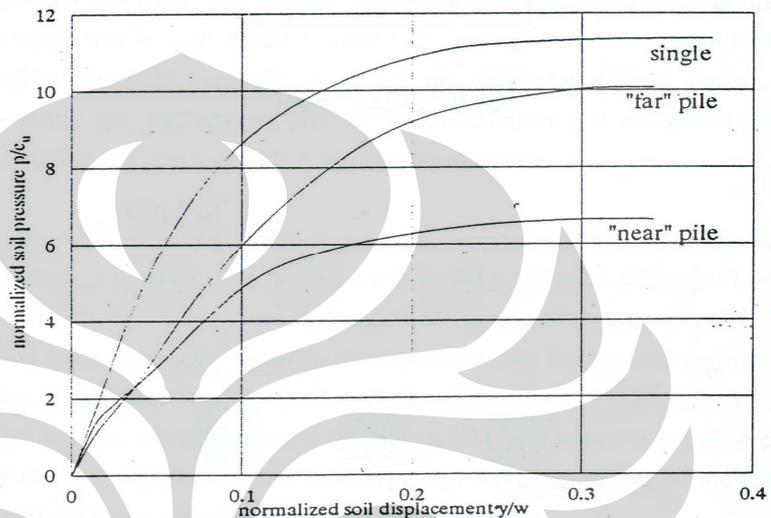
Gambar 2. 23 Penamaan tiang pada kasus *lateral soil movement*
(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

Tiga kasus dengan spasi yang berbeda-beda dianalisa seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4, gambar 2.24 menunjukkan *py curve* untuk “near” dan “far” pile untuk kasus pertama, bersamaan dengan single pile untuk perbandingan. Bisa dilihat bahwa pada awalnya tekanan tanah untuk “near” dan “far” pile sangat mirip, tetapi dengan peningkatan *displacement* tanah yang diberikan, “far” pile cenderung lebih besar ketimbang “near” pile hingga *failure*. Pada saat *failure*., nilai *pu* untuk “near” dan “far” pile lebih kecil dari *single pile*. Reduksi yang terjadi sekitar 41% dan 11%, secara berturut-turut.

Tabel 2.4 tiga kasus spasi berbeda

Case	Spasi		K=pu/cu	
	Sh/w	Sv/w	"Near" Piles	"far" Piles
I-1	3	3	6.7	10.1
I-2	3	6	10.9	12
I-3	6	3	6.2	6.8

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

**Gambar 2.24** hubungan p_y curve untuk piles kasus I-1

(sumber: the effect of lateral soil movement on pile foundation, Liefeng T. Chen)

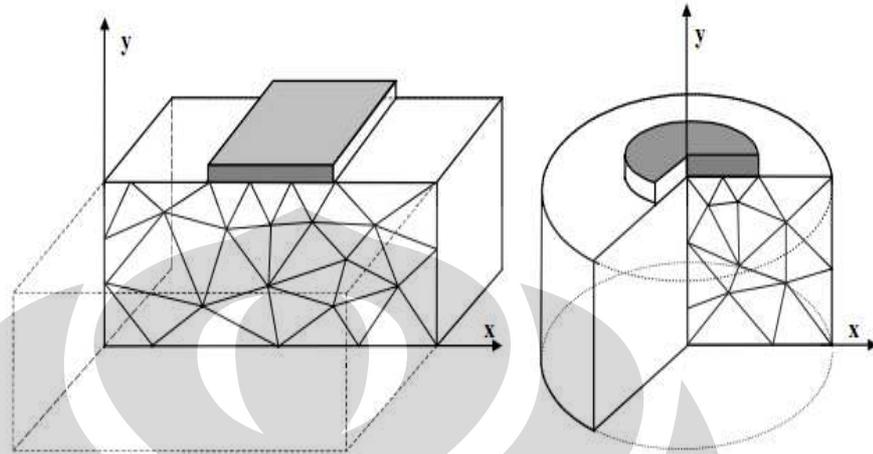
2.4 Plaxis

Untuk memudahkan engineer dalam menganalisis kasus-kasus yang terjadi dalam bidang geoteknik, diperlukan alat berupa software. Banyak software komputer yang berhubungan dengan bidang geoteknik misalnya plaxis.

2.4.1 Definisi Plaxis

PLAXIS merupakan program komputer finite element yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Kondisi yang sebenarnya bisa

digambarkan baik dengan model plane strain maupun dengan model axisymmetric.



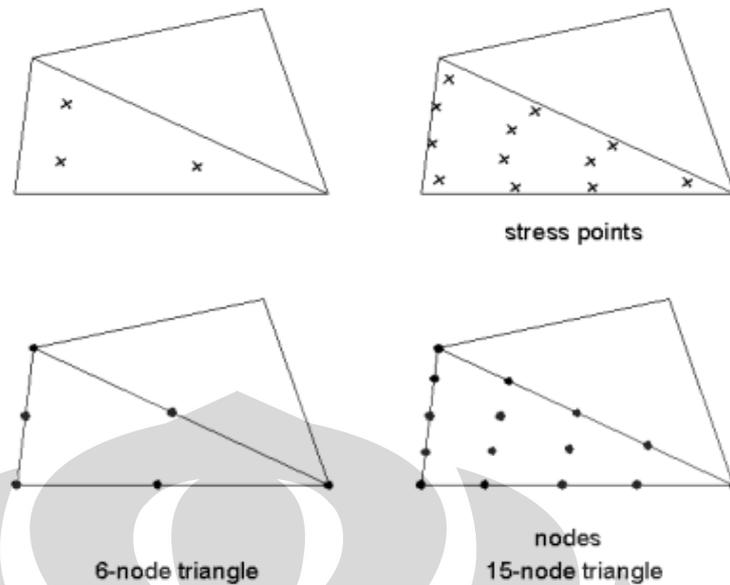
Gambar 2.25 contoh model plane strain dan axisymmetric

(Sumber: Manual PLAXIS versi 8)

Permodelan plain strain digunakan untuk geometri cross section yang (lebih kurang) seragam dimana tegangan maupun beban tegak lurus terhadap cross section tersebut (arah z) dianggap seragam. Sehingga displacement dan strain pada arah ini diasumsikan nol. Akan tetapi, tegangan normal pada arah ini dimasukkan dalam perhitungan.

Permodelan axisymmetric digunakan untuk struktur lingkaran dengan radial cross section yang seragam dan pembebanan disekitar sumbu tengah, yang mana deformasi dan tegangan diasumsikan sama untuk semua arah radial.

Pada program PLAXIS tersedia dua tipe element, yaitu elemen dengan 6 nodal dan element dengan 15 nodal. Pengguna bisa memilih elemen segitiga dengan 6 nodal dan 15 nodal untuk memodelkan lapisan tanah dan cluster lainnya.



Gambar 2.26 Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah
(Sumber: Manual PLAXIS versi 8)

Segitiga dengan 15 nodal merupakan elemen yang sangat akurat yang menghasilkan tegangan dengan kualitas yang baik untuk masalah yang kompleks,. Penggunaan segitiga dengan 15 elemen membutuhkan waktu yang lebih lama karena proses kalkulasinya sangat lambat. Oleh karena itu tipe elemen yang lebih sederhana juga tersedia.

Segitiga dengan 6 nodal merupakan elemen yang cukup akurat yang memberikan hasil yang baik dalam analisis deformasi standar, asalkan digunakan jumlah elemen yang cukup. Meskipun demikian, elemen ini kurang sesuai untuk perhitungan pada model axisymmetris khususnya pada kalkulasi phi c reduction karena faktor keamanan yang dianalisis tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga setiga dengan 15 nodal dianggap lebih baik untuk kasus ini.

Pada penelitian ini, elemen yang digunakan adalah elemen dengan 15 nodal, yang mana elemen-elemen tersebut memiliki

besar yang berbeda-beda. Dengan demikian, jumlah derajat kebebasan setiap elemen adalah 30.

2.4.2 Analisis Permodelan Pada Plaxis

PLAXIS menyajikan beberapa permodelan untuk mensimulasikan beberapa tingkah laku dari tanah. Permodelan-permodelan tersebut adalah Permodelan Linear Elastic, Permodelan Mohr-Coulomb, Permodelan Jointed-Rock, Permodelan Hardeing soil, Permodelan Soft Soil, Permodelan Soft Soil Creep, Permodelan User-Defined Soil. Namun penulis hanya menggunakan dua permodelan dalam penelitian ini, yaitu adalah Permodelan Linear Elastic dan Permodelan Mohr-Coulomb.

Permodelan dan parameter-parameter tersebut antara lain sebagai berikut

2.4.2.1 Permodelan Mohr-Coulomb

Permodelan ini digunakan sebagai perkiraan awal dari tingkah laku tanah secara umum. Permodelan ini meliputi lima parameter, yaitu Young's modulus, E , Poisson's ratio, ν , kohesi, c , sudut geser, ϕ , dan sudut dilatasi, ψ .

2.4.2.2 Permodelan Linear Elastic

Permodelan ini menggambarkan hukum Hooke mengenai linear elastis isotropis. Permodelan ini meliputi dua parameter kekakuan elastis, yaitu Young's modulus, E , dan Poisson's ratio, ν . Permodelan linear elastis terbatas untuk simulasi kelakuan tanah. Ini digunakan untuk struktur kaku pada tanah.

2.4.3 Plastic Calculation Pada Plaxis

Tipe kalkulasi pada setiap tahap ditentukan pada combo box sebelah kanan atas dari *General tab sheet*. Perbedaan yang dibuat antara tiga tipe dasar kalkulasi adalah: *plastic calculation*, *consolidation* and *phi-c reduction (safety analysis)*, dan *dynamic calculation*. Namun penulis hanya membahas mengenai *plastic calculation* karena pada penelitian ini hanya tipe kalkulasi ini yang digunakan oleh penulis.

Plastic calculation dipilih untuk melakukan analisis deformasi elastis-plastis di mana tidak diperlukan perhitungan kehilangan tekanan air pori berlebih berdasarkan waktu. Meskipun pengguna memasukkan faktor waktu dalam permodelannya, *plastic calculation* tidak akan memasukkan efek waktu pada perhitungan, kecuali ketika menganalisis *soft soil creep model*.

Mengenai pembebanan yang cepat pada tanah lempung yang tersaturasi, *plastic calculation* bisa digunakan untuk membatasi kasus tingkah laku *undrained* yang menggunakan opsi *undrained* pada pengaturan data material (*material data set*).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Penjelasan Penelitian

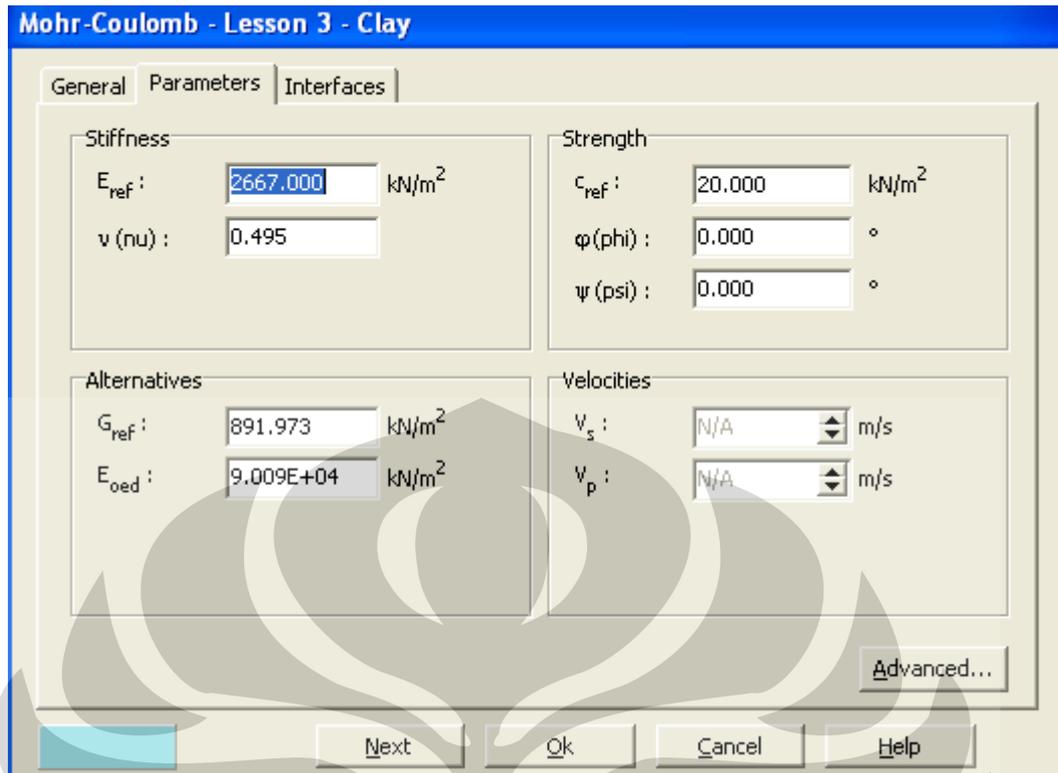
PLAXIS merupakan finite element yang telah dikembangkan khususnya untuk analisis deformasi dan stabilitas pada proyek geoteknik. Prosedur pemasukkan input yang sederhana memungkinkan perhitungan permodelan finite element yang kompleks dengan cepat, dan output yang dihasilkan pun disajikan secara detail. Perhitungan pada software ini secara keseluruhan berjalan secara otomatis dan berdasarkan prosedur numerik yang lengkap. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan software PLAXIS. Tiang yang digunakan adalah *single pile* dan *group piles*. Adapun variasi tiang pada group pile adalah 2x1, 2x3, 2x5 dan 2x7.

Pada permodelan ini, penulis menggunakan dua tipe *material model* yaitu *Mohr-Coulomb* dan *Linear elastic*. *Mohr-Coulomb model* diperuntukkan untuk material tanah. Sedangkan *Linear elastic model* untuk material tiang.

3.1.1 Mohr-Coulomb model

Tipe permodelan *Mohr Coulomb* terdiri atas lima parameter yang secara umum dikenal oleh banyak engineer geoteknik dan yang bisa diperoleh dari pengujian dasar pada contoh tanah. Parameter-parameter tersebut dengan satuan standarnya masing-masing disajikan di bawah ini:

E	: Modulus Young	(kN/m ²)
μ	: Rasio poisson	(-)
φ	: Sudut geser	(°)
c	: Kohesi	(kN/m ²)
ψ	: Sudut dilatansi	(°)



Gambar 3.1 Parameter untuk *Mohr-Coulomb model*

3.1.2 Linear elastic model

Berbeda dengan permodelan material tanah, Tipe permodelan pada tiang adalah *Linear elastic* yang terdiri atas dua parameter. Parameter-parameter tersebut dengan satuan standarnya masing-masing disajikan di bawah ini:

E : Modulus Young (kN/m^2)

μ : Rasio poisson (-)

Linear elastic - Pile

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 2.400E+07 kN/m²

ν (nu) : 0.150

Alternatives

G_{ref} : 1.043E+07 kN/m²

E_{oed} : 2.534E+07 kN/m²

Velocities

V_s : N/A m/s

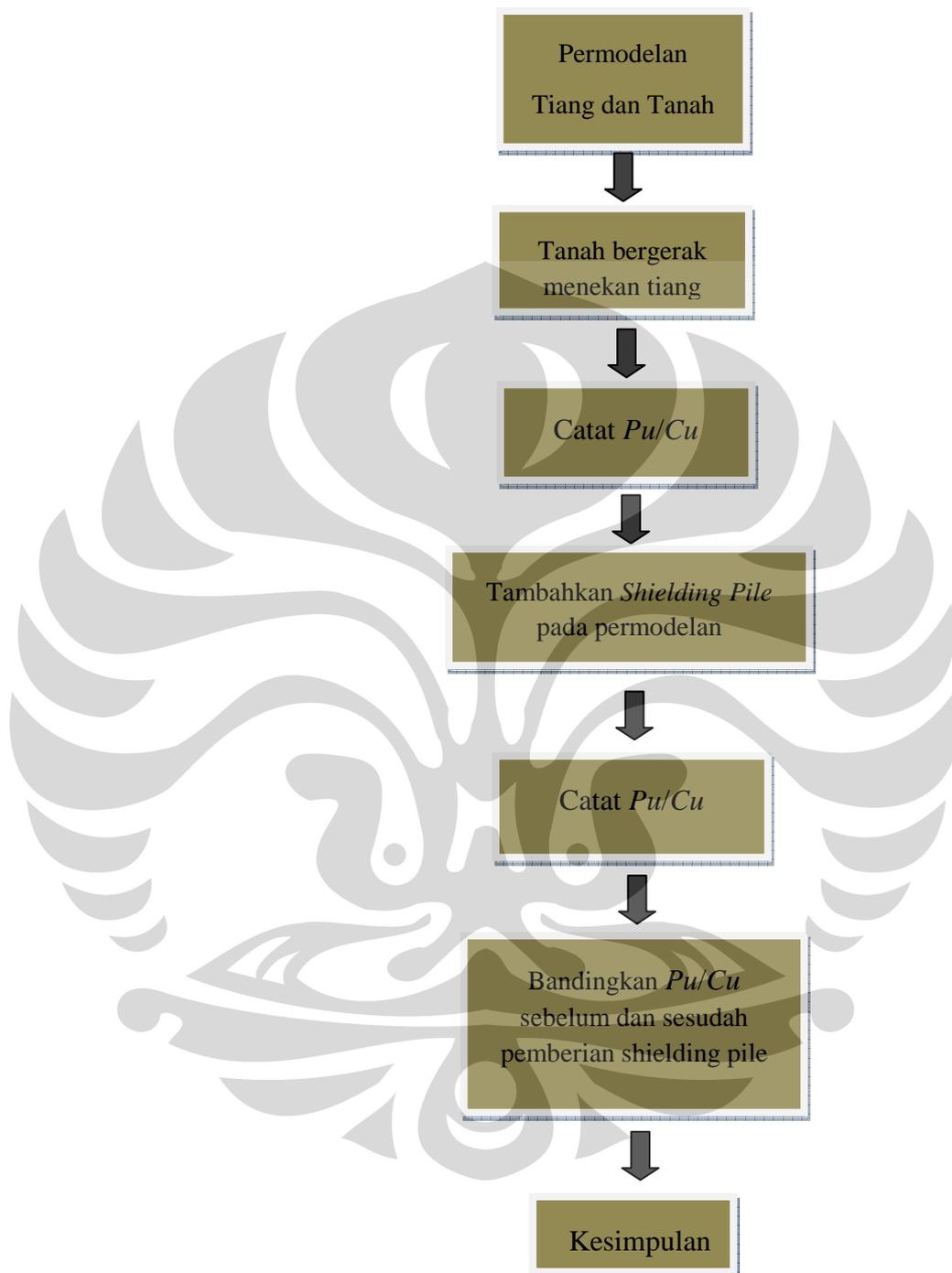
V_p : N/A m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 3.2 Parameter untuk *Linear elastic model*

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

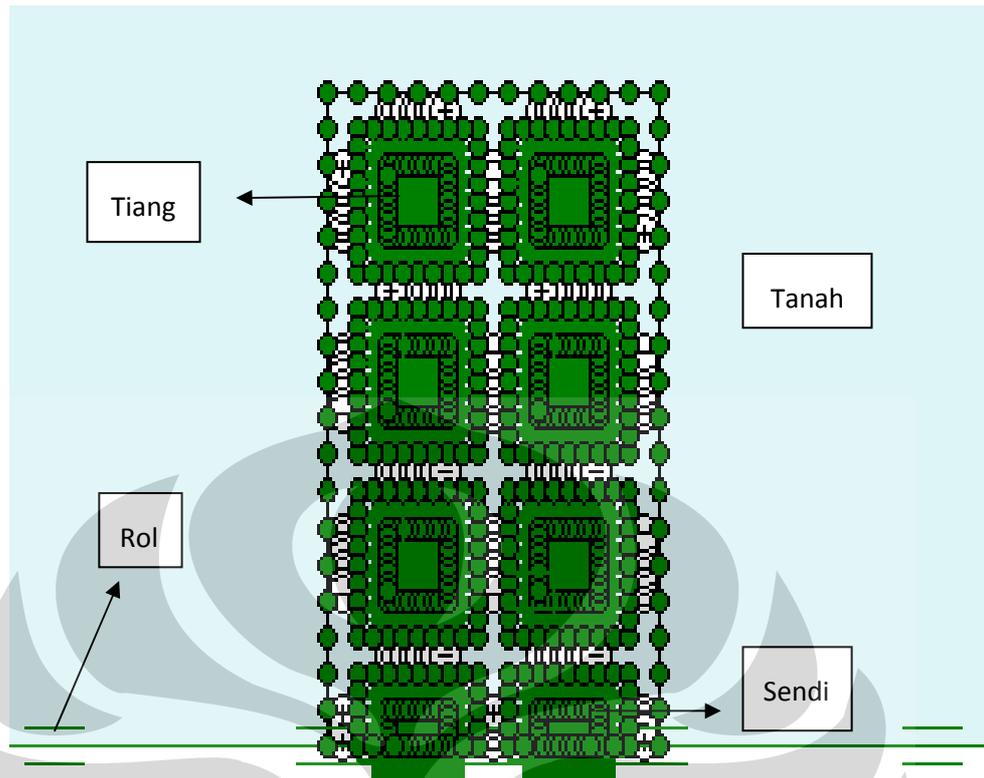
3.3.1 Permodelan Tiang dan Tanah

Pada penelitian ini penulis menggunakan material tanah dan tiang dengan menggunakan beberapa nilai parameter-parameter tertentu. Nilai-nilai parameter untuk kedua jenis material tersebut digunakan untuk semua permodelan. Adapun parameter yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 3.1 Parameter tanah dan tiang

Material Mode	
Mohr-Coulomb	Linear Elastic
Tanah	Tiang
C = 20 kN/m ³	E = 2.4x10 ⁷ kN/m ²
γ_{unsat} = 0 KN/m ³	ν (nu) = 0.15
γ_{sat} = 0 KN/m ³	
E = 2667 kN/m ²	
ν (nu) = 0.495	

Nilai-nilai di atas digunakan untuk semua jenis permodelan pada penelitian ini. Permodelan tersebut terdiri dari single pile dan group pile untuk masing-masing kondisi yang berbeda yaitu kondisi tanpa *shielding piles* dan kondisi dengan *shielding piles*. Pada penelitian ini penulis menganggap bahwa kondisi dimana tiang diberikan beban secara lateral dengan tiang dibebankan dengan gerakan tanah lateral merupakan hal yang berbeda. Pada penelitian ini, penulis menggunakan kondisi di mana tiang dibebankan oleh gerakan tanah lateral dengan cara mengambarkannya dalam bentuk permodelan seperti di bawah ini.



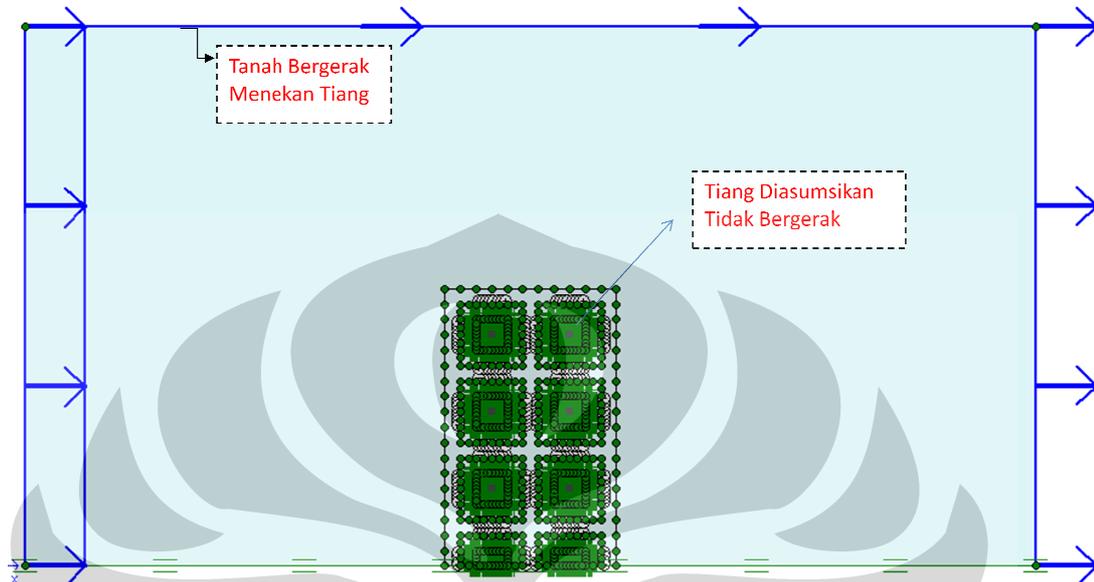
Gambar 3.4 Permodelan tanpa *shileding piles*

Permodelan di atas merupakan salah satu contoh permodelan yang digunakan dalam penelitian ini. Pada permodelan tersebut ditunjukkan bahwa tiang (hitam) diasumsikan tidak bergerak dengan memberikan total fixities atau jepit. Sedangkan tanah (biru) di atur sedemikian rupa bergerak horizontal menekan tiang. Salah satu sisi tanah diberikan vertical fixities atau rol yang menunjukkan bahwa tiang tersebut simetris, sedangkan sisi yang lainnya di asumsikan bebas. Pada permodelan di atas terlihat terdapat interface. Hal tersebut untuk menunjukkan bahwa tanah lah yang pertama kali mengalami failure.

3.3.2 Tanah bergerak menekan tiang

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya (3.3.1) bahwa permodelan ini menggambarkan suatu kondisi dimana tiang dibebankan oleh gerakan tanah lateral (gambar 3.4). Oleh karena itu,

penulis menggunakan prescribed displacement untuk menggambarkan kondisi tersebut (Gambar 3.5). Setiap permodelan diberikan prescribed displacement sebesar 1.00 m.



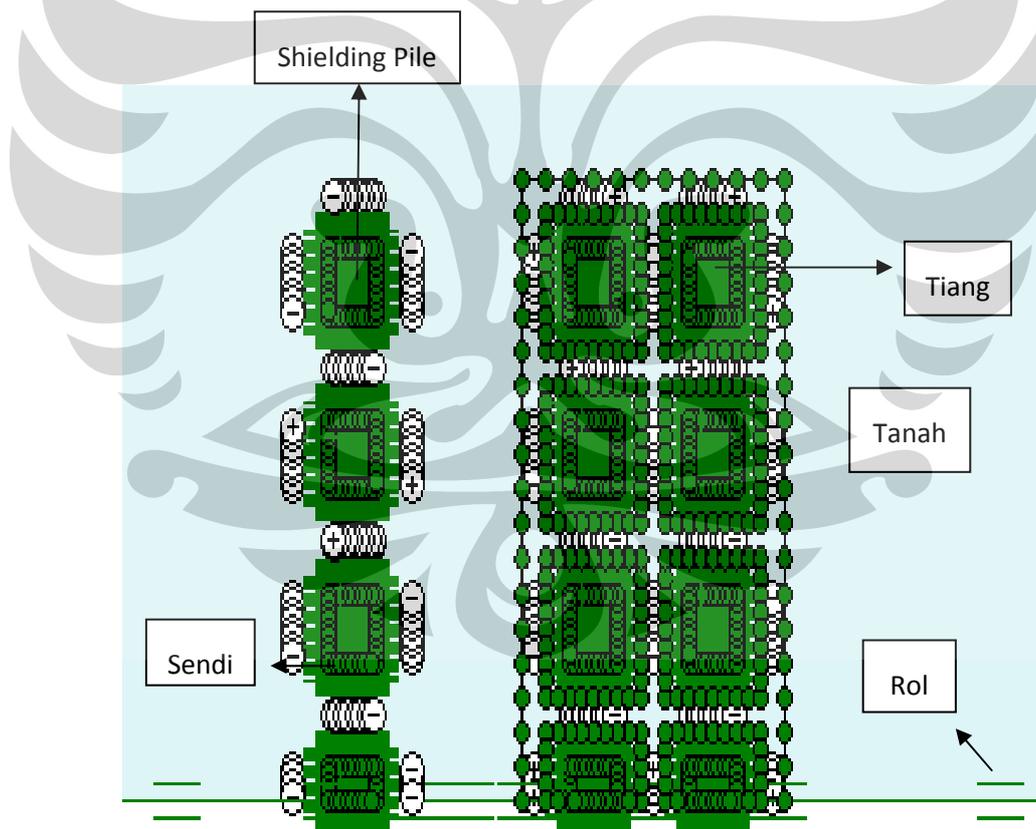
Gambar 3.5 Gerakan tanah lateral

3.3.3 Catat P_u/C_u

Setelah kondisi-kondisi tersebut dimodelkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *calculation*. Dari *Calculation* tersebut akan dihasilkan *output* yang berupa tegangan normal dan tegangan geser untuk tiap-tiap interface. Hasil tersebut diolah dengan menggunakan microsoft excel untuk mencari besarnya tekanan tanah lateral ultimate (P_u) untuk masing-masing interface dan variasi prescribed displacement. Lalu menyajikannya dalam bentuk grafik. Grafik ini menggambarkan tekanan tanah lateral (P_u/c_u) Vs Tiang.

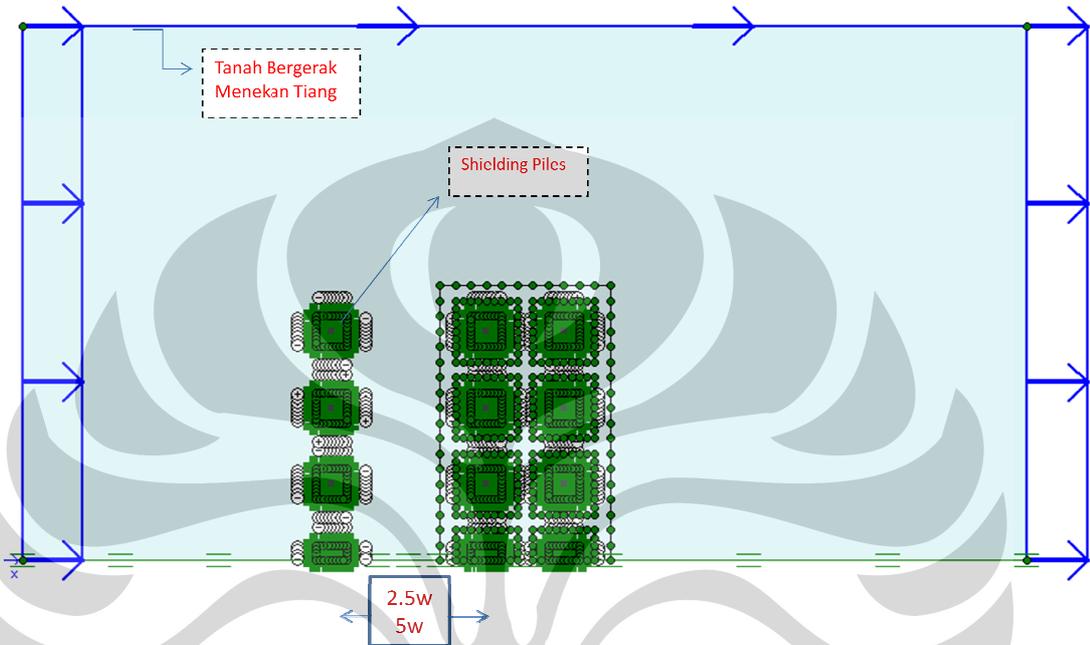
3.3.4 Tambahkan Shielding Piles

Setelah selesai menjalankan permodelan di atas, penulis menambahkan *shielding piles* untuk melihat sebesar apa pengaruh *shielding piles* tersebut terhadap besar tekanan tanah lateral ultimate. Untuk itu pada permodelan tersebut penulis menambahkan *shielding piles* yang properties tiangnya sama dengan tiang eksisting, tetapi memiliki dimensi yang berbeda (gambar 3.6). Tiang-tiang berdimensi 1m x 1m, sedangkan diameter *shielding piles* divariasikan dengan variasi 50%w dan 100%w di mana w adalah lebar tiang. Pada penelitian ini, penulis menggunakan variasi jarak *shielding piles* terhadap *adjacent piles* dengan tujuan mencari jarak efektif untuk meminimalisasi efek tekanan tanah laterak terhadap *adjacent piles*.



Gambar 3. 6 Permodelan dengan *shileding piles*

Sama seperti kasus sebelumnya yang mana menggambarkan kondisi dimana tiang dibebankan oleh gerakan tanah lateral (gambar 3.4), penulis menggunakan prescribed displacement untuk menggambarkan kondisi tersebut (Gambar 3.7). Setiap permodelan diberikan prescribed displacement sebesar 1.00 m.



Gambar 3.7 Gerakan tanah lateral

3.3.5 Catat Pu/Cu

Pada bagian ini, penulis melakukan langkah yang sama seperti langkah yang dilakukan pada permodelan tanpa shielding pile. Setelah kondisi-kondisi tersebut dimodelkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *calculation*. Dari *calculation* tersebut akan dihasilkan *output* yang berupa tegangan normal dan tegangan geser untuk tiap-tiap interface. Hasil tersebut diolah dengan menggunakan microsoft excel untuk mencari besarnya tekanan tanah lateral ultimate (P_u) untuk masing-masing interface, variasi prescribed displacement, dan jarak shielding pile terhadap adjacent piles. Lalu menyajikannya dalam bentuk grafik. Grafik ini menggambarkan tekanan tanah lateral (P_u/c_u) Vs Tiang.

3.3.6 Bandingkan Pu/Cu Sebelum dan Sesudah Pemberian *Shielding Piles*

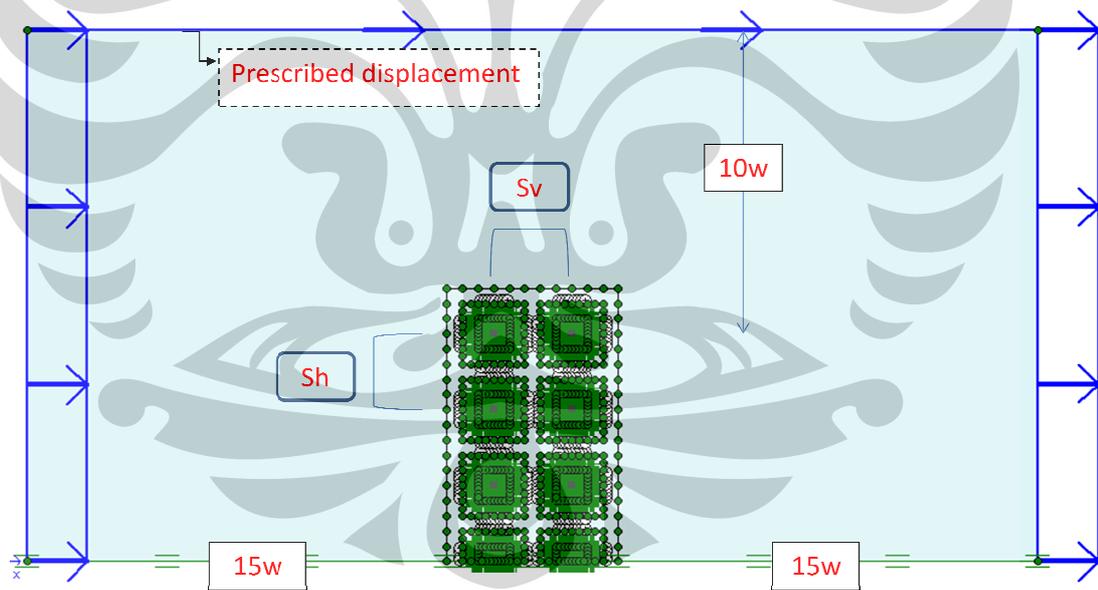
Pada bagian ini, penulis sudah mendapatkan nilai-nilai tekanan tanah lateral ultimate (Pu/Cu) untuk kondisi baik permodelan tanpa *shielding piles* maupun permodelan dengan *shielding piles*. Langkah selanjutnya adalah membandingkan grafik untuk masing-masing kondisi.



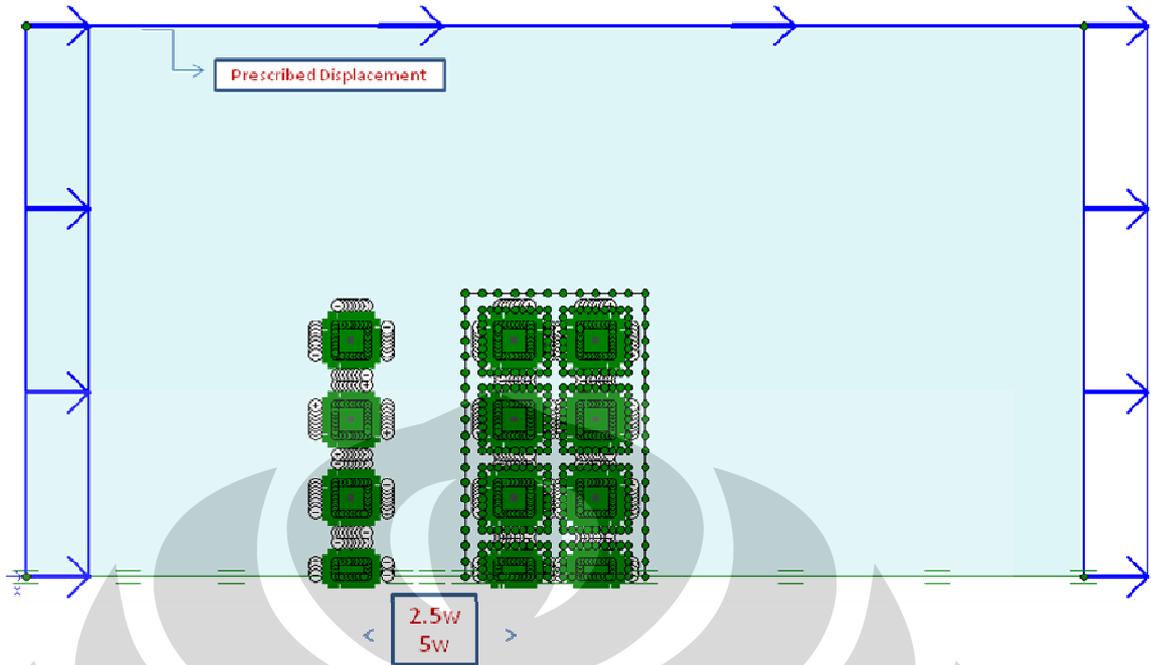
BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini diuraikan permodelan secara detail yang penulis jadikan sebagai model acuan untuk dapat dianalisa nantinya. Pada permodelan ini peneliti menggunakan single pile dan group pile. Variasi group pile adalah 2x1, 2x3, 2x5, dan 2x7. Permodelan yang dilakukan pada penelitian ini akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa pengaruh *shielding piles* terhadap reduksi tekanan ultimate tanah lateral (p_u/c_u). Dalam penelitian ini peneliti melakukan beberapa variasi yaitu variasi group pile, variasi spasi antar tiang di dalam group, dan variasi jarak pemberian *shielding piles* terhadap tiang.



Gambar 4.1 Permodelan tanpa *Shielding Piles*



Gambar 4.2 Permodelan dengan *Shielding Piles*



Gambar 4.3 Penamaan Tiang

4.2 Hasil Dan Analisis Permodelan Tanpa *Shielding Piles*

Permodelan pertama yang dilakukan oleh peneliti adalah melihat pengaruh jumlah tiang dalam group terhadap tekanan ultimate tanah lateral (p_u/cu). Masing-masing permodelan tersebut dilengkapi dengan variasi spasi antar tiang yaitu spasi horizontal (S_h) dan spasi vertikal (S_v). Spasi horizontal (S_h) merupakan spasi yang tegak lurus dengan arah pergerakan tanah, sedangkan spasi vertikal (S_v) merupakan spasi yang sejajar dengan arah pergerakan tanah. Variasi yang dilakukan tersebut berhubungan dengan dimensi atau ukuran dari tiang yang disebut dengan “ w ”. Variasi-variasi tersebut adalah $S_h=2.5w; S_v=2.5w$, $S_h=2.5w; S_v=4w$, $S_h=4w; S_v=2.5w$, $S_h=4w; S_v=4w$. Semua hasil permodelan akan dibandingkan dengan masing-

masing kondisi dan juga dengan tekanan ultimate tanah lateral (pu/cu) pada single pile yaitu 11.25.

Berikut hasil tekanan ultimate tanah lateral (pu/cu) untuk tiap spasi.

1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

Tabel 4. 1 Pu/Cu tanpa *shielding piles*, $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$

• 2x1 $Sh=-; Sv=2.5w$			• 2x3		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x1	13.17	6.93	2x3	12.44	10.21
	Mean	10.05		12.45	10.58
				12.44	10.4
		Mean		11.42	
• 2x5			• 2x7		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x5	12.42	10.38	2x7	12.38	10.28
	12.31	10.87		12.37	10.83
	11.98	10.65		12.3	10.74
	12.23	10.64		12.02	10.77
	Mean	11.44		12.27	10.65
		Mean		11.46	

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ nilai pu/cu terbesar terletak di daerah near pile, yang mana terdapat perbedaan rata-rata antara near pile dan far pile sebesar 13%-16%. Jika dibandingkan dengan pu/cu dari single pile terlihat bahwa pu/cu untuk near pile lebih besar dari single pile tetapi pu/cu far pile lebih kecil dari single pile. Jika dilihat berdasarkan jumlah tiang, ukuran tiang 2x1 memiliki pu/cu yang lebih kecil, sedangkan untuk ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7 tidak terdapat perbedaan berarti pada pu/cu.

2. $Sh=2.5w; Sv=4w$

Tabel 4.2 Pu/Cu tanpa *shielding piles*, $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$

• 2x1 $Sh=-; Sv=4w$			• 2x3		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x1	14.34	9.38	2x3	13.75	13.28
	Mean	11.86		13.9	13.88
				13.83	13.58
		Mean		13.7	
• 2x5			• 2x7		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x5	13.73	13.43	2x7	13.72	13.72
	14.05	14.14		14.15	14.2
	13.7	14.13		14.06	14.24
	13.83	13.91		13.59	14.14
	Mean	13.87		13.88	14.08
		Mean		13.98	

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ tidak terdapat perbedaan pu/cu yang berarti antara near pile dan far pile. Jika dibandingkan dengan pu/cu dari single pile terlihat bahwa pu/cu untuk baik near pile maupun far pile lebih besar dari single pile. Jika dilihat berdasarkan jumlah tiang, ukuran tiang 2x1 memiliki pu/cu yang lebih kecil, sedangkan untuk ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7 tidak terdapat perbedaan berarti pada pu/cu.

3. $Sh=4w; Sv=2.5w$ **Tabel 4.3** Pu/Cu tanpa *shielding piles*, $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$

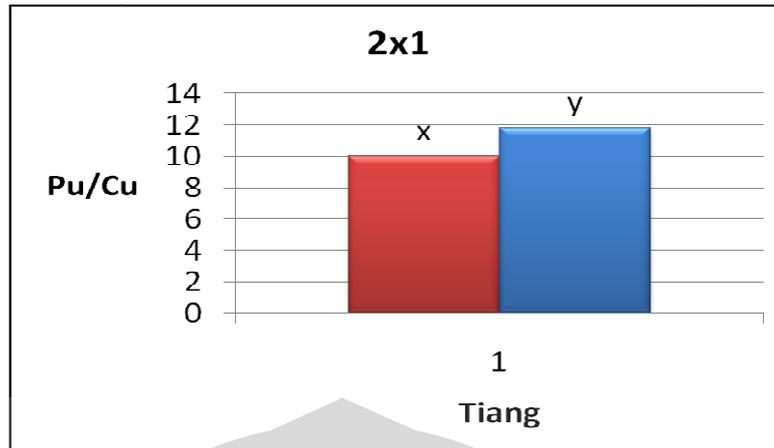
• 2x1 $Sh=-; Sv=2.5w$			• 2x3		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x1	13.17	6.93	2x3	12.08	9.95
	Mean	10.05		11.17	9.78
				11.62	9.87
		Mean		10.75	
• 2x5			• 2x7		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x5	12.17	10.2	2x7	12.26	10.14
	11.14	9.85		11.24	10.1
	11.3	10.08		11.28	10.02
	11.53	10.02		11.22	9.97
	Mean	10.78		11.5	10.06
		Mean		10.78	

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ nilai pu/cu terbesar terletak di daerah near pile, yang mana terdapat perbedaan rata-rata antara near pile dan far pile sebesar 12%-15%. Jika dibandingkan dengan pu/cu dari single pile terlihat bahwa pu/cu untuk near pile hampir sama dengan single pile tetapi pu/cu far pile lebih kecil dari single pile. Jika dilihat berdasarkan jumlah tiang, ukuran tiang 2x1 memiliki pu/cu yang lebih kecil, sedangkan untuk ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7 tidak terdapat perbedaan yang berarti pada pu/cu.

4. $Sh=4w; Sv=4w$ **Tabel 4.4** Pu/Cu tanpa *shielding piles*, $Sh=4w$ dan $Sv=4w$

• 2x1 $Sh=-; Sv=4w$			• 2x3		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x1	14.34	9.38	2x3	13.47	12.32
	Mean	11.86		12.91	12.14
				13.19	12.23
		Mean		12.71	
• 2x5			• 2x7		
Pile	pu/cu		Pile	pu/cu	
2x5	13.5	12.82	2x7	13.58	12.89
	12.77	12.27		12.79	12.61
	12.67	12.54		12.77	12.52
	12.98	12.54		12.52	12.59
	Mean	12.76		12.9	12.65
		Mean		12.78	

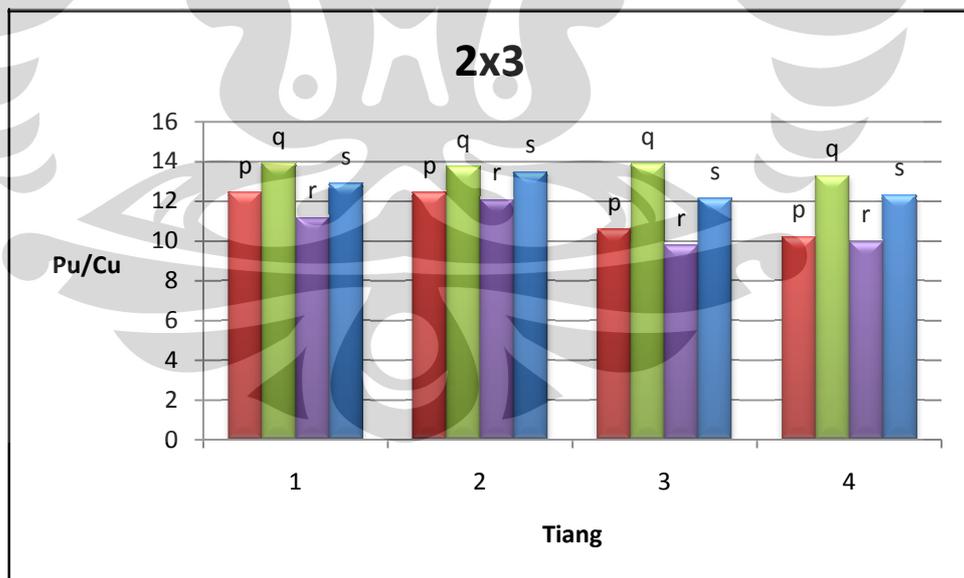
Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ tidak terdapat perbedaan pu/cu antara near pile dan far pile. Jika dibandingkan dengan pu/cu dari single pile terlihat bahwa pu/cu untuk baik near pile maupun far pile lebih besar dari single pile. Jika dilihat berdasarkan jumlah tiang, ukuran tiang 2x1 memiliki pu/cu yang lebih kecil, sedangkan untuk ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7 tidak terdapat perbedaan berarti pada pu/cu.



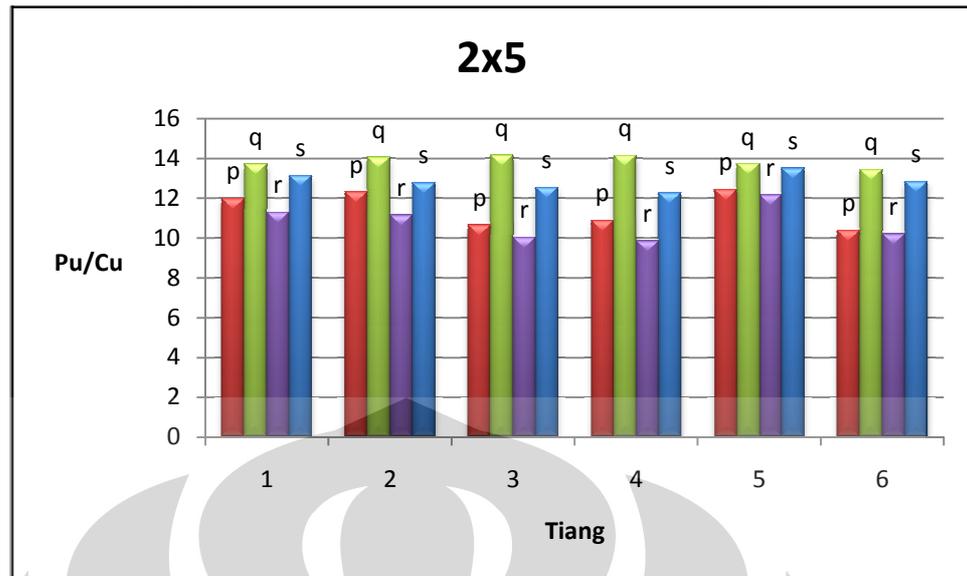
Keterangan: x = $Sh = - ; Sv = 2.5w$
 y = $Sh = - ; Sv = 4w$

Gambar 4.4 Tanpa Shielding Piles, 2x1

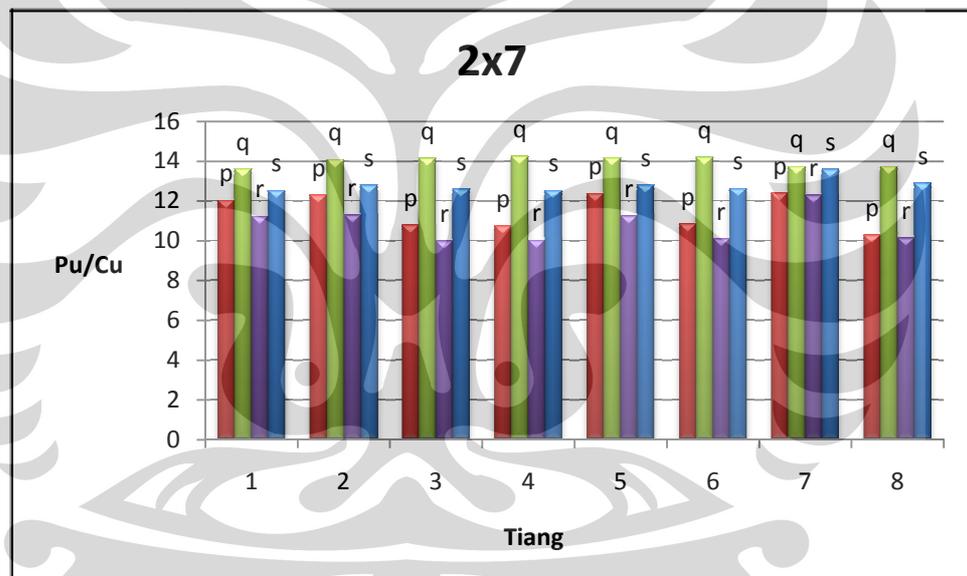
Grafik di atas menggambarkan nilai Pu/Cu untuk tiang 2x1 untuk kondisi $Sv = 2.5w$ dan $Sv = 4w$. Dapat dilihat bahwa jika nilai Sv diperbesar maka nilai Pu/Cu juga akan meningkat. Sebaliknya jika nilai Sv diperkecil maka nilai Pu/Cu semakin kecil.



(a) 2x3



(b) 2x5



Keterangan: p = $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$
 q = $Sh=2.5w$; $Sv=4w$
 r = $Sh=4w$; $Sv=2.5w$
 s = $Sh=4w$; $Sv=4w$

(c) 2x7

Gambar 4.5 Tanpa Shielding Piles; (a) 2x3, (b) 2x5, (c) 2x7

Dari empat variasi tiang yang dilakukan pada group pile dengan ukuran 2x1, 2x3, 2x5, dan 2x7, terlihat bahwa tidak ada efek ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7 terhadap pengurangan nilai pu/cu. Spasi optimum

adalah spasi dengan variasi $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ karena pada spasi ini diperoleh nilai pu/cu terkecil yaitu 10.7.

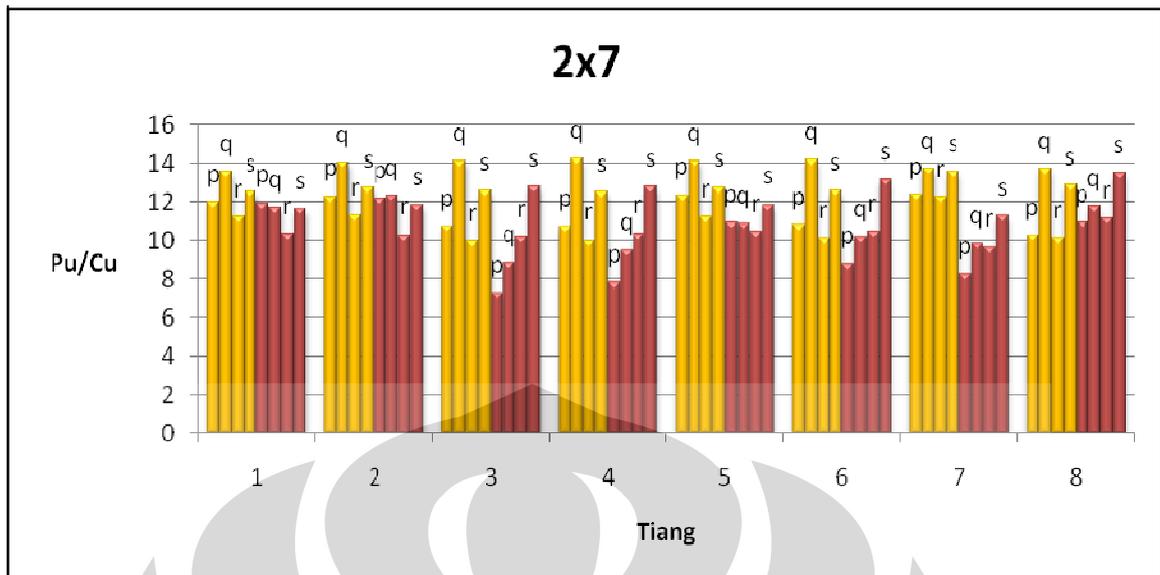
4.3 Permodelan Dengan Shielding Piles

Setelah memodelkan tiang dengan berbagai ukuran tiang, peneliti menggunakan tambahan *shielding piles* dengan variasi ukuran dan jaraknya terhadap tiang. Variasi ukuran shielding piles yaitu $100\%w$ dan $50\%w$ dimana w adalah lebar tiang. *Shielding piles* diletakkan di depan tiang dengan variasi jarak $2.5w$ dan $5w$.

4.3.1 Jarak pemberian Shielding Piles $5w$ dengan ukuran $100\%w$

Tabel 4.5 Pu/Cu dengan shielding pile $5w$ dari tiang, ukuran $100\%w$

<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.25</td> <td>10.94</td> </tr> <tr> <td>10.98</td> <td>8.84</td> </tr> <tr> <td>12.18</td> <td>7.82</td> </tr> <tr> <td>11.96</td> <td>7.31</td> </tr> <tr> <td>10.84</td> <td>8.73</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>9.79</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		8.25	10.94	10.98	8.84	12.18	7.82	11.96	7.31	10.84	8.73	Mean	9.79	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.82</td> <td>11.78</td> </tr> <tr> <td>10.88</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>12.36</td> <td>9.49</td> </tr> <tr> <td>11.74</td> <td>8.89</td> </tr> <tr> <td>11.2</td> <td>10.1</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>10.65</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		9.82	11.78	10.88	10.2	12.36	9.49	11.74	8.89	11.2	10.1	Mean	10.65
pu/cu																													
8.25	10.94																												
10.98	8.84																												
12.18	7.82																												
11.96	7.31																												
10.84	8.73																												
Mean	9.79																												
pu/cu																													
9.82	11.78																												
10.88	10.2																												
12.36	9.49																												
11.74	8.89																												
11.2	10.1																												
Mean	10.65																												
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.68</td> <td>11.16</td> </tr> <tr> <td>10.49</td> <td>10.48</td> </tr> <tr> <td>10.3</td> <td>10.37</td> </tr> <tr> <td>10.32</td> <td>10.21</td> </tr> <tr> <td>10.2</td> <td>10.56</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>10.38</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		9.68	11.16	10.49	10.48	10.3	10.37	10.32	10.21	10.2	10.56	Mean	10.38	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.28</td> <td>13.49</td> </tr> <tr> <td>11.89</td> <td>13.18</td> </tr> <tr> <td>11.88</td> <td>12.79</td> </tr> <tr> <td>11.65</td> <td>12.84</td> </tr> <tr> <td>11.67</td> <td>13.08</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>12.38</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		11.28	13.49	11.89	13.18	11.88	12.79	11.65	12.84	11.67	13.08	Mean	12.38
pu/cu																													
9.68	11.16																												
10.49	10.48																												
10.3	10.37																												
10.32	10.21																												
10.2	10.56																												
Mean	10.38																												
pu/cu																													
11.28	13.49																												
11.89	13.18																												
11.88	12.79																												
11.65	12.84																												
11.67	13.08																												
Mean	12.38																												



Keterangan: p = $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$
 q = $Sh=2.5w$; $Sv=4w$
 r = $Sh=4w$; $Sv=2.5w$
 s = $Sh=4w$; $Sv=4w$

Tanpa Shielding Piles
 Shielding Piles, 5w, 100% w

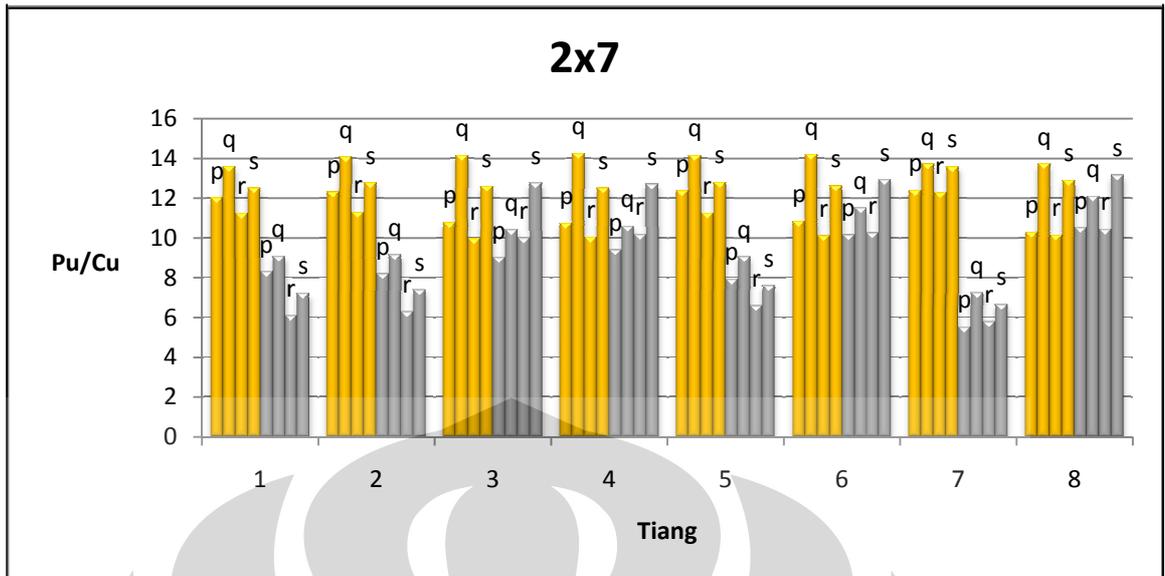
Gambar 4.6 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 5w dan 100%w

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk jarak pemberian *Shielding Piles* 5w dengan ukuran 100%w untuk $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$ dan $Sh=2.5w$; $Sv=4w$, nilai pu/cu terbesar terletak di daerah near pile, yang mana terdapat perbedaan rata-rata antara near pile dan far pile sebesar 19.5% dan 9.8%. Untuk spasi $Sh=4w$; $Sv=2.5w$, nilai pu/cu untuk near pile maupun rear pile hampir tidak terdapat perbedaan. Sedangkan untuk $Sh=4w$; $Sv=4w$, nilai pu/cu near pile lebih kecil dari pada far pile, nilai pu/cu rata-rata antara near pile dan far pile pada spasi ini sebesar 10.78%.

4.3.2 Jarak pemberian Shielding Piles 2.5w dengan ukuran 100%w

Tabel 4.6 Pu/Cu dengan shielding pile 2.5w dari tiang, ukuran 100%w

<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.52</td> <td>10.52</td> </tr> <tr> <td>7.92</td> <td>10.16</td> </tr> <tr> <td>8.2</td> <td>9.4</td> </tr> <tr> <td>8.3</td> <td>9.02</td> </tr> <tr> <td>7.48</td> <td>9.77</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>8.63</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		5.52	10.52	7.92	10.16	8.2	9.4	8.3	9.02	7.48	9.77	Mean	8.63	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.254765</td> <td>12.1</td> </tr> <tr> <td>9.06</td> <td>11.52</td> </tr> <tr> <td>9.16</td> <td>10.59</td> </tr> <tr> <td>9.07</td> <td>10.41</td> </tr> <tr> <td>8.63</td> <td>11.15</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>9.89</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		7.254765	12.1	9.06	11.52	9.16	10.59	9.07	10.41	8.63	11.15	Mean	9.89
pu/cu																													
5.52	10.52																												
7.92	10.16																												
8.2	9.4																												
8.3	9.02																												
7.48	9.77																												
Mean	8.63																												
pu/cu																													
7.254765	12.1																												
9.06	11.52																												
9.16	10.59																												
9.07	10.41																												
8.63	11.15																												
Mean	9.89																												
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.8</td> <td>10.44</td> </tr> <tr> <td>6.6</td> <td>10.25</td> </tr> <tr> <td>6.29</td> <td>10.18</td> </tr> <tr> <td>6.11</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>6.2</td> <td>10.21</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>8.21</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		5.8	10.44	6.6	10.25	6.29	10.18	6.11	10	6.2	10.21	Mean	8.21	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.66</td> <td>13.15</td> </tr> <tr> <td>7.61</td> <td>12.93</td> </tr> <tr> <td>7.39</td> <td>12.71</td> </tr> <tr> <td>7.21</td> <td>12.77</td> </tr> <tr> <td>7.22</td> <td>12.89</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>10.05</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		6.66	13.15	7.61	12.93	7.39	12.71	7.21	12.77	7.22	12.89	Mean	10.05
pu/cu																													
5.8	10.44																												
6.6	10.25																												
6.29	10.18																												
6.11	10																												
6.2	10.21																												
Mean	8.21																												
pu/cu																													
6.66	13.15																												
7.61	12.93																												
7.39	12.71																												
7.21	12.77																												
7.22	12.89																												
Mean	10.05																												



Keterangan: p = $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$

q = $Sh=2.5w$; $Sv=4w$

r = $Sh=4w$; $Sv=2.5w$

s = $Sh=4w$; $Sv=4w$



Tanpa Shielding Piles

Shielding Piles, 2.5w, 100%w

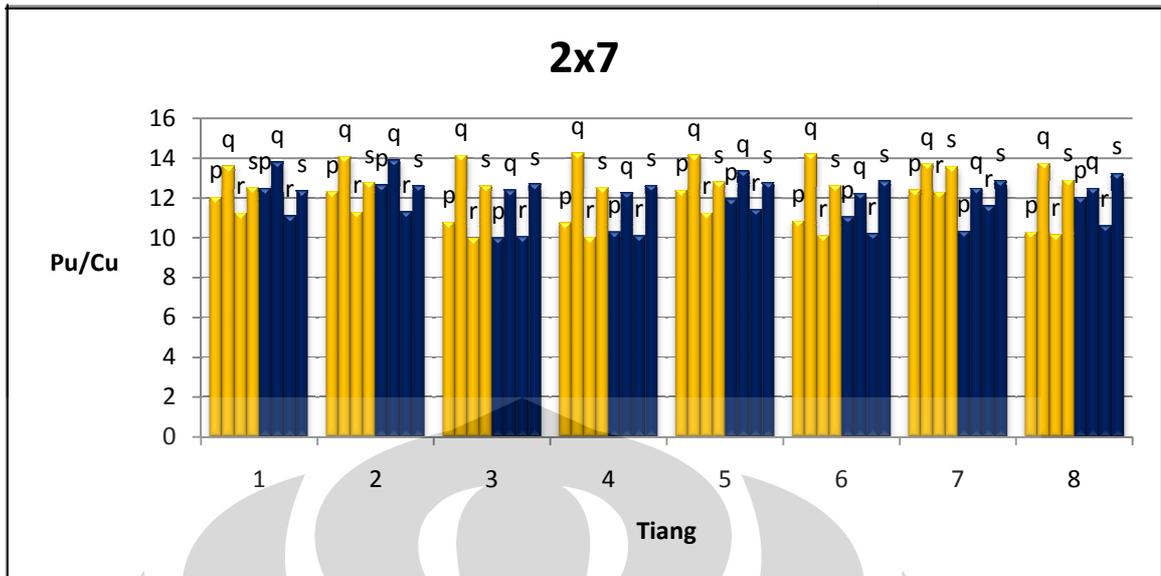
Gambar 4.7 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 2.5w dan 100%w

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk jarak pemberian *Shielding Piles* 2.5w dengan ukuran 100%w untuk semua variasi spasi, nilai pu/cu terkecil terdapat pada variasi $Sh=4w$; $Sv=2.5w$ dengan nilai 8.21.

4.3.3 Jarak pemberian Shielding Piles 5w dengan ukuran 50%w

Tabel 4.7 Pu/Cu dengan shielding piles 5w dari tiang, ukuran 50%w

<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.32</td> <td>12.02</td> </tr> <tr> <td>11.94</td> <td>11.04</td> </tr> <tr> <td>12.65</td> <td>10.29</td> </tr> <tr> <td>12.47</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>11.84</td> <td>10.84</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.34</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		10.32	12.02	11.94	11.04	12.65	10.29	12.47	10	11.84	10.84	Mean	11.34	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.49</td> <td>12.48</td> </tr> <tr> <td>13.35</td> <td>12.23</td> </tr> <tr> <td>13.9</td> <td>12.25</td> </tr> <tr> <td>13.8</td> <td>12.39</td> </tr> <tr> <td>13.38</td> <td>12.34</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>12.86</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		12.49	12.48	13.35	12.23	13.9	12.25	13.8	12.39	13.38	12.34	Mean	12.86
pu/cu																													
10.32	12.02																												
11.94	11.04																												
12.65	10.29																												
12.47	10																												
11.84	10.84																												
Mean	11.34																												
pu/cu																													
12.49	12.48																												
13.35	12.23																												
13.9	12.25																												
13.8	12.39																												
13.38	12.34																												
Mean	12.86																												
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.58</td> <td>10.59</td> </tr> <tr> <td>11.41</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>11.3</td> <td>10.09</td> </tr> <tr> <td>11.1</td> <td>10.05</td> </tr> <tr> <td>11.35</td> <td>10.24</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>10.79</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		11.58	10.59	11.41	10.2	11.3	10.09	11.1	10.05	11.35	10.24	Mean	10.79	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.87</td> <td>13.21</td> </tr> <tr> <td>12.77</td> <td>12.84</td> </tr> <tr> <td>12.61</td> <td>12.63</td> </tr> <tr> <td>12.36</td> <td>12.71</td> </tr> <tr> <td>12.65</td> <td>12.85</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>12.75</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		12.87	13.21	12.77	12.84	12.61	12.63	12.36	12.71	12.65	12.85	Mean	12.75
pu/cu																													
11.58	10.59																												
11.41	10.2																												
11.3	10.09																												
11.1	10.05																												
11.35	10.24																												
Mean	10.79																												
pu/cu																													
12.87	13.21																												
12.77	12.84																												
12.61	12.63																												
12.36	12.71																												
12.65	12.85																												
Mean	12.75																												



Keterangan: p = $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$
 q = $Sh=2.5w$; $Sv=4w$
 r = $Sh=4w$; $Sv=2.5w$
 s = $Sh=4w$; $Sv=4w$



Tanpa Shielding Piles

Shielding Piles, 5w, 50%w

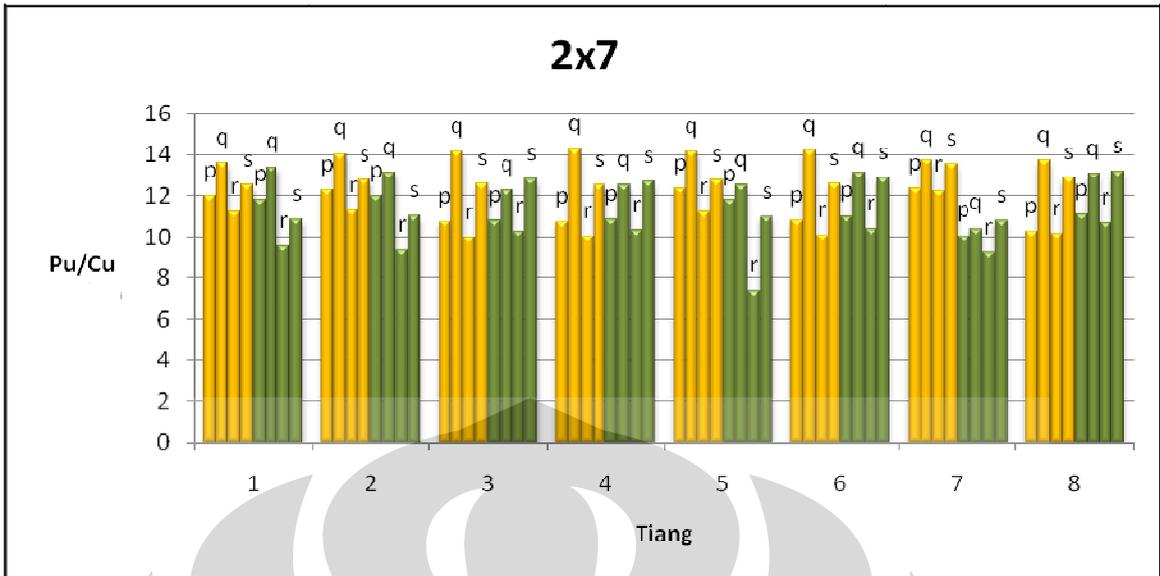
Gambar 4.8 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 5w dan 50%w

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk jarak pemberian *Shielding Piles* 5w dengan ukuran 50%w, nilai pu/cu terkecil terdapat pada variasi spasi $Sh=4w$; $Sv=2.5w$ dengan nilai 10.79.

4.3.4 Jarak pemberian Shielding Piles 2.5 w dengan ukuran 50%w

Tabel 4.8 Pu/Cu dengan shielding piles 2.5w dari tiang, ukuran 50%w

<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.07</td> <td>11.11</td> </tr> <tr> <td>11.82</td> <td>11.02</td> </tr> <tr> <td>11.99</td> <td>10.85</td> </tr> <tr> <td>11.82</td> <td>10.83</td> </tr> <tr> <td>11.42</td> <td>10.95</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.19</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		10.07	11.11	11.82	11.02	11.99	10.85	11.82	10.83	11.42	10.95	Mean	11.19	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.43</td> <td>13.06</td> </tr> <tr> <td>12.56</td> <td>13.14</td> </tr> <tr> <td>13.16</td> <td>12.53</td> </tr> <tr> <td>13.41</td> <td>12.29</td> </tr> <tr> <td>12.39</td> <td>12.76</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>12.57</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		10.43	13.06	12.56	13.14	13.16	12.53	13.41	12.29	12.39	12.76	Mean	12.57
pu/cu																													
10.07	11.11																												
11.82	11.02																												
11.99	10.85																												
11.82	10.83																												
11.42	10.95																												
Mean	11.19																												
pu/cu																													
10.43	13.06																												
12.56	13.14																												
13.16	12.53																												
13.41	12.29																												
12.39	12.76																												
Mean	12.57																												
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.26</td> <td>10.7</td> </tr> <tr> <td>7.4</td> <td>10.4</td> </tr> <tr> <td>9.37</td> <td>10.33</td> </tr> <tr> <td>9.58</td> <td>10.27</td> </tr> <tr> <td>8.91</td> <td>10.43</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>9.67</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		9.26	10.7	7.4	10.4	9.37	10.33	9.58	10.27	8.91	10.43	Mean	9.67	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.81</td> <td>13.19</td> </tr> <tr> <td>11.02</td> <td>12.92</td> </tr> <tr> <td>11.04</td> <td>12.72</td> </tr> <tr> <td>10.86</td> <td>12.82</td> </tr> <tr> <td>10.93</td> <td>12.91</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.92</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		10.81	13.19	11.02	12.92	11.04	12.72	10.86	12.82	10.93	12.91	Mean	11.92
pu/cu																													
9.26	10.7																												
7.4	10.4																												
9.37	10.33																												
9.58	10.27																												
8.91	10.43																												
Mean	9.67																												
pu/cu																													
10.81	13.19																												
11.02	12.92																												
11.04	12.72																												
10.86	12.82																												
10.93	12.91																												
Mean	11.92																												

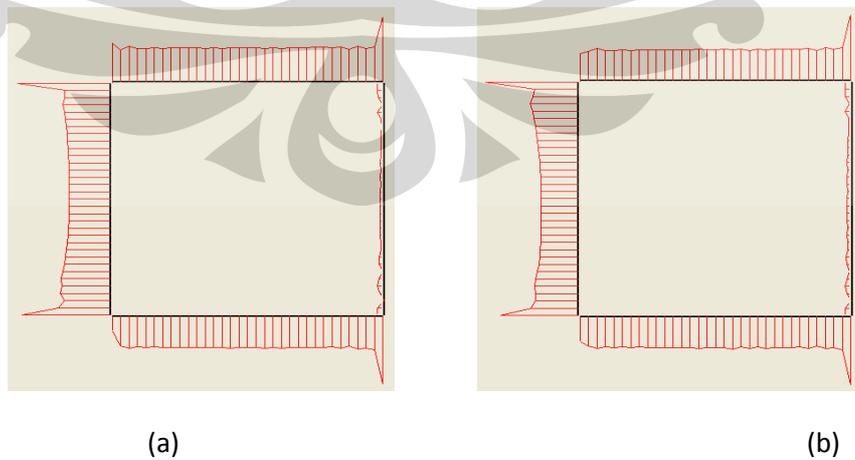


Keterangan: p = $Sh=2.5w; Sv=2.5w$
 q = $Sh=2.5w; Sv=4w$
 r = $Sh=4w; Sv=2.5w$
 s = $Sh=4w; Sv=4w$

 Tanpa Shielding Piles
 Shielding Piles, 2.5w, 50%w

Gambar 4.9 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 2.5w dan 50%w

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa untuk jarak pemberian *Shielding Piles* 2.5w dengan ukuran 50%w, terdapat pu/cu terkecil pada variasi spasi $Sh=4w; Sv=2.5w$ dengan nilai 9.67.



Gambar 4.10 Tegangan pada Tiang (a) Tanpa *Shielding Piles*, (b) Dengan *Shielding Piles*

Dari dari grafik dan gambar tegangan yang digambarkan pada tiang di atas, terlihat bahwa pemberian shielding pile di depan tiang akan menyebabkan Pu/Cu semakin kecil. Akan tetapi tegangan di belakang tiang (*far piles*) masih bersifat tarik sehingga menyebabkan penambahan nilai Pu/Cu.

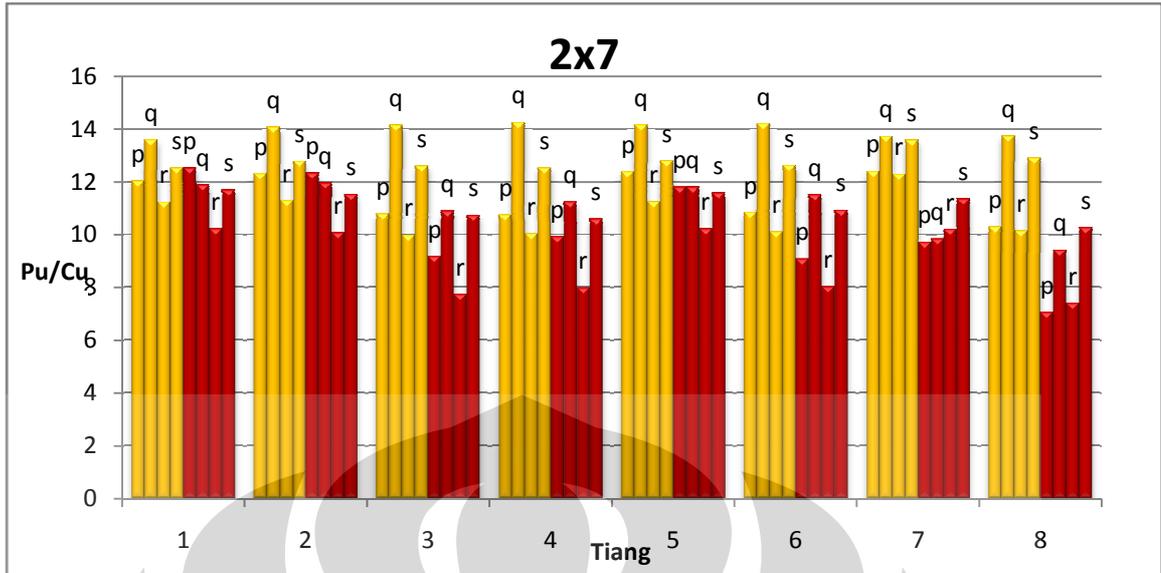
4.4 Permodelan Dengan Shielding Piles Di Depan Dan Di Belakang Tiang

Tiang Eksisting yang diberikan *Shielding Piles* dengan jarak 2.5w dari tiang eksisting. *Shielding piles* tersebut diletakkan di depan dan dibelakang tiang eksisting.

4.4.1 Ukuran Shieding Piles 50%w

Tabel 4.9 Pu/Cu dengan shielding piles depan dan belakang; ukuran 50%w

<ul style="list-style-type: none"> • Sh=2.5w dan Sv=2.5w <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.7</td> <td>7.05</td> </tr> <tr> <td>11.79</td> <td>9.07</td> </tr> <tr> <td>12.32</td> <td>9.92</td> </tr> <tr> <td>12.52</td> <td>9.17</td> </tr> <tr> <td>11.59</td> <td>8.8</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>10.19</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		9.7	7.05	11.79	9.07	12.32	9.92	12.52	9.17	11.59	8.8	Mean	10.19	<ul style="list-style-type: none"> • Sh=2.5w dan Sv=4w <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.83</td> <td>9.41</td> </tr> <tr> <td>11.79</td> <td>11.5</td> </tr> <tr> <td>11.95</td> <td>11.24</td> </tr> <tr> <td>11.87</td> <td>10.88</td> </tr> <tr> <td>11.36</td> <td>10.76</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.06</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		9.83	9.41	11.79	11.5	11.95	11.24	11.87	10.88	11.36	10.76	Mean	11.06
pu/cu																													
9.7	7.05																												
11.79	9.07																												
12.32	9.92																												
12.52	9.17																												
11.59	8.8																												
Mean	10.19																												
pu/cu																													
9.83	9.41																												
11.79	11.5																												
11.95	11.24																												
11.87	10.88																												
11.36	10.76																												
Mean	11.06																												
<ul style="list-style-type: none"> • Sh=4w dan Sv=2.5w <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.19</td> <td>7.38</td> </tr> <tr> <td>10.2</td> <td>8.01</td> </tr> <tr> <td>10.07</td> <td>7.98</td> </tr> <tr> <td>10.21</td> <td>7.73</td> </tr> <tr> <td>10.17</td> <td>7.78</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>8.97</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		10.19	7.38	10.2	8.01	10.07	7.98	10.21	7.73	10.17	7.78	Mean	8.97	<ul style="list-style-type: none"> • Sh=4w dan Sv=4w <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.35</td> <td>10.25</td> </tr> <tr> <td>11.58</td> <td>10.92</td> </tr> <tr> <td>11.52</td> <td>10.59</td> </tr> <tr> <td>11.69</td> <td>10.73</td> </tr> <tr> <td>11.53</td> <td>10.62</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.08</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		11.35	10.25	11.58	10.92	11.52	10.59	11.69	10.73	11.53	10.62	Mean	11.08
pu/cu																													
10.19	7.38																												
10.2	8.01																												
10.07	7.98																												
10.21	7.73																												
10.17	7.78																												
Mean	8.97																												
pu/cu																													
11.35	10.25																												
11.58	10.92																												
11.52	10.59																												
11.69	10.73																												
11.53	10.62																												
Mean	11.08																												



Keterangan: p = $Sh=2.5w$; $Sv=2.5w$

q = $Sh=2.5w$; $Sv=4w$

r = $Sh=4w$; $Sv=2.5w$

s = $Sh=4w$; $Sv=4w$



Tanpa Shielding Piles

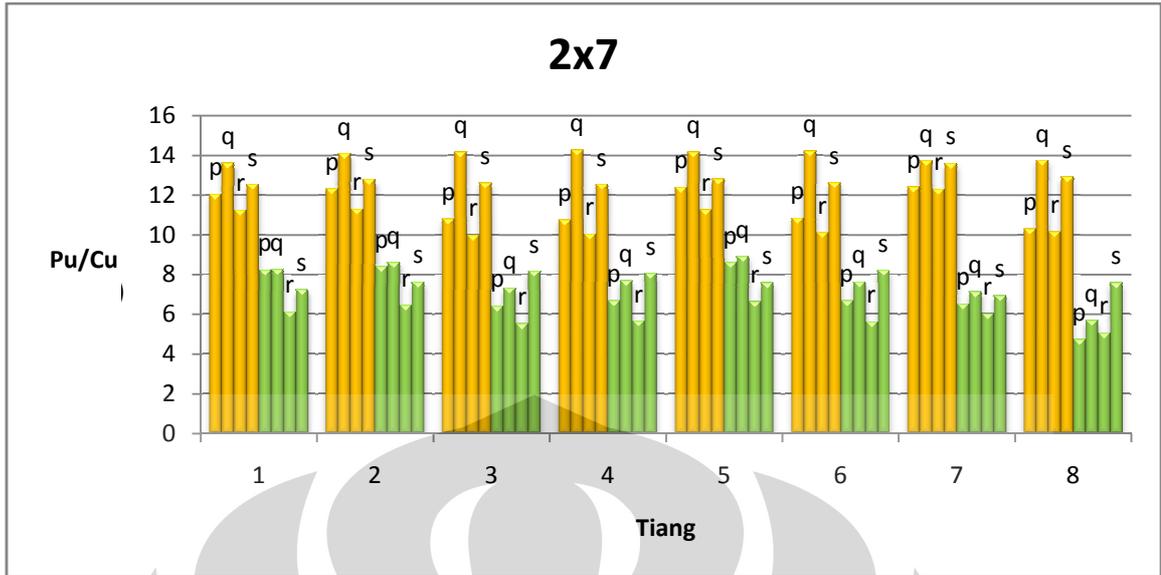
Shielding Piles, 2.5w, 50%w

Gambar 4.11 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 2.5w dan 50%w

4.4.2 Ukuran Shielding Piles 100%w

Tabel 4.10 Pu/Cu dengan *shielding piles* depan dan belakang; ukuran 100% w

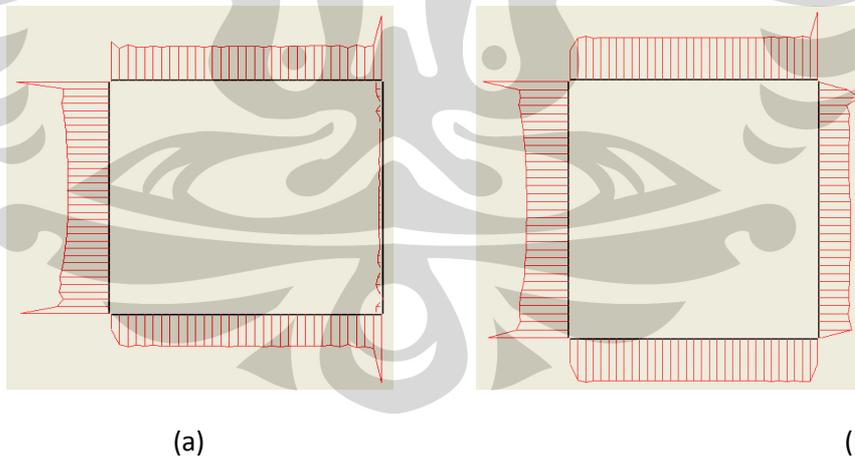
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.51</td> <td>4.72</td> </tr> <tr> <td>8.59</td> <td>6.67</td> </tr> <tr> <td>8.38</td> <td>6.67</td> </tr> <tr> <td>8.21</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>7.92</td> <td>6.11</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>7.02</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		6.51	4.72	8.59	6.67	8.38	6.67	8.21	6.4	7.92	6.11	Mean	7.02	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=2.5w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.11</td> <td>5.69</td> </tr> <tr> <td>8.9</td> <td>7.61</td> </tr> <tr> <td>8.59</td> <td>7.69</td> </tr> <tr> <td>8.24</td> <td>7.31</td> </tr> <tr> <td>8.21</td> <td>7.08</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>7.64</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		7.11	5.69	8.9	7.61	8.59	7.69	8.24	7.31	8.21	7.08	Mean	7.64
pu/cu																													
6.51	4.72																												
8.59	6.67																												
8.38	6.67																												
8.21	6.4																												
7.92	6.11																												
Mean	7.02																												
pu/cu																													
7.11	5.69																												
8.9	7.61																												
8.59	7.69																												
8.24	7.31																												
8.21	7.08																												
Mean	7.64																												
<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.01</td> <td>5.06</td> </tr> <tr> <td>6.62</td> <td>5.61</td> </tr> <tr> <td>6.45</td> <td>5.65</td> </tr> <tr> <td>6.11</td> <td>5.52</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>5.46</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>5.88</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		6.01	5.06	6.62	5.61	6.45	5.65	6.11	5.52	6.3	5.46	Mean	5.88	<ul style="list-style-type: none"> • $Sh=4w$ dan $Sv=4w$ <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">pu/cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.93</td> <td>7.56</td> </tr> <tr> <td>7.57</td> <td>8.21</td> </tr> <tr> <td>7.6</td> <td>8.05</td> </tr> <tr> <td>7.23</td> <td>8.16</td> </tr> <tr> <td>7.33</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>7.66</td> </tr> </tbody> </table>	pu/cu		6.93	7.56	7.57	8.21	7.6	8.05	7.23	8.16	7.33	8	Mean	7.66
pu/cu																													
6.01	5.06																												
6.62	5.61																												
6.45	5.65																												
6.11	5.52																												
6.3	5.46																												
Mean	5.88																												
pu/cu																													
6.93	7.56																												
7.57	8.21																												
7.6	8.05																												
7.23	8.16																												
7.33	8																												
Mean	7.66																												



Keterangan: p = $Sh=2.5w; Sv=2.5w$
 q = $Sh=2.5w; Sv=4w$
 r = $Sh=4w; Sv=2.5w$
 s = $Sh=4w; Sv=4w$

 Tanpa Shielding Piles
 Shielding Piles, 2.5w, 100%w

Gambar 4.12 Perbandingan model tanpa dan dengan *Shielding Piles*, 2.5w dan 100%w



Gambar 4.13 Tegangan pada Tiang (a) *Shielding Piles* di depan, (b) Dengan *Shielding Piles* di depan dan di belakang

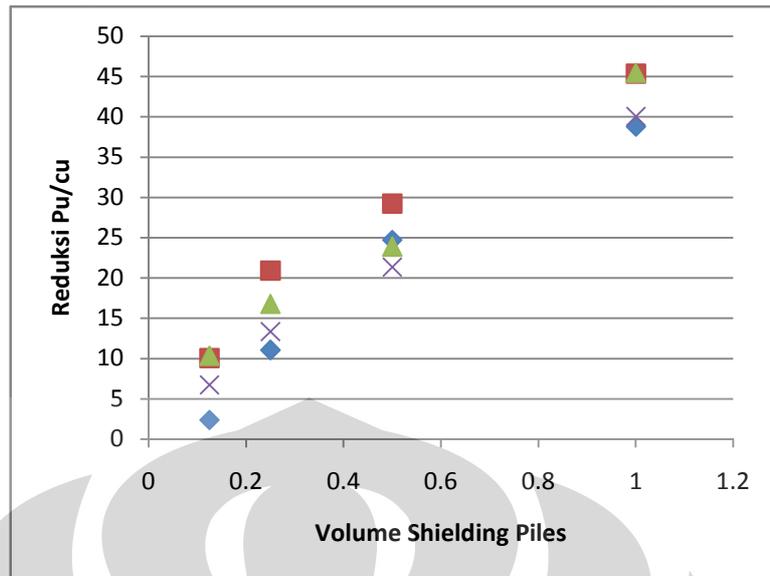
Dari gambar tegangan yang digambarkan pada tiang di atas, terlihat bahwa dengan pemberian *shielding piles* di depan dan di belakang tiang akan

menyebabkan tegangan di belakang tiang (*far piles*) akan bersifat tekan sehingga nilai P_u/C_u tiang akan berkurang.

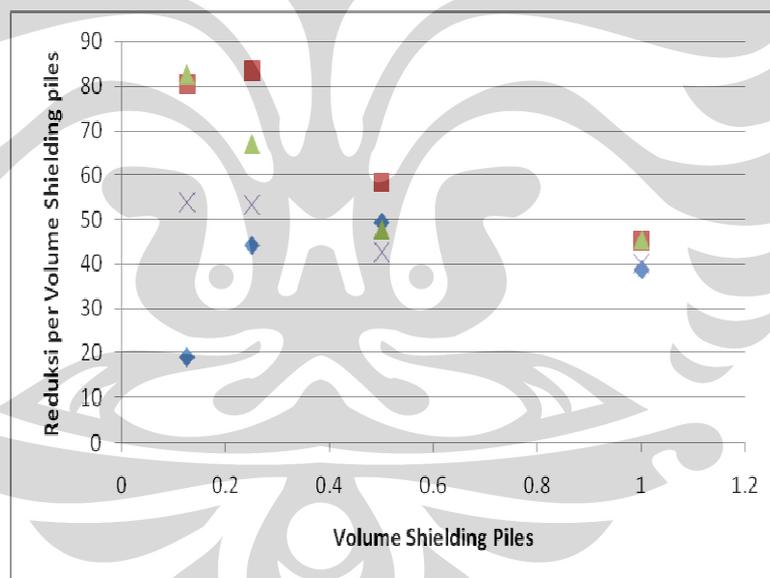
Jika dilihat dari tabel-tabel di atas, terlihat bahwa tiang eksisting yang diberikan *shielding piles* dengan ukuran $50\%w$, dimana w adalah lebar tiang eksisting, mengalami tekanan lateral ultimate (p_u/c_u) yang lebih besar ketimbang tiang eksisting yang diberikan *shielding piles* dengan ukuran $100\%w$. Kondisi efektif untuk kondisi *shielding piles* 50% dan 100% terjadi pada variasi spasi tiang eksisting $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$, dimana nilai p_u/c_u adalah 8.97 dan 5.15 , secara berturut-turut. Untuk kedua kasus ini, *near far* cenderung memiliki nilai p_u/c_u yang lebih besar dari *far pile*. Akan tetapi, tidak demikian pada spasi $S_h=2.5w$ dan $S_v=4w$ pada kondisi ukuran *shielding piles* 50% yang *near pile* dan *far pile* relatif sama besar dan $S_h=4w$ dan $S_v=4w$ pada kondisi ukuran *shielding pile* 100% yang *near far* lebih kecil dari pada *far pile*.

4.5 Efektifitas Shielding Piles

Jika diperhatikan dari hasil pengolahan data dan analisis pada bagian sebelumnya, terlihat jelas bahwa jarak pemberian *shielding piles* $2.5w$ dari tiang memberikan nilai reduksi p_u/c_u yang lebih besar dibandingkan dengan $5w$ dari tiang. Karena itu peneliti membuat grafik p_u/c_u vs volume *shielding piles* untuk jarak pemberian *shielding piles* $2.5w$ dari tiang. Hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh volume *shielding piles* jika dihubungkan dari biaya atau *cost*.



Gambar 4.14 Grafik Pu/Cu vs Volume Shielding Piles



Gambar 4.15 Grafik Reduksi/volume shielding piles Vs Volume Shielding Piles

Grafik pada gambar 4.14 menggambarkan pengaruh volume *shielding piles* pada pengurangan pu/cu. Jika kita perhatikan, semakin besar volume *shielding piles* maka semakin besar pula reduksi pu/cu. Kondisi efektif adalah pemberian *shielding piles* di depan dan di belakang tiang dengan jarak $2.5w$ dan ukuran 100%. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan volume

shielding piles yang besar agar terjadinya reduksi pu/cu yang semakin besar, sehingga menimbulkan biaya yang lebih besar. Akan tetapi jika dilihat dari segi reduksi pu/cu yang terjadi kondisi ini memberikan benefit yang besar.

Grafik pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa akan didapatkan kondisi efektif dari segi biaya jika penambahan *shielding piles* diberikan pada 2.5w dari tiang dengan ukuran 50%w dan 2.5w dari tiang di depan dan di belakang tiang dengan ukuran 50%w. Hal ini disebabkan pada kondisi ini terjadi benefit/cost ratio yang paling besar. Namun efek reduksi pu/cu yang terjadi kecil.

Dengan demikian terdapat perbedaan dari segi benefit untuk kedua kasus ini. Hal ini tergantung pada pilihan owner. Apabila owner mengejar keuntungan dari reduksi nilai pu/cu yang besar, maka sebaiknya mengikuti kondisi yang digambarkan pada grafik (Gambar 4.14), namun jika ingin memperoleh benefit/cost ratio saja bisa menggunakan kondisi yang digambarkan pada grafik (gambar 4.15).

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Untuk permodelan tanpa *shielding piles*, tidak terdapat efek ukuran group terhadap reduksi nilai p_u/c_u untuk setiap variasi spasi pada ukuran tiang 2x3, 2x5, dan 2x7.
2. Spasi optimum pada kondisi tanpa *shielding piles* adalah spasi dengan variasi $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$ karena pada spasi ini diperoleh nilai p_u/c_u terkecil yaitu 10.7.
3. Untuk permodelan tanpa *shielding piles* nilai p_u/c_u near pile dan far pile bervariasi untuk setiap variasi spasi
4. Penambahan *shielding piles* menimbulkan efek memperkecil nilai p_u/c_u .
5. Spasi optimum pada kondisi dengan *shielding piles* di depan tiang adalah $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$ karena pada spasi ini diperoleh nilai p_u/c_u terkecil
6. Pemberian *shielding piles* di depan tiang dengan jarak 2.5w dari tiang dengan ukuran 100% memiliki nilai p_u/c_u far pile lebih besar dari near pile dan nilai p_u/c_u terkecil terjadi pada variasi spasi $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$ yaitu sebesar 8.21.
7. Pemberian *shielding piles* di depan tiang eksisting dengan jarak 5w dari tiang dengan ukuran 50% memiliki nilai p_u/c_u terkecil pada variasi spasi $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$ yaitu sebesar 10.79. yang jika dibandingkan dengan single pile 11.25 memiliki reduksi rata-rata sebesar 4.1%
8. Pemberian *shielding piles* di depan tiang eksisting dengan jarak 2.5w dari tiang dengan ukuran 50% memiliki nilai p_u/c_u terkecil pada variasi spasi $S_h=4w$ dan $S_v=2.5w$ yaitu sebesar 9.67. yang jika dibandingkan dengan single pile 11.25 memiliki reduksi rata-rata sebesar 14.1%.
9. Penambahan pemberian *shielding piles* di depan dan di belakang tiang akan menyebabkan tegangan di belakang tiang (*far piles*) akan bersifat tekan sehingga nilai P_u/C_u tiang akan berkurang.
10. Tiang yang diberikan *shielding piles* di depan dan di belakang tiang dengan ukuran 50%, dimana w adalah lebar tiang, mengalami tekanan lateral

ultimate (pu/cu) yang lebih besar ketimbang tiang yang diberikan *shielding piles* dengan ukuran 100%w.

11. Kondisi efektif untuk kondisi *shielding piles* 50%w dan 100%w terjadi pada variasi spasi tiang eksisting $Sh=4w$ dan $Sv=2.5w$, dimana nilai pu/cu adalah 8.97 dan 5.88, secara berturut-turut.
12. Semakin besar ukuran *shielding piles*, maka semakin besar juga reduksi pu/cu.
13. Semakin dekat jarak *shielding piles*, maka semakin besar juga reduksi nilai pu/cu.
14. Pemilihan pemberian *shielding piles* tergantung pada pilihan owner, jika owner menginginkan kondisi dimana nilai pu/cu terkecil, maka berikan *shielding piles* dengan jarak 2,5w dari tiang yang diletakkan di depan dan di belakang tiang dan ukurannya 100%w. Namun , jika hanya menginginkan benefit/cost ratio saja cukup memilih kondisi di mana pemberian *shielding piles* berjarak 2.5w dari tiang yang diletakkan di depan dan/atau di belakang tiang dengan ukuran 50% w.

5.2 Saran

1. Pada konstruksi yang berdekatan dengan bangunan lain sebaiknya ditambahkan *shielding piles* untuk meminimalisasi efek tekanan tanah lateral.
2. Spasi optimum tiang yang berada pada tanah lunak adalah $Sh=4w$ dan $2.5w$. Hal ini bertujuan untuk meminimalisasi efek gerakan tanah horizontal.
3. Pemberian *Shielding Piles* sebaiknya ditempatkan di depan dan di belakang tiang yang akan dilindungi.
4. Pemilihan pemberian *shielding piles* sebaiknya tidak hanya memandang segi benefit/cost ratio saja, namun perlu juga memperhatikan besarnya reduksi pu/cu agar tercapai kondisi efektif baik dari segi ekonomi maupun kekuatan konstruksi yang akan dibangun.

DAFTAR REFERENSI

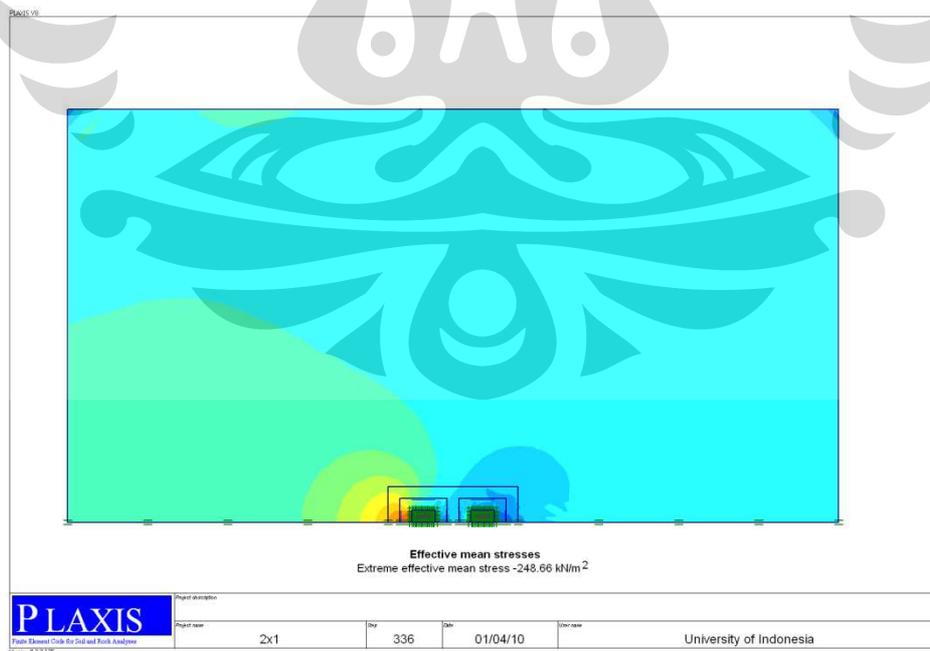
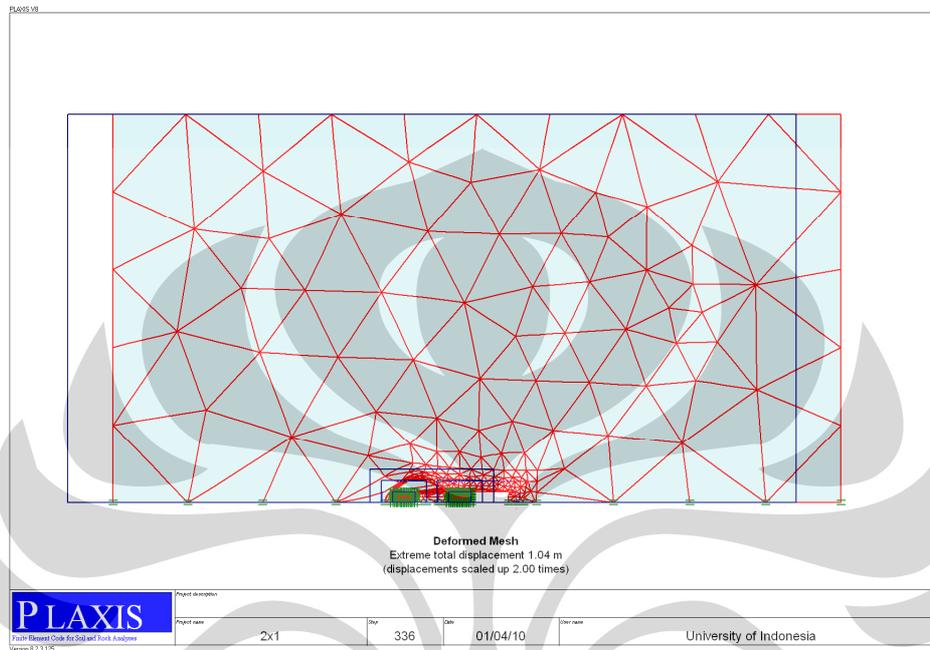
1. Robert D. Doltz, PHd, P.E and William D. Kovacs, PHd, P.E “An Introduction to Geotechnical Engineering”
2. Joseph E. Bowles, “ Foundation Analysis and Design”
3. Lymon C. Rees, “ Analysis and Design Of Shallow And Deep Foundation”.
Chen, “
4. Liefeng T. Chen, “The Effect Of Lateral Soil Movement On Pile Foundation”
5. F.R Craig Davis, “Soil mechanics, Fourth Edition”
6. <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/basic/soilbasi.htm#/MECHCRIT>
7. Materi kuliah metode numerik

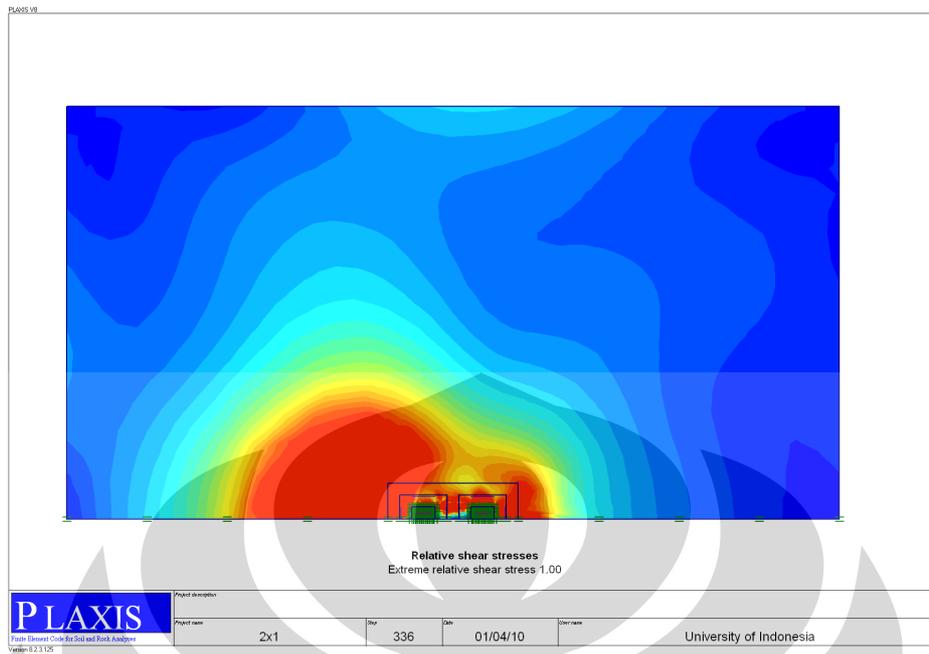


LAMPIRAN

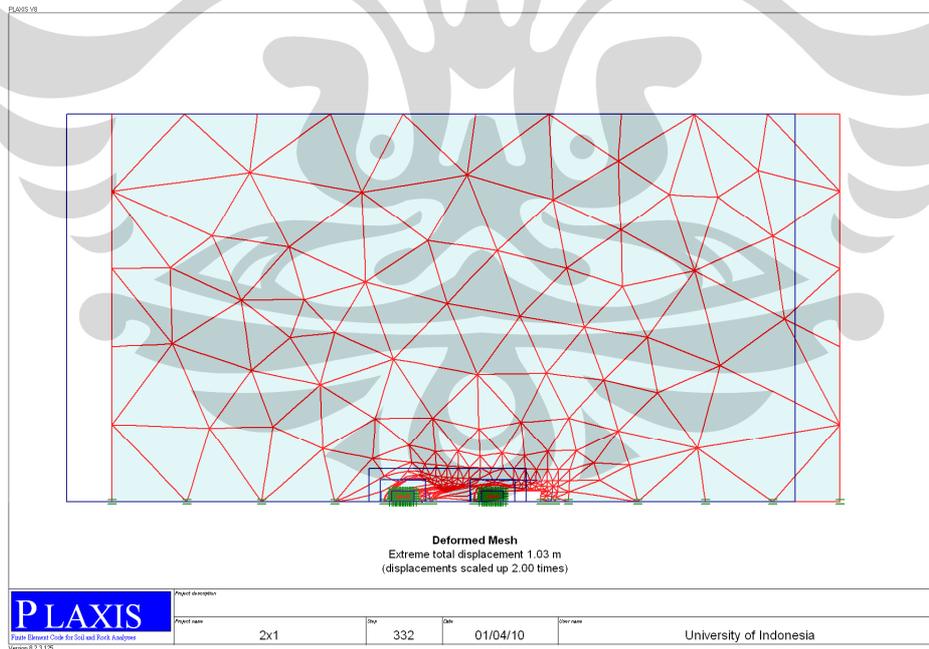
A. Permodelan Tanpa Shielding Piles

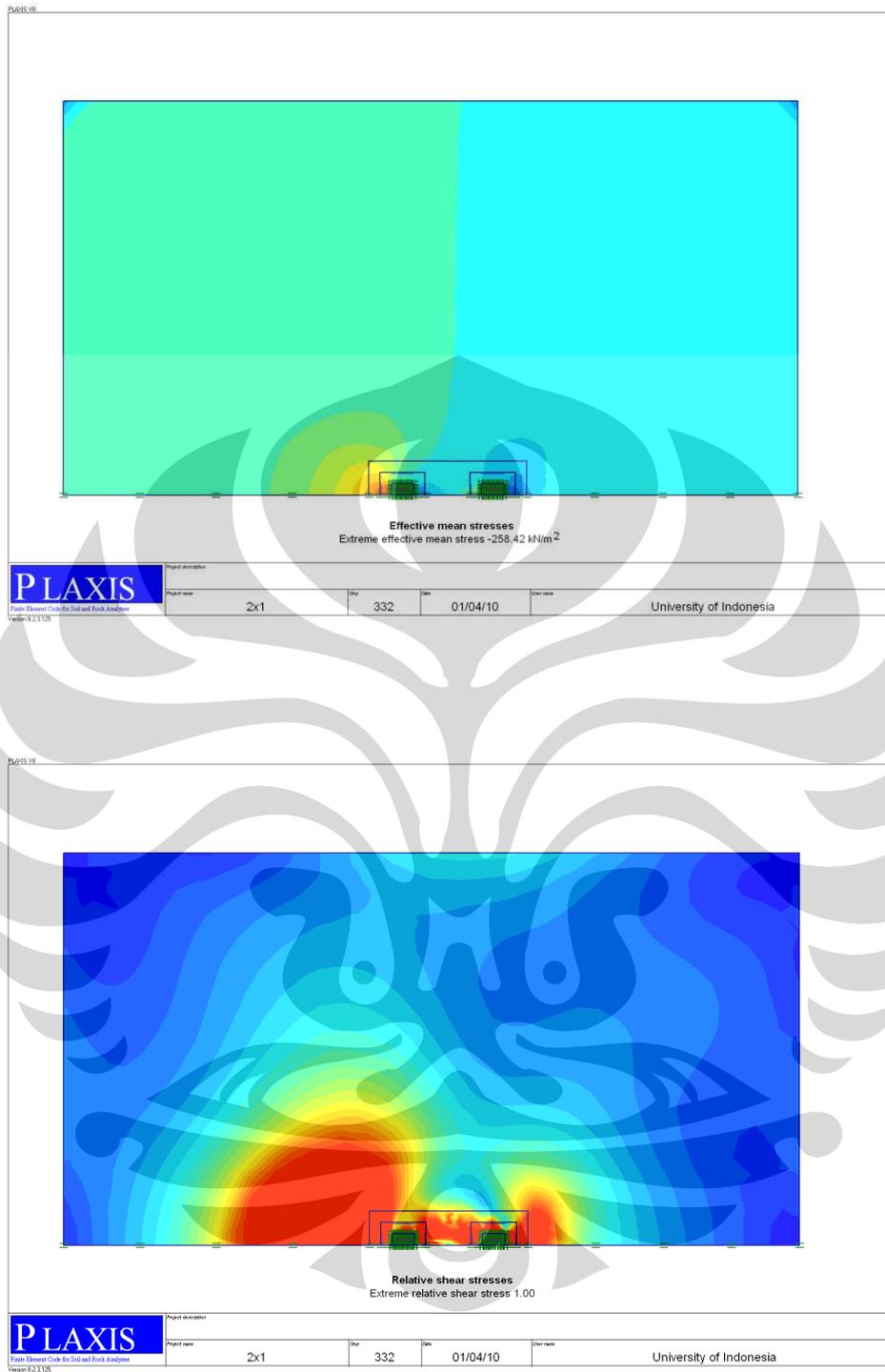
- 2X1
 1. $Sh=-;$ $Sv=2.5w$



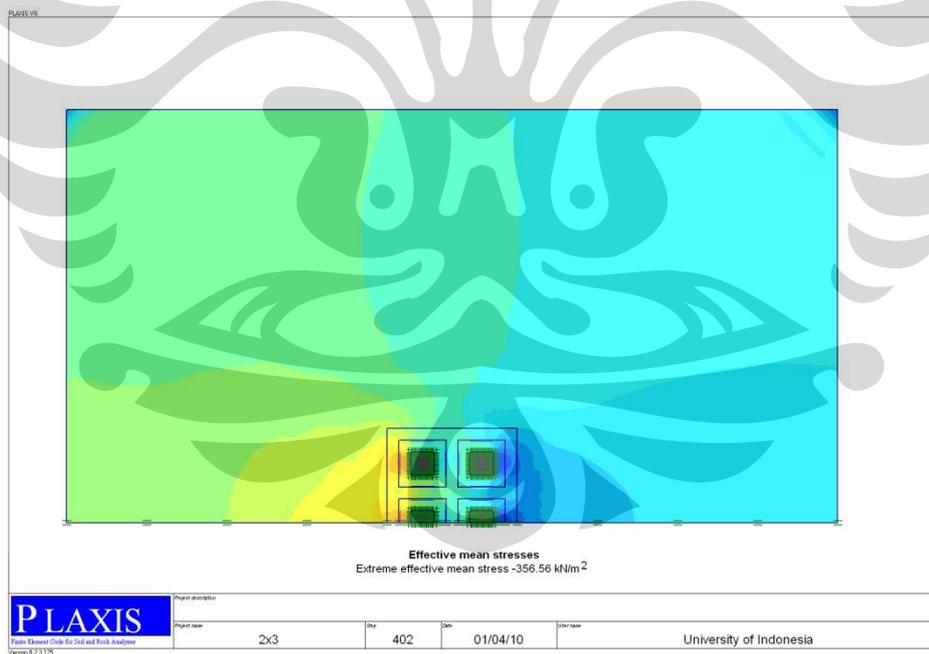
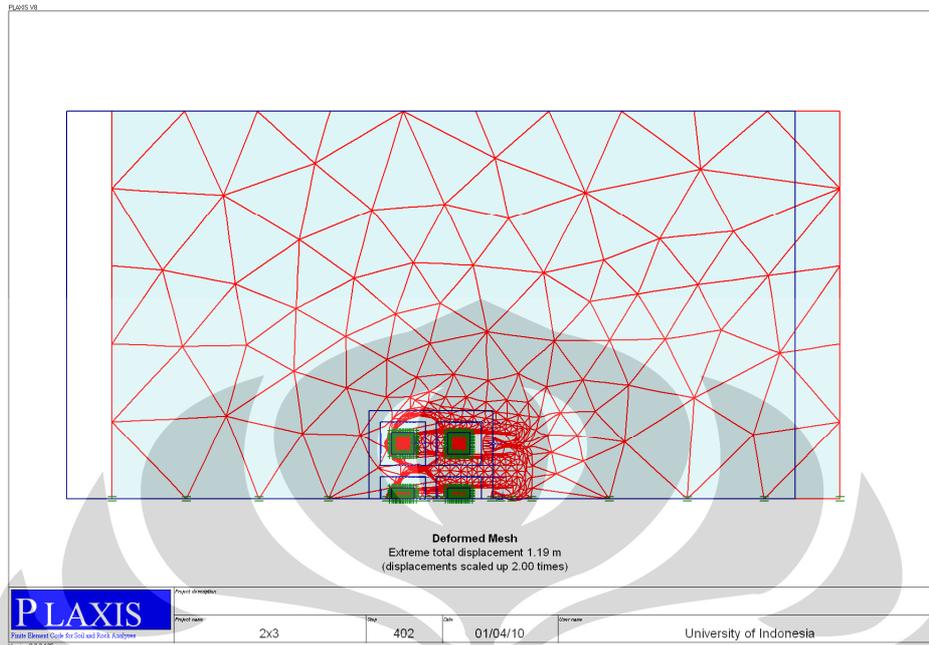


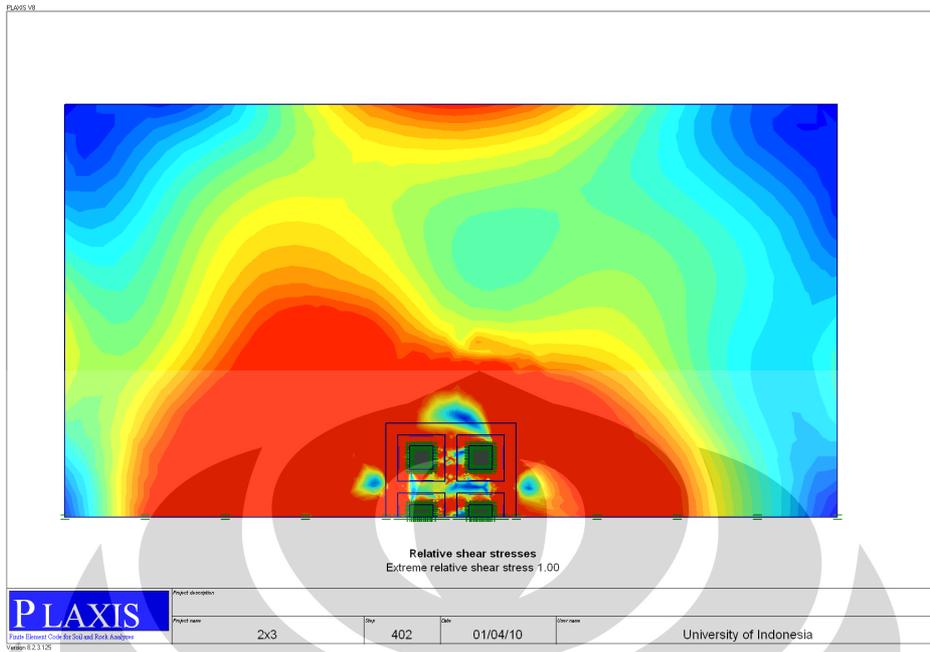
2. $Sh=-; Sv=4w$



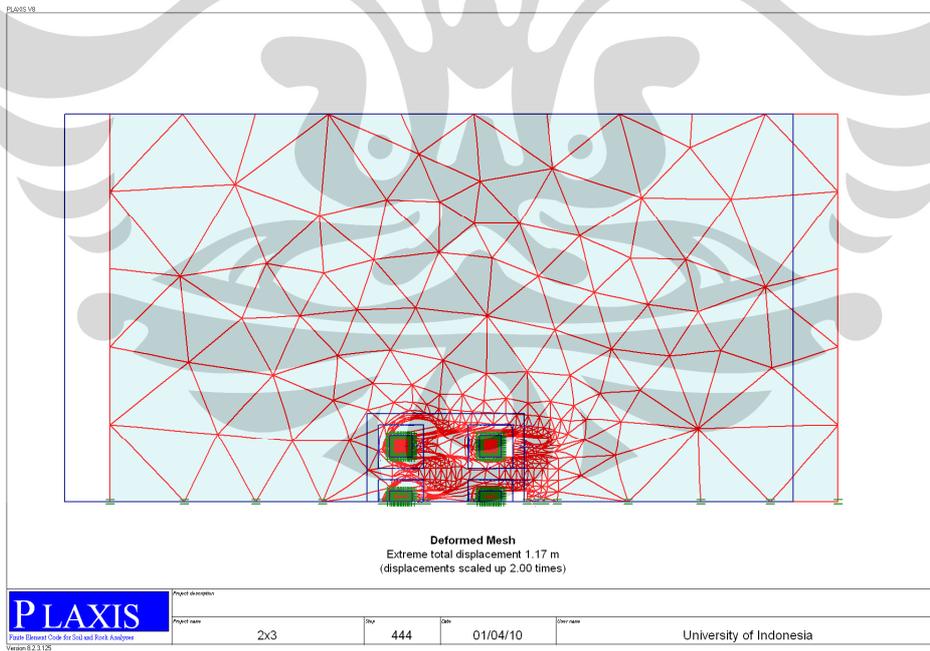


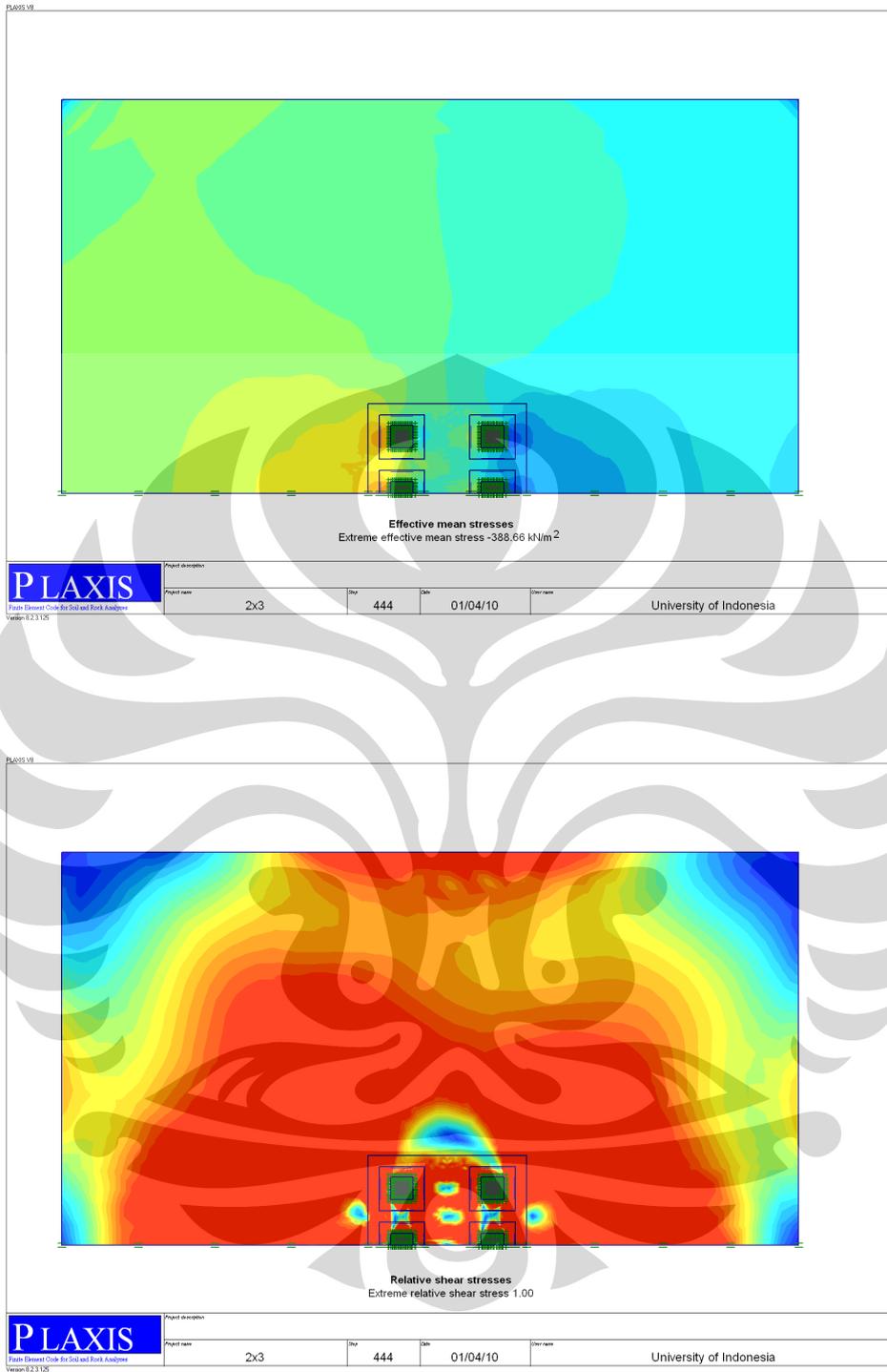
- 2x3
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

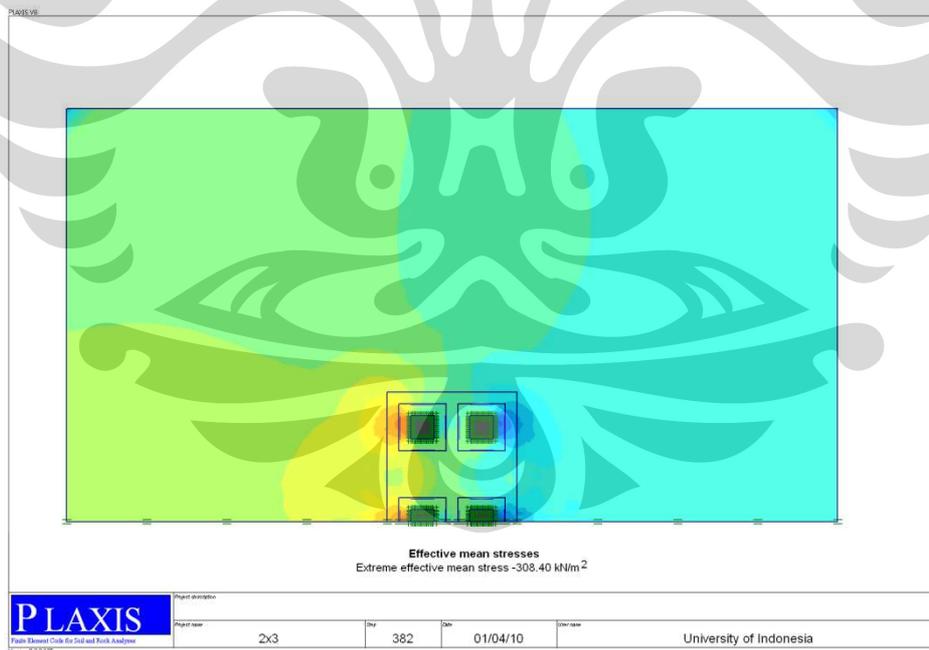
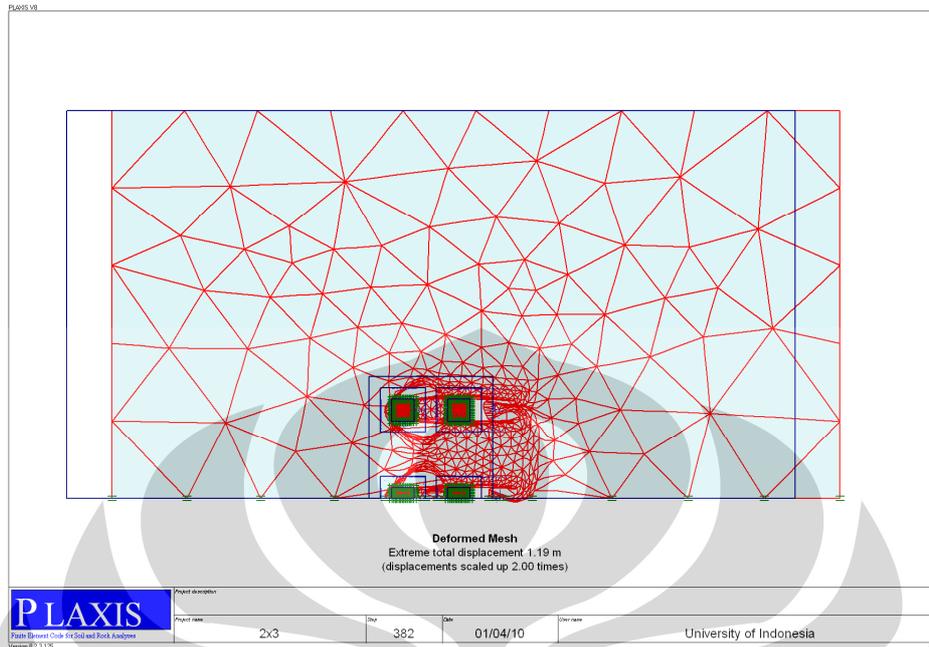


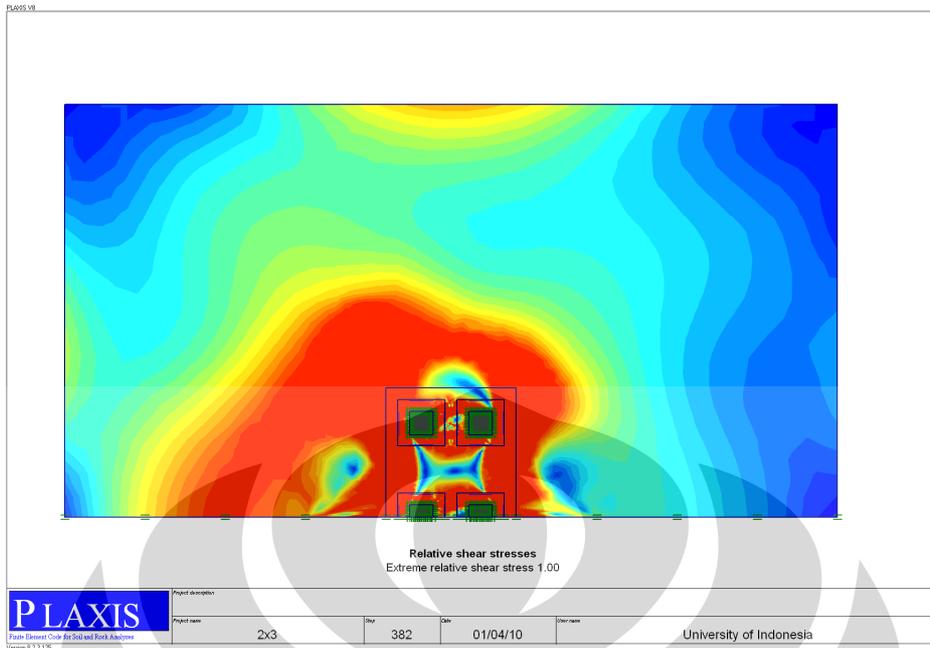


2. $S_h=2.5w; S_v=4w$

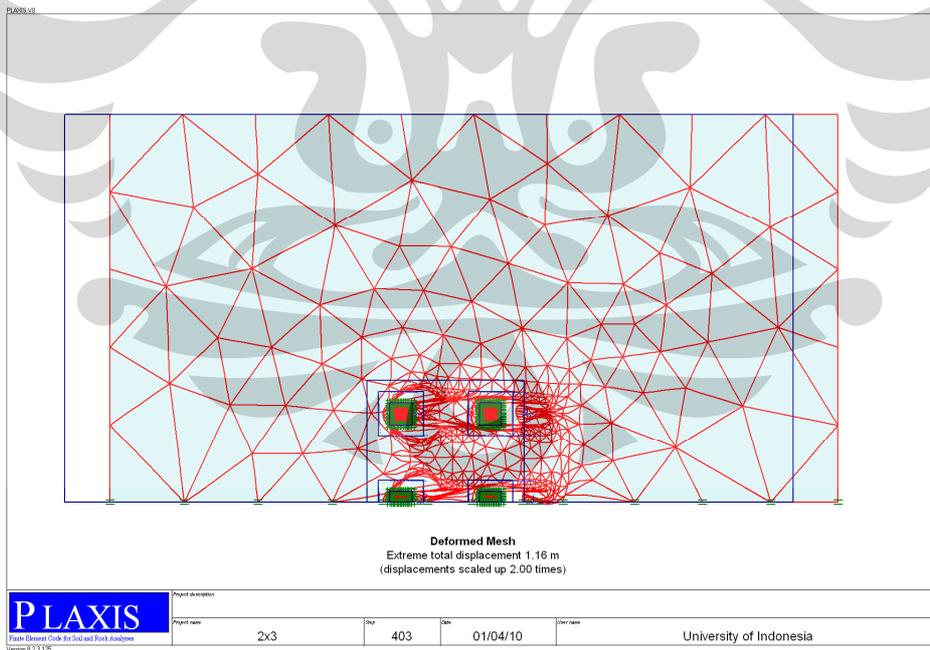


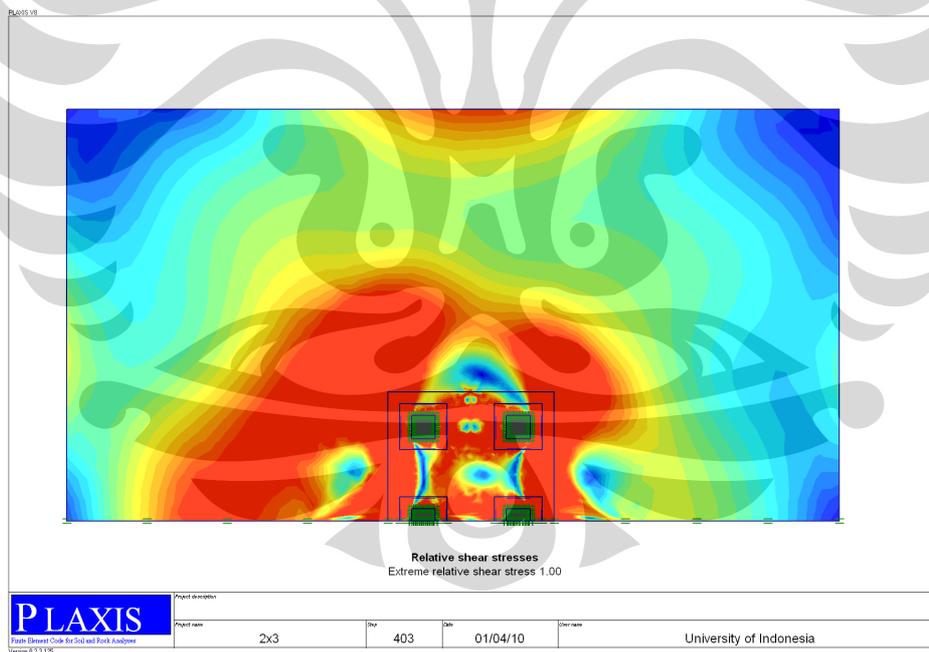
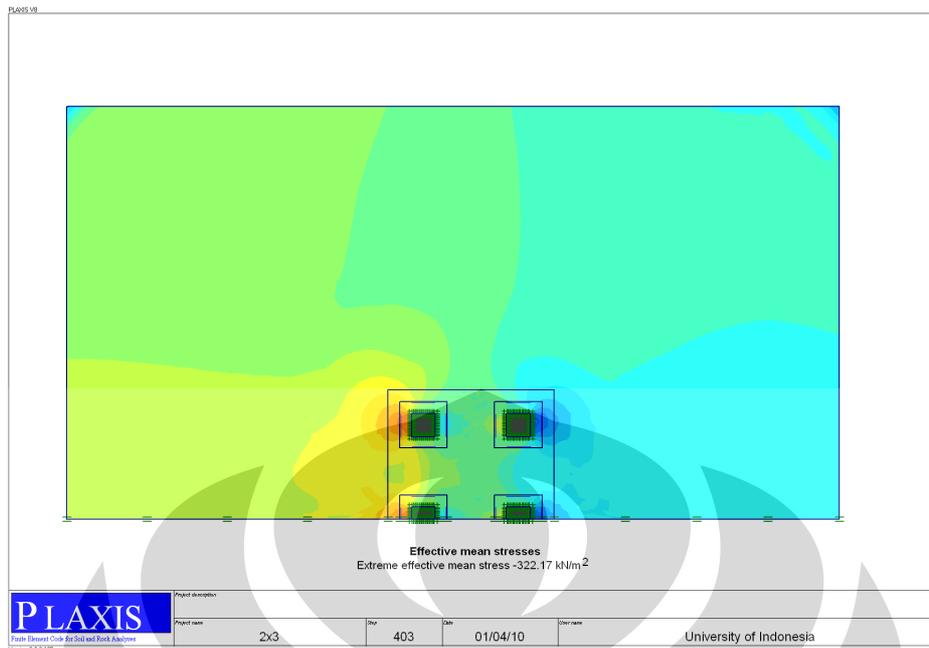


3. $S_h=4w;S_v=2.5w$ 

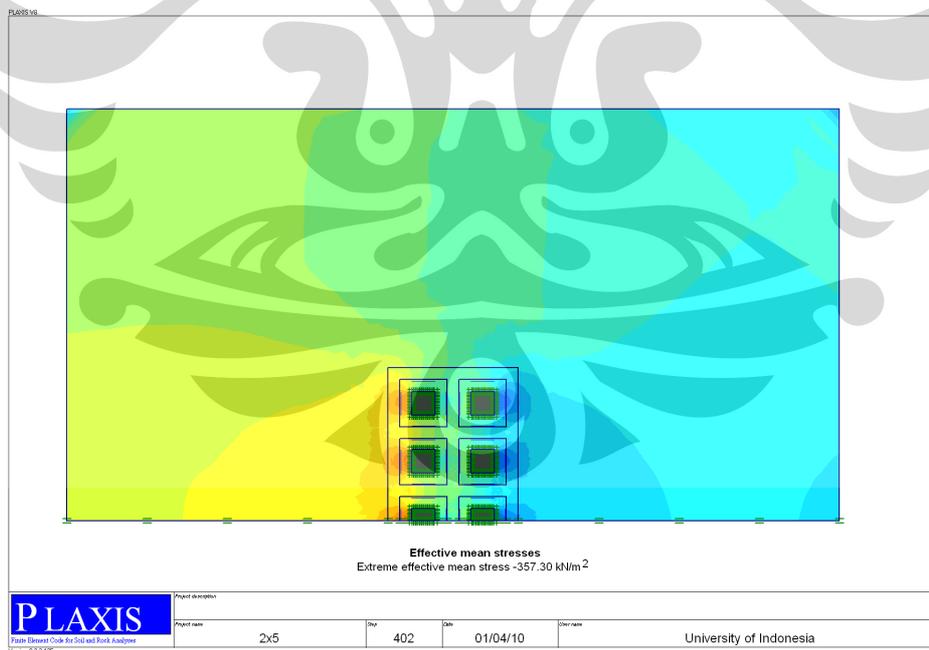
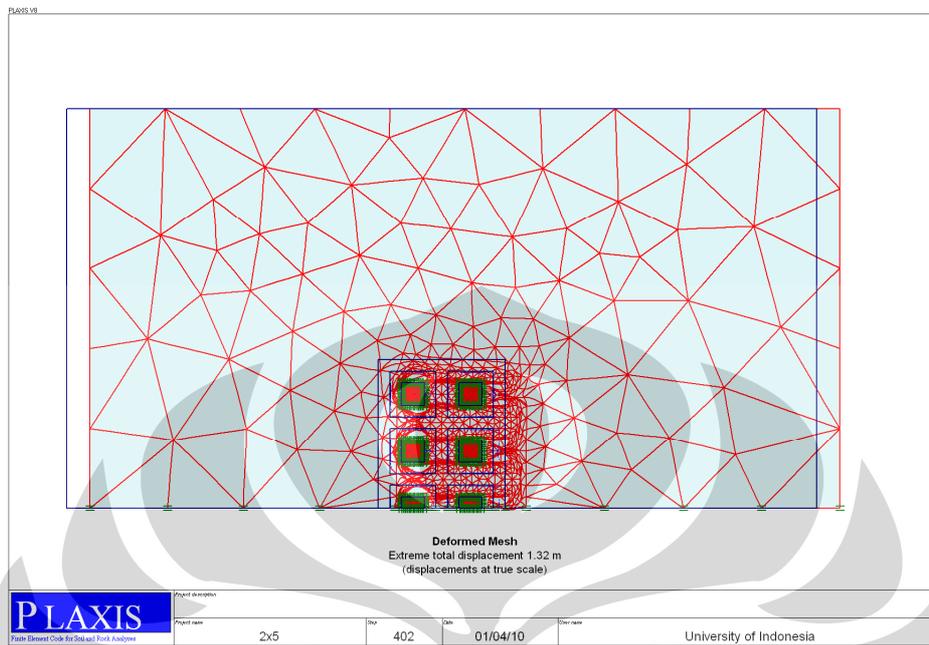


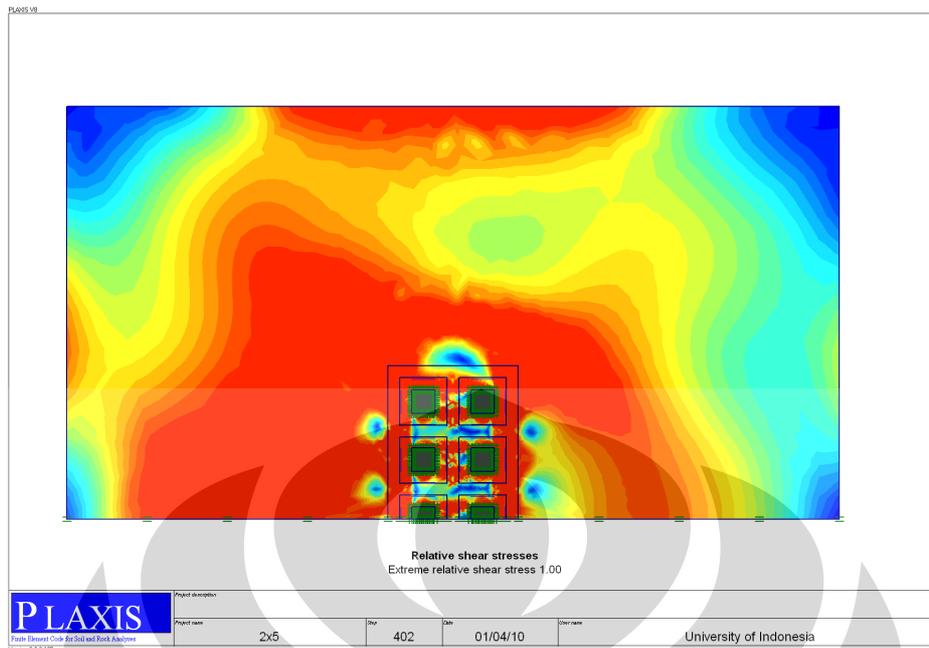
4. $S_h=4w; S_v=4w$



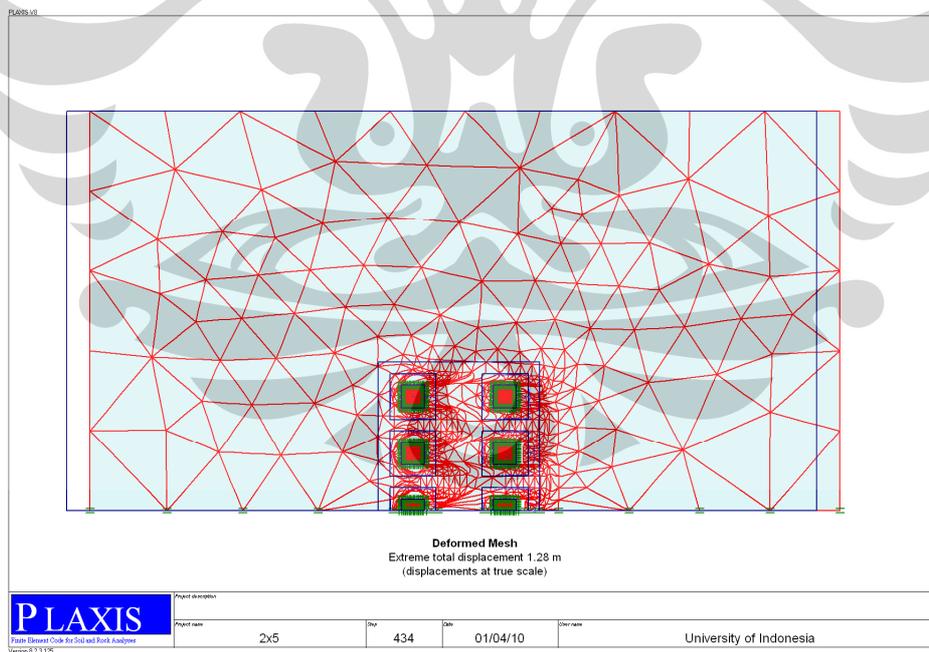


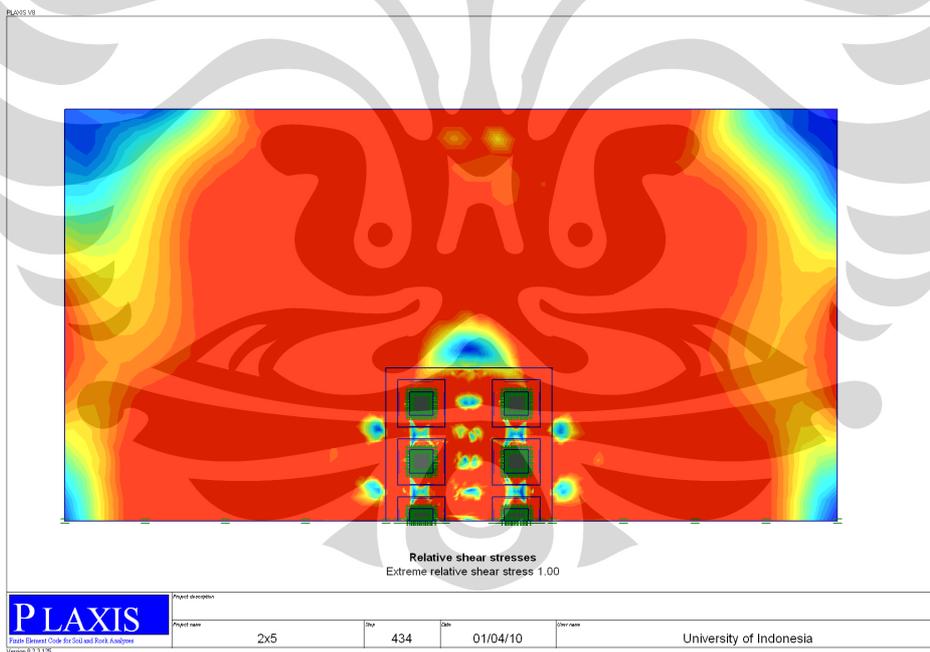
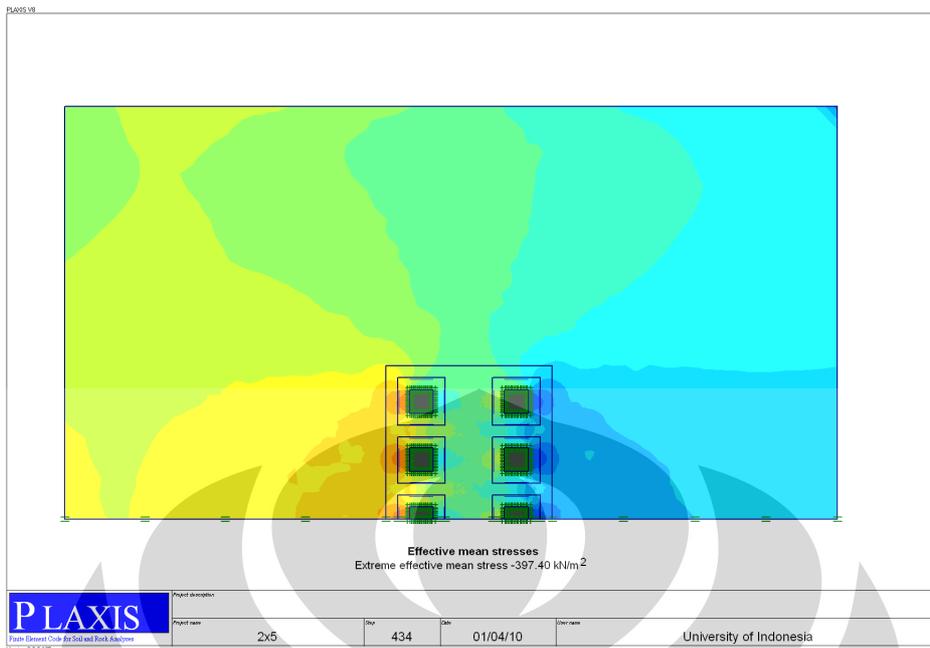
- 2x5
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$



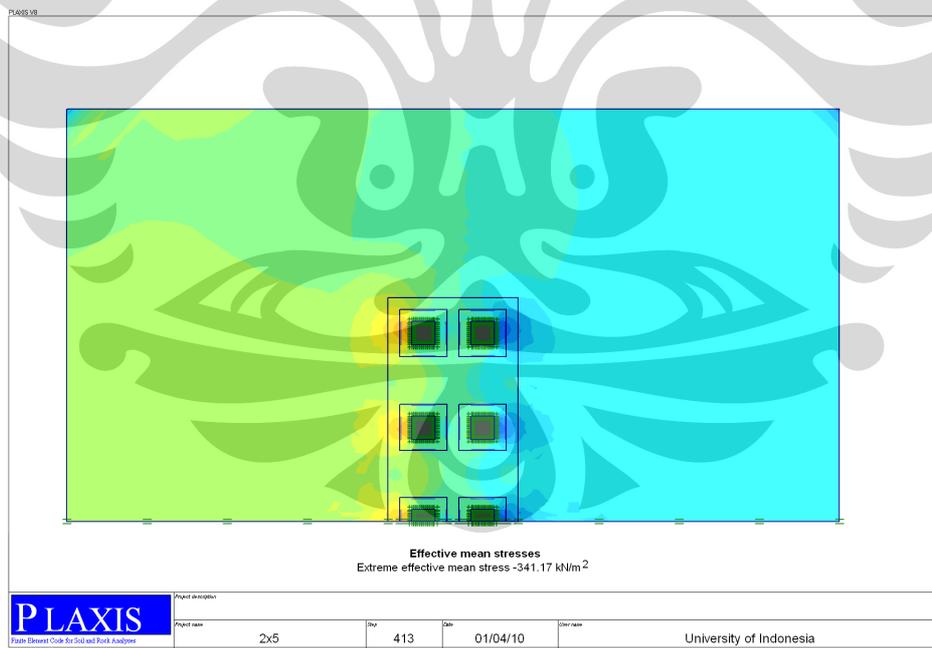
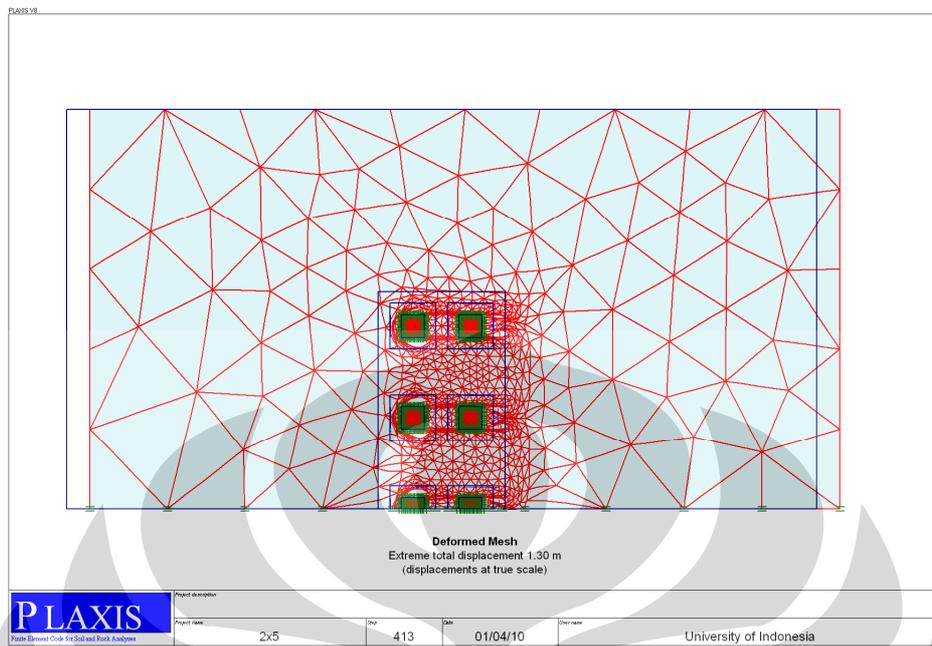


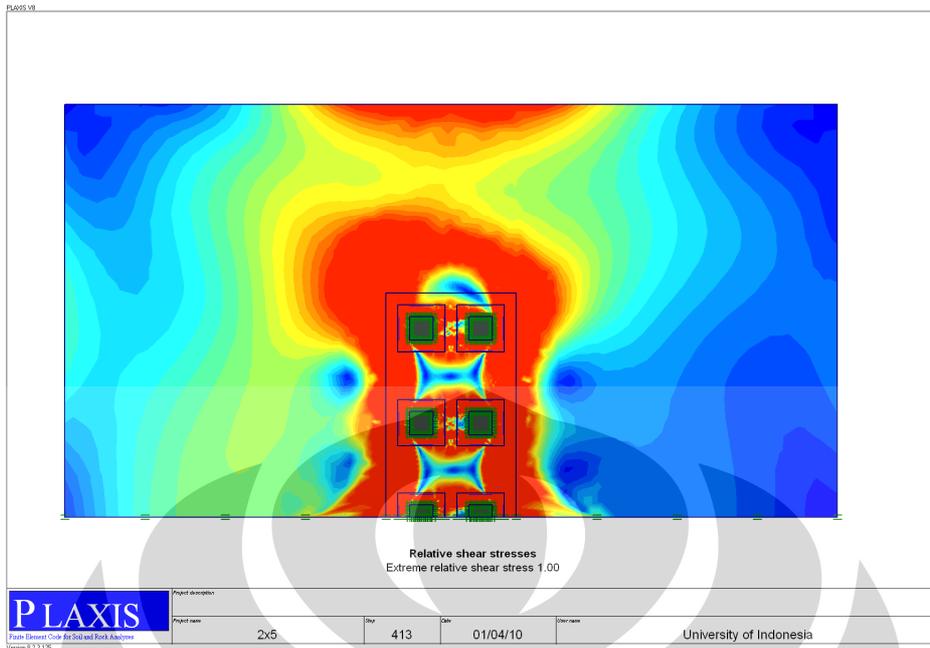
2. $Sh=2.5w; Sv=4w$



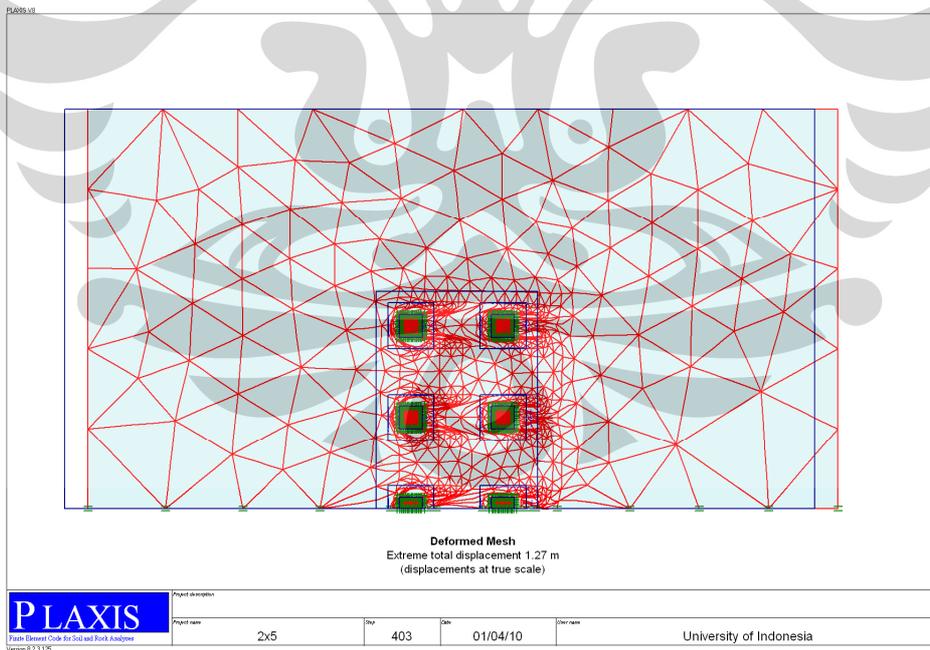


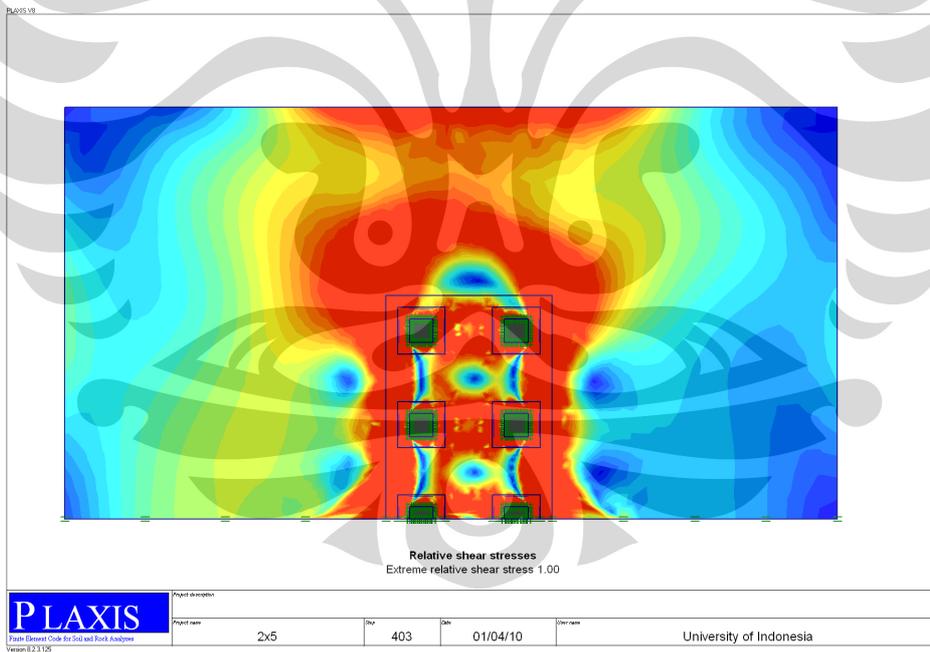
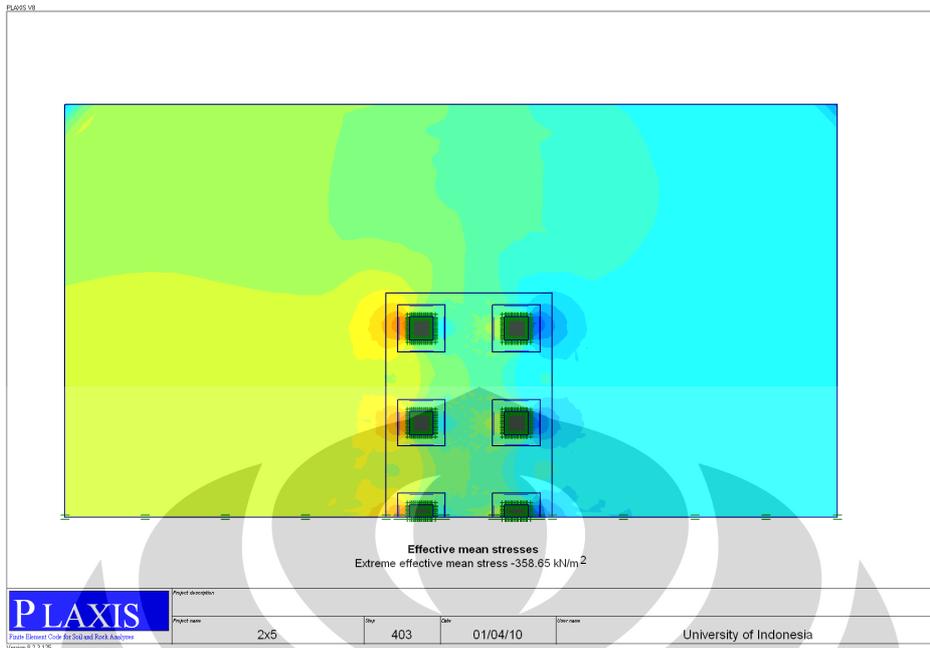
3. $S_h=4w;S_v=2.5w$



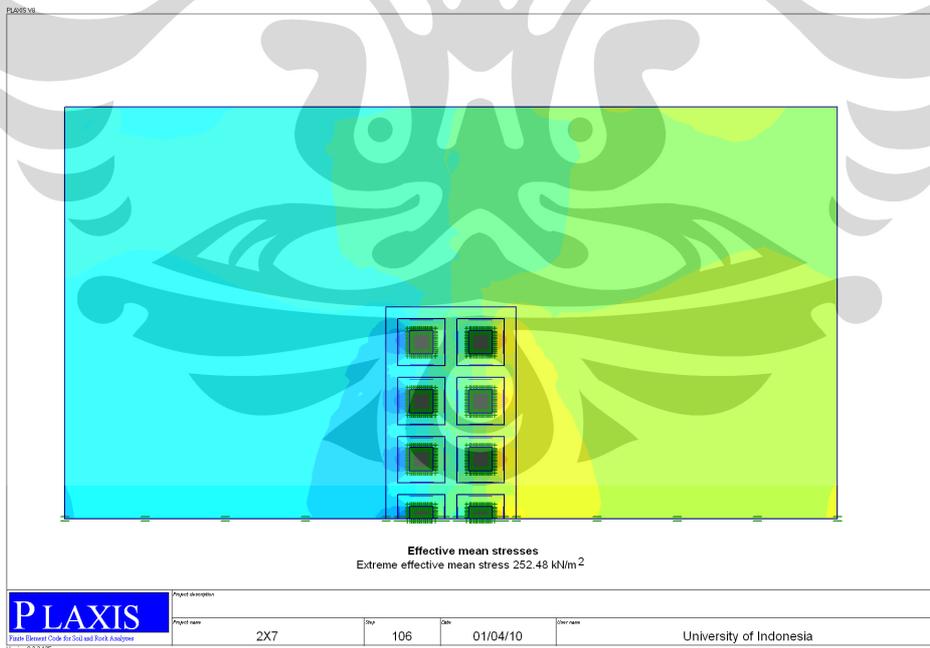
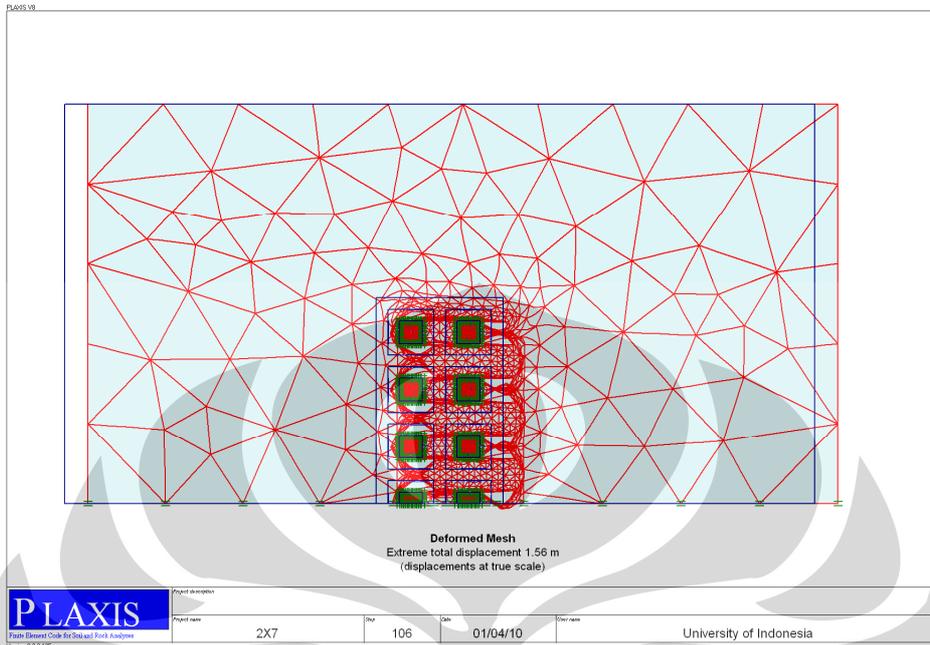


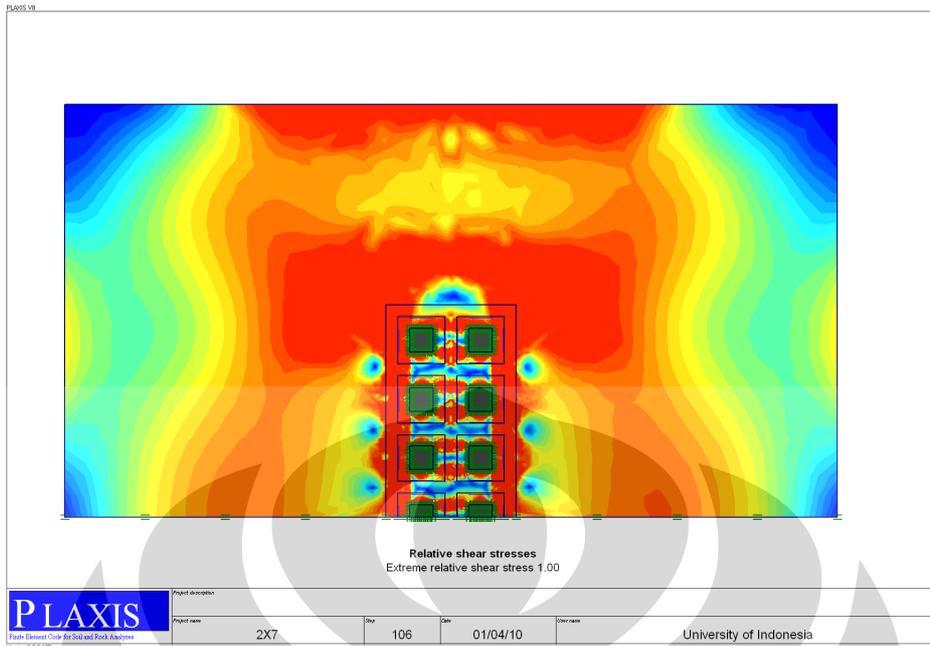
4. $S_h=4w; S_v=4w$



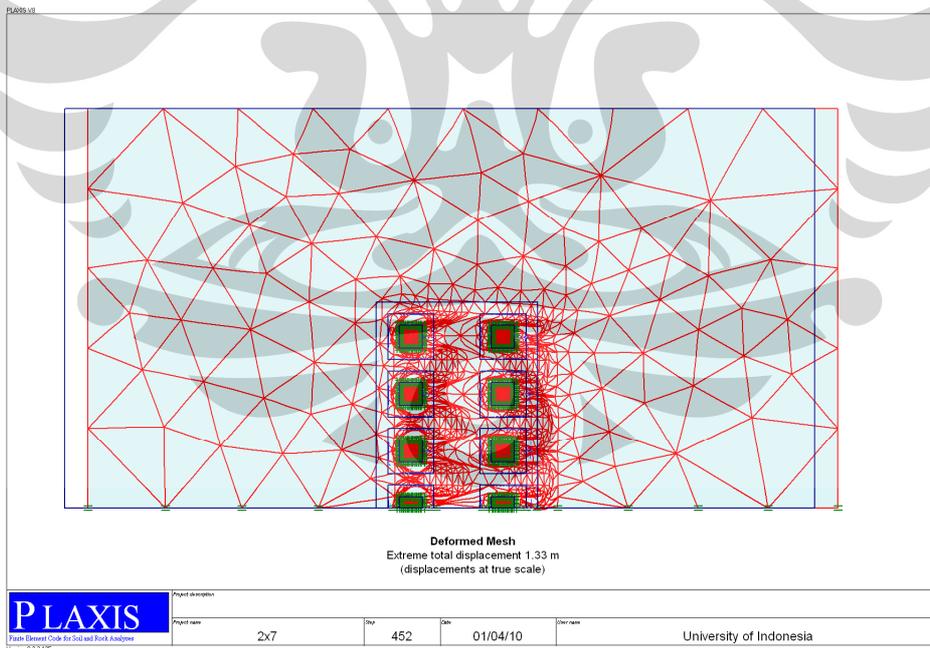


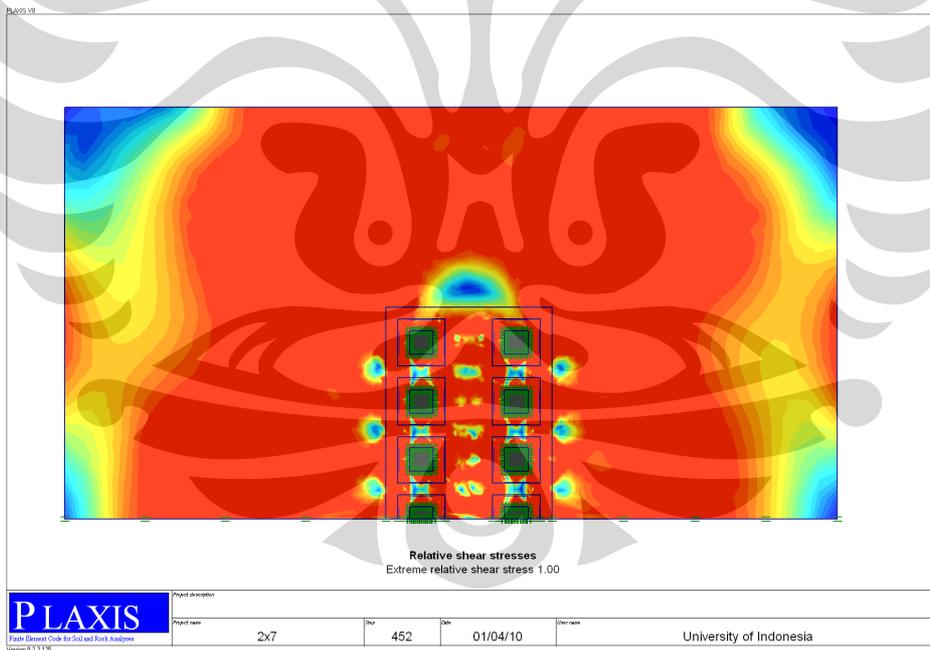
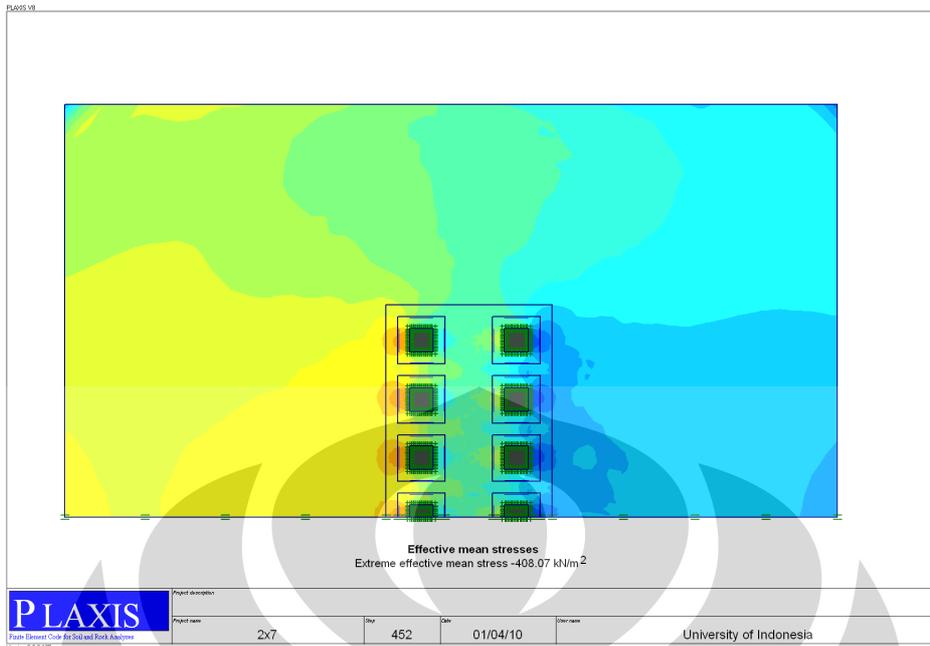
- 2x7
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$



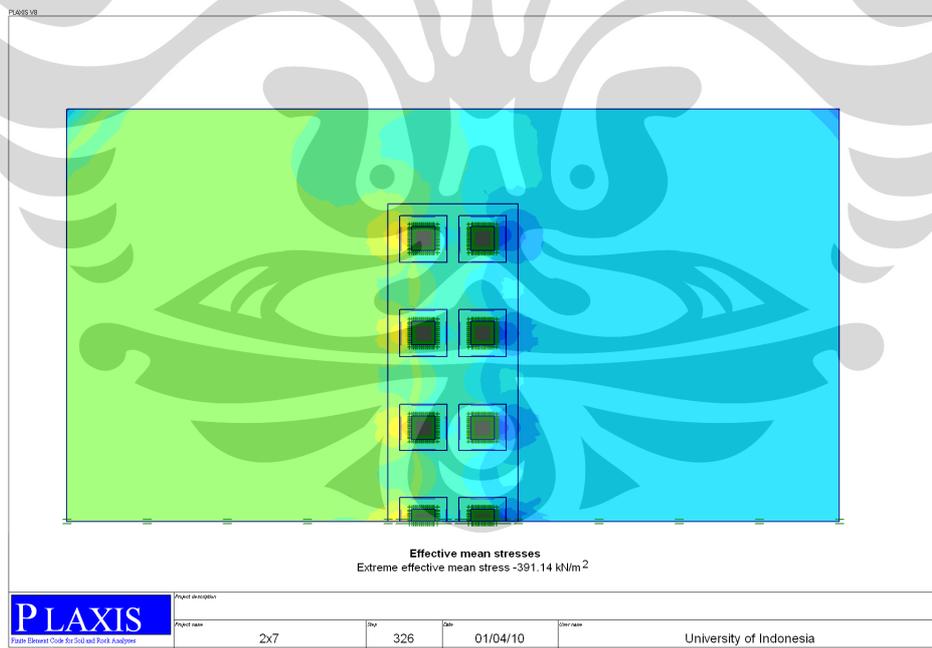
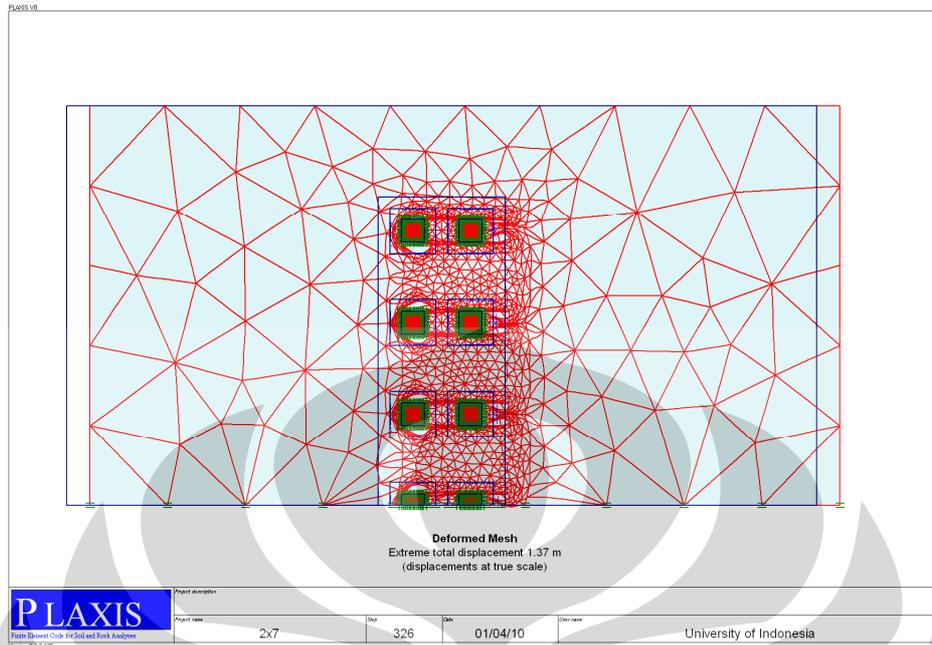


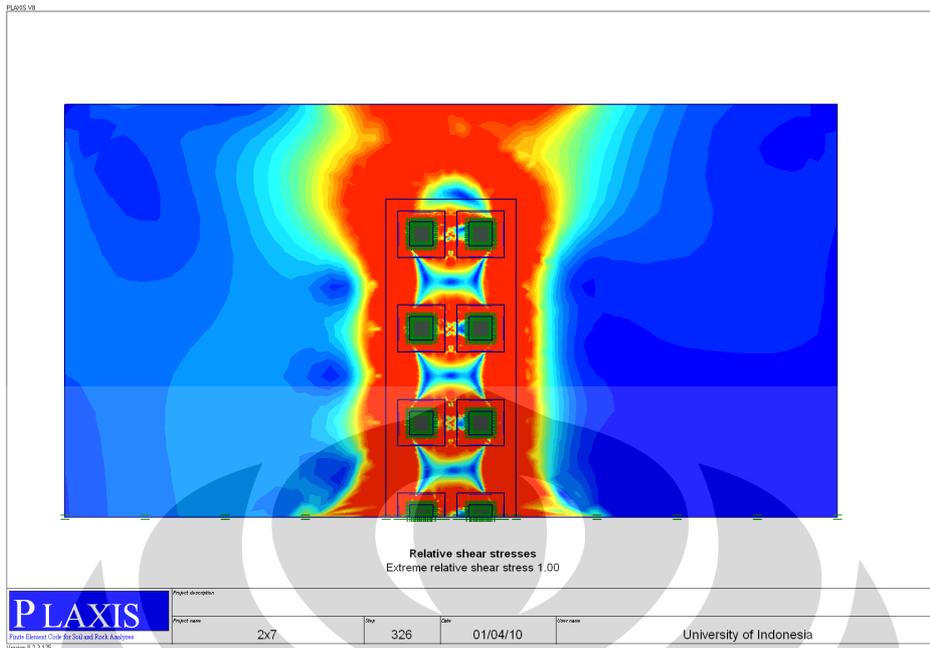
2. $Sh=2.5w; Sv=4w$



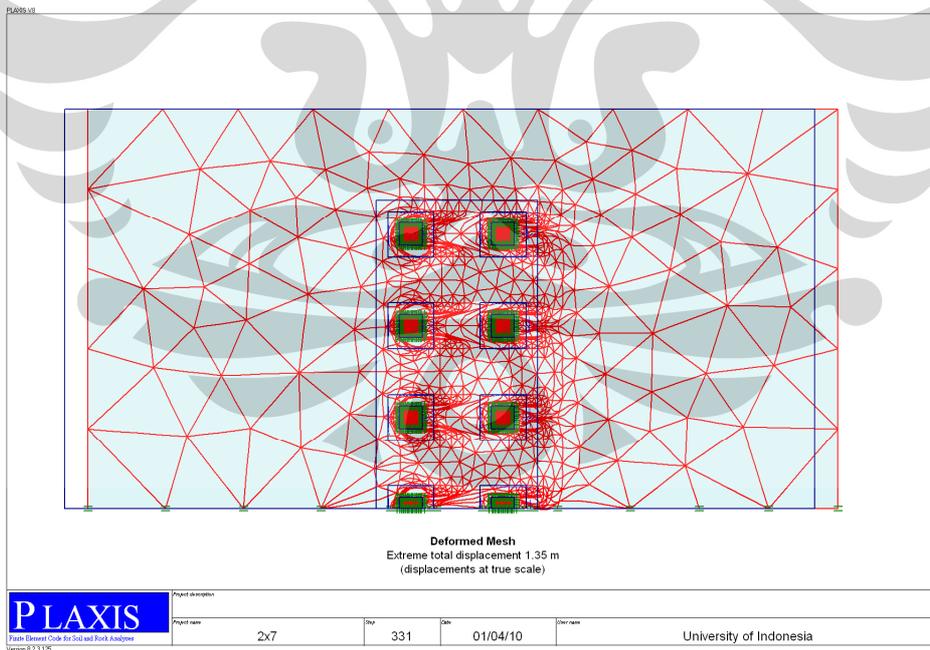


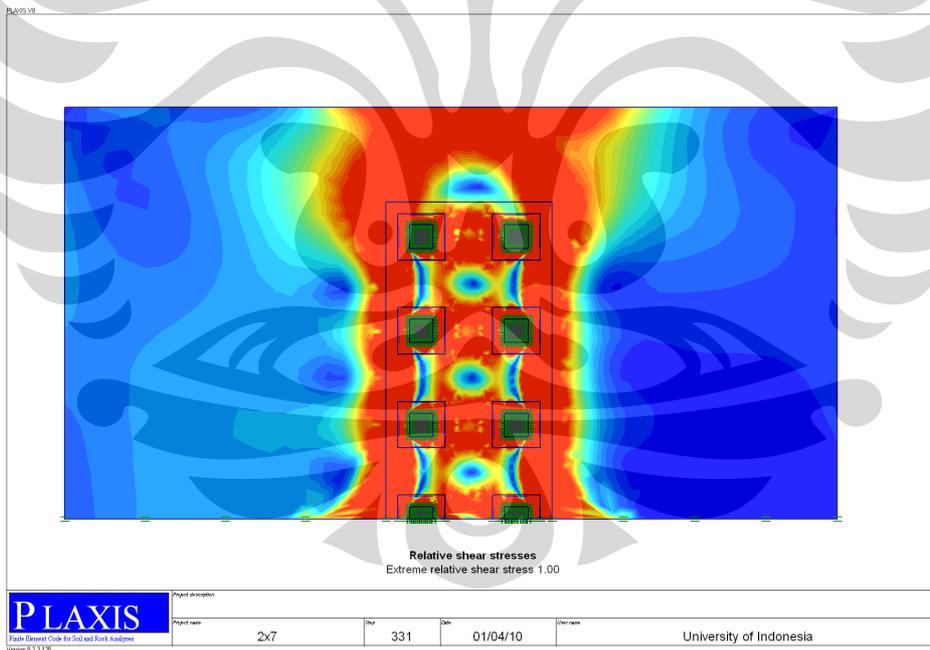
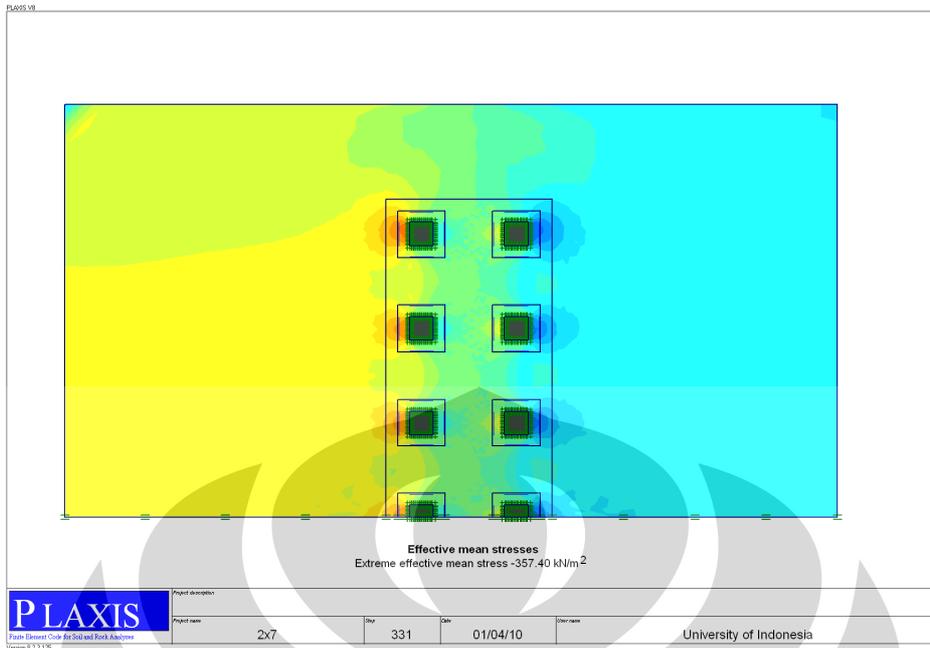
3. $S_h=4w;S_v=2.5w$





4. $S_h=4w; S_v=4w$

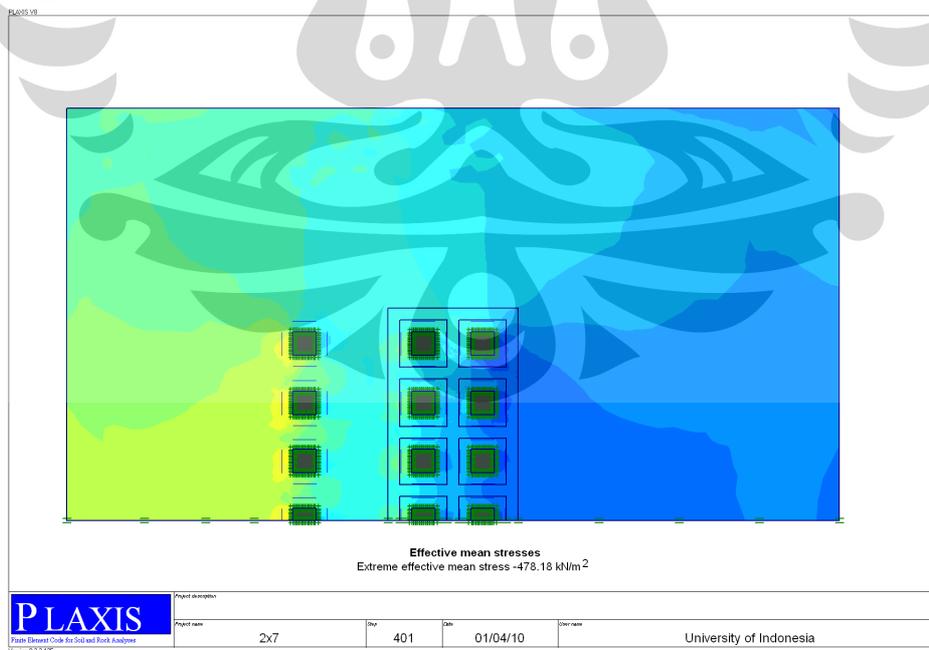
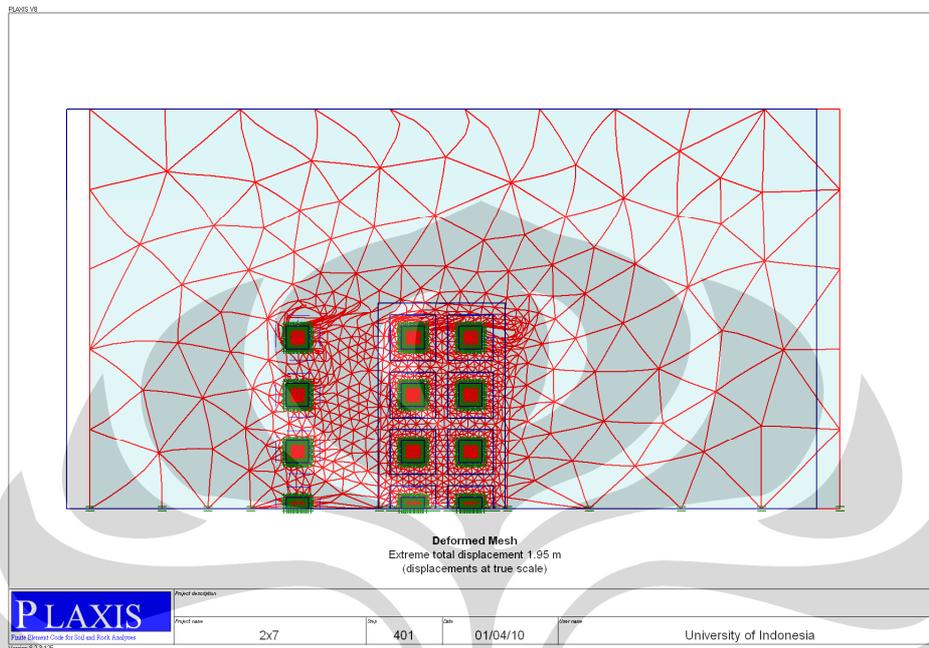


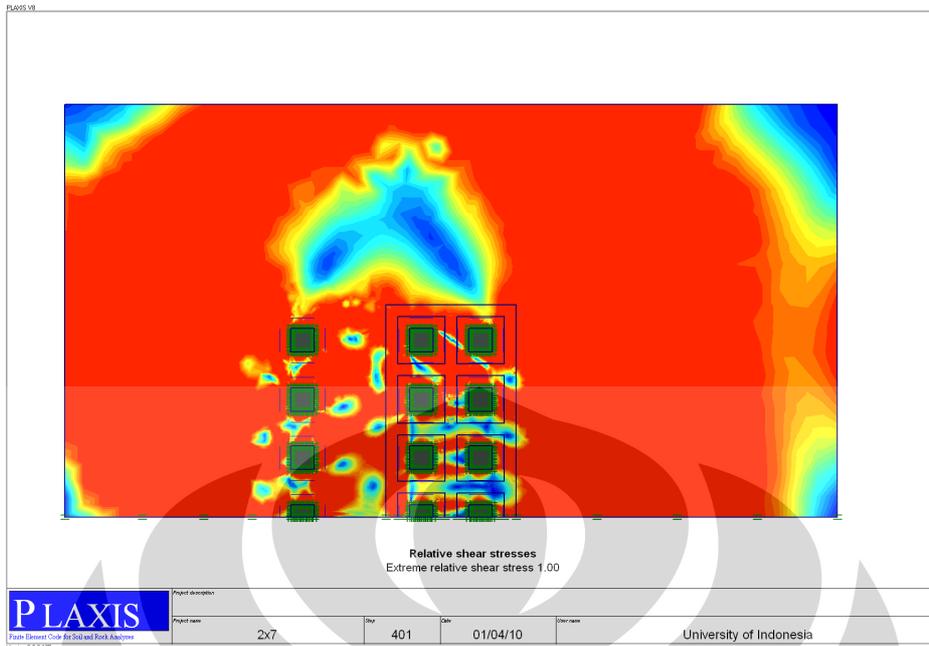


B. Permodelan Dengan Shielding Piles (Depan)

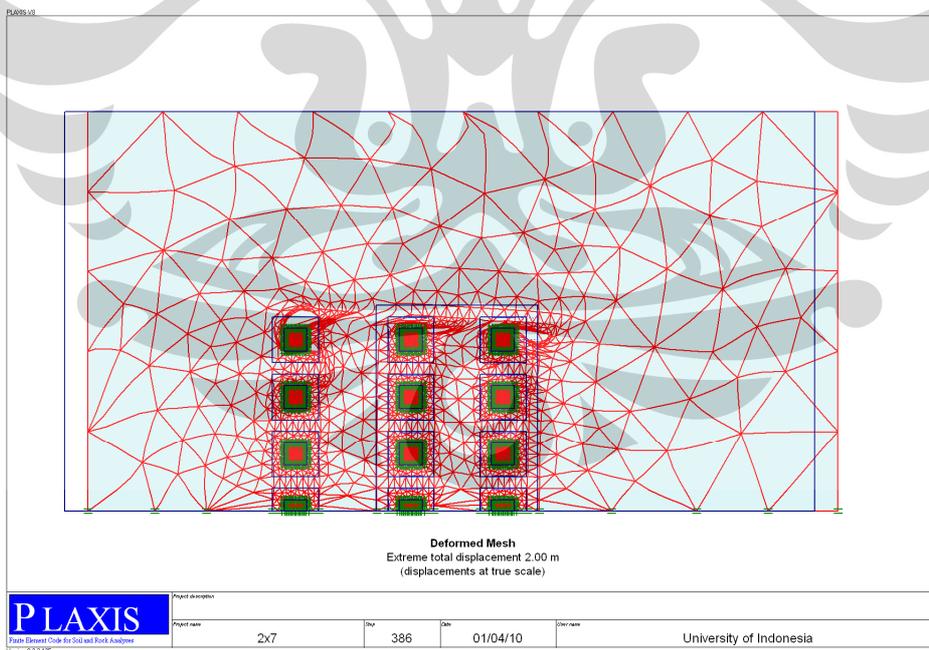
- $5w$, 100%w

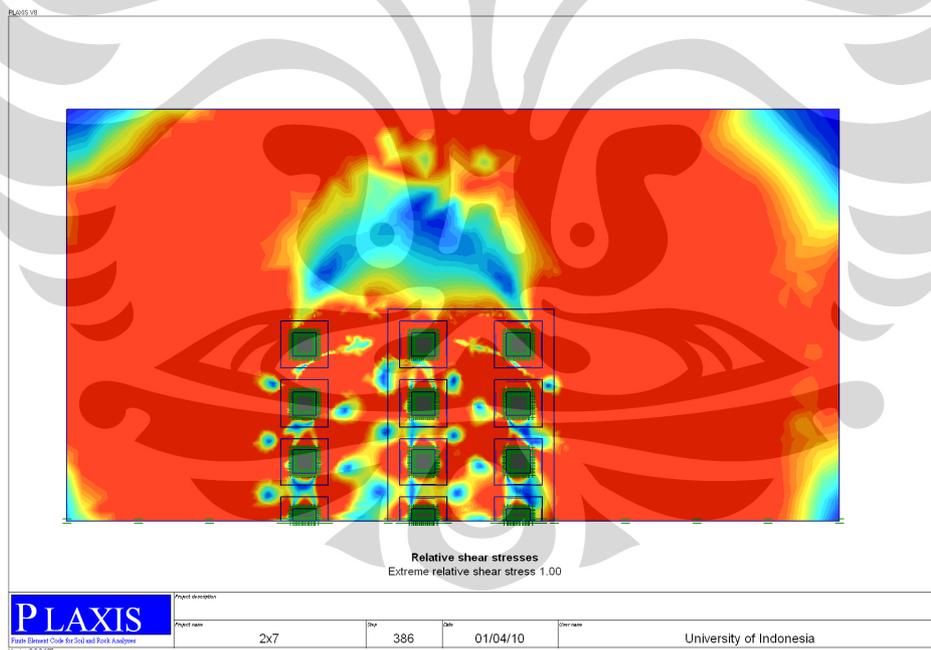
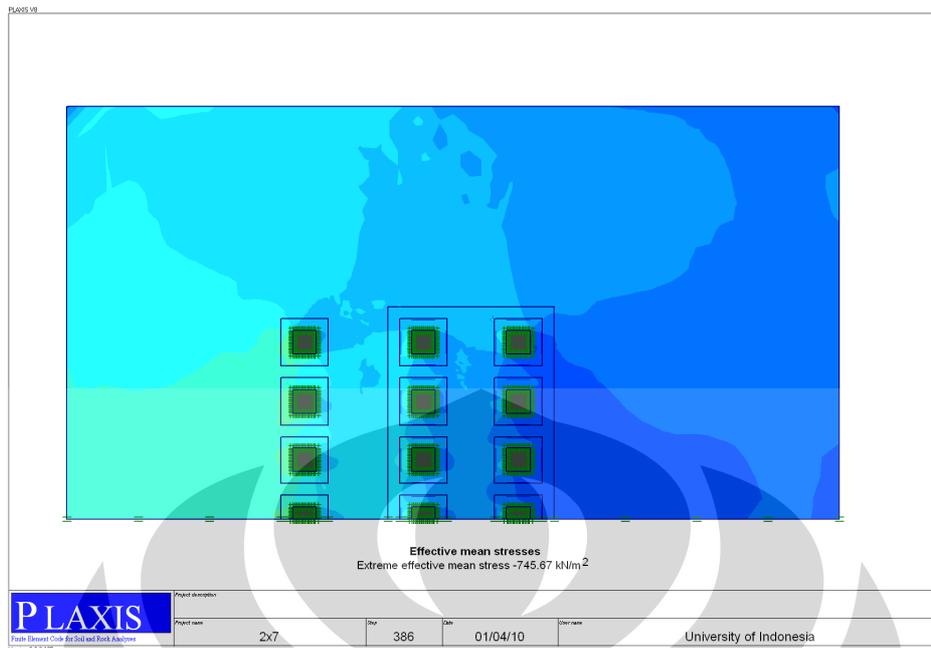
1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$



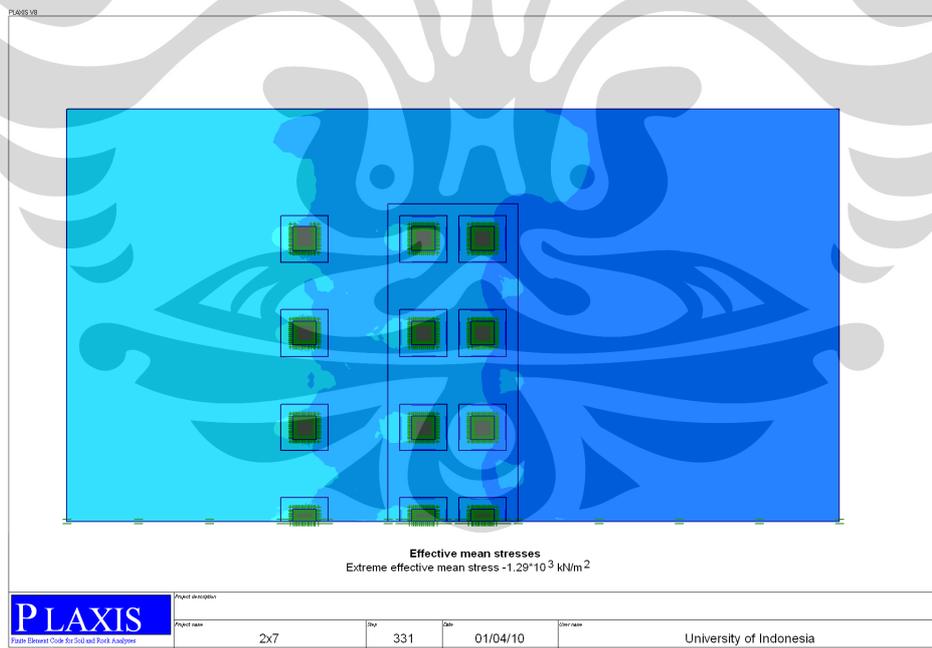
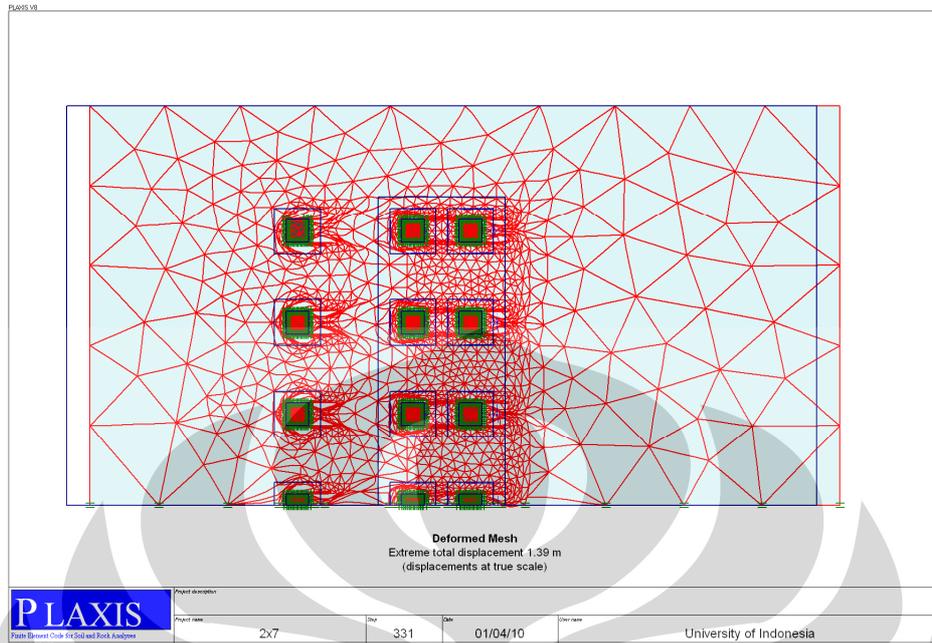


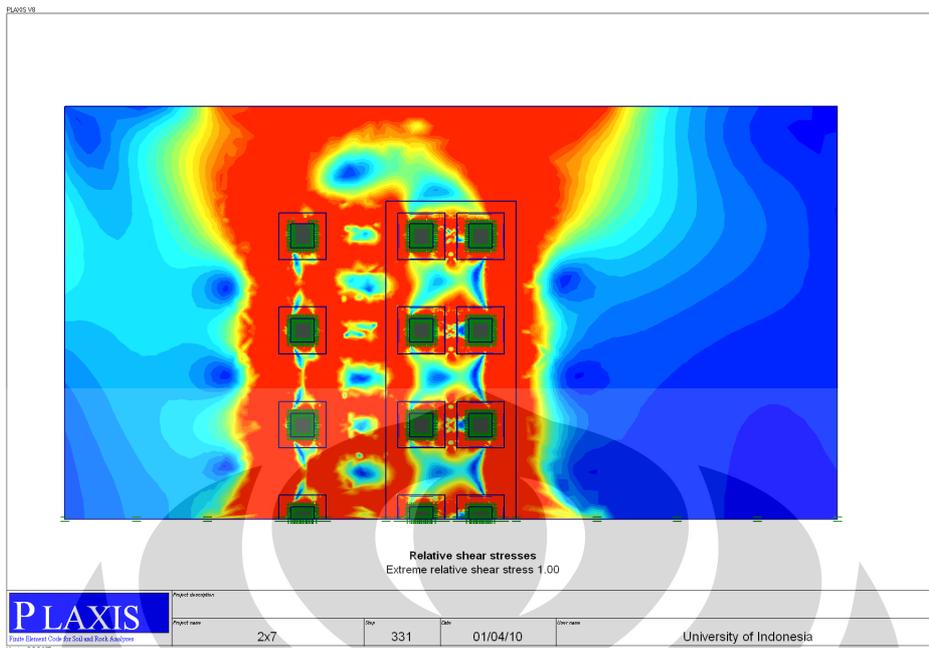
2. $Sh=2.5w; Sv=4w$



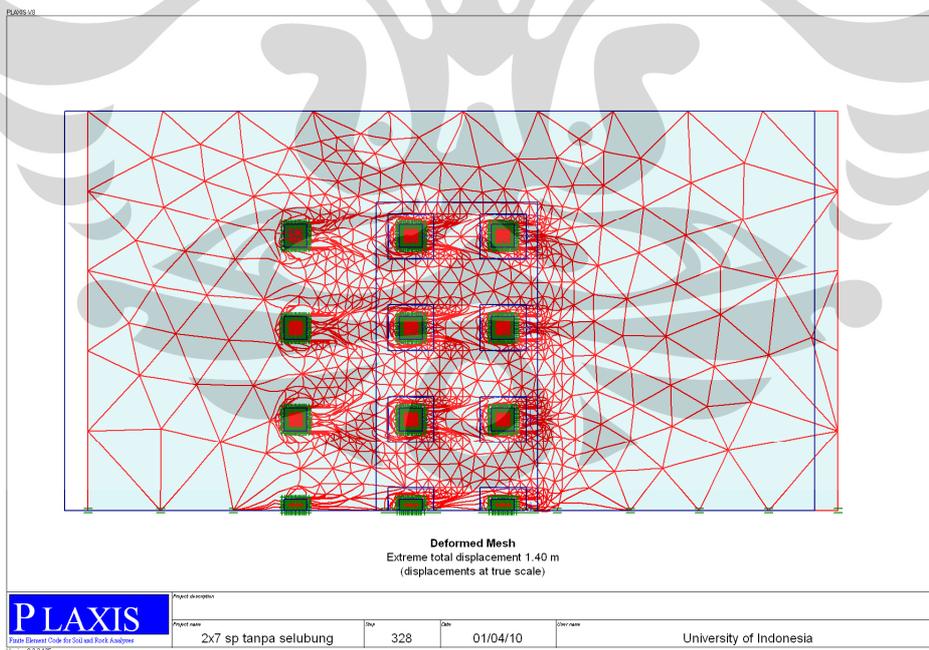


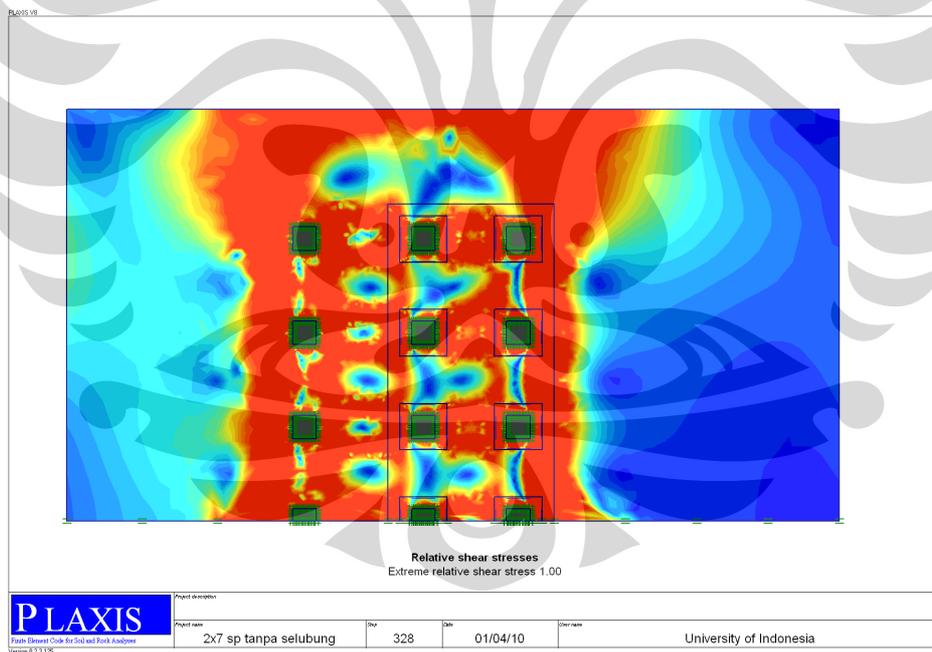
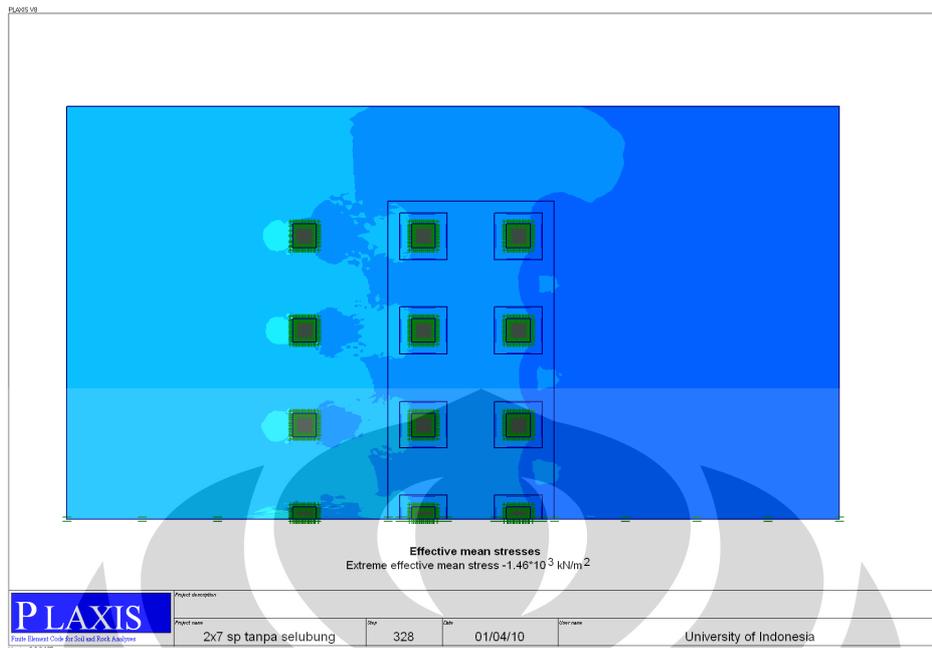
3. $Sh=4w; Sv=2.5w$



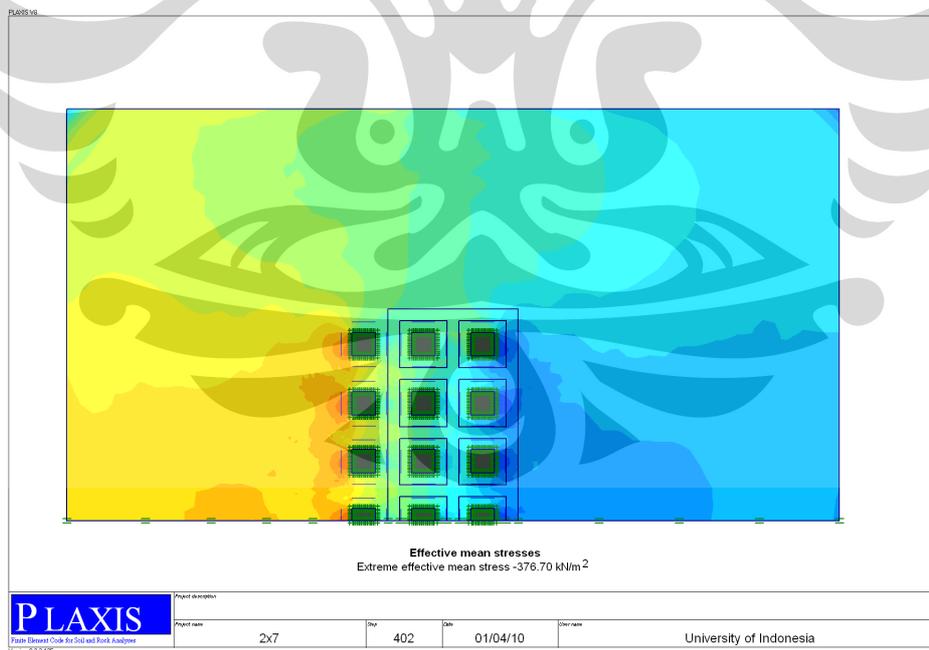
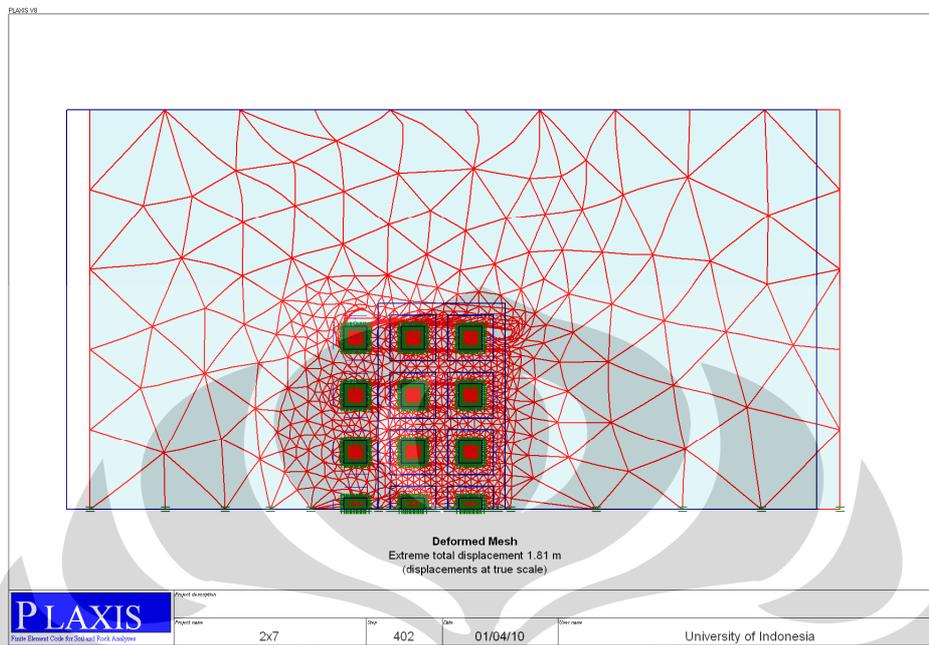


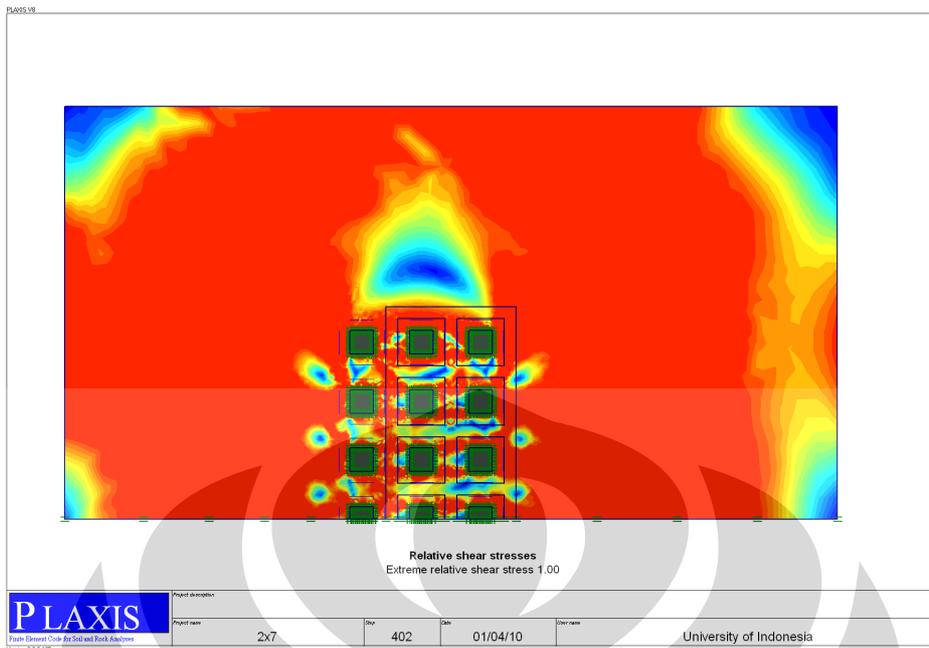
4. $S_h=4w; S_v=4w$



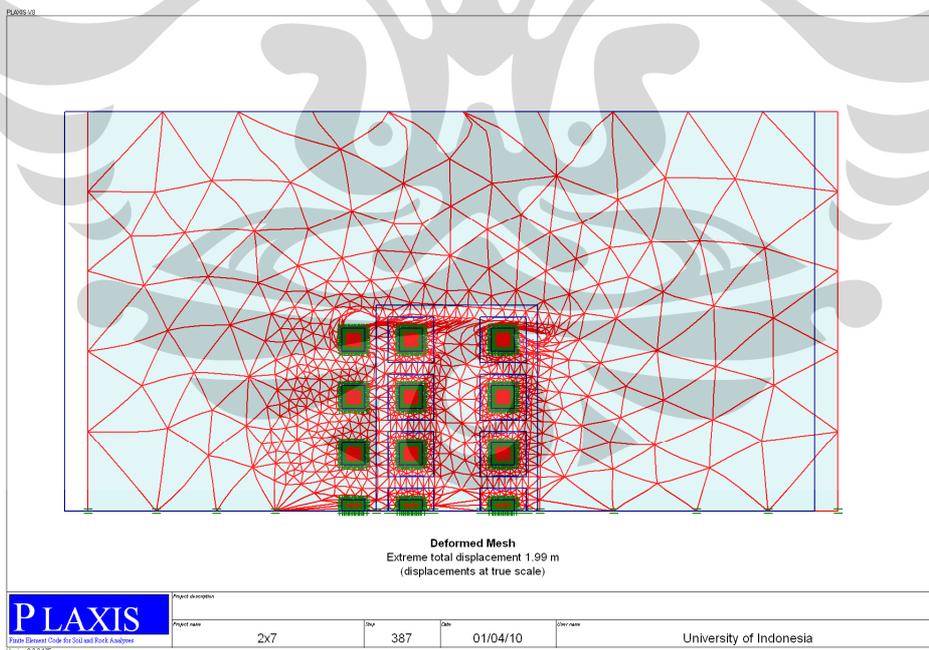


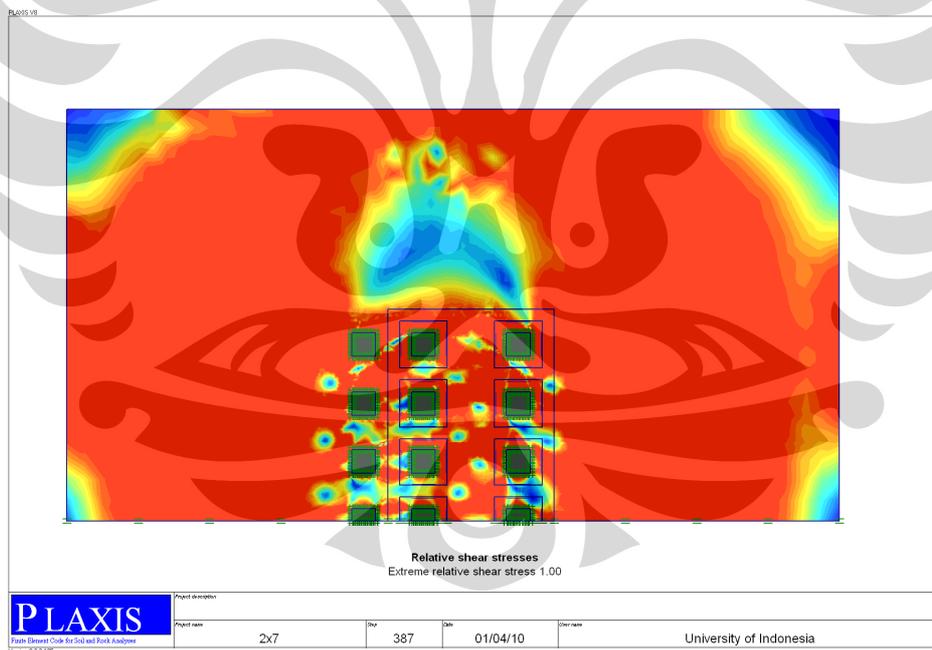
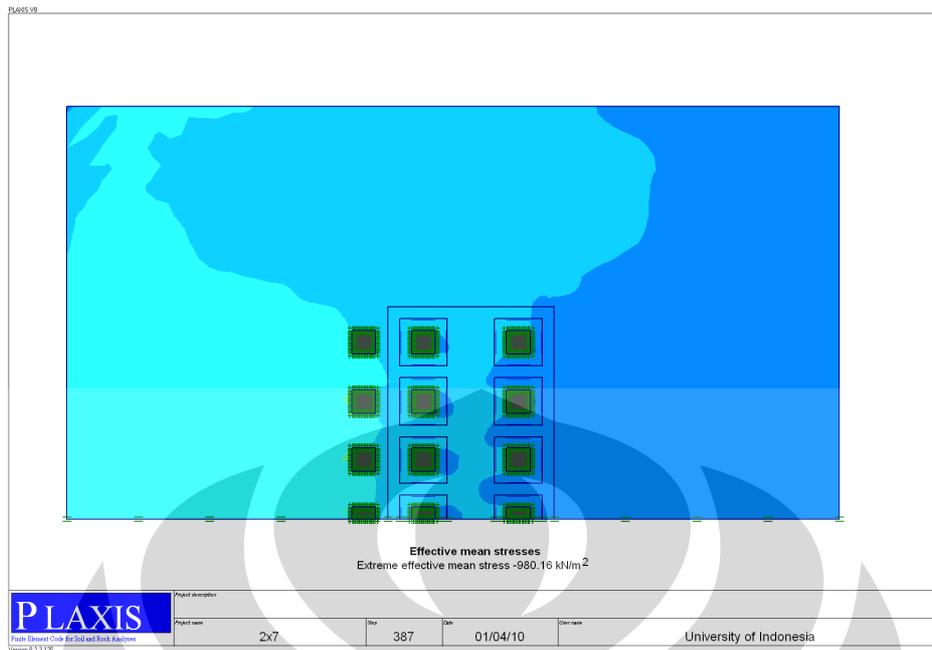
- 2.5w, 100% w
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$



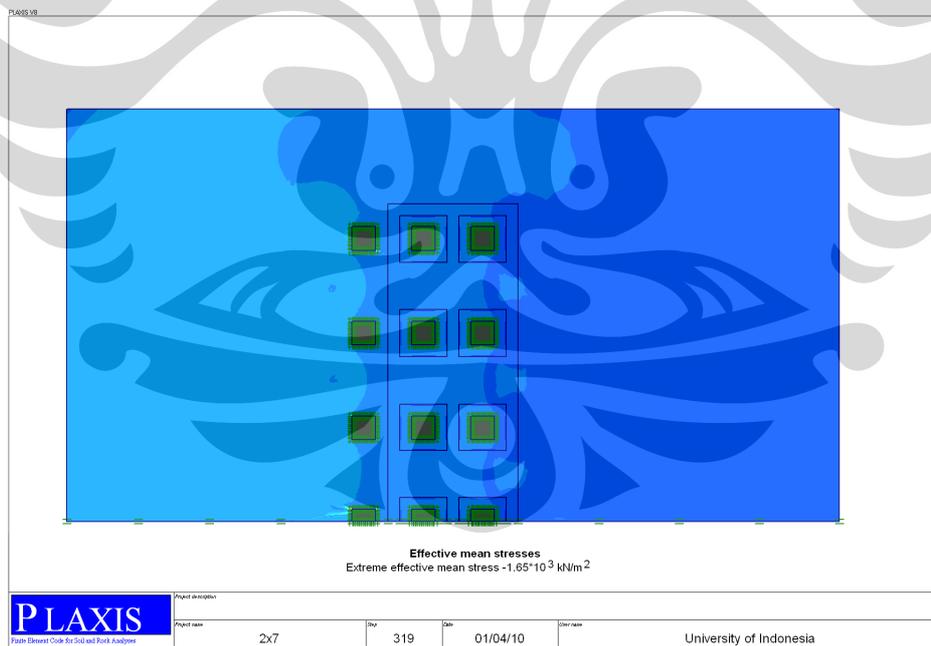
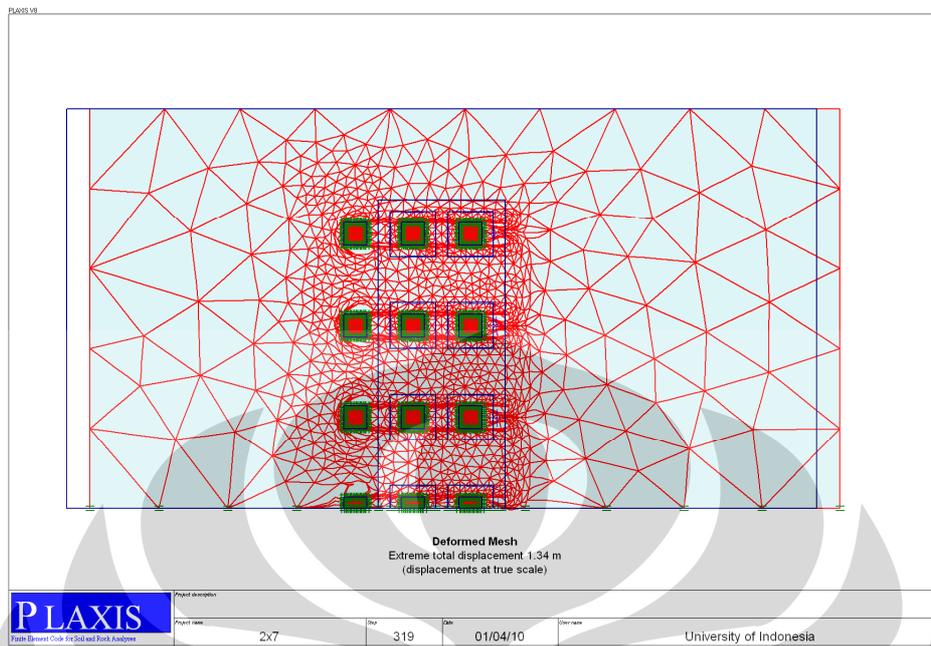


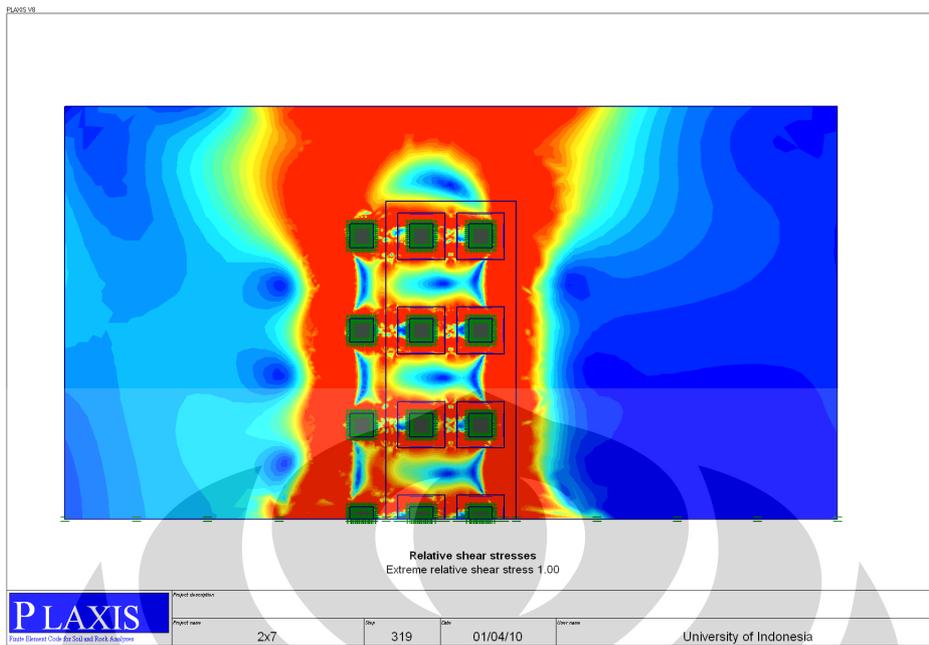
2. $Sh=2.5w; Sv=4w$



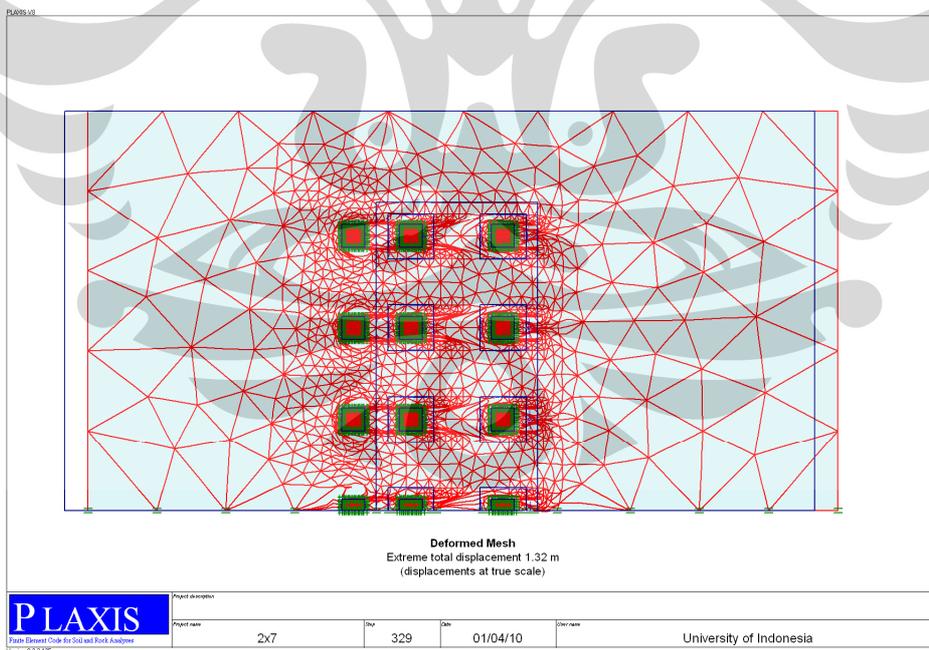


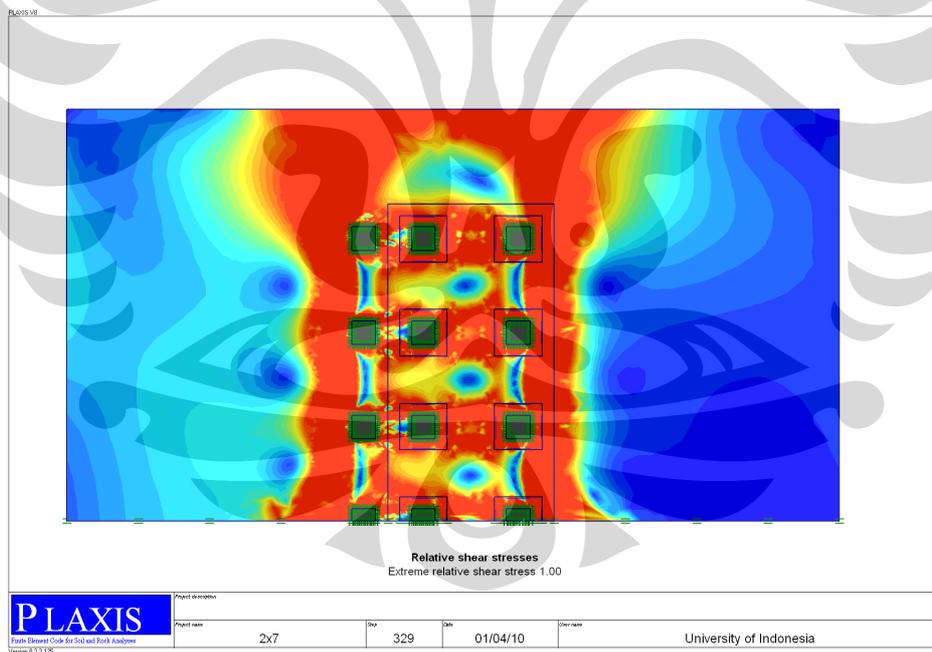
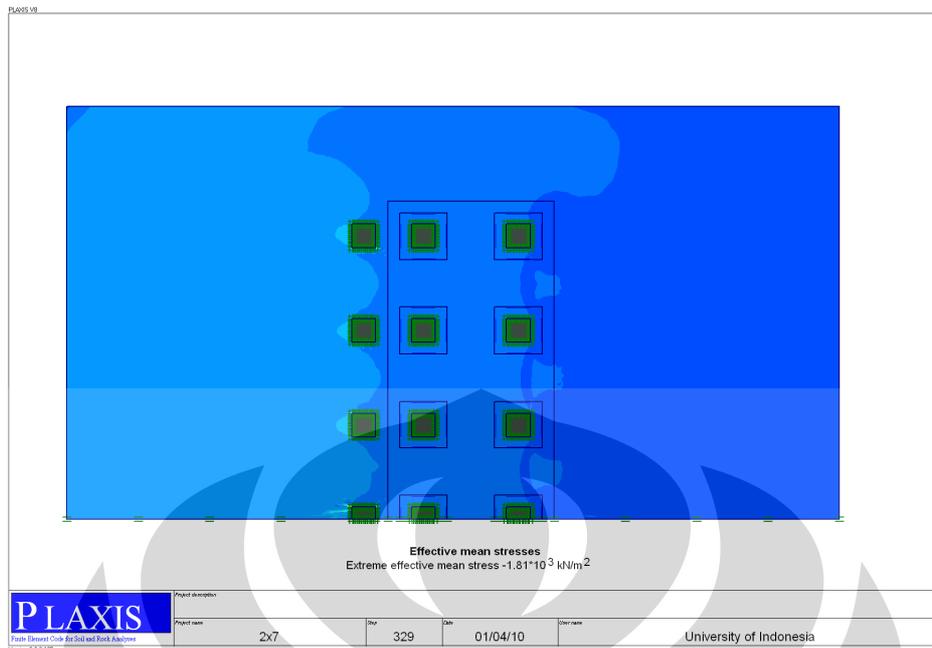
3. $Sh=4w; Sv=2.5w$



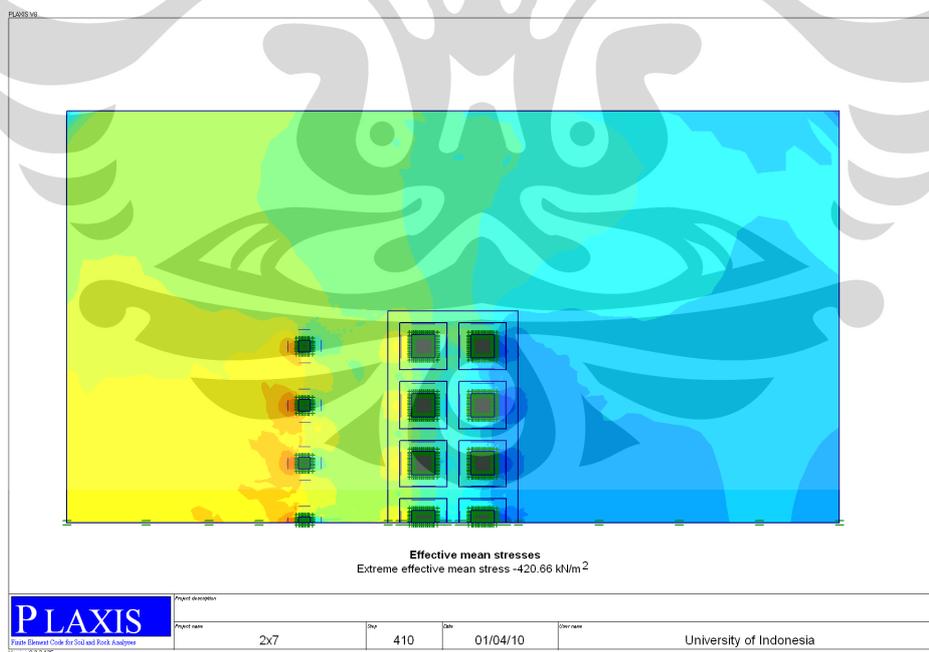
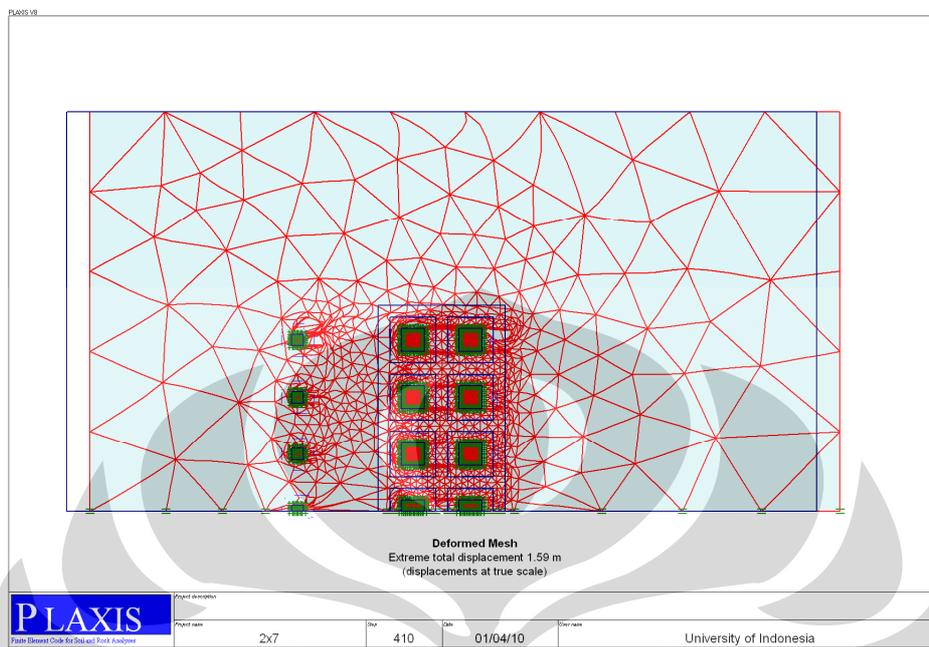


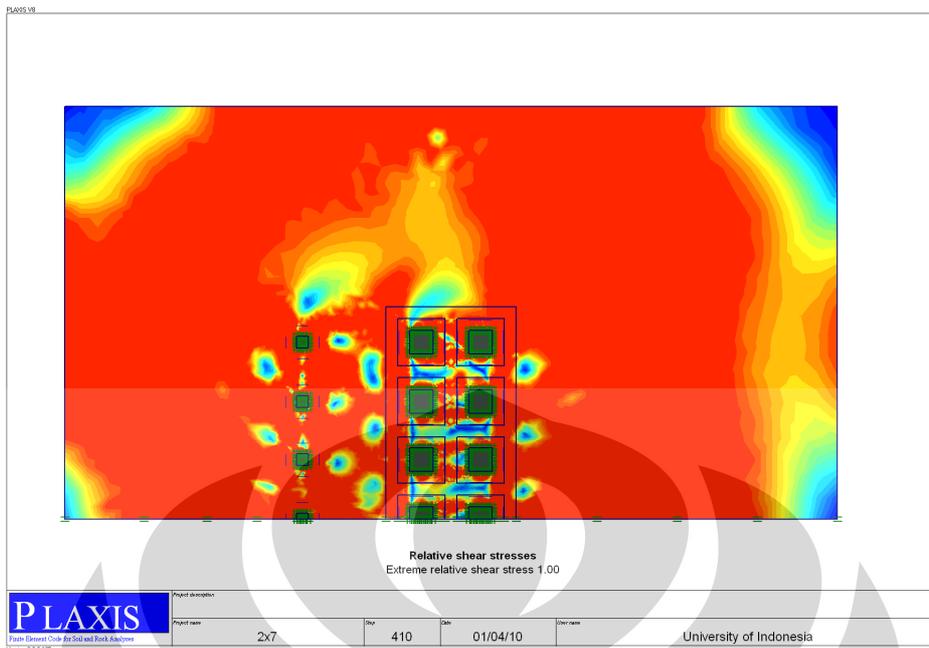
4. $S_h=4w; S_v=4w$



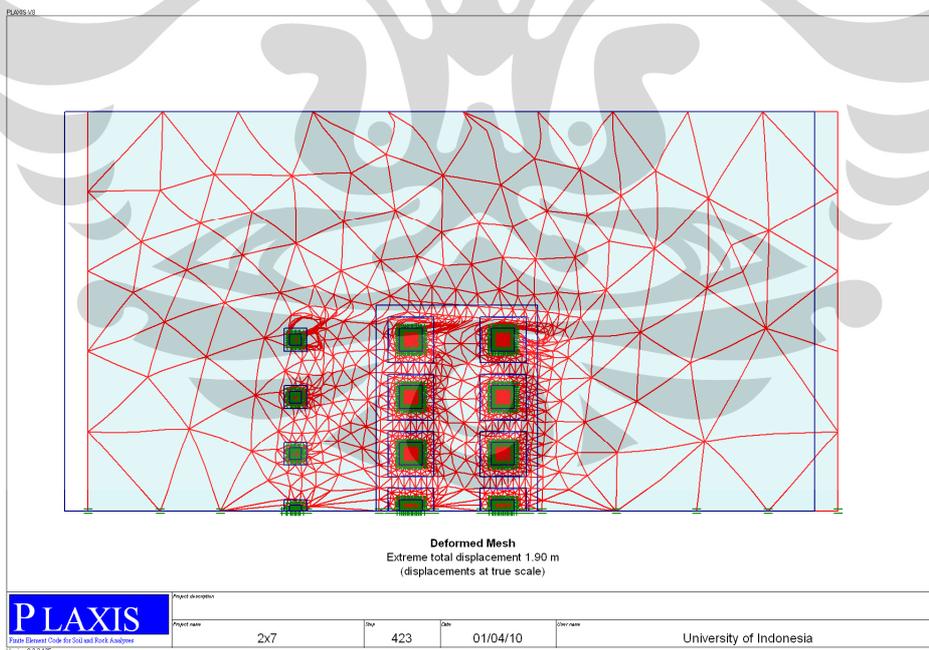


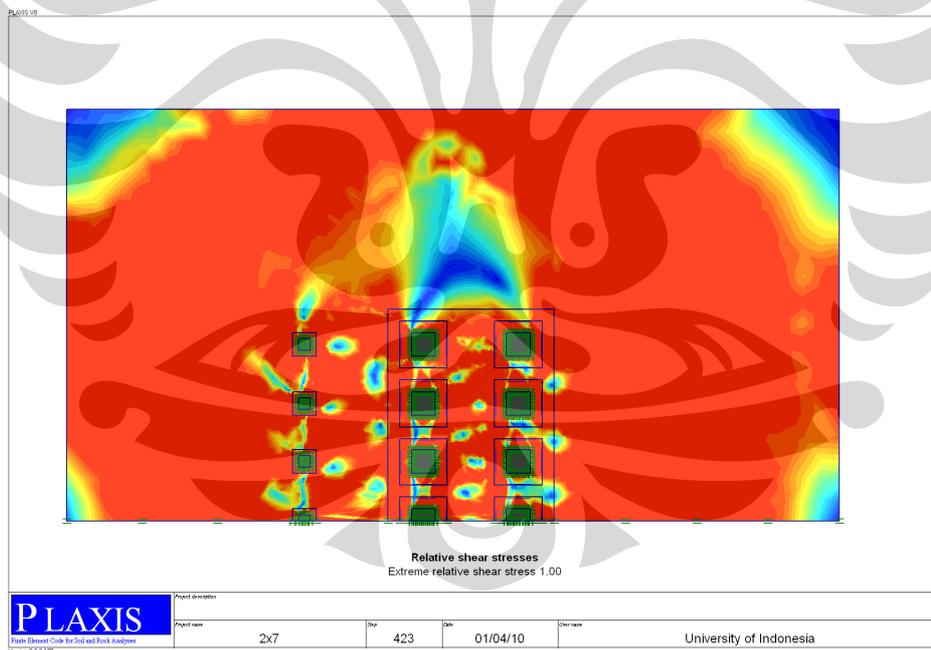
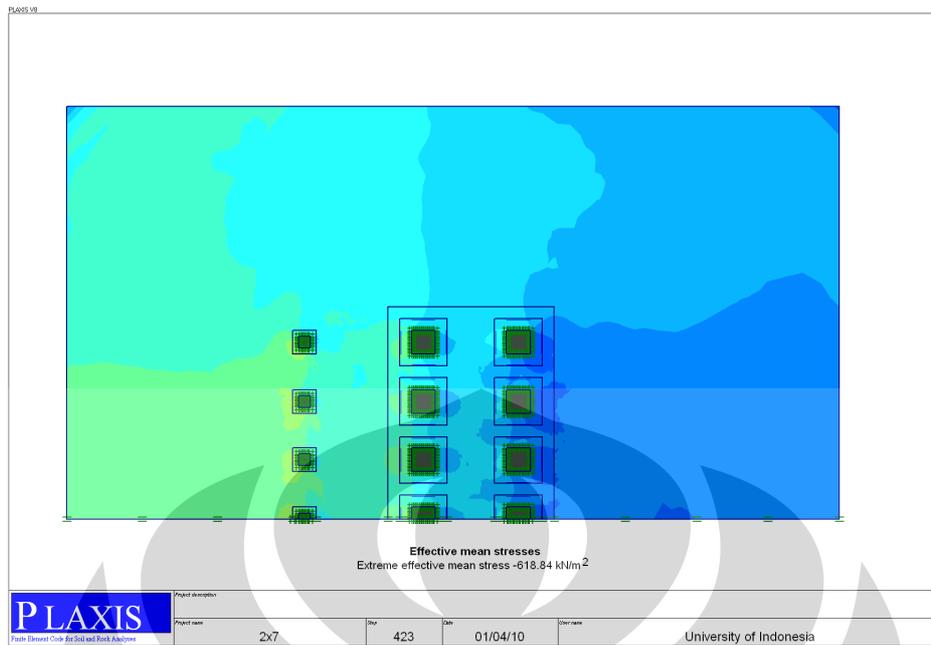
- 5w, 50% w
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

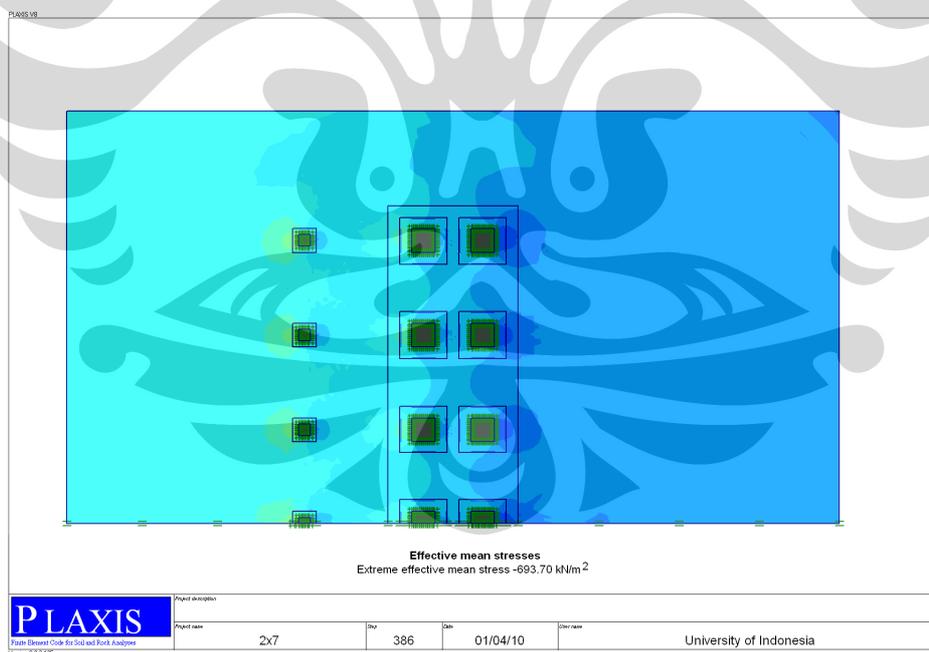
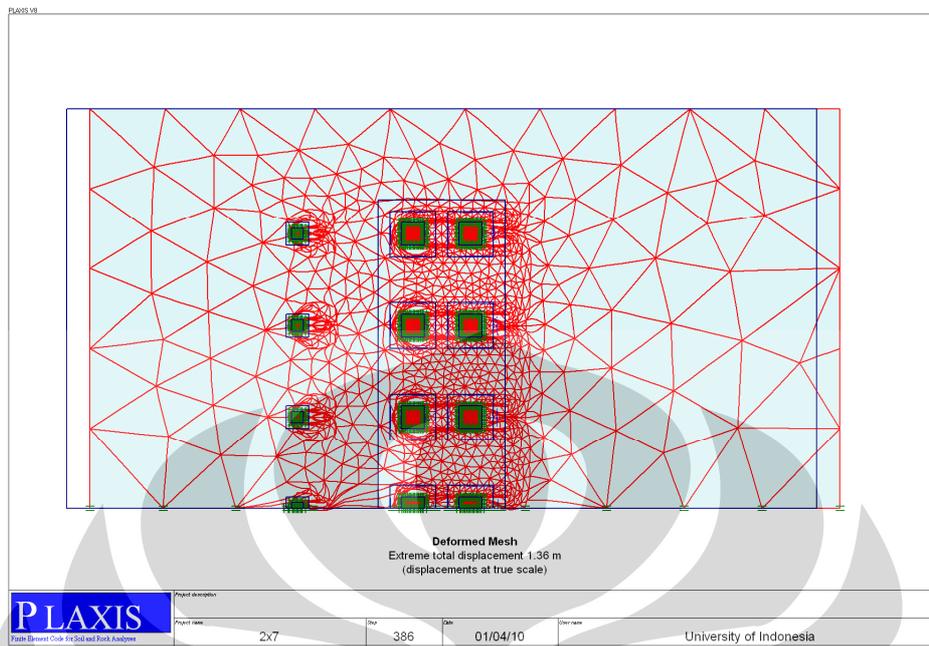


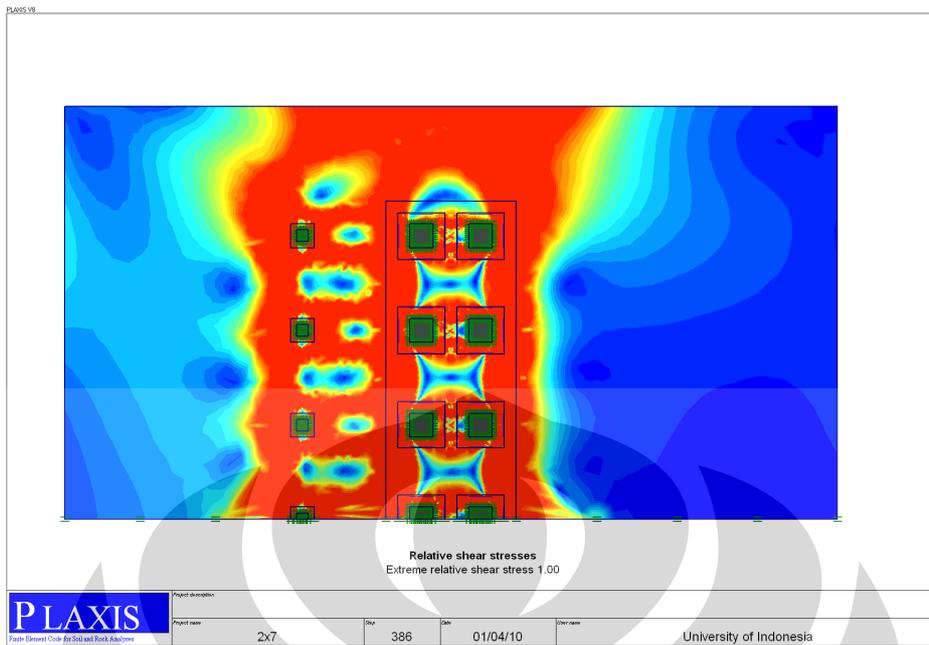


2. $Sh=2.5w; Sv=4w$

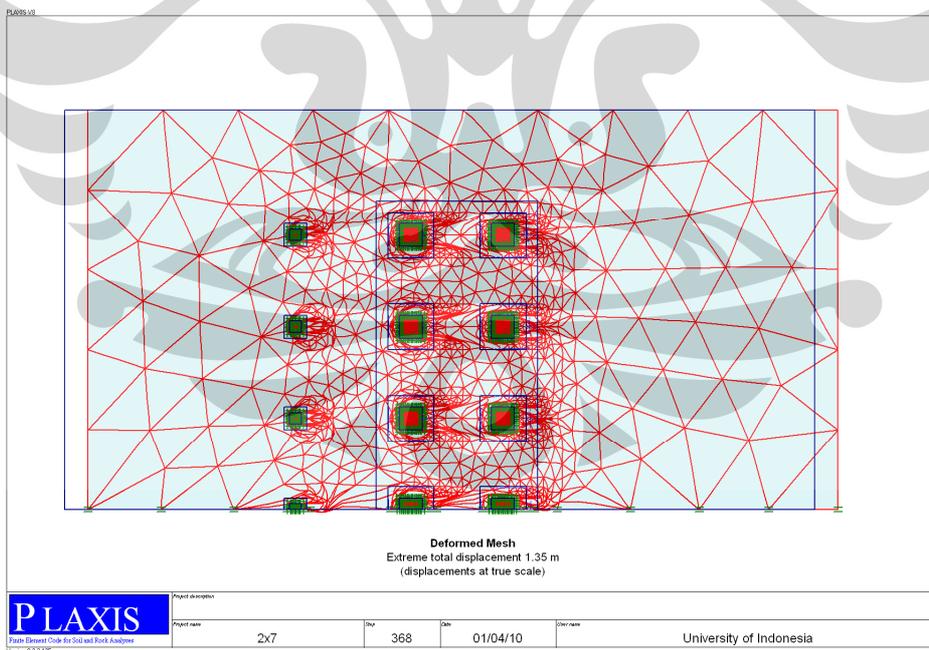


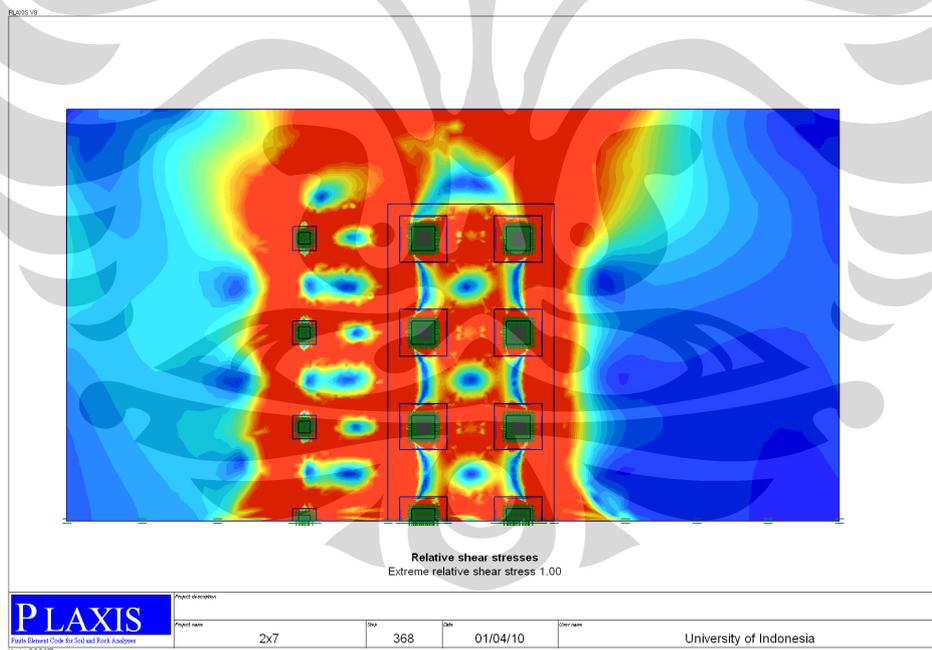
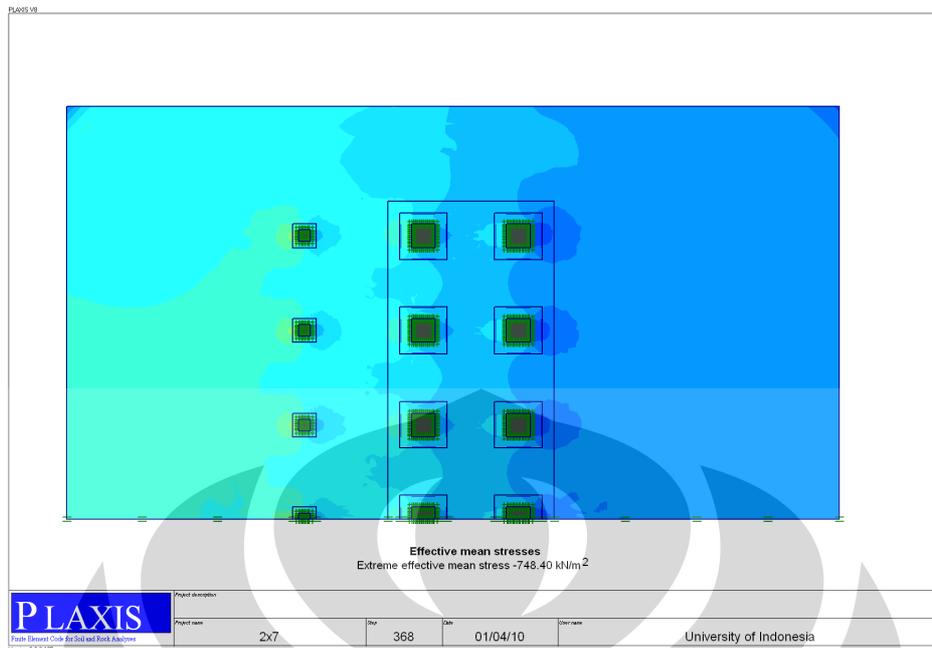


3. $S_h=4w; S_v=2.5w$ 

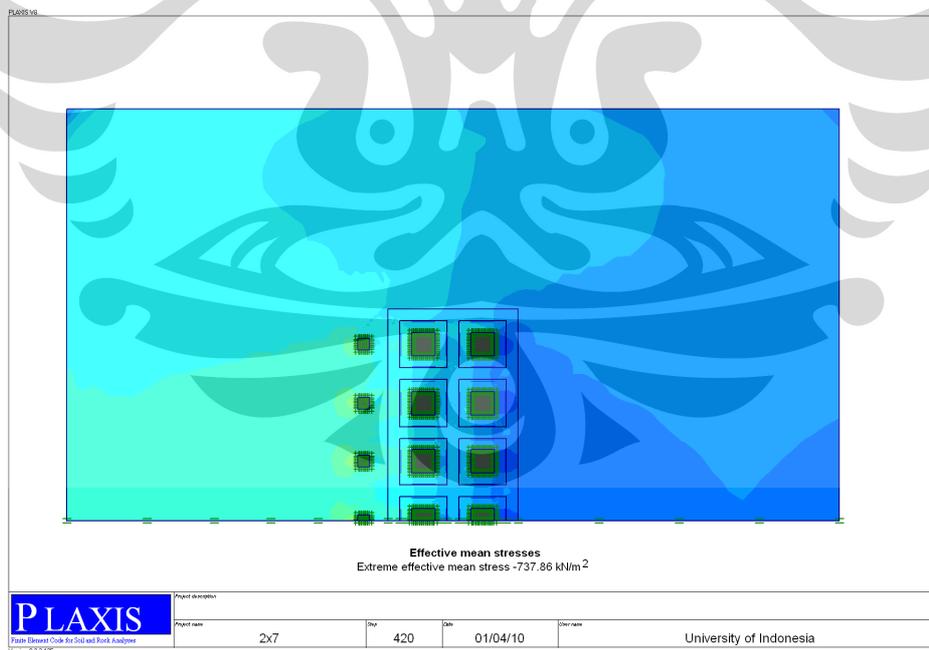
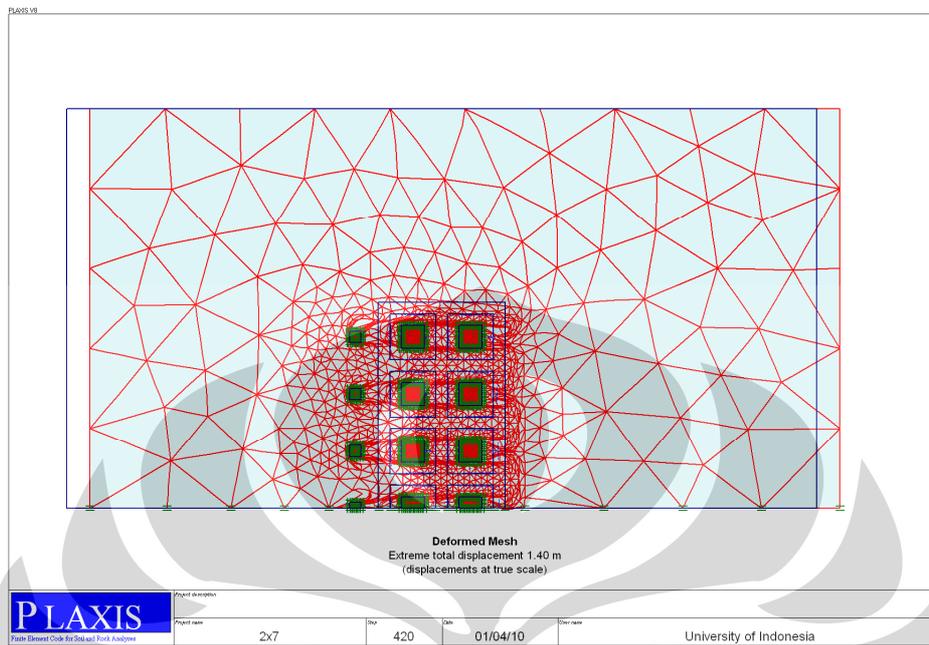


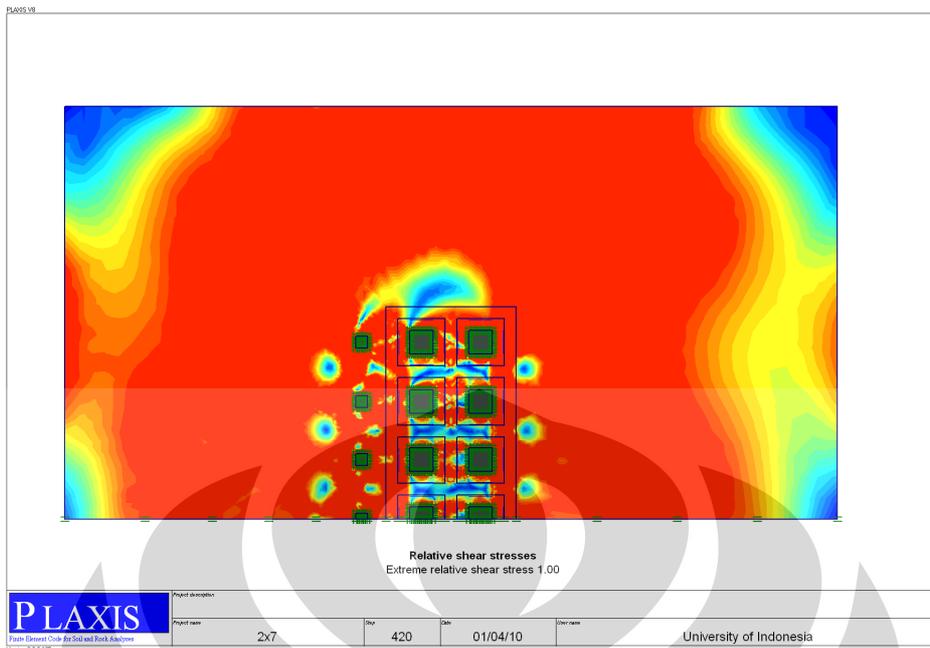
4. $S_h=4w; S_v=4w$



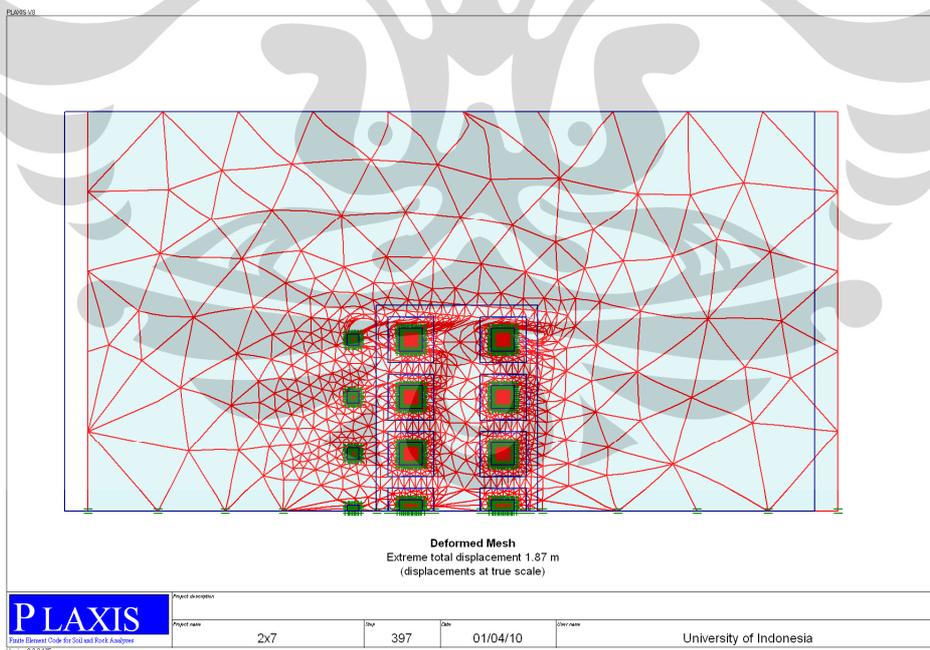


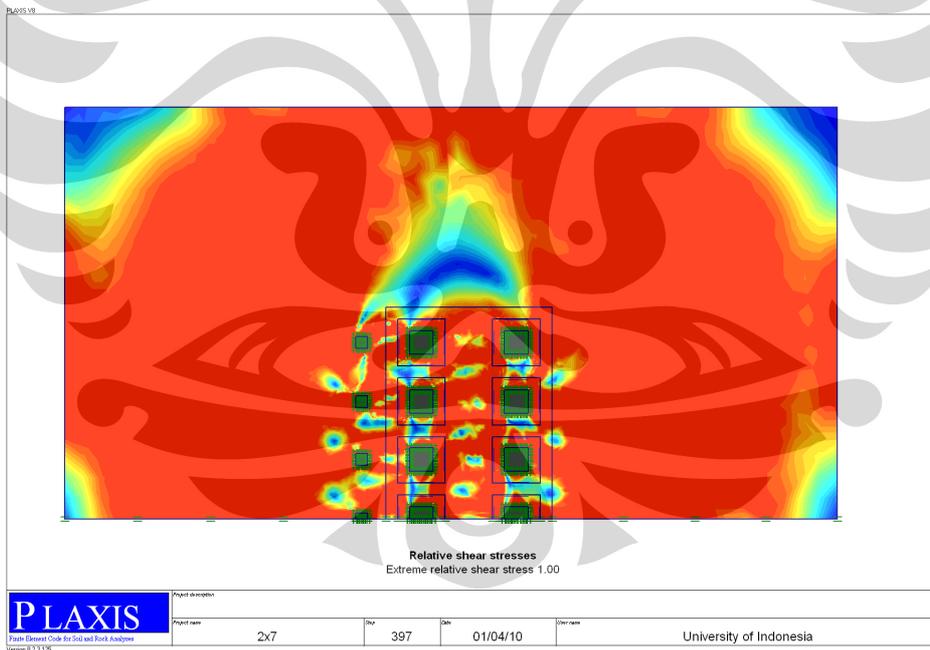
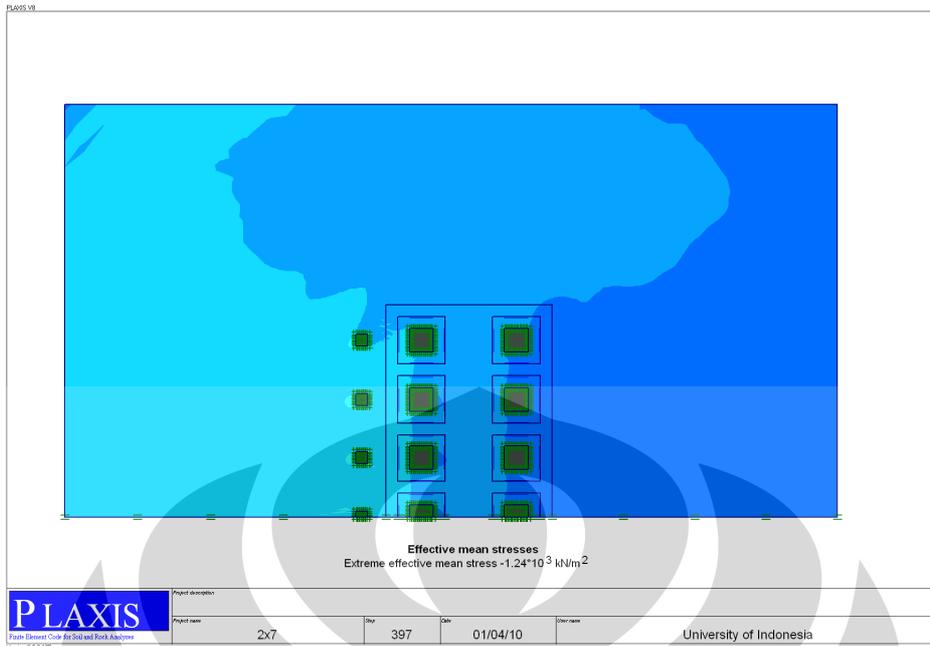
- 2.5w, 50% w
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

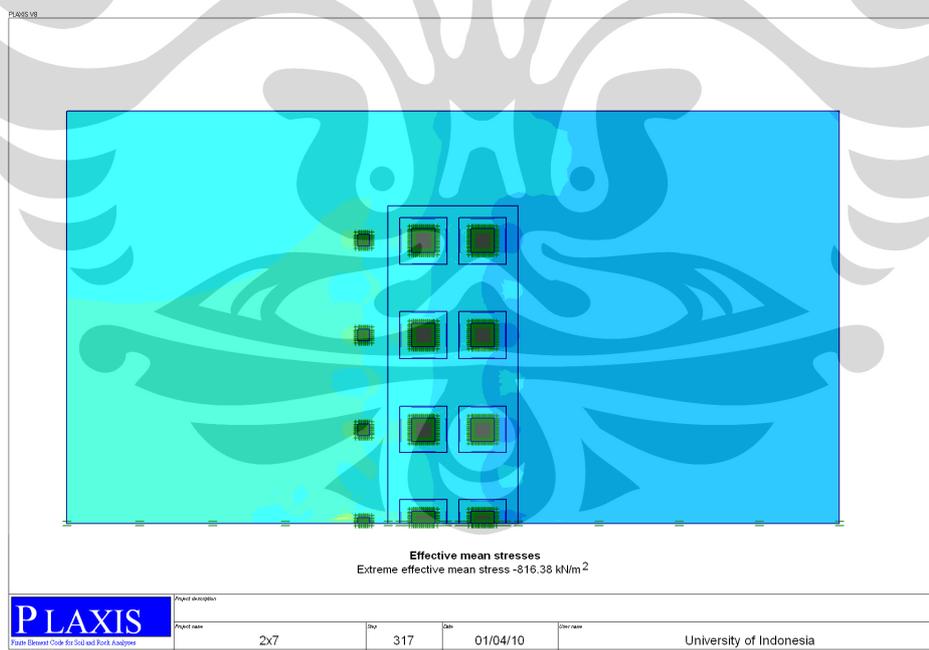
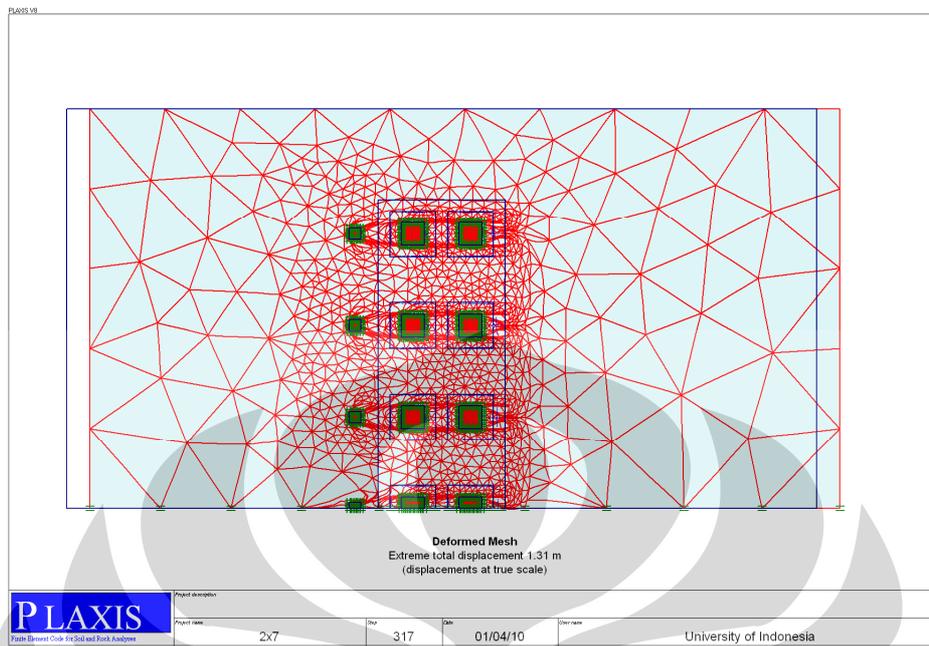


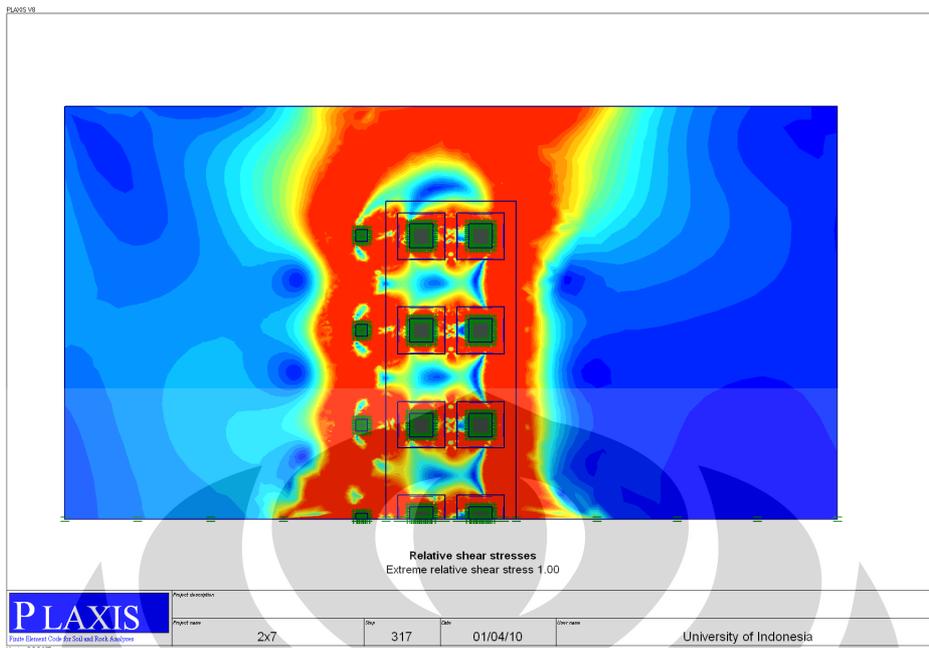


2. $Sh=2.5w; Sv=4w$

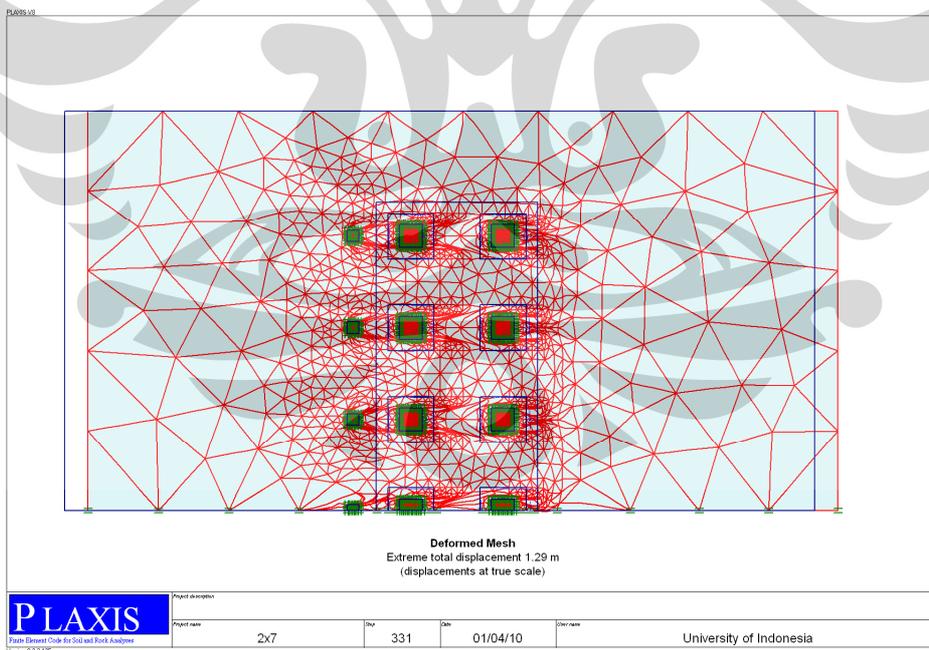


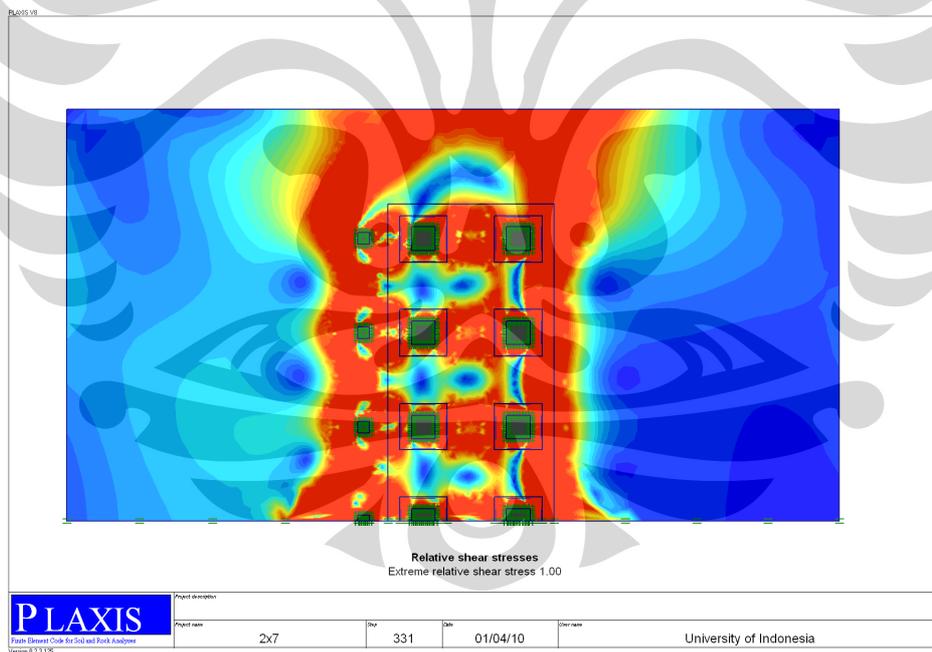
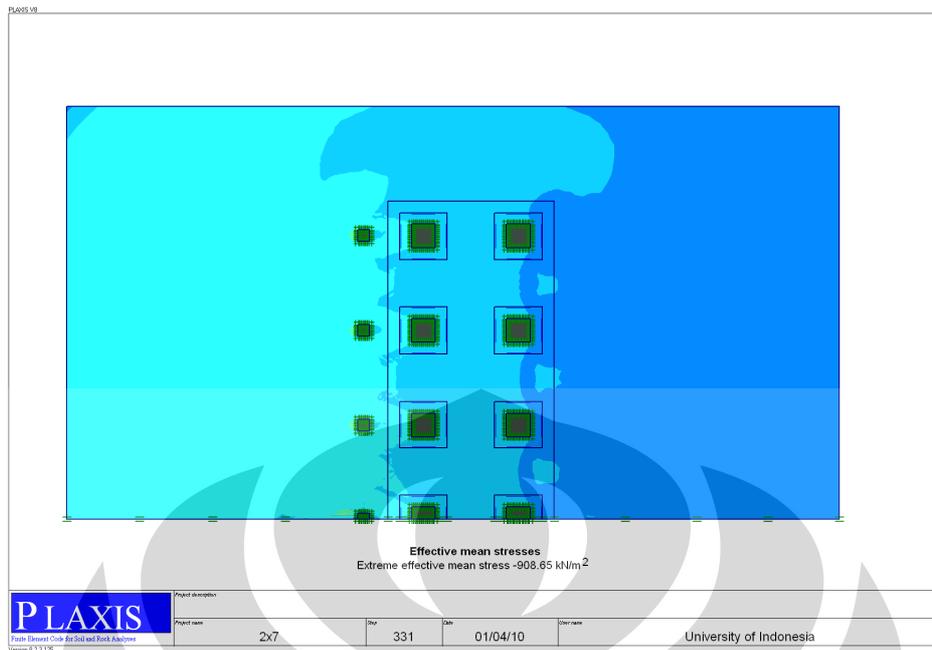


3. $S_h=4w; S_v=2.5w$ 



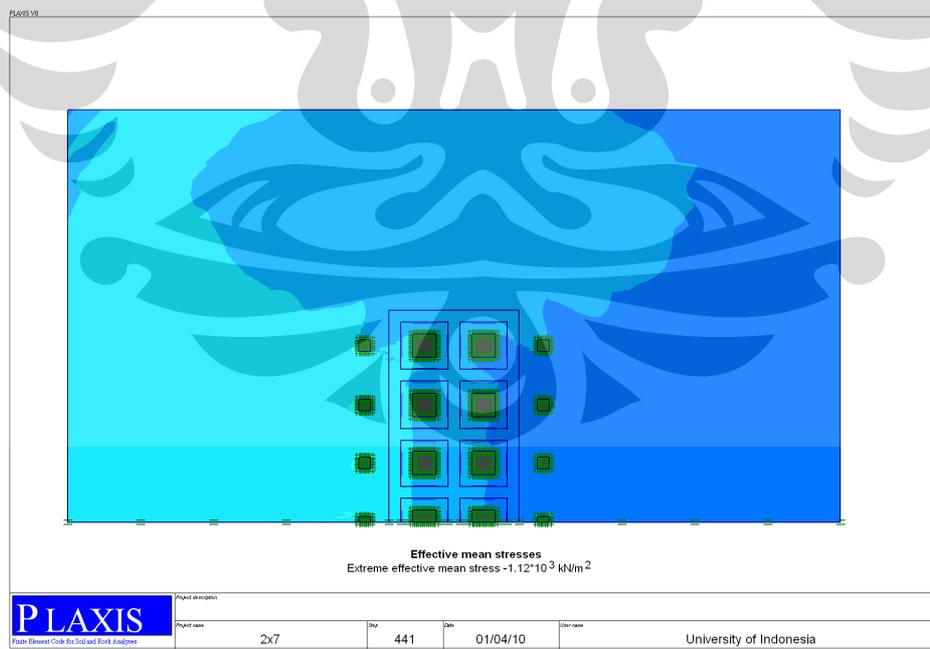
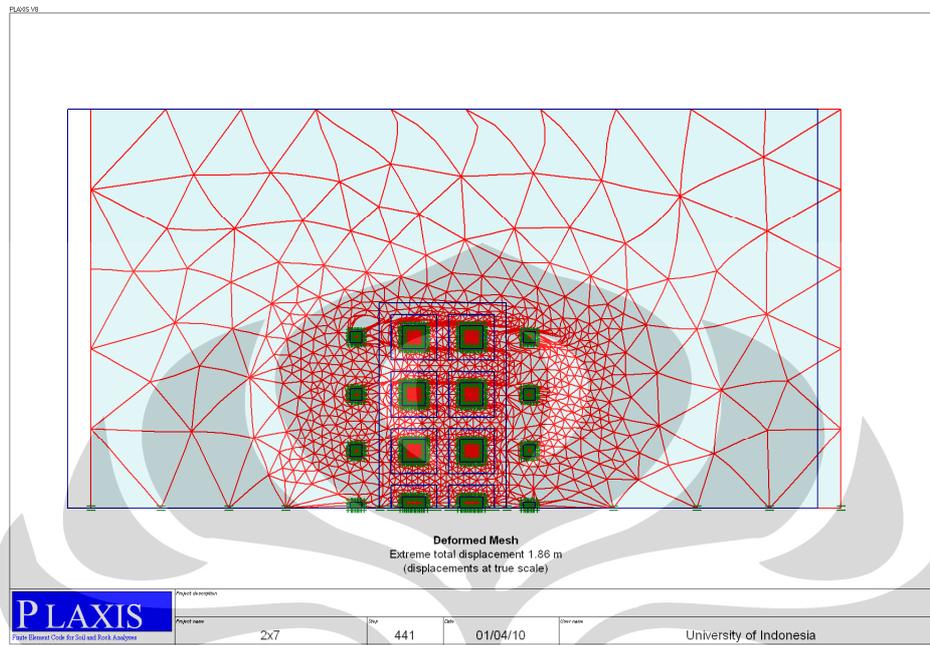
4. $S_h=4w; S_v=4w$

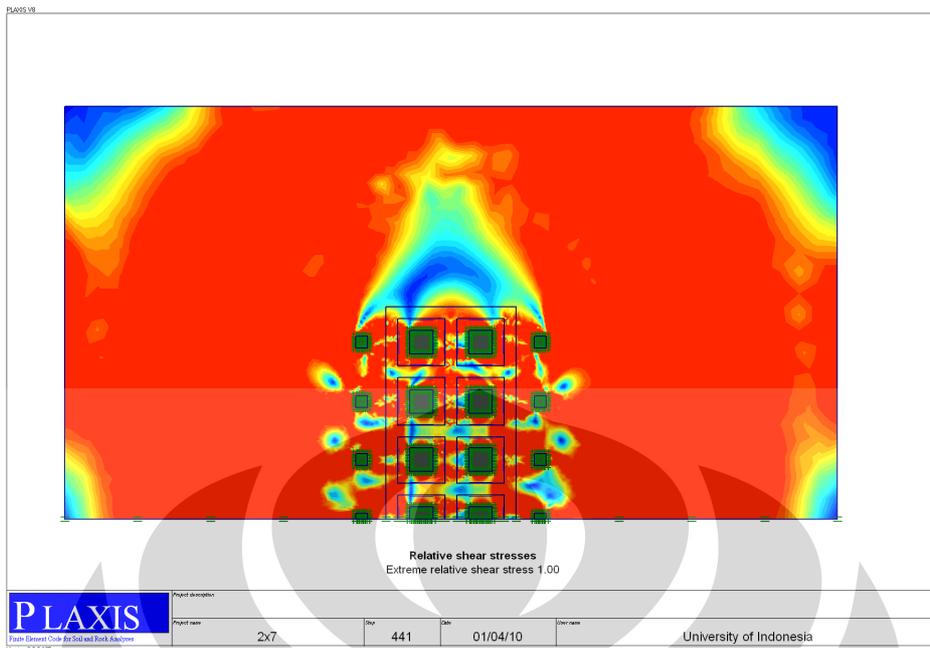




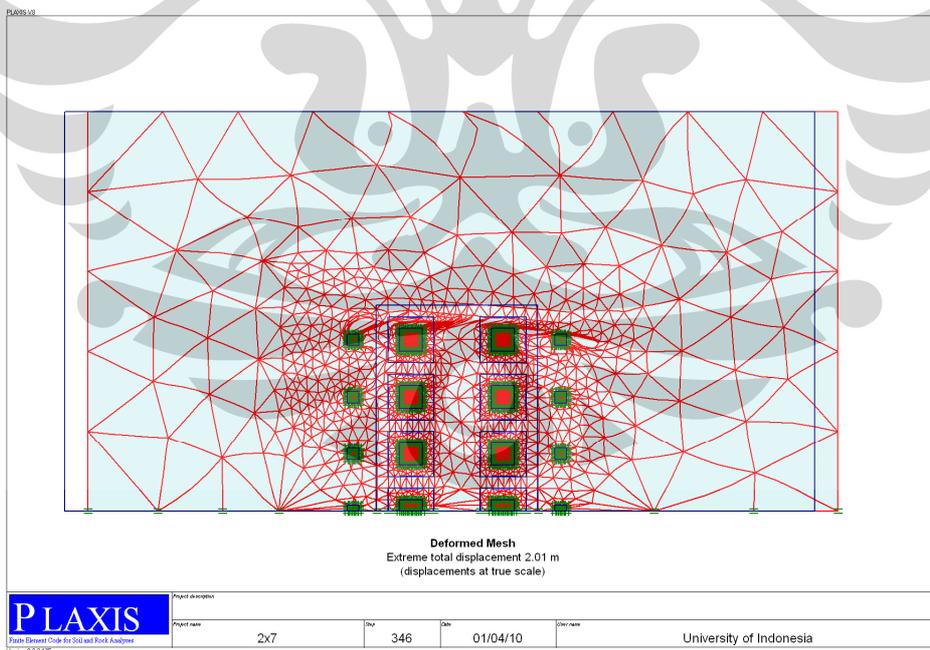
C. Permodelan Dengan Shielding Piles (Belakang Dan Depan)

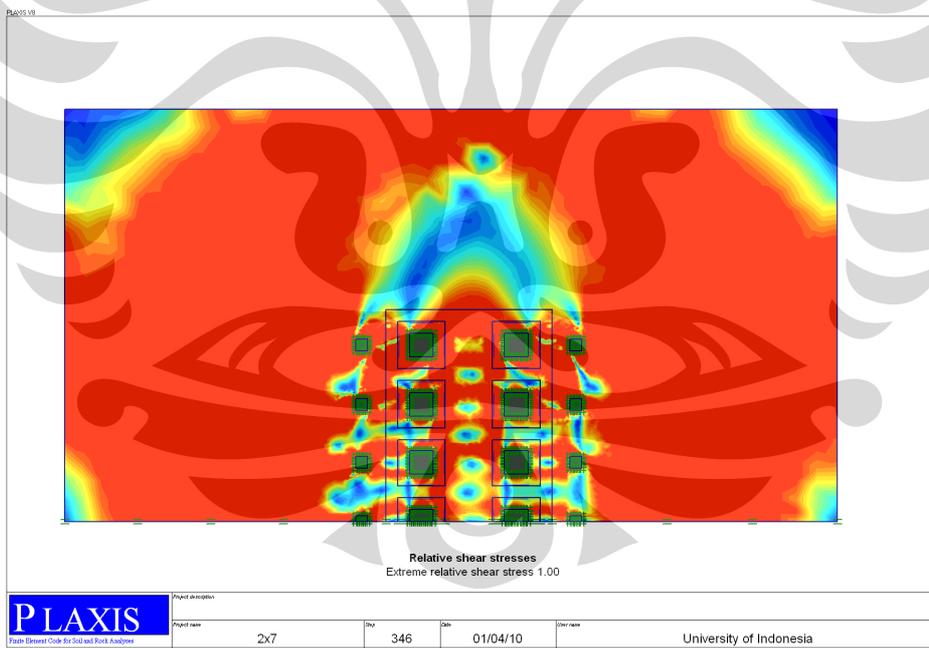
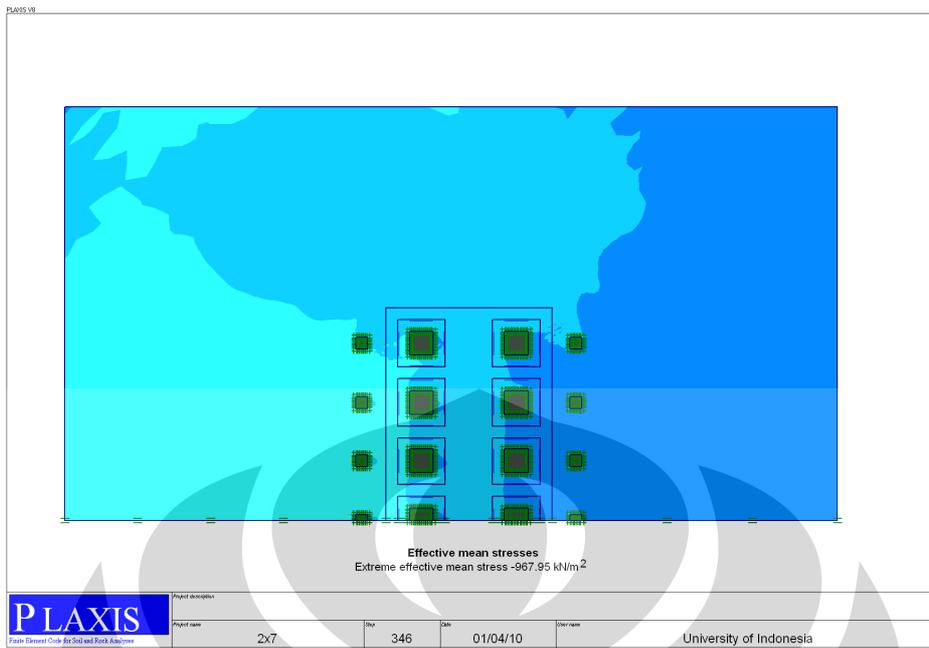
- 2.5w, 50%
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

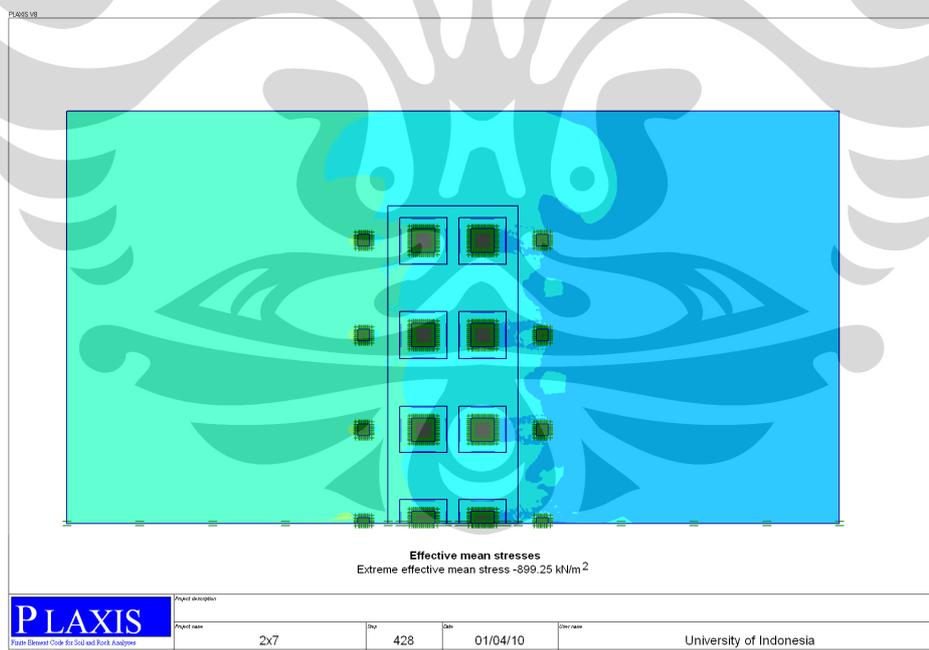
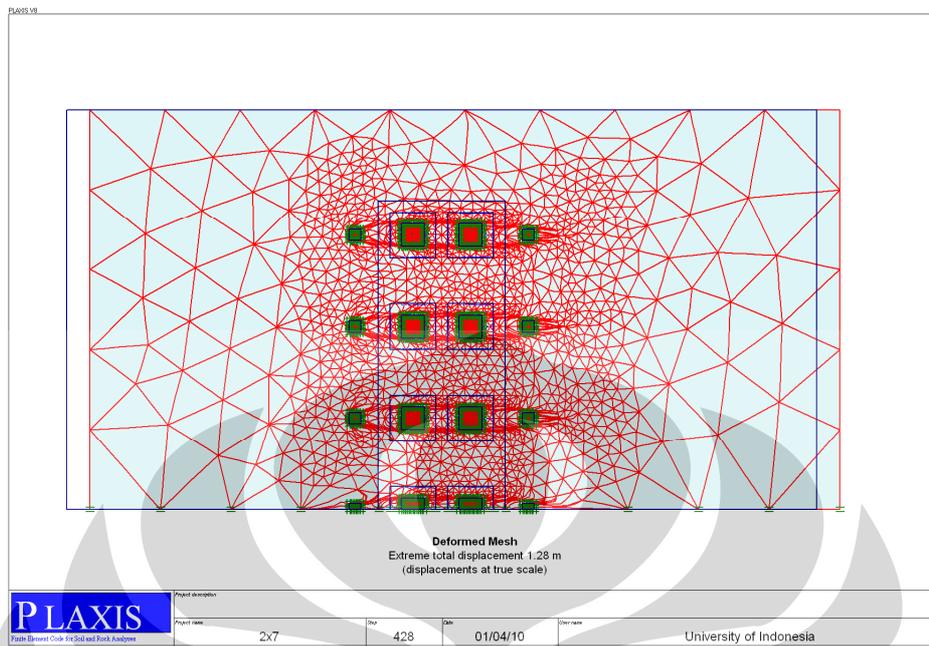


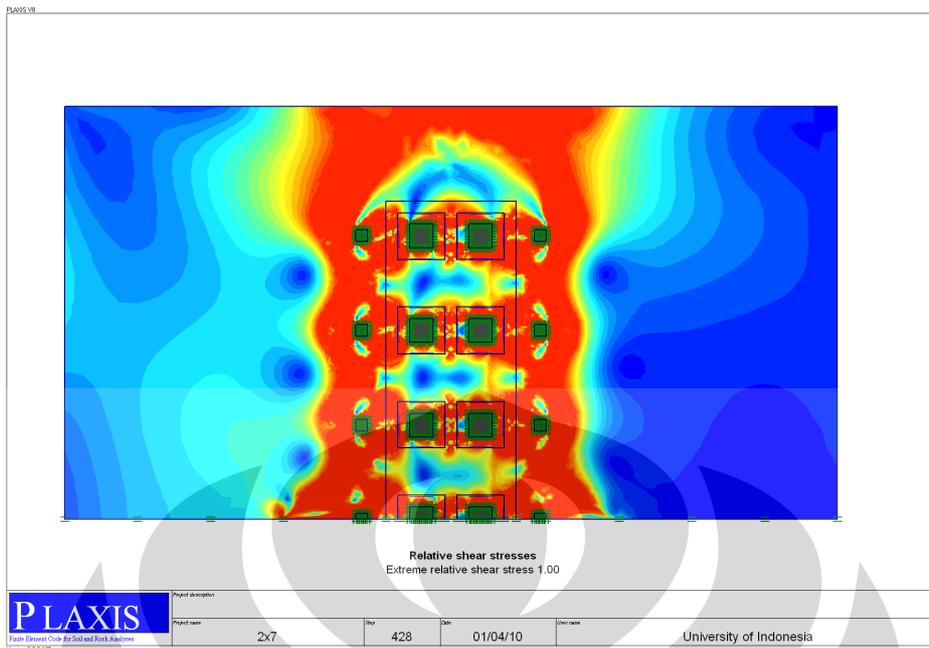


2. $Sh=2.5w; Sv=4w$

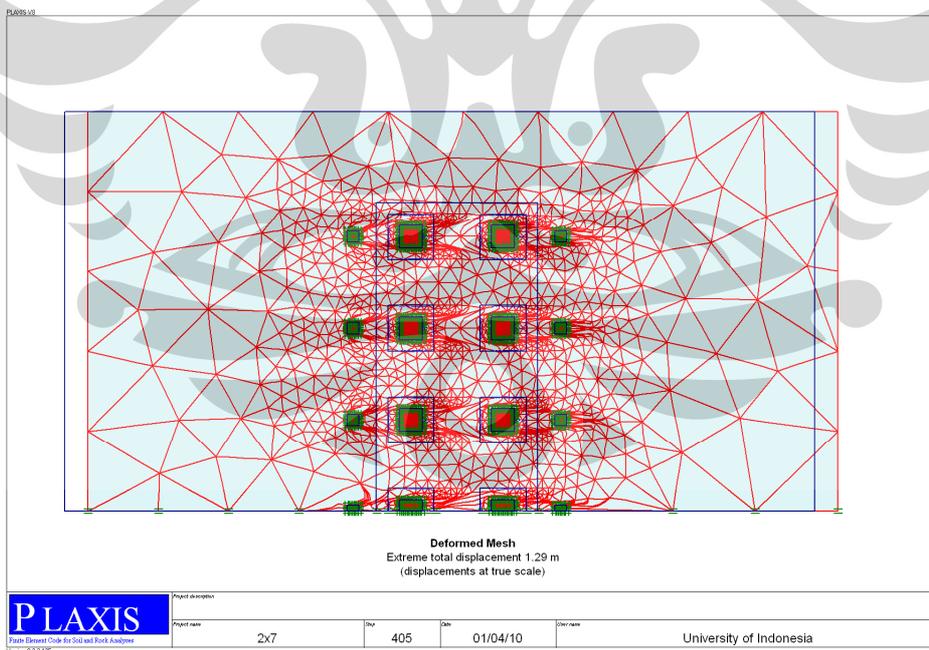


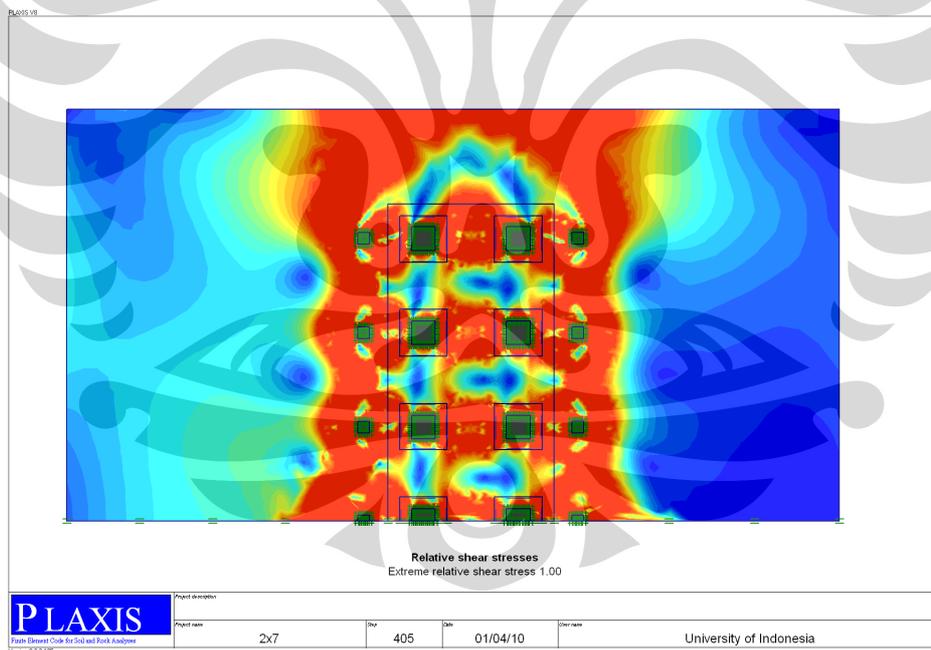
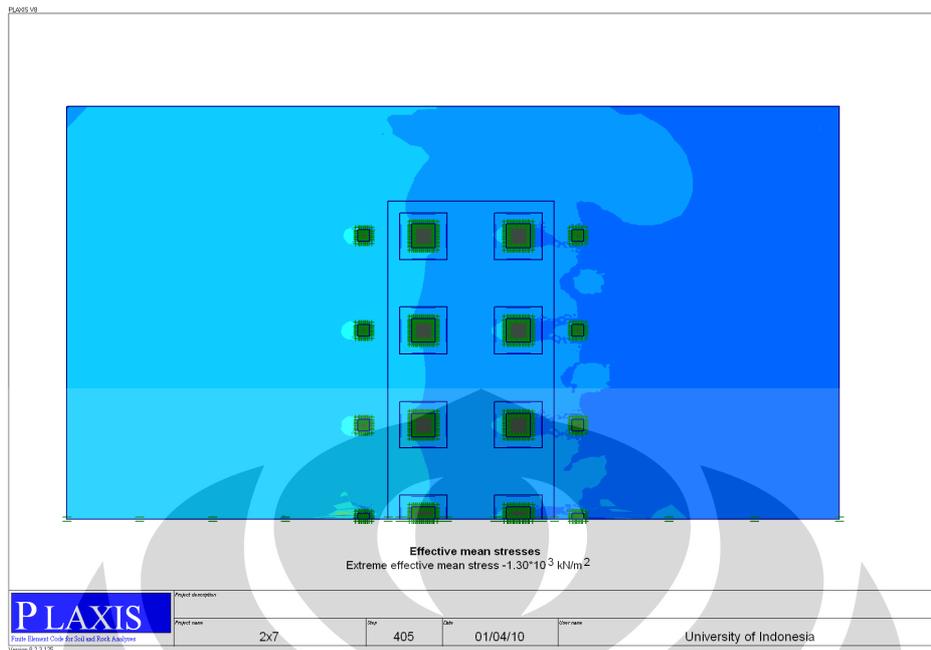


3. $S_h=4w;S_v=2.5w$ 

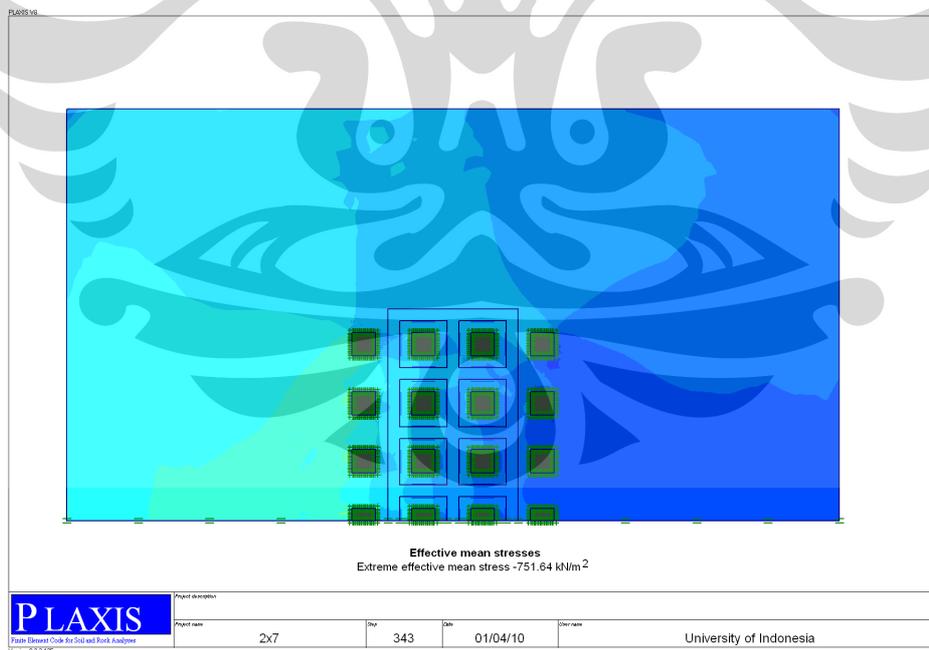
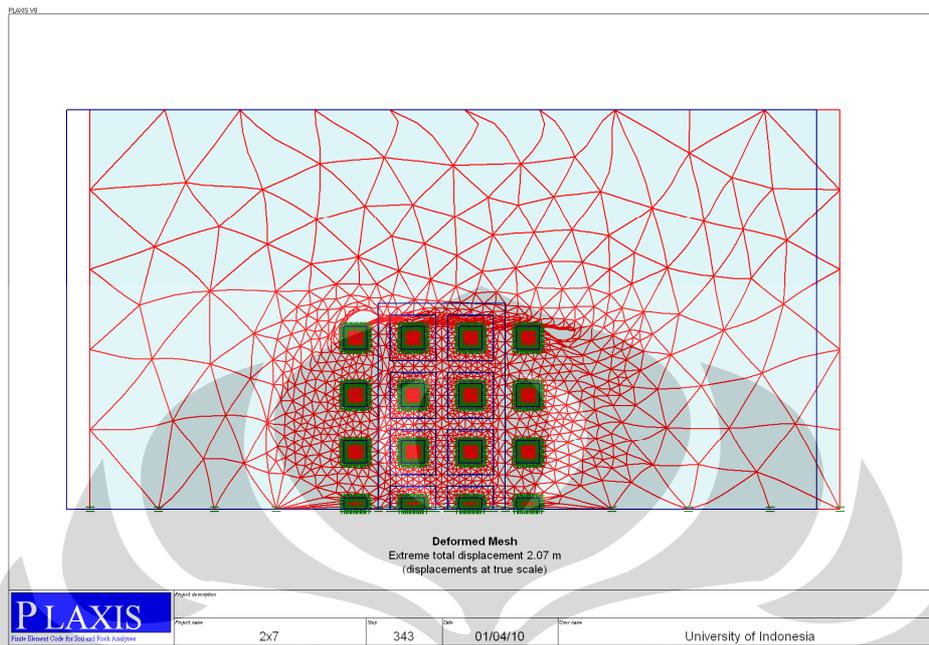


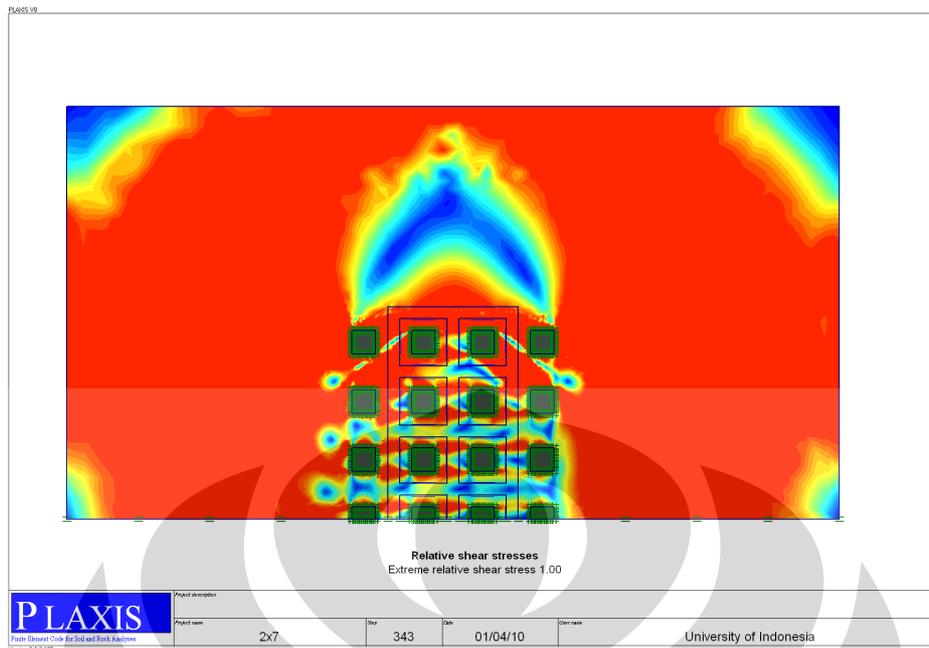
4. $S_h=4w; S_v=4w$



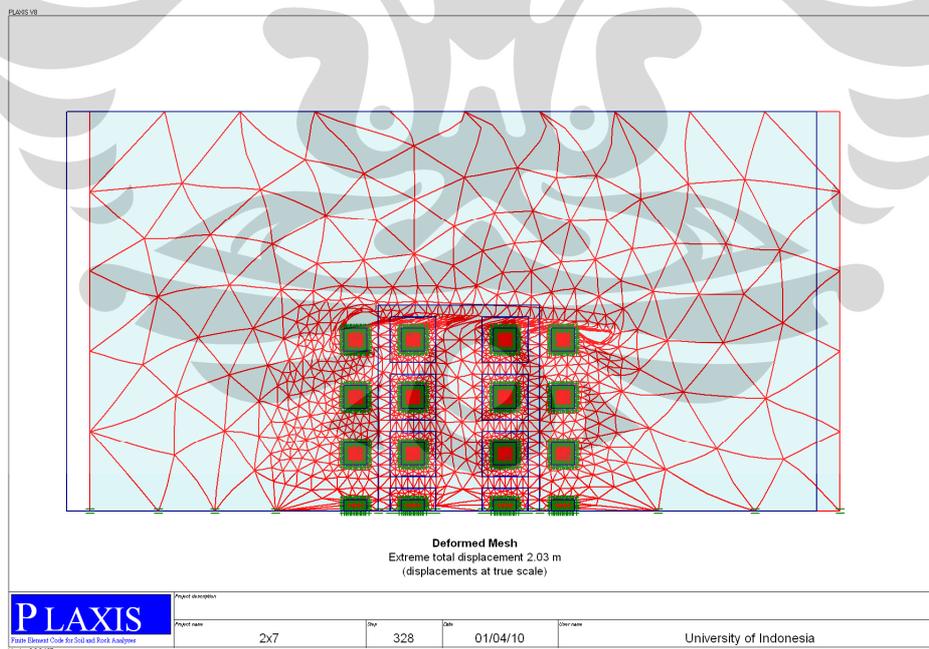


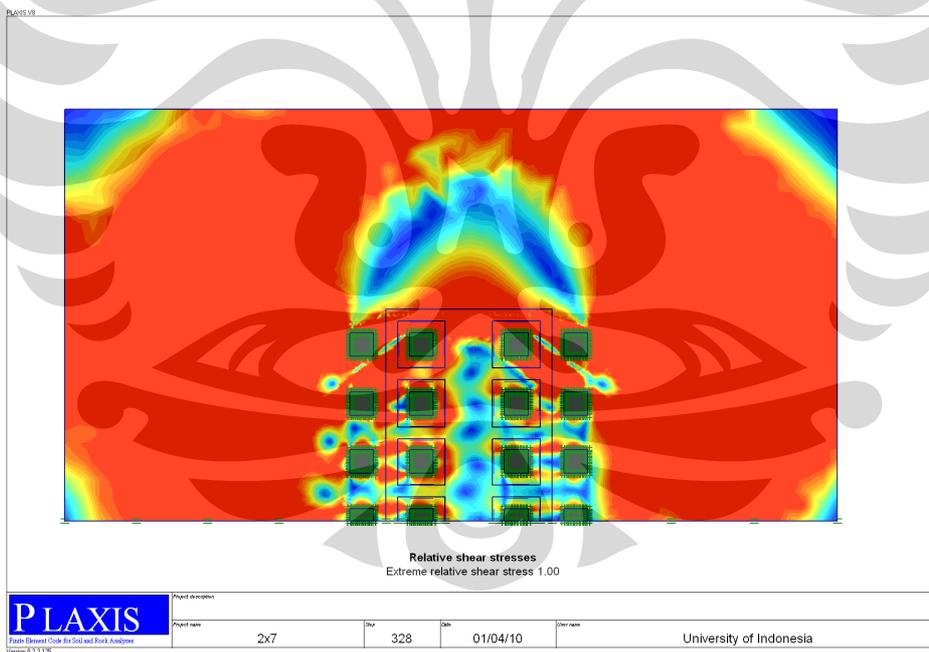
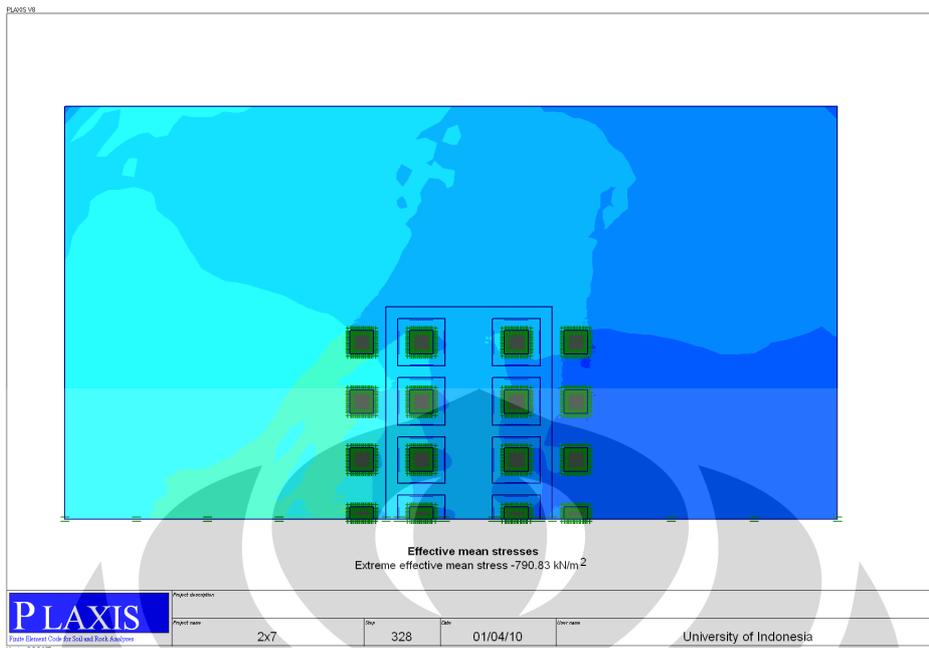
- 2.5w, 100%
 1. $Sh=2.5w; Sv=2.5w$

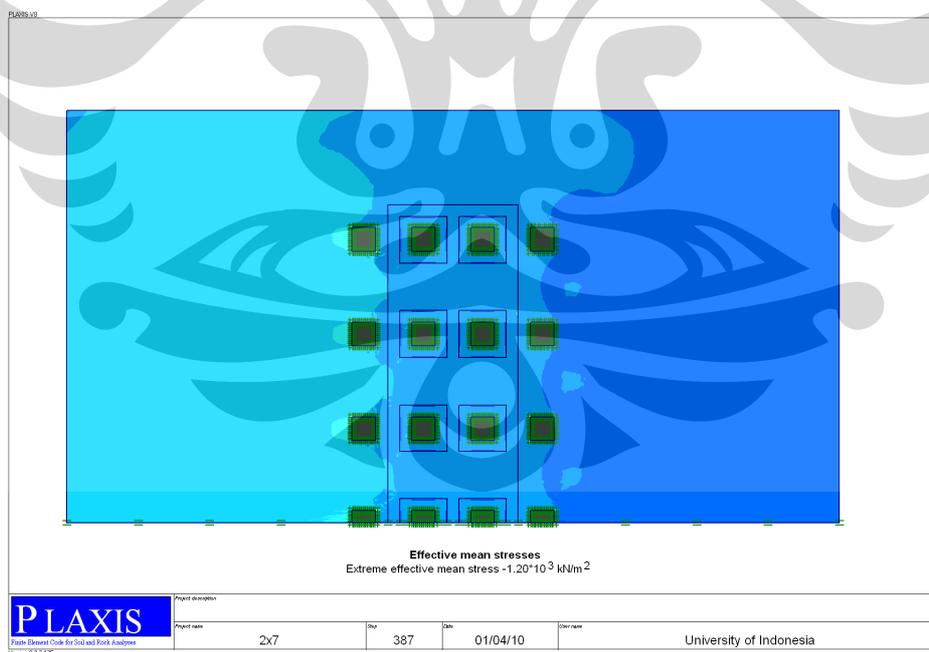
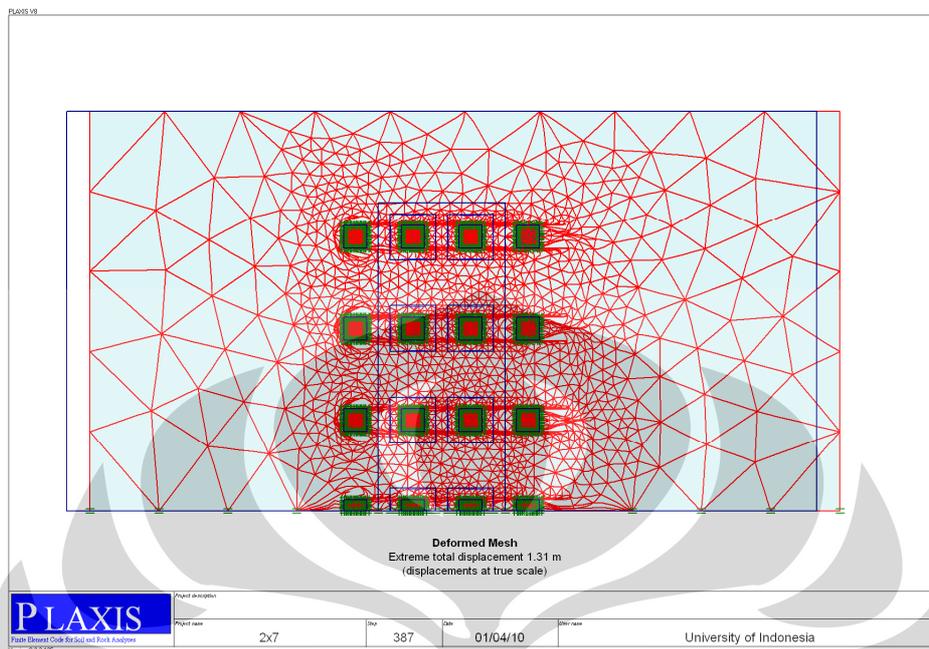


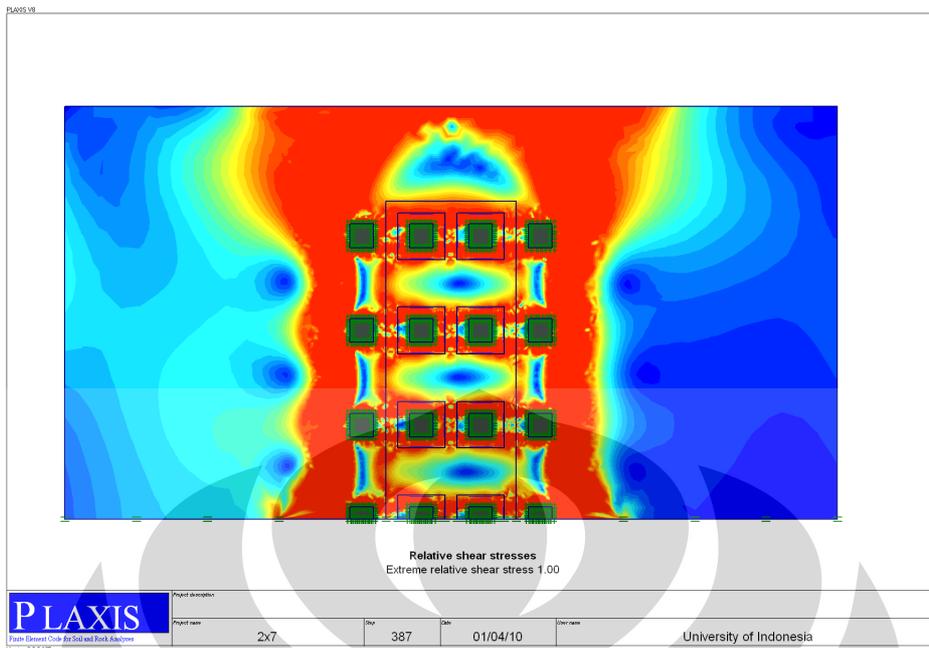


2. $Sh=2.5w; Sv=4w$





3. $S_h=4w;S_v=2.5w$ 



4. $S_h=4w; S_v=4w$

