



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISA KEGAGALAN *CRANE PEDESTAL* AKIBAT
BEBAN LEDAKAN**

Mochammad Ramzi

NRP. 4310 100 096

Dosen Pembimbing:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST. MT. Ph.D

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT - MO 091336

**FAILURE ANALYSIS OF CRANE PEDESTAL DUE TO
BLAST LOADING**

Mochammad Ramzi

NRP. 4310 100 096

Supervisors :

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST. MT. Ph.D

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

ANALISA KEGAGALAN CRANE PEDESTAL AKIBAT BEBAN LEDAKAN

Nama Mahasiswa : Mochammad Ramzi

NRP : 4310100096

Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS

Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo ST, MT, Ph.D

Ir. Handayanu M.Sc, Ph.D

ABSTRAK:

Pada tugas akhir ini dianalisis kegagalan struktur crane pedestal yang terjadi akibat adanya beban ledakan. Struktur Crane pedestal yang dianalisis memiliki diameter 32 inch, tebal 0.598 inch dan berada pada jarak 1.775 m dari sumber ledakan. Analisa didasarkan akibat variasi beban ledakan yang terjadi dan beban kombinasi, yaitu ketika terkena ledakan sebesar 0.03 bar, 0.21 bar, 0.35 bar serta untuk kombinasi ditambahkan dengan beban statisnya dengan code yang digunakan adalah API RP 2A WSD 2000. Penelitian ini menyajikan metodologi berbasis time domain untuk menghitung kurva ledakan dan besarnya kurva tekanan ledakan serta respon dan nilai kegagalan yang terjadi. Dari perhitungan, didapatkan bahwa kurva tekanan dinamis ledakan yang mengenai struktur akan meningkat hingga 10 kali lipat dari kurva gelombang ledakan. hal ini dipengaruhi oleh kecepatan ledakan dan massa jenis ledakan. sedangkan dari analisa dengan bantuan software ANSYS 14.5, didapatkan bahwa tegangan secara berturut-turut yang terjadi pada struktur telah melebihi yield, yaitu : 348 MPa, 368 MPa dan 374 MPa, serta telah mengalami deformasi plastis, yaitu 18 mm, 34 mm dan 51 mm. Hal ini disebabkan karena peningkatan beban ledakan yang signifikan namun terjadi dalam waktu singkat. Nilai kerusakan struktur berdasarkan damage index modal adalah 10.68% (kategori ringan) sedangkan berdasarkan ductility limit, struktur mengalami kerusakan ringan (1.396) akibat kombinasi ledakan 0.03 bar, kerusakan sedang (3.53) akibat kombinasi ledakan 0.21 bar, dan kerusakan substansial (4.91) akibat kombinasi ledakan 0.35 bar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur mengalami kegagalan operasi.

Kata Kunci – Crane Pedestal, Ledakan, kegagalan, Ductility limit, damage index modal

FAILURE ANALYSIS OF CRANE PEDESTAL DUE TO BLAST LOADING

Name : Mochammad Ramzi

NRP : 4310 100 096

Departement : Ocean Engineering

**Supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo ST, MT, Ph.D
Ir. Handayanu M.Sc, Ph.D**

ABSTRACT

In this final project, focus on analyze failure of crane pedestal structure that occurs due to blast loads. Structure Crane pedestal analyzsed has a 32 inch diameter, 0.598 inch thick and at a distance of 1,775 m from the source of the blast. The analyze is based due to a blast load variations and load combinations, which hit by a blast of 0.03 bar, 0,21 bar , and 0,35 bar, and added by the combination of the static loads with code used is API RP 2A WSD 2000. This study presents a methodology based on the time domain curve to calculate the magnitude of the blast and the blast pressure and then response curve with value of the failure. From the calculations, it was found that the explosion of dynamic pressure curve of the structure will increase up to 10 times from the blast wave curve. it is caused by the speed and density of the blast. while the analysis within help of ANSYS 14.5 software, it was found that stress occured to have exceeded the yield structure,i.e : 348 MPa, 368 MPa and 374 MPa, and has complitely plastic deformation, which is 18 mm, 34 mm and 51 mm . This is due to a significant increase in blast load occurs in a short time. Value of structural damage based on the damage index of modal is 10.68% (light category) while based ductility limit, the structure suffered minor damage (1.396) due to a combination of blast 0.03 bar, medium damages (3.53) due to a combination of blast 0.21 bar, and substantial damage (4.91) due to 0.35 bar of blast combination. It can be concluded that capability of the structure has failed.

Keywords : *Crane Pedestal, blast, failure, Ductility limit, damage index modal*

**ANALISA KEGAGALAN CRANE PEDESTAL AKIBAT BEBAN
LEDAKAN**

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Mochammad Ramzi

Nrp 4310100096

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo ST, MT, Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu M.Sc, Ph.D (Pembimbing 2)



SURABAYA, AGUSTUS 2014

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul “**Analisa Kegagalan Crane Pedestal Akibat Beban Ledakan**”. Buku laporan Tugas akhir ini adalah sebagai bekal keahlian ataupun sebagai sebuah karya nyata seorang mahasiswa, sehingga nantinya mampu untuk terjun dan bersaing di dunia kerja

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas mengenai struktur crane pedestal yang letaknya sangat dekat dengan tabung *CO₂ bottle skid* yang mana berpotensi terjadi ledakan. Sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai tingkat kerusakan akibat beban ledakan.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutup kekurangan dari penulisan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknik kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

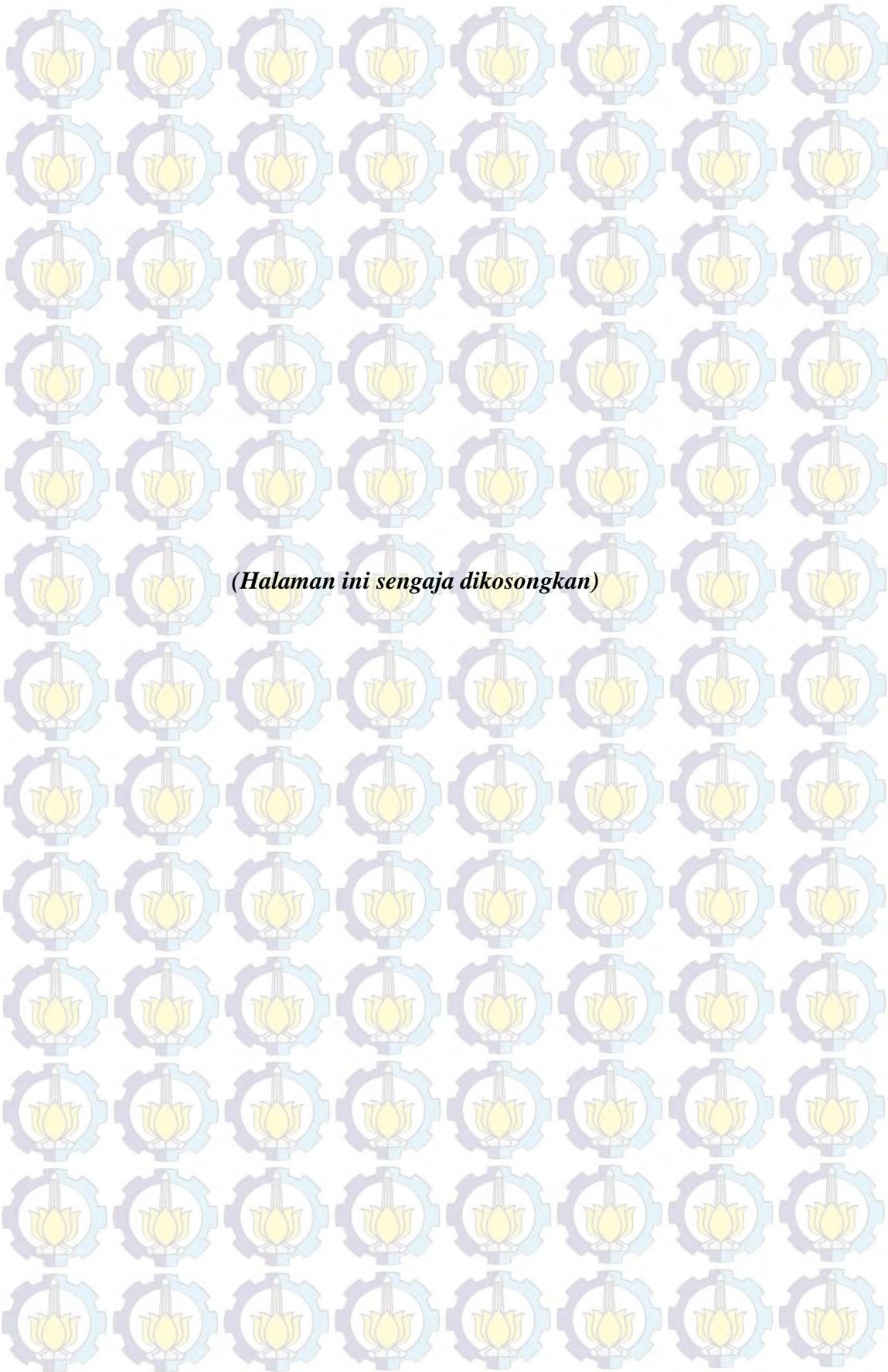
Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2014

Mochammad Ramzi
NRP. 4310100096

DAFTAR TABEL

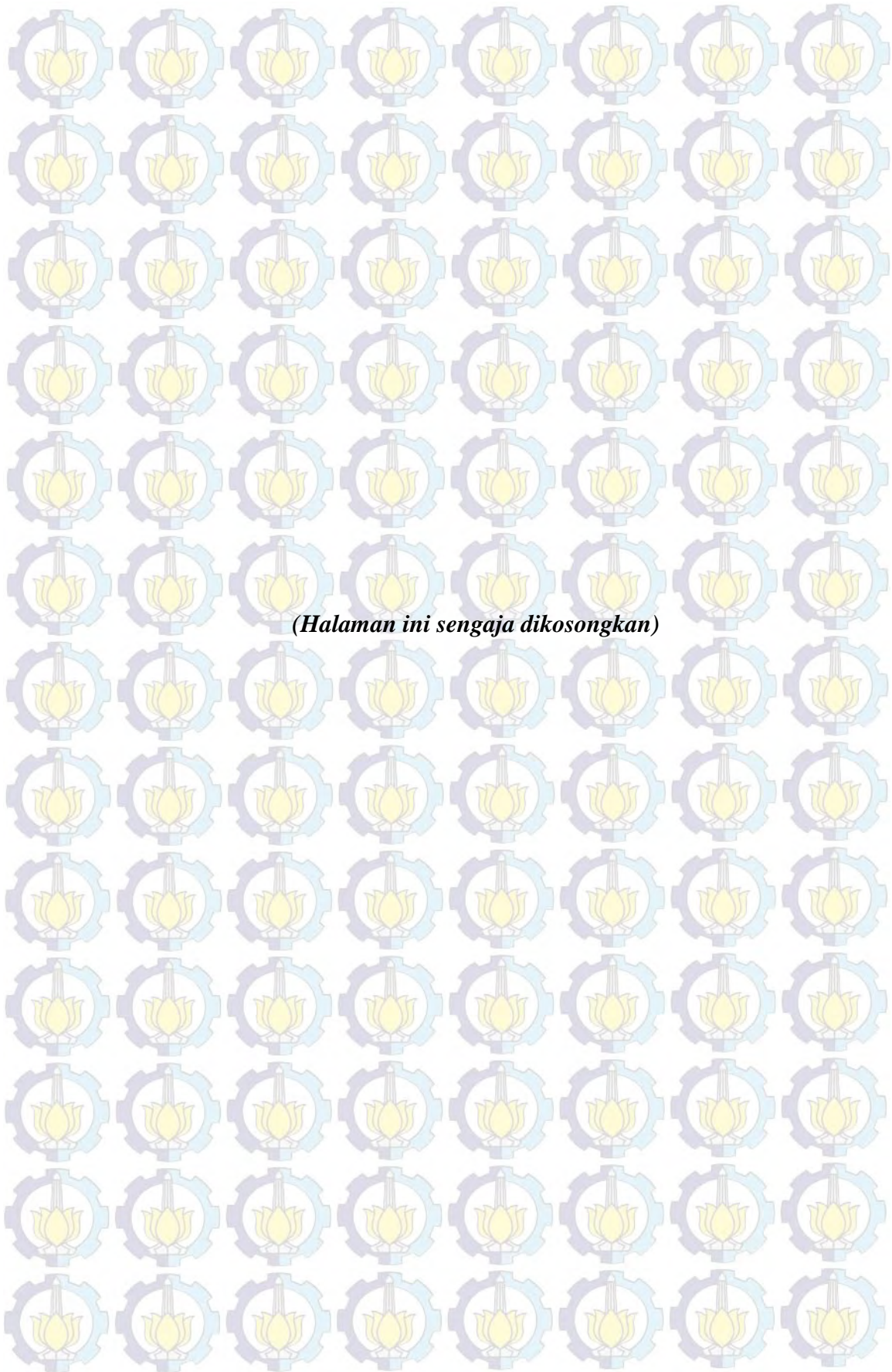
Tabel 2.1.	Koeffisien drag pada bentuk struktur sederhana.....	16
Tabel 2.2.	Pembagian jenis domain dari beberapa literatur	17
Tabel 2.3.	Kriteria respon kerusakan pada struktur atau bangunan.....	25
Tabel 2.4.	Tingkat kerusakan struktur berdasarkan rasio ductility.....	28
Tabel 3.1.	Data kandungan tabung CO ₂ Bottle skid saat meledak	34
Tabel 3.2.	Radius ledakan	37
Tabel 4.1.	Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.03 bar.....	43
Tabel 4.2.	Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.21 bar.....	43
Tabel 4.3.	Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.35 bar.....	44
Tabel 4.4.	Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.03 bar.....	46
Tabel 4.5.	Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.21 bar.....	46
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.35 bar.....	47
Tabel 4.7.	Beban kombinasi statis	50
Tabel 4.8.	Hasil perhitungan DAF akibat ledakan statis dan dinamis.....	59
Tabel 4.9.	Hasil perhitungan DAF akibat kombinasi ledakan statis dan dinamis.....	59
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan nilai damage index modal	60
Tabel 4.11.	Hasil perhitungan nilai <i>ductility limit</i>	60



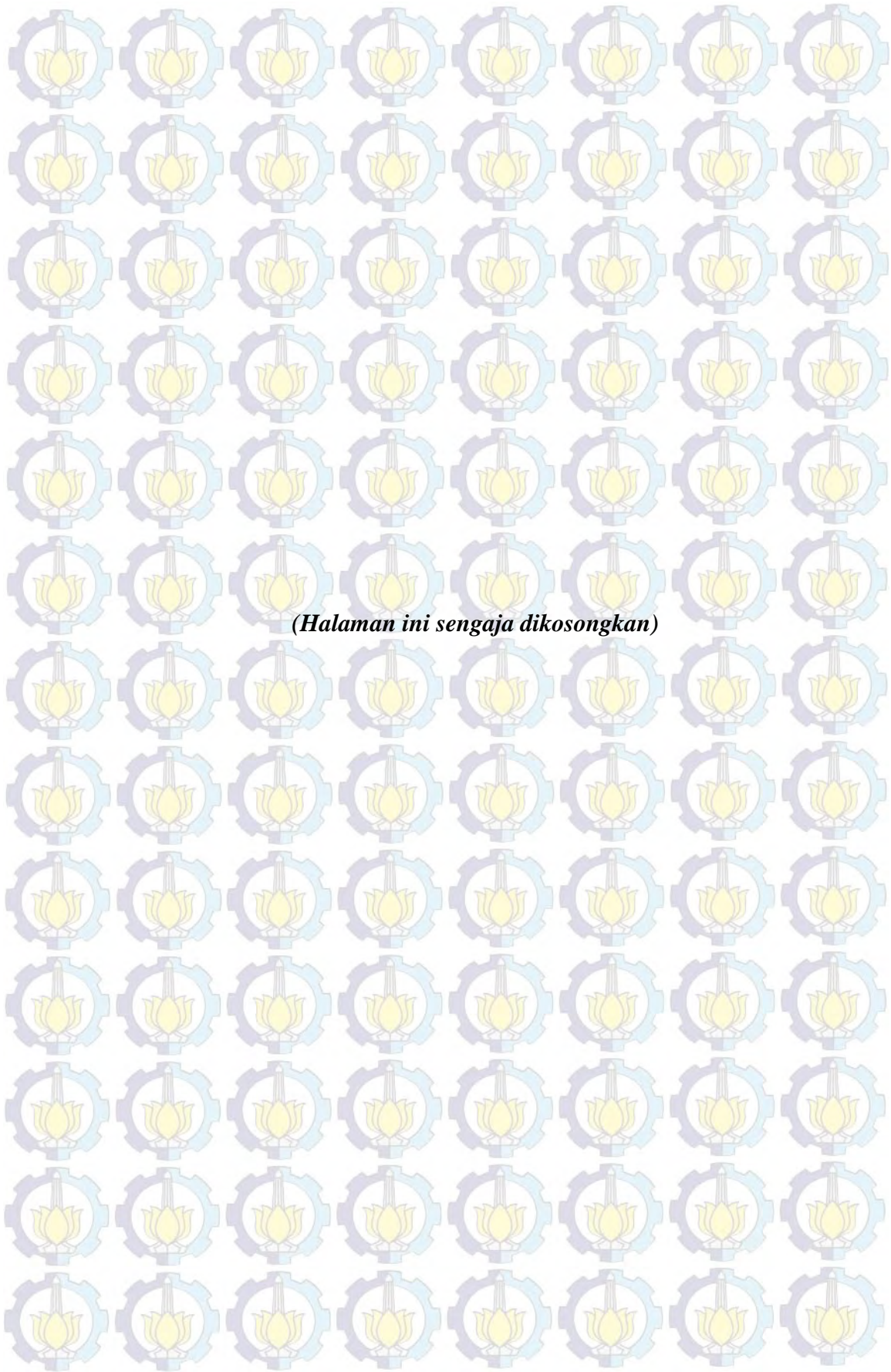
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

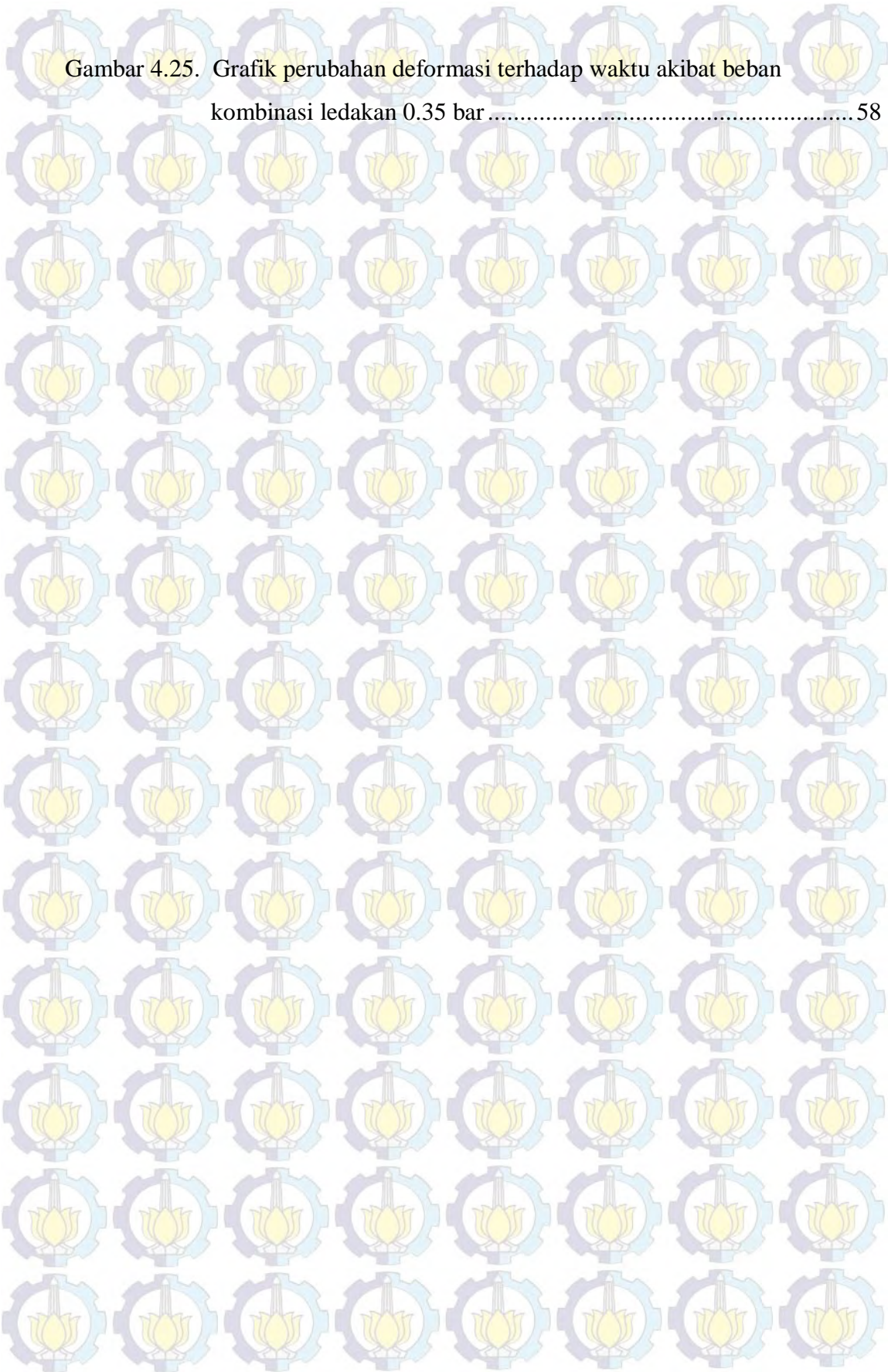
Gambar 1.1.	Meledaknya platform piper alpha <i>di north sea</i>	2
Gambar 1.2.	<i>Crane</i> pada <i>platform</i>	3
Gambar 2.1.	<i>Crane</i>	8
Gambar 2.2.	Pembebanan tekan dan tarik secara periodik	9
Gambar 2.3.	Pembebanan tekan dan tarik secara non-periodik	10
Gambar 2.4.	kontur ledakan akibat tekanan ledakan 0.03 bar, 0.21 bar, dan 0.35 bar	10
Gambar 2.5.	karakteristik bentuk diagram tekanan untuk a). <i>Detonation</i> b). <i>Deflagations</i>	11
Gambar 2.6.	bentuk sederhana diagram tekanan a) Gelombang Kejut (<i>Detonations</i>), b) Gelombang Tekan (<i>Deflagations</i>).....	12
Gambar 2.7.	Grafik tekanan-waktu gelombang ledakan	12
Gambar 2.8.	Sebuah representasi skematis dari variasi tekanan ditampilkan pada permukaan reflektif terbatas	13
Gambar 2.9.	karakteristik balok sederhana ketika (a) dikenai beban statis (b) beban dinamis	19
Gambar 2.10.	ilustrasi periode natural getaran pada struktur tanpa redaman	21
Gambar 2.11.	Diagram <i>stress-strain</i> material	26
Gambar 2.12.	Prinsip <i>yield surface</i> dengan tegangan von mises untuk : (a) Silinder 3D, (b) circular 2D	27
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2.	Diagram stress-strain baja A36	36
Gambar 3.3.	model <i>Crane pedestal</i> di SACS	37
Gambar 4.1.	pemodelan crane pedestal dengan AutoCAD.....	39
Gambar 4.2.	(a) Model crane pedestal struktur, (b) meshing model 50 mm	40
Gambar 4.3.	Constraint yang diinputkan pada model.....	41
Gambar 4.4.	Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.03 bar	44
Gambar 4.5.	Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.21 bar.....	45
Gambar 4.6.	Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.03 bar.....	45



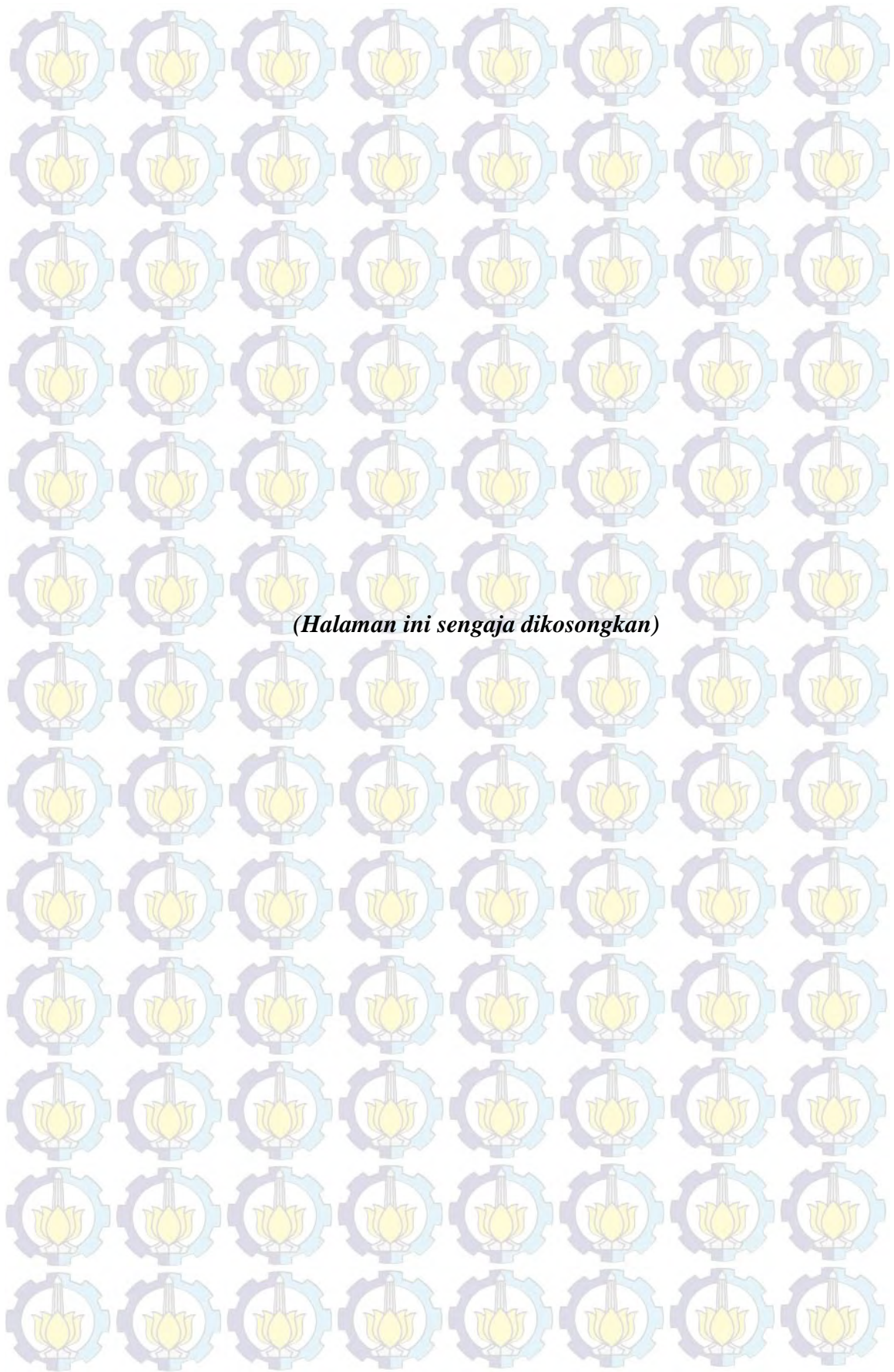
Gambar 4.7. Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.03 bar	47
Gambar 4.8. Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.21 bar	48
Gambar 4.9. Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.35 bar	48
Gambar 4.10. Hasil <i>meshing sensitivity</i> modal terhadap tiap mode	49
Gambar 4.11. Hasil <i>meshing sensitivity static analysis</i>	50
Gambar 4.12. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.03bar	51
Gambar 4.13. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.21 bar	52
Gambar 4.14. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.35 bar	52
Gambar 4.15. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.03 bar	53
Gambar 4.16. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.21 bar	53
Gambar 4.17. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.35 bar	54
Gambar 4.18. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar	55
Gambar 4.19. Distribusi tegangan yang terjadi akibat beban ledakan 0.03 bar	55
Gambar 4.20. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.21 bar	56
Gambar 4.21. Grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.35 bar	56
Gambar 4.22. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar	57
Gambar 4.23. Distribusi deformasi yang terjadi akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar	57
Gambar 4.24. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.21 bar	58



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



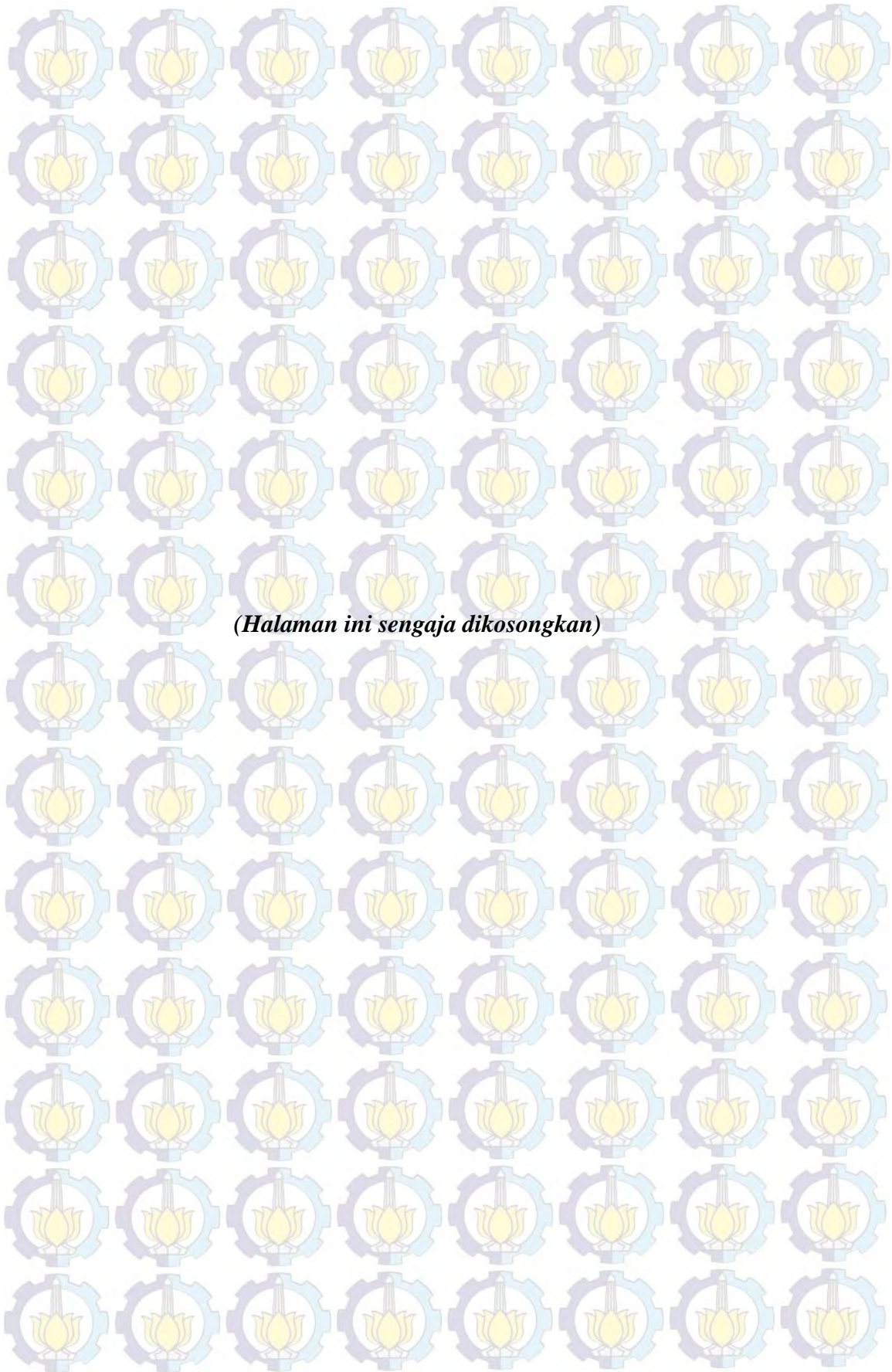
Gambar 4.25. Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.35 bar 58



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

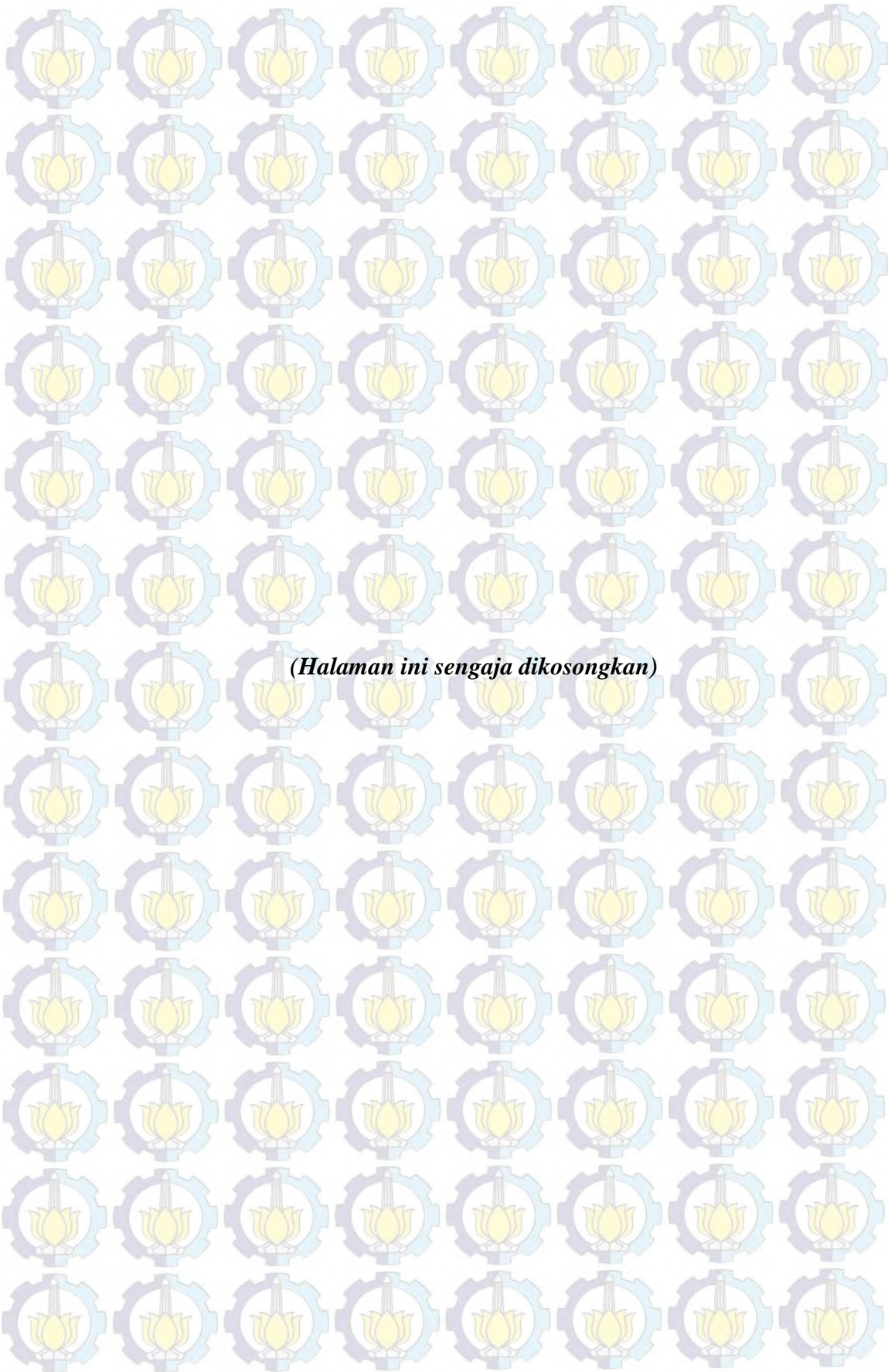
DAFTAR NOTASI

OD	Outer diameter
E	Modulus young
Is	Impuls
P_s	puncak tekanan gelombang ledakan (Peak overpressure)
t_p	puncak Durasi ledakan (peak period)
b	parameter gelombang ledakan
p_0	Tekanan atmosfer
T	waktu
t_d	waktu terjadinya fase positif
$p(t)$	tekanan gelombang ledakan setiap satuan waktu
m	massa
r	radius
C_d	coeffisient drag
ρ_s	massa jenis ledakan
$u_s(t)$	kecepatan partikel ledakan
DAF	Dynamic amplification factor
X	displacement
\ddot{X}	percepatan
\dot{X}	kecepatan
K	kekakuan statis
C	damping rasio
φ_n	mode getar/mode shape ke-n
ω_n	natural frecueny



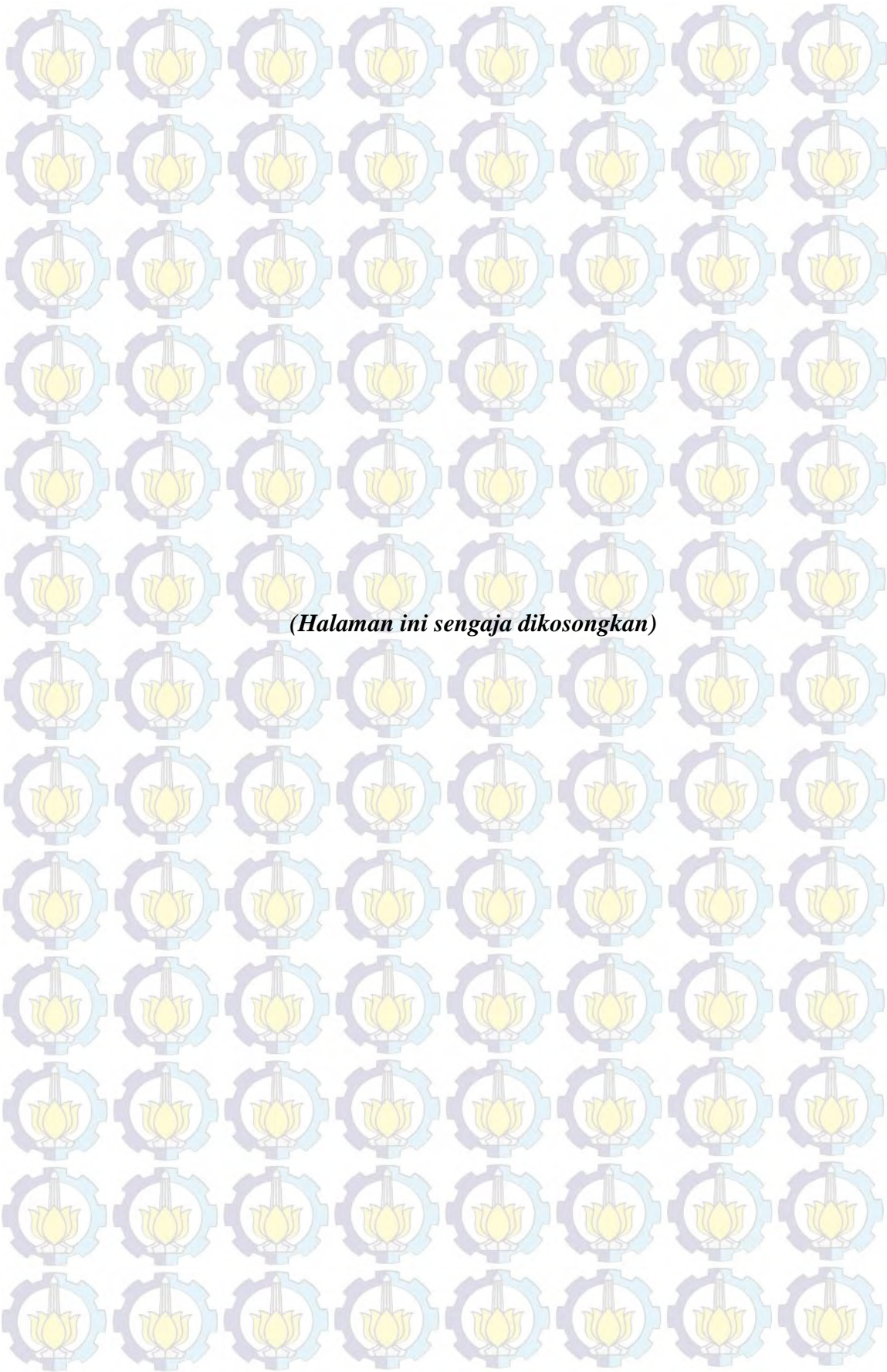
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR NOTASI.....	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. Dasar Teori.....	7
2.2.1. Crane.....	7
2.2.1.1 Crane Pedestal	8
2.2.2. Beban Dinamis	9
2.2.3. Tipe-tipe Pembebanan Dinamis	9
2.2.4. Beban Ledakan.....	10
2.2.5. Pembebanan Pada Struktur	12
2.2.6. Interaksi Antara Struktur dan Ledakan.....	13
2.2.6.1 Penentuan Waktu Ledakan.....	14
2.2.6.2 Tekanan Dinamis	15



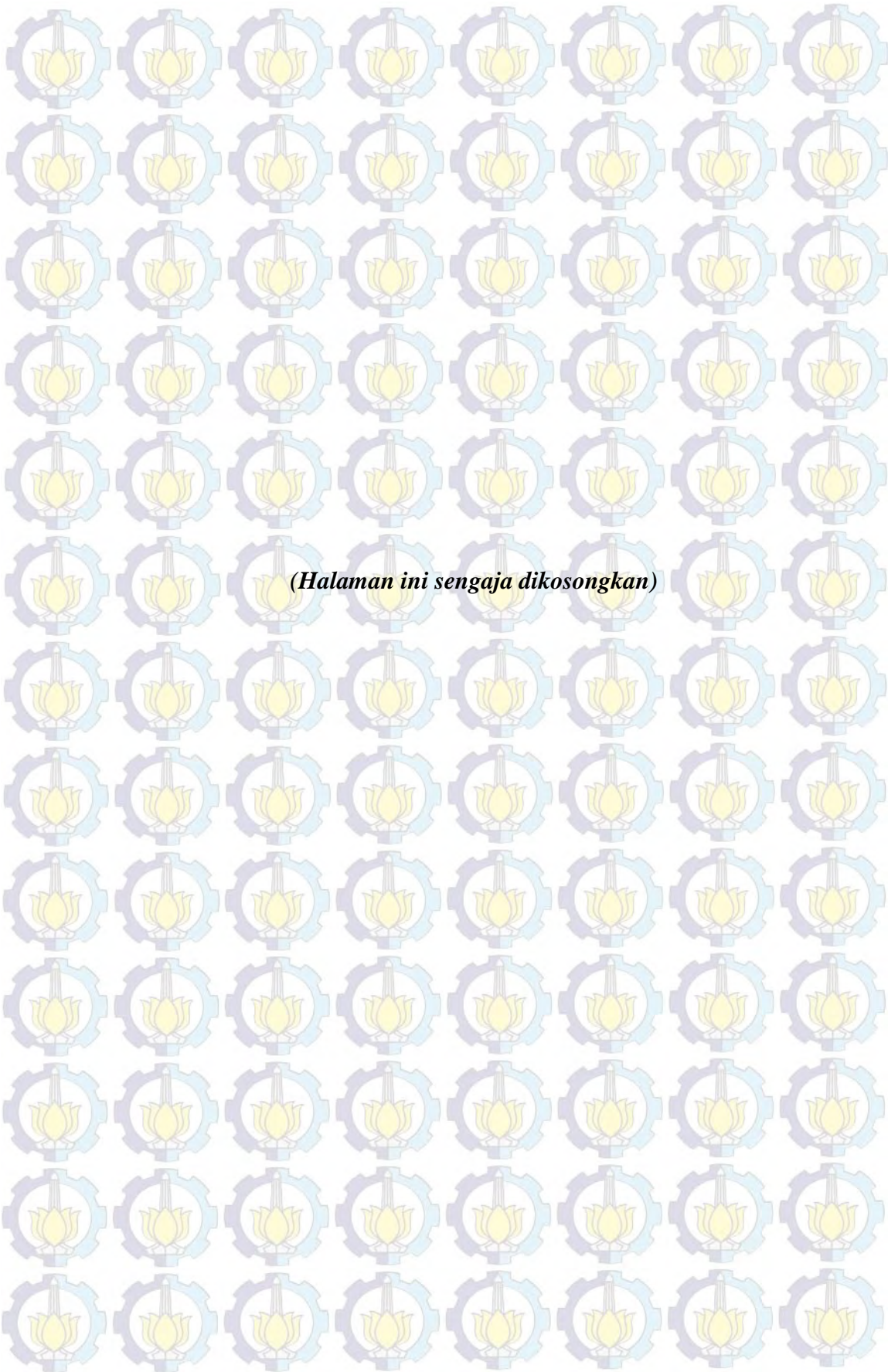
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

2.2.7.	Metoda Analisa.....	16
2.2.7.1	Analisa Statis Struktur	17
2.2.7.2	Analisa Dinamis Struktur.....	18
2.2.7.3	Metode SDOF.....	19
2.2.7.4	Metode MDOF	20
2.2.7.5	<i>Finite Element Analysis</i>	20
2.2.8.	<i>Modal Analisis</i> untuk Sistem MDOF.....	21
2.2.9.	<i>Transient Analysis</i>	22
2.2.10.	<i>Explicit Dynamic Method</i>	24
2.2.11.	Kegagalan pada Struktur Akibat Beban Ledakan	25
2.2.12.	Perilaku Material Akibat Beban Ledakan.....	25
2.2.13.	Analisa Tingkat <i>Ductility</i>	28
2.2.14.	Index Kerusakan Struktur Berdasarkan Parameter Modal.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1.	Metodologi Penelitian.....	31
3.1.1.	Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	31
3.2.	Prosedur Penelitian	34
3.2.1.	Pengumpulan data.....	34
3.2.2.	Pemodelan <i>crane pedestal</i> dengan ANSYS.....	35
3.2.3.	Input <i>transient loading</i>	37
3.2.4.	Validasi pemodelan struktur (<i>meshing sensitivity</i>).....	37
3.2.5.	Penentuan kegagalan pada struktur	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1.	Pemodelan.....	39
4.1.1.	Pemodelan dengan AutoCAD.....	39
4.1.2.	Pemodelan dengan ANSYS 14.5	40
4.2.	Perhitungan.....	41
4.2.1.	Perhitungan gelombang ledakan	41
4.2.2.	Perhitungan tekanan dinamis pada struktur.....	45
4.3.	Modal Analysis.....	48
4.4.	Pembebanan Statis.....	49



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

4.5.	Pembebanan Dinamis.....	51
4.6.	Pembebanan Kombinasi.....	54
4.7.	Dynamic Amplification Factor (DAF).....	59
4.8.	Penentuan Nilai Kegagalan	59
4.8.1.	Damage index modal.....	59
4.8.2.	<i>Ductility limit</i>	60
BAB V PENUTUP		62
5.1.	Kesimpulan.....	62
5.2.	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ledakan merupakan peristiwa peningkatan secara tajam dalam volume dan pengeluaran energi yang membahayakan, biasanya dengan pengeluaran suhu yang tinggi dan penghasilan gas dan tidak dapat diprediksi. Sebuah ledakan menyebabkan gelombang tekanan di tempat lokal di mana ia terjadi. Ledakan dikategorikan sebagai deflagrasi jika gelombang tersebut adalah subsonik dan detonasi jika gelombang tersebut adalah supersonik atau disebut gelombang kejut (Memari, 2012).

Produksi dan penanganan minyak dan gas memberikan bahaya yang potensial untuk terjadinya ledakan gas. Suatu ledakan gas digambarkan sebagai suatu proses pembakaran sebelum pencampuran asap seperti bahan bakar dengan udara yang menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan dengan cepat. Sedangkan beban ledakan merupakan guncangan tekanan yang bergantung pada volume dan perbandingan perpindahan secara mudah dari benda ke seluruh bagian struktur.

Salah satu diantara hal yang sangat penting dalam analisa suatu struktur bangunan lepas pantai adalah melakukan analisa atas kemampuan suatu struktur tersebut untuk memenuhi tujuan desain yang telah ditetapkan, termasuk disini adalah bahwa struktur tidak akan mengalami kegagalan dalam berbagai kondisi kerja (murdjito, 1996). Sebuah struktur yang mengalami kegagalan dalam operasinya dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah adanya kondisi alam yang ekstrem, beban yang bekerja pada struktur melebihi kapasitas yang dimiliki oleh struktur itu sendiri, serta fenomena-fenomena lain yang dapat mempengaruhi efektivitas dari struktur. Konsep perancangan struktur yang baik adalah struktur tersebut harus memberikan keamanan terhadap kemungkinan kegagalan yang terjadi selama masa operasi dari struktur.

Menurut API RP 2A WSD (2005) Kebakaran, ledakan, dan peristiwa benda jatuh baik disengaja maupun tidak dapat menyebabkan runtuhnya sebagian atau seluruh anjungan lepas pantai yang mengakibatkan kerugian, yaitu kematian, kerugian biaya dan material, serta pencemaran lingkungan. pertimbangan ini harus

diberikan dalam desain struktur, tata letak, penataan fasilitas dan peralatan untuk meminimalkan dampak dari peristiwa ini.

Tahun 1988 sebuah *offshore platform* piper alpha di north sea meledak dengan hebatnya. Ledakan ini menimbulkan kerusakan total pada struktur tersebut dan juga menewaskan 167 nyawa manusia (hjertager dan Solberg, 1999). Kejadian ledakan pada anjungan lepas pantai ini sebagai acuan *Health safety and executive* (HSE) membuat aturan agar struktur memiliki standart perlindungan kebakaran (*firewall*), struktur dibangun kuat dan aman (Cullen, 1990).



Gambar 1.1 Meledaknya *platform* piper alpha di north sea

(Sumber : <http://www.dailymail.co.uk/news/article-1031994/The-day-sea-caught-20-years-Piper-Alpha-explosion-survivors-finally-able-tell-story.html>)

Sejak saat itulah mulai bermunculan desain struktur terhadap ledakan yang sengaja diperuntukkan untuk fasilitas atau bangunan yang terdapat bahan-bahan kimia dan yang berpotensi terjadi ledakan. Desain struktur terhadap ledakan juga dipertimbangkan dalam merancang *escape route*, yaitu rute keselamatan untuk manusia yang berada dalam area/gedung tersebut.

Salah satu peralatan yang lazim digunakan dalam *platform* adalah *Crane*. *Crane* merupakan mesin pengangkat yang digunakan untuk mengangkat dan menurunkan benda, selain itu juga untuk memindahkan benda secara horizontal.

Crane pada umumnya dioperasikan untuk kegiatan operasional, seperti proses *loading* dan *unloading* muatan baik muatan logistik yang berbobot ringan maupun peralatan berat. Jenis struktur *Crane* yang digunakan dalam *wellhead platform* dapat dilihat pada gambar 1.2 sebagai berikut :



Gambar 1.2 *Crane* pada *platform*

(Sumber : <http://www.alatas.com/offshore-Cranes/manitex-offshore-Cranes.htm>)

Crane memiliki salah satu bagian struktur yang penting, yaitu *Crane pedestal*. *Crane* adalah sebuah sub-struktur pendukung yang di atasnya terdapat bagian struktur *Crane* yang dapat berputar dan menjulang tinggi, berfungsi sebagai dasar konstruksi untuk menyangga struktur yang ada di atasnya.

Permasalahan yang muncul pada *platform* ini adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur *Crane* mengalami kegagalan akibat ledakan pada tabung processing gas. Tabung processing gas tersebut berada dalam jarak yang dekat dengan *Crane* tersebut sehingga perlu adanya analisa secara dinamis terhadap respon *Crane pedestal*. Beban ledakan yang ditimbulkan pun juga bervariasi, hal ini juga berdampak pada seberapa besar kerusakan yang ditimbulkan *Crane pedestal* itu.

Untuk itu, pada tugas akhir ini, penulis ingin mengangkat permasalahan ini guna mengetahui respon sub-struktur *Crane pedestal* akibat beban ledakan yang bervariasi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis akan melakukan analisa respon dan kegagalan *Crane pedestal* akibat variasi beban ledakan pada brace monopod *platform*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dapat diangkat dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Bagaimana model *pressure* ledakan dengan time domain pada *Crane pedestal* ?
2. Bagaimana nilai respon (deformasi, regangan dan tegangan) serta kegagalan yang terjadi pada *Crane pedestal* akibat tekanan ledakan ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Analisa dilakukan hanya pada *Crane pedestal wellhead platform*
2. Standart Code yang digunakan adalah API RP 2A WSD 2005
3. Analisa pemodelan yang dilakukan tidak memperhitungkan las-lasan
4. Tumpuan yang digunakan yaitu tumpuan jepit
5. Beban yang berpengaruh pada struktur hanya beban ledakan, beban *Crane* sendiri, beban angkat dan moment *Crane*
6. Beban ledakan dimodelkan dalam bentuk *pressure* dengan satuan bar dan divariasikan sebanyak 3 macam, yaitu : 0.03 bar, 0.21 bar ,dan 0.35 bar
7. Beban ledakan disesuaikan dengan time domain
8. Pemodelan elemen hingga menggunakan *software ANSYS 14.5*
9. Material propertis :
 - a. OD : 32 in
 - b. Tebal : 0.598 in
 - c. Massa jenis : 64,2 lb/ft³

d. Posion ratio : 0.3

10. Kecepatan angin di sekitar ledakan dianggap tidak berpengaruh

11. Tidak memperhitungkan pantulan gelombang ledakan

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Mengetahui model *pressure* ledakan dengan time domain pada *Crane pedestal*
2. Mengetahui nilai deformasi, tegangan dan regangan serta kegagalan yang terjadi pada *Crane pedestal* akibat tekanan ledakan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat di dapat dari penelitian ini adalah

Dari hasil analisa ini diharapkan dapat mengetahui kemampuan *Crane pedestal* ketika menerima beban ledakan, beban *Crane* sendiri, dan moment. Sehingga dapat melakukan antisipasi langsung ketika *Crane pedestal* mengalami kegagalan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

BAB I ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini serta sistematika penulisan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB II ini berisi tinjauan pustaka, yaitu apa saja yang menjadi acuan penelitian tugas akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan, dan codes yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV berisi detail permodelan, analisa pengolahan hasil penelitian tugas akhir serta pembahasan dari hasil-hasil penelitian tugas akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V berisi kesimpulan hasil analisa dan pembahasan penelitian tugas akhir dan saran-saran untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Pradana (2008) Ledakan terjadi apabila sejumlah material gas, cairan, ataupun padat mengalami reaksi kimia yang cepat. Apabila ledakan terjadi, produk gas hasil reaksi dibentuk dalam suhu dan tekanan yang sangat tinggi. Tekanan gas yang tinggi ini menyebar dengan cepat ke daerah sekitarnya, menyebabkan daerah tersebut bertekanan tinggi pula, dan terbentuklah gelombang kejut. Karena adanya pergerakan gas, maka udara di sekitarnya pun ikut bergerak. Kerusakan yang ditimbulkan oleh ledakan disebabkan oleh proses perpindahan udara bertekanan pada gelombang kejut tersebut, dan perpindahan yang disebabkan oleh molekul udara bertekanan dinamis, biasa disebut dengan ‘angin ledakan’.

Durasi dari beberapa fase gelombang kejut dan rata-rata penyebarannya dari sumber ledakan berkaitan dengan tipe dan ukuran peledak sangat penting terhadap konteks kerusakan struktural untuk mengetahui dan mengerti bahwa skala waktu yang diperlukan dari fase positif dan negatif dari sebagian besar bahan peledak sangatlah pendek. Hasilnya, meskipun tekanan yang terjadi sangat besar, namun waktu kontak yang terjadi pada tiap elemen struktur sangatlah pendek, sehingga tiap elemen harus merespon dalam waktu yang singkat sebelum fase negatif dimulai (Dusenberry, 2010).

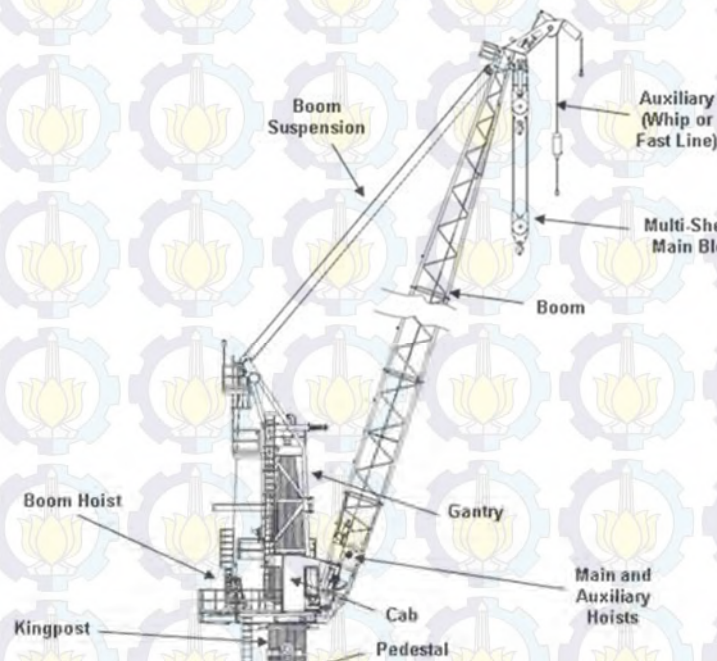
Sehingga perlu adanya analisa lebih detail terkait permasalahan ledakan pada bangunan lepas pantai. Hal ini perlu untuk mengantisipasi adanya kerusakan yang ditimbulkan akibat beban ledakan serta mitigasi untuk mengevakuasi personel agar tidak jatuh korban jiwa.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Crane

Crane adalah jenis mesin yang umumnya dilengkapi dengan hoist, wire rope atau rantai, yang dapat digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material secara horizontal. Hal ini terutama digunakan untuk mengangkat hal-hal yang berat

dan mengangkat material/benda ke tempat lain. *Cranes* biasanya digunakan dalam industri transportasi untuk bongkar muat barang, dalam industri konstruksi untuk pergerakan material dan di industri manufaktur untuk perakitan alat berat. Pada *jacket platform*, *Crane* dibutuhkan untuk membantu kinerja *platform*



Gambar 2.1 *Crane*

(Sumber : <http://www.seatrax.com/Cranebasics.html>)

2.2.1.1 *Crane Pedestal*

Crane pedestal adalah sebuah substruktur pendukung yang di atasnya terdapat bagian struktur *Crane* yang dapat berputar dan menjulang tinggi, dan berfungsi sebagai dasar konstruksi untuk menyangga struktur yang ada di atasnya. *Crane pedestal* merupakan salah satu struktur yang ada pada *jacket platform* yang harus diperhitungkan keandalannya terhadap pengaruh beban. Beban yang mengenai *Crane* cukup signifikan, yang secara umum dapat diklarifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban statis adalah berat dari *Crane* itu sendiri, sedangkan beban dinamis yaitu beban operasional dan beban lingkungan.

2.2.2 Beban dinamis

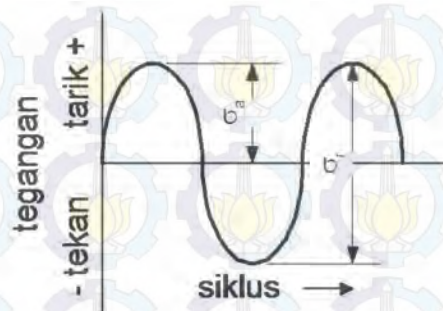
Beban dinamis adalah beban yang besar, arah dan posisinya berubah menurut waktu. Respon struktur terhadap beban dinamis yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan waktu atau bersifat dinamis. Pada umumnya, respon struktur terhadap setiap pembebanan dinamis dinyatakan secara mendasar berkenaan dengan perpindahan (*displacemen*) struktur. Selain Kekakuan (*stiffness*), respon dinamis sangat dipengaruhi pula oleh massa dan redaman struktur. Inilah yang membedakan antara masalah dalam analisa dinamis. Selain memang sifat pembebanan yang berbeda, percepatan yang timbul dalam beban dinamis memiliki peran yang amat penting dalam analisa dinamis.

2.2.3 Tipe-tipe pembebanan dinamis

Beberapa bentuk pembebanan yang sudah ditentukan dan contoh situasi dimana beban tersebut terjadi, antara lain sebagai berikut :

a. Periodik

Beban periodik merupakan beban berulang yang memperlihatkan variasi waktu yang sama berturut-turut untuk jumlah siklus yang besar. pembebanan periodik yang paling sederhana adalah variasi *sinusoidal* yang diperlihatkan pada gambar 2.2.

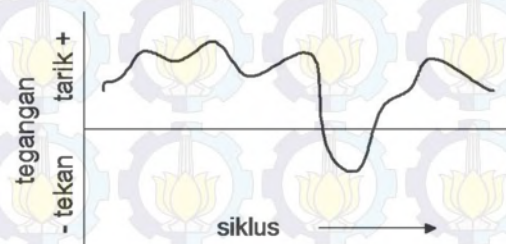


Gambar 2.2 Pembebanan tekan dan tarik secara periodik

(sumber : blog.ub.ac.id)

b. Non-periodik

Beban non periodik berbentuk pembebanan impulsif yang berlangsung singkat atau bentuk umum beban-beban yang berlangsung lama. Ledakan, gempa, adalah salah satu sumber dari beban impulsif. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk pembebanan secara non periodik.



Gambar 2.3 Pembebanan tekan dan tarik secara non-periodik

(sumber : blog.ub.ac.id)

2.2.4 Beban Ledakan

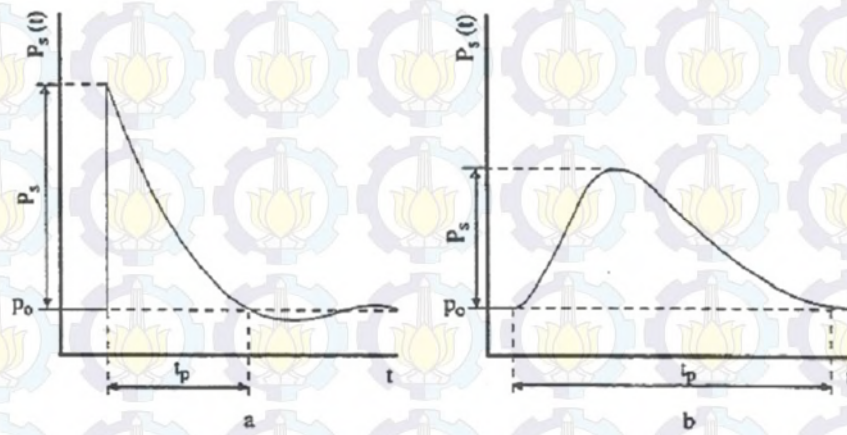
Sebuah ledakan adalah peningkatan pesat dalam volume dan pelepasan energi secara ekstrim, biasanya diikuti dengan peningkatan suhu tinggi dan tekanan gas. Ledakan ini akan bergerak dengan kecepatan tinggi melalui udara sekitarnya, sering kali dalam kecepatan supersonik. Apabila ledakan terjadi pada tempat terbuka, kerusakan dapat menyebar luas. Puing (*fragmen*) dari sebuah ledakan akan terlempar dengan kecepatan tinggi dan memaksakan kerusakan lebih lanjut pada lingkungan dan dalam kasus terburuk dapat menyebabkan cedera atau kematian. Beban ledakan ditandai dengan parameter berikut :

- a. Bentuk kejutan/tekanan gelombang ledakan
- b. Tekanan Maksimum (*incident peak Pressure*) P_s
- c. Durasi peningkatan t_p
- d. Kecepatan ledakan (V_{sf})



Gambar 2.4 kontur ledakan akibat tekanan ledakan 0.03 bar, 0.21 bar, dan 0.35 bar
(Sumber : Kirana, 2013)

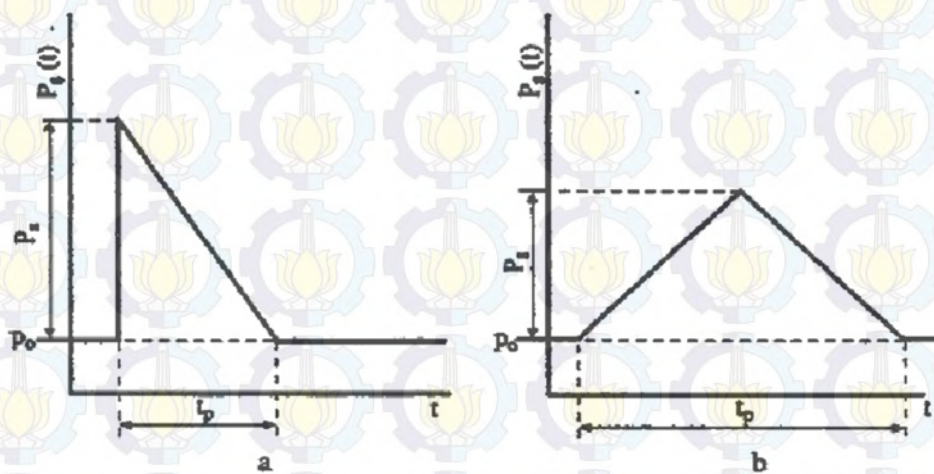
Ledakan menurut Bosch, V.D, dkk (1992) dibagi menjadi dua jenis: (a) *Detonation* dan (b) deflagrations. Deflagrations dicirikan oleh gelombang tekanan bergerak dalam kecepatan subsonik (biasanya <1000 m/s), sedangkan *Detonation* yang lebih ekstrim dan merepresentasikan gelombang kejut bergerak di kisaran supersonik (1000-2000 m/s). Sebuah ledakan gas adalah jenis dari deflagration, sementara ledakan bahan peledak terkondensasi (atau ledakan gas yang sangat kuat) adalah dalam kisaran *Detonations*.



Gambar 2.5 karakteristik bentuk diagram tekanan untuk a). *Detonation*
b). *Deflagations* (sumber : Bosch, V.D, dkk. 1992)

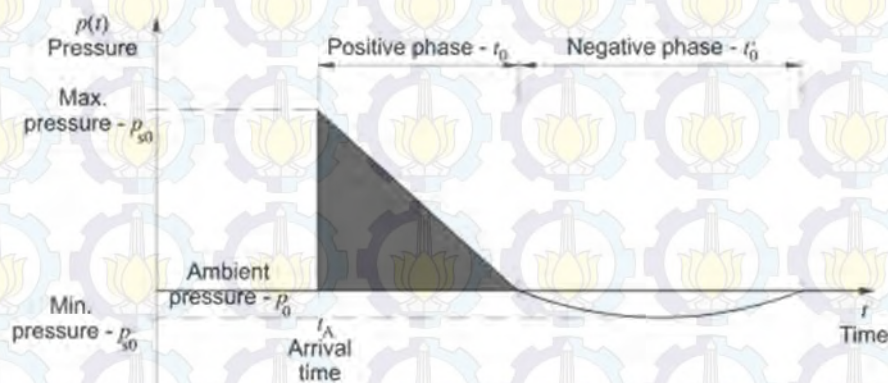
Sebuah ledakan ditandai dengan kenaikan tekanan sesaat, dan sering terjadi penurunan tekanan (tekanan negatif) setelah t_p (durasi ketika fase positif). Nilai

maksimum dari tekanan negatif ini biasanya tidak berperan penting, karena tekanan ini besarnya jauh lebih kecil dari puncak tekanan positif. Deflagration ditandai dengan kenaikan waktu, dan penurunan yang lebih lambat ke titik nol dalam durasi waktu tertentu. Penyederhanaan umum dari bentuk diagram tekanan untuk melinierkan variasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.6 bentuk sederhana diagram tekanan a) Gelombang Kejut (*Detonations*),
b) Gelombang Tekan (*Deflagrations*)

(sumber : Bosch, V.D, dkk. 1992)



Gambar 2.7 Grafik tekanan-waktu gelombang ledakan

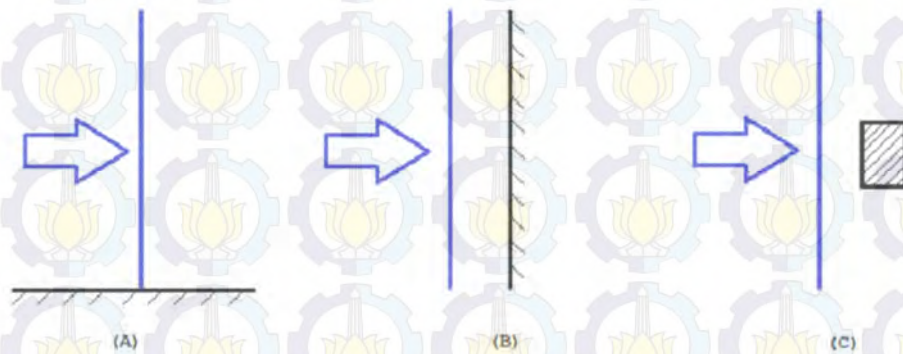
(sumber : Draganić dan Sigmund, 2012)

2.2.5 Pembebanan pada struktur

Berdasarkan Su, (2012) Terdapat tiga jenis kondisi ekstrim ketika berinteraksi dengan gelombang ledakan pada struktur. kondisi (A) dalam gambar 2.8 merupakan kasus di mana gelombang ledakan mengenai permukaan struktur tanpa hambatan. untuk kasus ini Beban pada permukaan sama dengan *overpressure* (P_s) dari gelombang yang terjadi.

Pada kondisi (B), gelombang ledakan datang tegak lurus dengan struktur besar. Efek penipisan beban (*rarefaction*) akan dialami pada bagian tepi struktur tersebut, dan beban pada permukaan struktur dapat diambil sebagai *overpressure* dari gelombang ledakan.

Pada kondisi (C), gelombang ledakan berhadapan dengan obyek berukuran kecil, rarefaction berlangsung sangat cepat sehingga refleksi apapun dapat diabaikan. Selain itu, seseorang dapat berasumsi bahwa perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang sangat kecil sehingga hanya tekanan dinamis (P_D) yang dipertimbangkan. Perlu dicatat bahwa dalam kebanyakan struktur, kombinasi dari ketiga kasus harus dipertimbangkan.



Gambar 2.8 Sebuah representasi skematis dari variasi tekanan ditampilkan pada permukaan reflektif terbatas (sumber : Su, 2012)

Ketika struktur terkena beban dinamis (*transient*), seperti beban ledakan, maka akan bereaksi deformasi terhadap beban ini. Karena besarnya beban ledakan dibandingkan dengan beban struktur yang dirancang hanya untuk menahan beban kondisi operasi normal (beban hidup, beban hidup dan angin dll) dan dengan probabilitas kecil struktur akan terkena seperti beban ledakan, karena itu tidak ekonomis untuk merancang struktur untuk dapat menahan jenis beban ini. Akibatnya, adalah dalam merancang struktur dimungkinkan untuk menerima beban tersebut, dalam prakteknya, hanya tingkat tertentu dari kerusakan dalam bentuk *ductility*. Untuk kasus ledakan yang parah, studi deformasi plastik akan diperlukan, karena teori elastis linier tidak akan cukup.

2.2.6 Interaksi antara Struktur dan ledakan

Sebagai gelombang yang menyebar melalui udara, seluruh struktur terkena tekanan ledakan. Besarnya dan distribusi beban struktural tergantung pada faktor-faktor berikut:

- a. karakteristik bahan peledak yang bergantung pada jenis bahan peledak, ukuran detonasi dan berat bahan peledak,
- b. lokasi ledakan relatif terhadap struktur,
- c. intensitas dan besaran tekanan dalam interaksi dengan struktur itu sendiri.

Menurut Draganić dan Sigmund (2012), Catatan waktu dari tekanan gelombang ledakan biasanya digambarkan sebagai fungsi eksponensial dalam bentuk persamaan Friendlander ini,

$$p(t) = p_0 + p_s \left(1 - \frac{t}{t_0}\right) \exp\left(-\frac{bt}{t_0}\right) \quad (1)$$

Dengan,

b = parameter gelombang ledakan

p_s = puncak tekanan gelombang ledakan statis, (bar)

p_0 = Tekanan atmosfer (bar)

t = waktu selama terjadinya ledakan (sec)

t_0 = waktu selama terjadinya fase positif (sec)

$p(t)$ = tekanan gelombang ledakan setiap satuan waktu (bar)

2.2.6.1 Penentuan Waktu Ledakan

Semua parameter untuk kurva tekanan-waktu dapat diambil dari beberapa diagram dan persamaan. Namun dalam analisa ini menggunakan pendekatan Kingery, dimana tekanan ledakan dianggap tidak mengalami pantulan (*reflected*). Waktu terjadinya suatu ledakan dipengaruhi oleh beberapa hal (Draganić dan Sigmund, 2012) diantaranya

$$t = 1.3 \sqrt[6]{m} \sqrt{r} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Dengan,

t : periode ledakan (sec)

m : massa gas yang meledak (kg)

r : radius ledakan (m)

2.2.6.2 Tekanan Dinamis

Sebuah ledakan saat mengenai struktur akan membuat beban dinamis pada struktur tersebut. Hal ini disebabkan oleh perpindahan udara yang searah ledakan gelombang. itu perpindahan dari ledakan disebut sebagai angin ledakan, dan menyebabkan tekanan dinamis yang diberikan oleh rumus berikut (Bosch, V.D, dkk. 1992):

$$P_D = C_D \cdot 0.5 \cdot \rho_s \cdot u_s(t)^2 \quad (3)$$

Dengan,

C_d : coefficient drag yang bergantung pada benda yang terkena beban

ρ_s : massa jenis udara yang terkena ledakan (kg.m^3)

$u_s(t)$: kecepatan partikel ledakan di udara (m/s)

Keterangan :

Untuk menentukan massa jenis udara yang terkena ledakan dapat menggunakan persamaan

$$\rho_s(t) = (7 + (6 Ps(t)/7P_0)) / (7 + Ps(t)/7P_0) \cdot \rho_{udara}$$

(Sumber : International Ammunition Technical Guideline (IATG), 2013)

Tabel 2.1 Koeffisien drag pada bentuk struktur sederhana

Shape	Figure	C_D
Long Straight Cylinder		1.20
Sphere		0.47
Cylinder		0.82
Disc		1.17
Cube		1.05
Cube		0.80
Oblong Box		2.05
Oblong Box		1.55
Strip		1.98

(sumber : Su, 2012)

2.2.7 Metode Analisa

ketika membahas tentang ledakan, dalam beberapa literatur membahas tentang rasio antara waktu terjadinya ledakan dan eigenperiod dari struktur (API RP 2A WSD, 2005). untuk *overpressure* kecil memungkinkan *elastic linier* analisis dengan

load factor untuk menghitung repon dinamis. Untuk *overpressure* tinggi, memungkinkan untuk melakukan analisa lebih detail terkait material dan geometri non linier. Disini terdapat 3 klasifikasi penggolongan jenis analisa untuk beban ledakan yang berkaitan dengan rasio tersebut, yaitu *impulsive*, *dynamic* dan *Quasi-static*. Pembagian domain jenis analisa menurut Amdahl J., (2011) tersebut adalah

- a. Static analisis : beban didefinisikan *quasi-static* (rasio durasi ledakan dan periode natural struktur ≥ 3.0), digunakan metode static elastic atau static-plastic analisis. Beban yang digunakan adalah peak overpressure.
- b. Dynamic analisis : beban didefinisikan dinamis (rasio durasi ledakan dan periode natural struktur antara 0.3 – 3.0), digunakan metode linier atau non-linier dynamic analisis. Kurva Pressure-time menunjukkan peningkatan cukup signifikan sehingga dapat diterapkan langsung pada struktur untuk mendapatkan hasil yang akurat.
- c. Impulsive analisis : beban didefinisikan impuls (rasio durasi ledakan dan periode natural struktur antara ≤ 0.3), digunakan metode nonlinier atau impuls analisis. Kurva pressure-time menunjukkan peningkatan drastis dalam kurun waktu sangat singkat sehingga harus diterapkan langsung pada struktur untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Tabel 2.2 Pembagian jenis domain dari beberapa literatur

Sumber Literatur	Impulsive domain	Dynamic Domain	Quasi-static Domain
Amdahl J., 2011	$\frac{t_d}{T} \leq 0.3$	$0.3 \leq \frac{t_d}{T} \leq 3.0$	$\frac{t_d}{T} \geq 3$
ERS, 1991	$\frac{t_d}{T} \leq 0.4$	$0.4 \leq \frac{t_d}{T} \leq 2$	$\frac{t_d}{T} \geq 2$

Terlihat bahwa apabila rasio penyederhanaan tersebut cukup besar maka dapat dikelompokkan ke dalam quasi-static domain. Tetapi bagaimanapun, untuk *impulsive*

dan *dynamic domain* harus lebih merepresentasikan secara detail terkait beban ledakan.

2.2.7.1 Analisa Statis Struktur

Beban dinamis memiliki efek yang lebih besar pada struktur dibandingkan beban statis pada kekuatan yang sama, hal ini disebabkan karena ketidakmampuan struktur menerima beban secara cepat terutama menerima beban ledakan, Namun pada kondisi tertentu dapat diselesaikan dengan analisa statis. Analisis statis struktur diperlukan untuk menilai masalah ledakan tertentu dimana rasio durasi ledakan dan periode natural struktur cukup besar. Pada analisa statis dapat menggunakan *Dynamic Amplification factor* (DAF). Tujuan dari penentuan *dynamic amplification factor* adalah untuk menemukan hubungan langsung antara model analisa dinamis dan mengetahui rasio antara perhitungan statis dengan dinamis. DAF menggambarkan peningkatan respon akibat *dynamic load*, dan didefinisikan sebagai rasio antara respon dinamis (tegangan von mises, reaksi gaya, displacement-z) dan respon statis yang dirumuskan tiap element *i*, yang dirumuskan (Su, 2012) dibawah ini :

$$DAF_i = \frac{R_{dyn_i}}{R_{stat_i}} \quad (4)$$

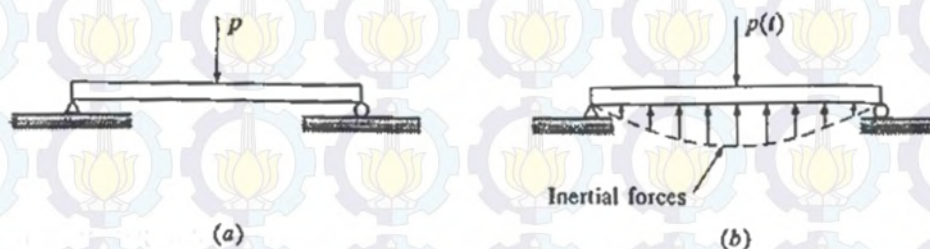
Secara praktis, DAF akan memudahkan input untuk beban struktur dan dapat mengestimasi tegangan atau reaksi gaya untuk kasus ledakan dinamis dengan software static analysis. Perhitungan hasil DAF membandingkan analisis independent time, seperti analisa statis dengan analisa dinamis dengan time domain. Untuk analisa dinamis, respon pada struktur dalam hal ini tegangan dan reaksi gaya akan berubah terhadap waktu.

2.2.7.2 Analisa Dinamis Struktur

Analisis dinamika struktur diperlukan untuk menilai masalah ledakan tertentu. Karena merupakan gabungan dari beban dan respon yang bervariasi terhadap waktu,

jelas bahwa masalah yang dinamis tidak memiliki solusi tunggal seperti masalah statis.

Karakteristik dari analisa dinamis dapat digambarkan pada gambar 2.10. jika pada balok sederhana terkena beban statis, gaya internal struktur setimbang dengan beban yang diterima. Sedangkan jika beban diberikan secara dinamis, massa dan kekakuan struktur berperan dalam distribusi kekuatan di dalamnya. tidak hanya Internal momen dan geser dalam balok yang setimbang dengan gaya luar $p(t)$, tetapi juga gaya inersia akibat percepatan balok.



Gambar 2.9 karakteristik balok sederhana ketika dikenai (a) beban statis (b) beban dinamis (sumber : Su, 2012)

Sebuah analisis dinamika struktur akan tergantung pada apakah sistem sedang diperuntukkan sebagai sistem *Single degree of freedom* (SDOF), atau sistem *multi degree of freedom* (MDOF). Respon dari sistem SDOF dapat dievaluasi langsung dari solusi dari Persamaan penurunan gerak tunggal, sedangkan sistem MDOF dibuat rumit karena kebutuhan diskritisasi. Sebuah solusi numerik dari persamaan sistem MDOF dapat ditemukan dengan menggunakan metode elemen hingga.

2.2.7.3 Metode SDOF

metode SDOF, seperti metode yang umumnya digunakan untuk menilai respon ledakan dalam tahap desain awal, dan memungkinkan untuk perhitungan tangan. Metode ini didasarkan pada menyederhanakan masalah struktural ke dalam sistem massa-pegas tanpa redaman, dan termasuk faktor transformasi beban massa untuk memperhitungkan berbagai batas dan kondisi beban. Faktor transformasi ini didasarkan pada perkiraan untuk balok klasik dan teori pelat defleksi pada kisaran

elastis dan *plastis* atau teori *yield-line* pada kisaran plastik. Metode ini dapat dengan mudah diadopsi untuk analisis dinamis komponen topside struktural seperti pelat lantai, dan blast wall akibat beban ledakan. Persamaan SDOF dapat direpresentasikan dalam rumus menurut Uchuan (2009) adalah sebagai berikut :

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = p(t) \quad (5)$$

2.2.7.4 Metode MDOF

Untuk skenario seperti struktur rangka topside terkena beban ledakan, yang Masalah tidak bisa lagi disederhanakan sebagai SDOF sistem, dan metode yang lebih maju harus digunakan. Metode yang paling umum adalah dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) / Analisis Elemen Hingga (FEA), memanfaatkan kemampuannya untuk menangani geometri yang rumit dan batas-batas.

2.2.7.5 Finite Element Analysis

Analisis elemen hingga (FEA) adalah pemodelan produk dan sistem dalam lingkungan virtual, untuk tujuan menemukan dan memecahkan potensial (atau yang sudah ada) masalah struktural atau kinerja. FEA adalah aplikasi praktis dari metode elemen hingga (FEM), yang digunakan untuk model matematis dan numerik dalam memecahkan masalah struktural yang sangat kompleks, fluida, dan *multiphysics*.

Finite element (FE) Model terdiri dari sistem poin, yang disebut "node", yang membentuk desain. Terhubung ke node ini adalah elemen hingga sendiri yang membentuk *Meshing* dan mengandung material dan sifat struktural dari model, untuk menentukan bagaimana ia akan bereaksi terhadap kondisi tertentu. Kepadatan mesh elemen hingga bervariasi di seluruh bahan, tergantung pada perubahan tingkat stress dari area tertentu. Area yang mengalami stress tinggi biasanya membutuhkan kerapatan mesh yang lebih tinggi daripada yang mengalami sedikit atau tidak ada variasi stress.

Model FE dapat dibuat menggunakan satu dimensi (1D beam), dua dimensi (2D shell) atau tiga dimensi (3D solid) elemen. Dengan menggunakan balok dan shell bukan unsur padat, model perwakilan dapat dibuat dengan menggunakan node lebih sedikit tanpa mengurangi akurasi. Setiap skema pemodelan membutuhkan rentang yang berbeda dari properti yang akan didefinisikan, seperti: *Section areas*, *Moments inertia*, tebal plat, geser melintang, dll

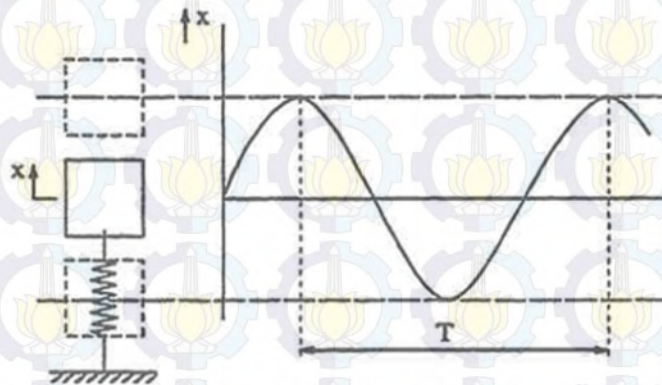
Untuk melakukan analisa dengan menggunakan *finite elemen method* / metode elemen hingga, sudah banyak *software* yang diciptakan untuk mempermudah analisa. Beberapa diantaranya MSC Nastran, Ansys, Algor, Solidwork dll. Secara garis besar *software-software* tersebut memiliki sistem kerja dan tahapan yang sama dalam melakukan analisisnya. Diawali dengan pembuatan model, dilanjutkan dengan *Meshing*, penentuan kondisi batas dan pembebanan dan dianalisa.

2.2.8 Modal Analysis Untuk Sistem MDOF

Analisa modal adalah suatu proses yang ditujukan untuk menentukan karakteristik-karakteristik dinamik dari suatu sistem struktur. Dimana karakteristik-karakteristik tersebut adalah :

- Frekuensi natural
- Moda getar, dan
- Rasio redam

Ketiga karakteristik dinamik ini didefinisikan oleh properti fisik serta distribusi spasial daripada komponen penyusun sistem struktur. Selain menentukannya, analisa modal juga mencakup penggunaan karakteristik-karakteristik tersebut untuk memformulasikan suatu model matematis dari perilaku dinamik suatu sistem struktur yang kita tinjau



Gambar 2.10 ilustrasi periode natural getaran pada struktur tanpa redaman

(sumber : Bosch, V.D, dkk. 1992)

- Frekuensi Natural dan Mode getar

Untuk sistem MDOF, frekuensi natural dan moda getar diketahui dengan menggunakan persamaan karakteristik (*eigenvalue equation*). Dalam dinamika struktur, akar dari nilai eigen dikenal dengan frekuensi natural (ω_n) dan vektor eigen dikenal dengan moda getar (ϕ_n). Dimana tiap moda memiliki satu eigen value dan satu vektor eigen. Dan layaknya SDOF, pada sistem MDOF komposisi massa dan kekakuan menentukan nilai frekuensi natural dan moda getar suatu sistem struktur.

- Rasio Redaman

Redaman adalah proses dimana terjadinya pengurangan amplitudo dari suatu getaran akibat berkurangnya energi akibat gesekan dan hal lainnya. Namun dalam metode biggs ini didasarkan untuk menyederhanakan masalah struktural ke dalam sistem massa-pegas tanpa redaman, dan termasuk faktor transformasi beban massa untuk memperhitungkan berbagai batas dan beban kondisi (Amdahl J, 2011).

➤ Persamaan modal untuk sistem tanpa redaman

Persamaan gerak untuk sistem MDOF linier tanpa redaman dengan pembebanan dinamik adalah sebagai berikut

$$m \ddot{x} + k x = F \sin(\omega t) \quad (6)$$

Persamaan ini adalah suatu persamaan differensial orde dua yang menerangkan kontribusi modal ke-n. Persamaan matriks menjadi *uncoupled* karena matriks M dan K adalah matriks diagonal, dimana tiap modal-n dapat diselesaikan seperti permasalahan SDOF, dimana hanya $q_n(t)$ sebagai komponen yang tidak diketahui. Kemudian untuk mengetahui vektor perpindahan, setelah mengetahui nilai q (vektor $q_n(t)$).

2.2.9 Tansient Analysis

Analisis dinamis Transient/sementara (kadang-kadang disebut analisis time-history) adalah teknik yang digunakan untuk menentukan respon dinamik dari struktur akibat beban yang berdasarkan waktu. Jenis analisis ini digunakan untuk menentukan waktu variasi displacement, regangan, tekanan, dan kekuatan dalam struktur karena menanggapi setiap kombinasi statis, transient, dan beban harmonik. Skala waktu loading adalah sedemikian rupa sehingga inersia atau redaman efek dianggap penting. Jika inersia dan efek redaman tidak penting, Anda mungkin dapat menggunakan analisis statis.

Persamaan dasar gerak diselesaikan dengan analisis dinamis transient

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [B]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\} \quad (7)$$

Pada waktu tertentu, t , persamaan ini dapat dianggap sebagai satu set "statis" persamaan ekuilibrium yang juga memperhitungkan gaya inersia ($[M]$) dan gaya redaman ($[B]$). Program ANSYS menggunakan metode integrasi Newmark waktu untuk memecahkan persamaan ini pada titik waktu diskrit.

Analisa respon frekuensi untuk menghitung respon eksitasi struktur yang terosilasi steady-state. Sebagai tambahan, memungkinkan untuk menganalisa secara acak dengan respon frekuensi

1. Respon transient (*transient response*)

Analisa respon transient merupakan metode umum untuk perhitungan respon gaya dinamis. Tujuan dari analisa respon transient adalah untuk menghitung

perilaku dari struktur yang tereksitasi dalam waktu yang berbeda-beda. Eksitasi secara eksplisit dijelaskan dalam time domain. Hal terpenting yang didapatkan dari analisa transient adalah displacemen, kecepatan dan percepatan dari grid, gaya, dan tegangan pada elemen.

Berdasarkan pada struktur dan beban naturalnya, terdapat dua metode numerik berbeda yang bisa digunakan untuk analisa respon transient, yaitu : *direct transient response* dan *modal transient response*.

a. *Direct transient response*

Metode *direct* menunjukkan integrasi numerik persamaan gerak ter-*couple* lengkap. Respon struktur (displasemen) diselesaikan pada *discrete time*, secara khusus dengan langkah fixed integration time. Penurunan central *finite* memperlihatkan kecepatan dan percepatan yang digunakan pada *discrete time*, dan aplikasi gaya merupakan rata-rata tiga langkah *adjacent time*.

Pendekatan ini sama dengan metode *integrasi direct* klasik newark-beta

b. *Modal transient response*

Metode modal menggunakan mode shape dari struktur untuk mereduksi dan meng-*uncouple* persamaan gerak (dimana modal atau tidak ada redaman).

Mode shape dihitung sebagai bagian dari karakteristik struktur.

Mode shape $[\phi]$ digunakan untuk transformasi masalah perilaku modes berlawanan dengan perilaku grid point. Koordinat fisik $\{u\}$ ditransformasi ke dalam koordinat modal $\{\xi\}$ dengan :

$$\{u(t)\} = [\phi]\{\xi(t)\} \quad (8)$$

Output dari modal transient response adalah frekuensi natural atau eigenfrequency dan periode natural atau eigenperiod setelah mengalami beban transient. frekuensi natural adalah peristiwa resonansi, yaitu ikut bergetarnya sebuah benda karena getaran benda lain di sekitarnya. Sedangkan periode natural adalah waktu bergetarnya sebuah benda dalam satu siklus.

2.2.10 Explicit Dynamic Method

Untuk desain yang dapat bertahan dari beban tekanan tinggi durasi pendek sangat dianjurkan dengan penggunaan ANSYS solusi dinamika eksplisit. Masalah-masalah khusus memerlukan perangkat analisis canggih untuk secara akurat memprediksi pengaruh pertimbangan desain pada produk akibat beban berat.

Memahami fenomena kompleks seperti ini sangat penting ketika itu terlalu mahal - atau tidak mungkin - untuk melakukan pengujian fisik. ANSYS dinamika eksplisit dapat menganalisa peristiwa berdurasi pendek untuk produk yang mengalami beban nonlinear atau peristiwa transien dinamis. Skema eksplisit didasarkan pada displasemen langkah waktu setelahnya, $t + \Delta t$ oleh perpindahan, kecepatan dan percepatan langkah waktu sebelumnya, seperti yang terlihat dalam persamaan

$$r(t + \Delta t) = f \{r(t), \dot{r}(t), \ddot{r}(t), r(t-\Delta t), \dot{r}(t-\Delta t), \ddot{r}(t-\Delta t), \dots\} \quad (9)$$

Pada umumnya, metode eksplisit dinamis digunakan untuk menganalisa ledakan, tabrakan mobil atau motor, benda jatuh, dll

2.2.11 Kegagalan pada struktur akibat beban ledakan

Untuk kasus penelitian ini, model diasumsikan bahwa seluruh struktur tetap nonlinier untuk semua pembebanan dinamis. dalam prakteknya kerusakan lokal akan terjadi melibatkan plastisitas dan kegagalan member. di mana tingkat kerusakan ini cukup besar, hasil linear tidak akan akurat memprediksi tingkat getaran yang benar.

Menurut Pickering, E. E., dan J. L. Bockholt (1971) terdapat variabel kritis yang harus dipertimbangkan untuk desain bangunan/struktur, yaitu : Kriteria Respon Kerusakan. Berikut ini adalah tiga Respon Kerusakan utama seperti yang didefinisikan sebagai berikut :

Tabel 2.3 Kriteria respon kerusakan pada struktur atau bangunan

Kriteria respon	Deskripsi
Kerusakan kecil	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan struktur lokal. • Struktur masih bisa digunakan tetapi harus segera direkonstruksi • Material struktur telah memasuki fase plastis
Kerusakan sedang	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan menyebar ke beberapa struktur lokal/komponen • Struktur masih bisa digunakan tetapi harus segera direkonstruksi secara • Material struktur telah mencapai batas ultimate
Kerusakan berat	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan menyeluruh ke seluruh bagian struktur • Struktur tidak bisa digunakan kembali • Material struktur telah mencapai fase retak atau runtuh

(Sumber : Pickering, E. E., dan J. L. Bockholt 1971)

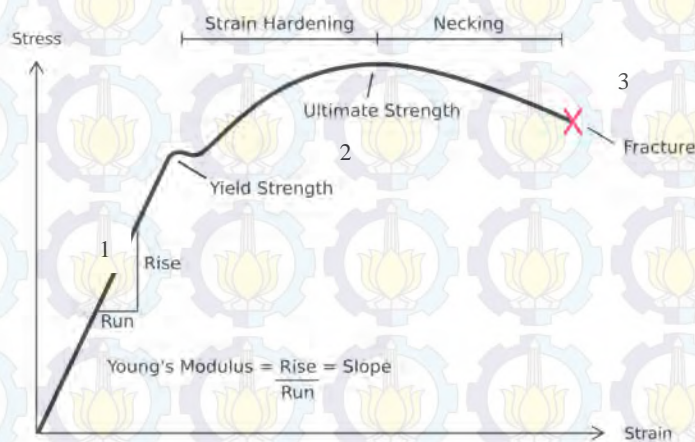
2.2.12 Perilaku Material Akibat Beban Ledakan

Pada umumnya, material mempunyai respon yang kompleks akibat beban ledakan. Respon material tersebut dapat berupa perubahan elastis (untuk beban ledakan yang sangat kecil), perubahan plastis (untuk beban ledakan cukup besar) dan kerusakan material (untuk beban ledakan sangat besar). namun pada umumnya, respon material berupa perubahan elastis sangat jarang terjadi sehingga yang dipertimbangkan hanya perubahan plastis dan kerusakan (Bosch, V.D, dkk. 1992).

a. Perubahan plastis

Plastisitas merupakan perubahan material mikro akibat adanya overstress pada member. Terjadinya plastisitas akan mempengaruhi kekakuan dari member yang pada akhirnya akan mengurangi kekuatan struktur secara global. Plastisitas pada struktur akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya beban secara bertahap maupun secara langsung pada struktur hingga beban batas akhir (*incremental load*).

Analisa struktur perubahan material platis memanfaatkan kemampuan secara penuh hingga beban mencapai batas atas (*incremental load*) sehingga member tersebut tidak bisa kembali lagi (telah melewati tegangan *yield*). Hal ini memungkinkan member mengalami defleksi atau deformasi cukup besar. Plastisitas hanya terjadi pada material baja dan beton bertulang. Berikut gambar 2.11 grafik *stress-strain* yang menunjukkan daerah elastis (1), platis (2), dan keretakan (3).



Gambar 2.11 Diagram *stress-strain* material

(Sumber :

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stress_Strain_Ductile_Material.png)

Keterangan : *Ultimate strength* adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya *fracture*. Sedangkan *yield stress* adalah tegangan maksimum sebelum material memasuki fase peralihan ke daerah platis.

untuk mendefinisikan stress akibat tension dan compression atau von Mises stress yang digunakan untuk memprediksi yield bahan akibat kondisi pembebanan multiaksial. Hal itu hanya dapat menggunakan hasil dari tes tarik uniaksial sederhana. Dalam analisa explicit dynamic, deformasi platis dihitung dengan mengacu pada kriteria hasil Von Mises. Dengan demikian, kita mendefinisikan Hal ini menyatakan bahwa kondisi yield lokal

(10)

Dengan

σ_y = yield material akibat beban tarik

σ_x = Tegangan arah sumbu x

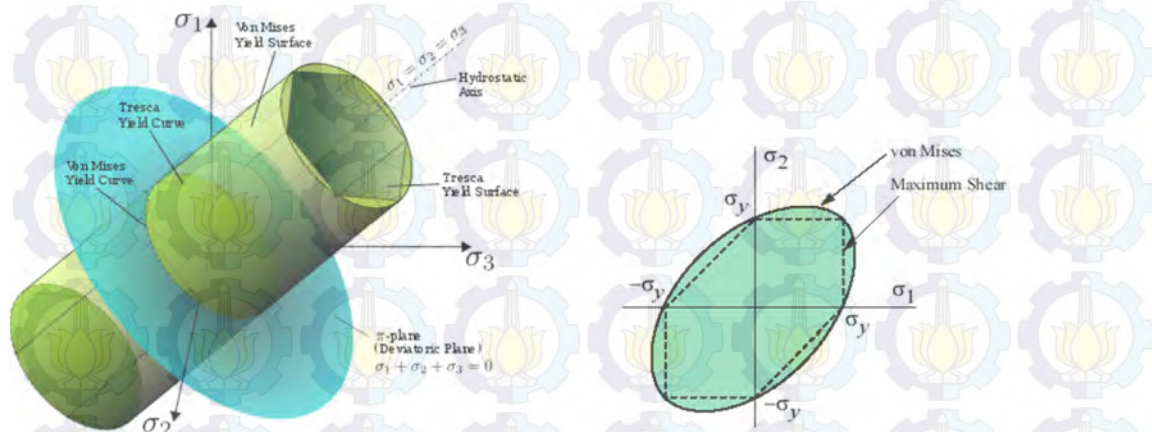
σ_{xy} = Tegangan arah sumbu xy

σ_y = Tegangan arah sumbu y

σ_{xz} = Tegangan arah sumbu xz

σ_z = Tegangan arah sumbu z

σ_{yz} = Tegangan arah sumbu yz



Gambar 2.12 Prinsip *yield surface* dengan tegangan von mises untuk :

(a) silinder 3D (b) *circular* 2D

(sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion, 2014)

b. Kerusakan Material

kegagalan adalah kondisi di mana bahan padat mengalami kerusakan akibat beban eksternal. Kegagalan material biasanya diklasifikasikan ke dalam keruntuhan getas (fraktur) atau kegagalan ulet (yield). Untuk situasi yang paling praktis, bahan dapat diklasifikasikan sebagai ductility atau brittle. Kriteria kegagalan yang dikembangkan untuk jenis ductil/brittle yang mana memasuki tegangan / regangan maksimum. Kriteria tegangan maksimum mengasumsikan bahwa material gagal ketika terkena maksimum stress (dalam elemen bahan melebihi kekuatan tarik uniaksial material. Atau, materi akan gagal jika stres minimum (kurang dari kekuatan tekan uniaksial material. Jika kekuatan tarik uniaksial material adalah

dan kekuatan tekan uniaxial adalah σ_c , maka wilayah yang aman untuk material diasumsikan

$$\sigma_c < \sigma_3 < \sigma_1 < \sigma_t \quad (11)$$

2.2.13 Analisa Tingkat Ductility

Berdasarkan su (2012), Material ductil dapat didefinisikan sebagai bahan yang memungkinkan terjadinya deformasi plastik tanpa kehilangan kekuatannya sebelum terjadi retak atau pecah, sementara bahan brittle memungkinkan sedikit atau tidak ada deformasi plastik. Secara umum, struktur harus dirancang untuk berperilaku elastis pada kondisi operasi normal (kondisi operasional), sedangkan displacement plastik diperbolehkan selama skenario ledakan. Sebuah ukuran perpindahan plastik maksimum diberikan oleh rasio daktilitas didefinisikan oleh:

$$\mu = \frac{x}{x_{el}} \quad (12)$$

Dengan :

μ = critical ductility

x = actual displacement (mm)

x_{el} = maksimum elastis displacement (mm)

Tabel 2.4 Tingkat kerusakan struktur berdasarkan rasio ductility

Ranking/damage level	Acceptable limits
High	$\mu \geq 6$
Substansial	$4 \leq \mu < 6$
Moderate	$2 \leq \mu < 4$
Light	$1 \leq \mu < 2$
Negligible	$\mu < 1$

(Sumber : Yaseri, 2005)

Tingkat kerusakan suatu struktur berdasarkan rasio dutility dapat dikategorikan sebagai berikut :

- a. High : Struktur tidak dapat diperbaiki dan mengalami kerugian total
- b. Substantial: Kerusakan yg dapat diperbaiki hanya untuk sistem pendukung beban utama (leg atau pile) tetapi kerusakan besar terjadi pada peralatan
- c. Moderate: Kerusakan dapat diperbaiki tetapi terjadi gangguan produksi
- d. Light: Perbaikan Minimum dan tidak ada gangguan untuk produksi
- e. Negligible: tidak ada gangguan untuk produksi

2.2.14 Index Kerusakan Struktur Berdasarkan Parameter Modal

Cakmak dan DiPasquale (1989) telah menjelaskan dalam penelitiannya bahwa untuk mengetahui tingkat kerusakan suatu sistem struktur secara global maupun lokal dapat digunakan parameter modal sebagai dasar pengukuran. Disebutkan pula bahwa tidak digunakannya parameter redaman untuk mengukur tingkat kerusakan dikarenakan kesulitan dalam pengukuran parameter redaman ketika struktur pada suatu fase nonlinier. Cakmak dan DiPasquale mengajukan ide bahwa perubahan frekuensi natural fundamental sebagai alat ukur dari kerusakan global ataupun lokal, yang direpresentasikan oleh persamaan berikut

$$DI_m = 1 - \frac{\omega_n - \omega_d}{\omega_n} \quad (13)$$

Dengan,

DI_m : Damage Index modal

ω_n : Periode Natural struktur (msec)

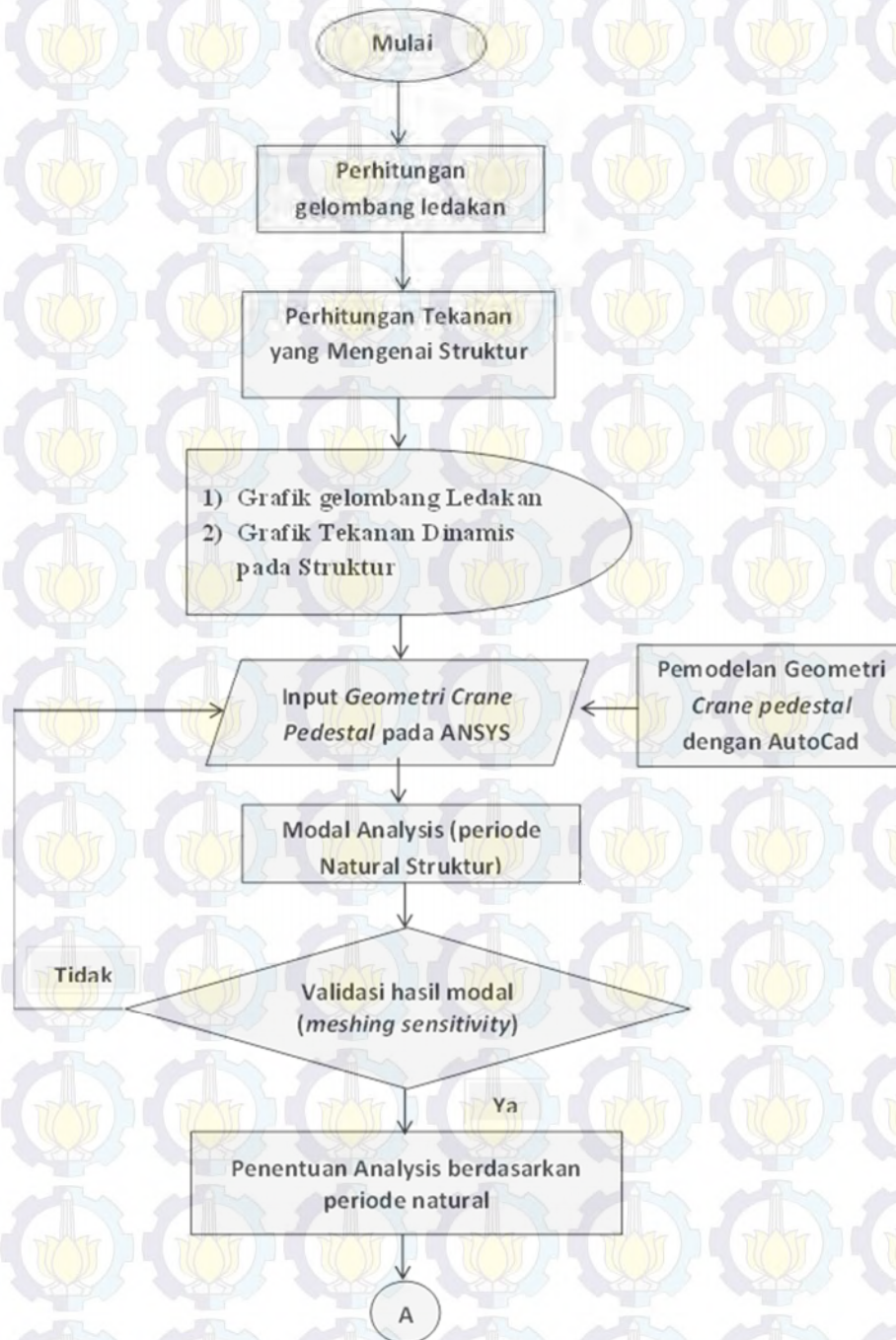
ω_d : Periode Natural struktur setelah terkena ledakan (msec)

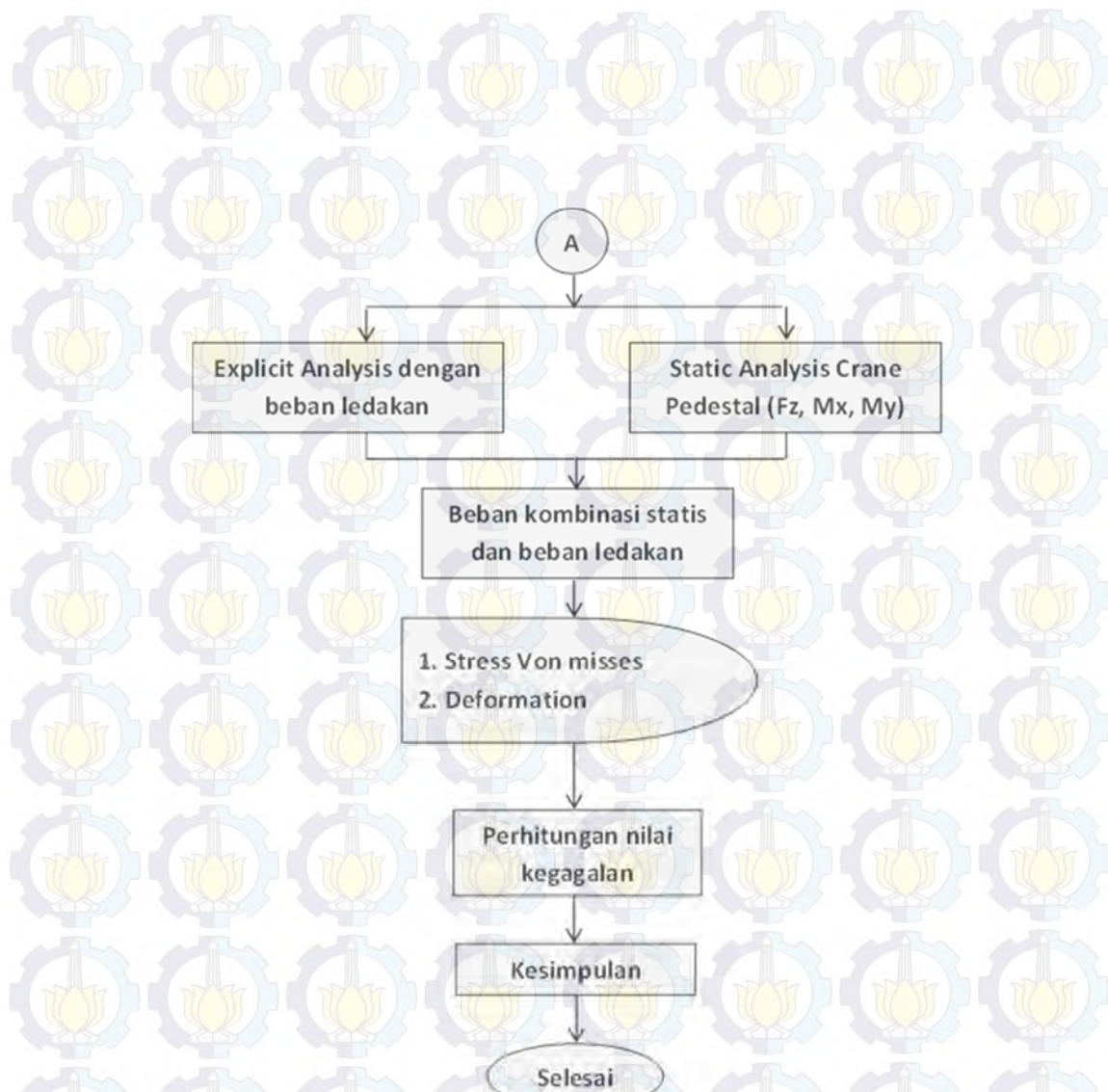
Perbedaan frekuensi natural antara struktur sebelum dan sesudah rusak akan selalu memberikan hasil positif dan semakin besar seiring dengan semakin besarnya tingkat kerusakan yang terjadi. Nilai 0 untuk DI (Damage Index) memiliki artian bahwa tidak terjadi kerusakan pada struktur dan 1 apabila struktur runtuh.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

3.1.1 Diagram alir pengerjaan proposal tugas akhir





Gambar 3.1 diagram alir penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses pengumpulan data struktur (geometri, material, konfigurasi, dll) dan studi literatur. Pengumpulan data ini dikumpulkan mulai dari data struktur brace monopod yang didapatkan dari PT. Reka Patria Ekaguna setelah peneliti melakukan kerja praktek disana. Data struktur tersebut berupa :

1. Model *platform* beserta material properties yang digunakan
2. Data ledakan pada *platform*
3. Sumber ledakan dan radiusnya

4. Data gambar detail tiap bagian struktur
5. Data konfigurasi tambahan lainnya

Sedangkan penelusuran *literatur* ini ditujukan untuk mendapatkan dasar teori yang cocok dalam menganalisa respon struktur *Crane pedestal* ketika terjadi ledakan. Penelusuran literatur dilakukan dengan membaca buku literatur, jurnal-jurnal baik local maupun international, paper-paper seminar, tugas akhir/thesis jurusan teknik kelautan, dll

Lalu penelitian ini dilanjutkan dengan memodelkan struktur *Crane pedestal* dengan menggunakan autocad. Setelah memodelkan dengan *software* autocad, selanjutnya model tersebut diimport ke *software* ansys untuk kemudian dilakukan validasi model pada gambar detail struktur tersebut. *Software* ini merupakan *software* analisis elemen hingga (*finite element*), bisa dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. Pemodelan ini mencakup *Crane pedestal* dan plat penegar *Crane pedestal*. Langkah selanjutnya yaitu melakukan Modal Analysis yang digunakan sebagai acuan apakah analisa yang dilakukan menggunakan *quasi-static*, *dynamic*, ataukah *impulsive*. Kemudian dilanjutkan dengan *Static Analysis* yang bertujuan untuk menganalisa kekuatan *crane pedestal* terhadap beban *crane* arah z dan kombinasi *moment* arah x dan y, Karena *crane pedestal* memiliki beban statis akibat berat crane dengan momentnya perlu dilihat kekuatan crane pedestal sebelum digabungkan dengan beban ledakan. validasi berupa *structure stress analysis* yang outputnya berupa bagian mana yang mendapat tegangan dan deformasi yang paling besar.

Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan Explicit Analysis dengan solver Autodyn dengan menginputkan tekanan ledakan yang mengenai struktur. kemudian menginputkan beban-beban dari data yang dimiliki dan dianalisa dengan menggunakan solver transient structural. Solver ini merupakan salah satu bagian analisa dari ANSYS 14.5 yang digunakan untuk menganalisa benda dengan beban time domain. Output yang diinginkan dari analisa ini adalah deformasi dan tegangan. Langkah selanjutnya yaitu ductility limit dan damage index modal. Awalnya

dilakukan perhitungan damage index modal dengan membandingkan periode natural sebelum dan setelah mengalami ledakan, Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan ductility limit sebagai syarat awal untuk mengetahui apakah struktur mengalami deformasi elastis atau platis. Hasil dari perhitungan ductility limit digunakan untuk ditentukan apakah struktur tersebut mengalami kegagalan atau tidak. kemudian pada tahap akhir, dapat diambil kesimpulan yang dapat dipertanggung jawabkan dan dengan dilampirkan hasil perhitungan-perhitungannya.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Pengumpulan data

Data-data yang di butuhkan, peneliti dapatkan dengan beberapa metode :

a. Pengumpulan Arsip Perusahaan

a. Pengumpulan data dilakukan dengan meminta kepada pihak perusahaan tentang arsip – arsip yang berupa laporan-laporan yang berkaitan dengan proyek tersebut, diantaranya laporan “*Fire and Explosion Risk Assesment*”, laporan *design basis brace monopod platform*, laporan *Material Take Off* pada *brace monopod platform*, dll. Selain laporan, data yang peneliti kumpulkan yaitu data gambar detail tiap bagian, dan data *platform*. Data yang diperoleh adalah

Data Crane meliputi :

- Dead load crane dan equipmentnya : 15 Kips
- Beban angkat crane maksimal : 9 Kips
- Beban moment crane maksimal : 207 Kips-ft
(termasuk faktor dinamisnya 2.0)
- Panjang crane boom : 23 ft
- Kapasitas angkat yang diijinkan : 4.5 Kips

Data Ledakan meliputi :

Kandungan gas CO₂ yang terdapat pada CO₂ Bottle skid 32.68 % mol yang memiliki tekanan hingga 672.9 Psig dan temperaturnya 59.88⁰ F serta volume inventory perharinya 3.789 m³ sehingga berpotensi terjadi ledakan. Pada saat tabung CO₂ Bottle skid berisi 10% dari volume tabung (138.694 m³) akan berpotensi meledak dengan tekanan 0.03 bar, apabila tabung CO₂ Bottle skid berisi 50% dari volume tabung akan berpotensi menyebabkan ledakan dengan tekanan 0.21 bar dan apabila tabung CO₂ Bottle skid berisi 90% dari volume tabung maka akan berpotensi menyebabkan ledakan dengan tekanan 0.35 bar

Tabel 3.1 Data kandungan tabung CO₂ Bottle skid saat meledak

Data ledakan	Volume (m ³)	Radius ledakan	Tekanan tabung
0.03 bar	13.694	151.36 m	14.10 bar
0.21 bar	69.374	30.61 m	32.41 bar
0.35 bar	124.82	22.23 m	41.33 bar

(sumber : kirana, 2013)

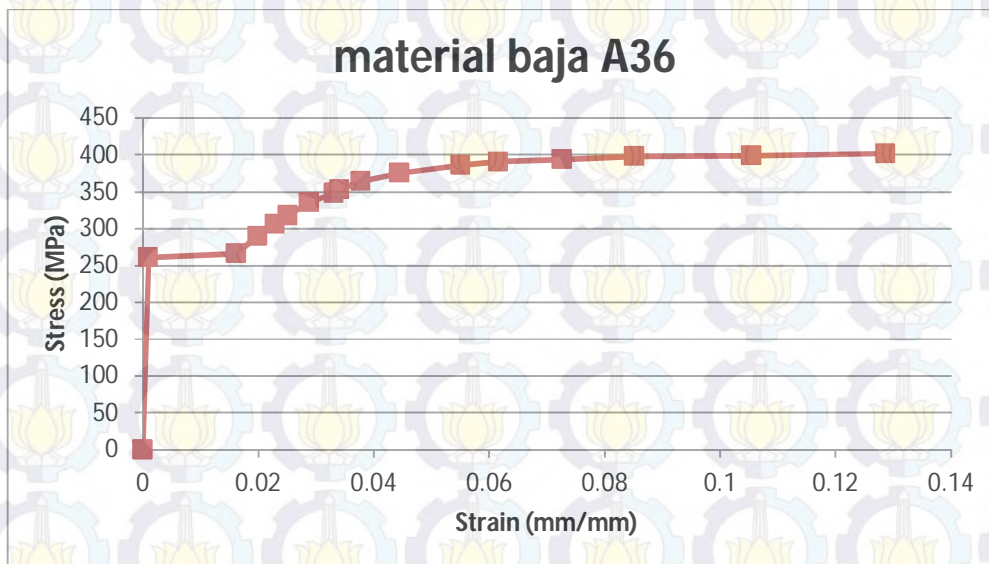
b. Membaca Literatur

Data-data sekunder saya dapatkan dari membaca literatur-literatur atau jurnal-jurnal yang berkaitan mengenai penelitian, baik yang terdapat pada perpustakaan pusat ITS, perpustakaan FTK maupun pada internet.

3.2.2 Pemodelan *crane pedestal* dengan ANSYS

Pada tahap ini, akan dilakukan pemodelan geometri dengan autocad dikarenakan pemodelan geometri menggunakan ANSYS lebih rumit dibandingkan dengan autocad. Kemudian model *geometri* tersebut di *import* kan ke ANSYS 14.5 untuk kemudian dilakukan *Meshing*, pemberian support, dll.

Model Material yang akan diinputkan di ANSYS 14.5 :



Gambar 3.2 Diagram stress-strain baja A36

(Sumber: <http://fde.uwaterloo.ca/Fde/Material/Steel/Lowcarbon/lowcarbon.html>,
2012)

Properties Crane pedestal :

- a. OD : 32 in
- b. Tebal : 0.598 in
- c. Modulus young (E) : 29000 ksi
- d. Massa jenis : 539 lb/ft³
- e. Posion ratio : 0.3
- f. σ yield : 36 ksi
- g. Tinggi Crane pedestal: 8.85 ft
- h. Damping struktur : 5%



Gambar 3.3 model *Crane pedestal* di SACS

3.2.3 Input Transient Loading

Data beban yang dapat diinputkan

- b. Beban *Crane* sendiri : 15 Kips
- c. Beban angkat max crane : 9 Kips
- d. Moment *Crane* : 207 kips-in
- e. Beban ledakan : 0.03 bar , 0.21 bar, 0.35 bar
- f. Waktu ledakan (dilakukan perhitungan terlebih dahulu)
- g. Radius ledakan

Tabel 3.2 Radius ledakan

No.	Peak Overpressure	Radius Ledakan
1	0.03 bar	151.36 m
2	0.21 bar	30.61 m
3	0.35 bar	22.23 m

(kirana, 2013)

3.2.4 Validasi Pemodelan Struktur (*Meshing Sensitivity*)

Sebelum dilakukan analisis tegangan *von-Mises* dilakukan *Meshing* terlebih dahulu. Pemilihan jumlah *Meshing* yang tepat akan memberikan hasil analisis yang akurat. Oleh karena itu, pembuatan *Meshing* dilakukan *Meshing Sensitivity*. *Meshing Sensitivity* adalah iterasi untuk memperoleh tegangan yang bernilai konstan dengan variasi ukuran *Meshing*. Pada pemodelan *software* ANSYS model dapat digunakan dalam analisis selanjutnya dengan syarat menggunakan ukuran minimal *Meshing* saat tegangan telah mendekati konstan.

3.2.5 Penentuan Kegagalan pada Struktur

Penentuan kegagalan suatu struktur dapat dilakukan dari beberapa hal, diantaranya ductility limit, Index damage untuk modal analysis, Index Damage untuk momen inersia, dan besarnya regangan akibat adanya beban ledakan. Penentuan ini diperlukan agar dapat mengantisipasi kejadian terburuk pada saat operasional bangunan lepas pantai, juga dapat mempersiapkan mitigasi untuk personel agar tidak terjadi korban jiwa.

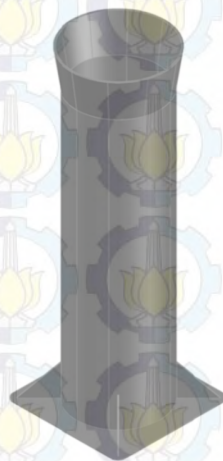
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan

Pemodelan dilakukan dengan memodelkan struktur secara local pada crane pedestal platform yang bertujuan untuk mendapatkan nilai respon dari struktur berupa deformasi, distribusi tegangan dan regangannya. Untuk pemodelan secara lokal dilakukan dengan bantuan software AutoCAD, yang selanjutnya diimportkan pada software ANSYS 14.5. model tersebut dibuat berdasarkan gambar detail *crane pedestal* yang didapatkan dari PT. Reka Patria Ekaguna.

4.1.1 Pemodelan dengan AutoCAD

Pemodelan lokal struktur Silindris pada crane pedestal dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* AutoCAD yang bertujuan untuk memudahkan pembuatan model Silindris dan plat-plat penegarnya pada analisa lokal. Pemodelan struktur Silindris crane pedestal dengan *software* AutoCAD dapat memudahkan dalam penentuan titik-titik koordinat struktur dan juga mempermudah memahami bentuk struktur secara visual. Dari AutoCAD dapat diimport ke software ANSYS untuk mempermudah pembuatan model. Berikut disajikan geometri struktur crane pedestal.



Gambar 4.1 pemodelan crane pedestal dengan autoCAD

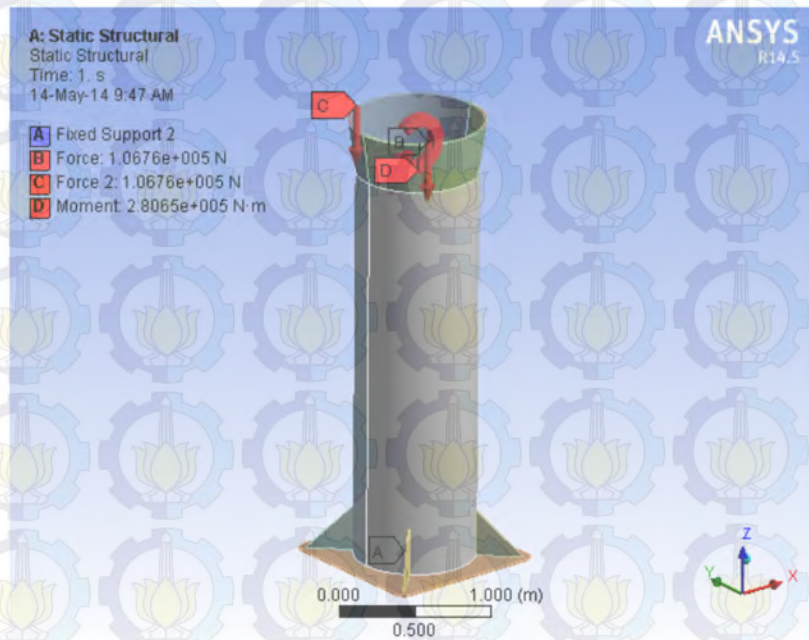
4.1.2 Pemodelan di ANSYS 14.5

Pada tahap ini, tidak perlu dilakukan pemodelan secara detail pada crane pedestal, untuk geometri crane pedestal didapatkan dari autoCAD yang di import pada software ANSYS 14.5 Workbench dan memasukkan material properties sesuai data. Setelah itu dilakukan kalibrasi satuan antara di autoCAD dengan di ANSYS sehingga sesuai dengan bentuk aslinya. Kemudian dilanjutkan dengan penyesuaian material data dengan material data pada engineering data yang terdapat di ANSYS.



Gambar 4.2 Model crane pedestal structure (a) dan meshing model 50 mm (b)

Model lokal yang digunakan adalah bagian dari model global dari crane pedestal. Oleh karenanya akan ada beberapa kondisi yang perlu diinputkan ke dalam ANSYS yang dapat mewakili pemodelan global struktur menjadi pemodelan lokal struktur. Hal ini dapat dilakukan dengan memasukkan constraint pada bagian struktur yang dianggap tetap (*fixed*) atau tidak mengalami deformasi. Constraint yang digunakan adalah pada semua degree of freedom (6 DOF) baik translasional maupun rotasional. Constraint diinputkan pada daerah *base plate*, ujung silindris dan permukaan crane pedestal.



Gambar 4.3 Constraint yang diinputkan pada model

4.2 Perhitungan

Untuk melakukan analisa ledakan pada crane pedestal perlu didukung beberapa perhitungan yang terkait dengan data-data yang dimiliki. Perhitungan ini bertujuan untuk menjabarkan bagaimana terbentuknya suatu gelombang ledakan hingga terbentuknya tekanan dinamis pada struktur.

4.2.1 Perhitungan Gelombang Ledakan

Pada perhitungan gelombang ledakan dari pusat ledakan, tahap-tahap yang perlu dilakukan agar mendapatkan bentuk gelombang ledakan dinamis yang mendekati kenyataan adalah

1. Menghitung massa jenis ledakan untuk tiap peak overpressure

Pada dasarnya, tekanan ledakan yang terdapat pada data tugas akhir ini adalah tekanan relative, yaitu tekanan yang diukur relatif terhadap tekanan atmosfer sehingga perlu dilakukan penyesuaian dengan tekanan absolut disekitar crane pedestal dengan menambahkan tekanan atmosfer sebelum terjadinya ledakan.

Variabel yang dibutuhkan dalam menghitung massa jenis ledakan adalah peak overpressure, tekanan atmosfer, dan massa jenis udara.

2. Menghitung Durasi ledakan

Pada tahap ini, formula yang digunakan untuk menghitung waktu terjadinya ledakan adalah Sadovsky formula yang didalamnya terdapat variabel massa gas yang meledak dan radius ledakannya. Untuk detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran perhitungan.

3. Menghitung parameter bentuk ledakan

Parameter bentuk ledakan (b) merupakan faktor yang digunakan untuk mendapatkan bentuk gelombang deflagration. Parameter ini didapatkan dengan membandingkan jarak sumber ledakan dengan massa gas yang meledak. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan parameter gelombang ledakannya adalah 0.277, sedangkan Untuk detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran perhitungan.

4. Menghitung gelombang ledakan

Menurut Draganić dan Sigmund (2012), Catatan waktu dari tekanan gelombang ledakan biasanya digambarkan sebagai fungsi eksponensial dalam bentuk persamaan Friendlander. Seperti pada persamaan (1) pada dasar teori yang kemudian dibuat dalam bentuk step-step agar terbentuk fase gelombang ledakan yang sesuai. Berikut hasil perhitungan yang disusun dalam 16 step untuk tiap variasi ledakan

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.03 bar

step	Ps (bar)	to (ms)	t (ms)	b	P(t) (bar)
0	0.03	0.000	249.68	0.277	0.0000
1	0.03	24.968	249.68	0.277	0.0169
2	0.03	37.452	249.68	0.277	0.0268
3	0.03	43.694	249.68	0.277	0.0290
4	0.03	49.936	249.68	0.277	0.0300
5	0.03	56.178	249.68	0.277	0.0302
6	0.03	62.42	249.68	0.277	0.0297
7	0.03	74.904	249.68	0.277	0.0278
8	0.03	87.388	249.68	0.277	0.0252
9	0.03	99.872	249.68	0.277	0.0225
10	0.03	124.84	249.68	0.277	0.0172
11	0.03	149.808	249.68	0.277	0.0126
12	0.03	174.776	249.68	0.277	0.0087
13	0.03	199.744	249.68	0.277	0.0053
14	0.03	224.712	249.68	0.277	0.0025
15	0.03	249.68	249.68	0.277	0.0000

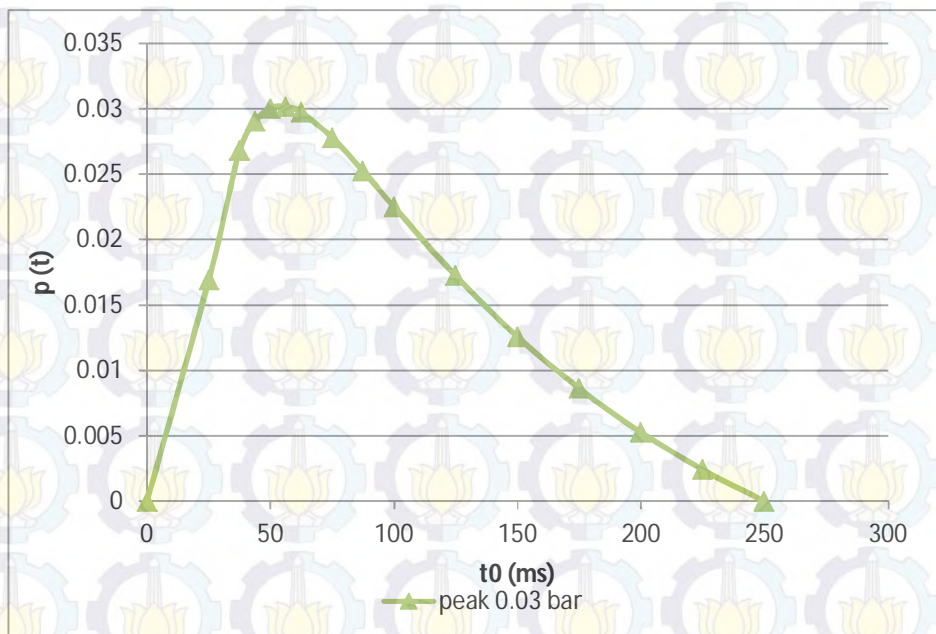
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.21 bar

step	Ps (bar)	to (ms)	t (ms)	b	P(t) (bar)
0	0.21	0.000	50.53	0.277	0
1	0.21	5.053	50.53	0.277	0.1184
2	0.21	7.580	50.53	0.277	0.1877
3	0.21	8.843	50.53	0.277	0.2033
4	0.21	10.106	50.53	0.277	0.2103
5	0.21	12.633	50.53	0.277	0.2080
6	0.21	13.896	50.53	0.277	0.2022
7	0.21	15.159	50.53	0.277	0.1946
8	0.21	17.686	50.53	0.277	0.1767
9	0.21	20.212	50.53	0.277	0.1576
10	0.21	25.265	50.53	0.277	0.1207
11	0.21	30.318	50.53	0.277	0.0882
12	0.21	35.371	50.53	0.277	0.0606
13	0.21	40.424	50.53	0.277	0.0371
14	0.21	45.477	50.53	0.277	0.0172
15	0.21	50.530	50.53	0.277	0

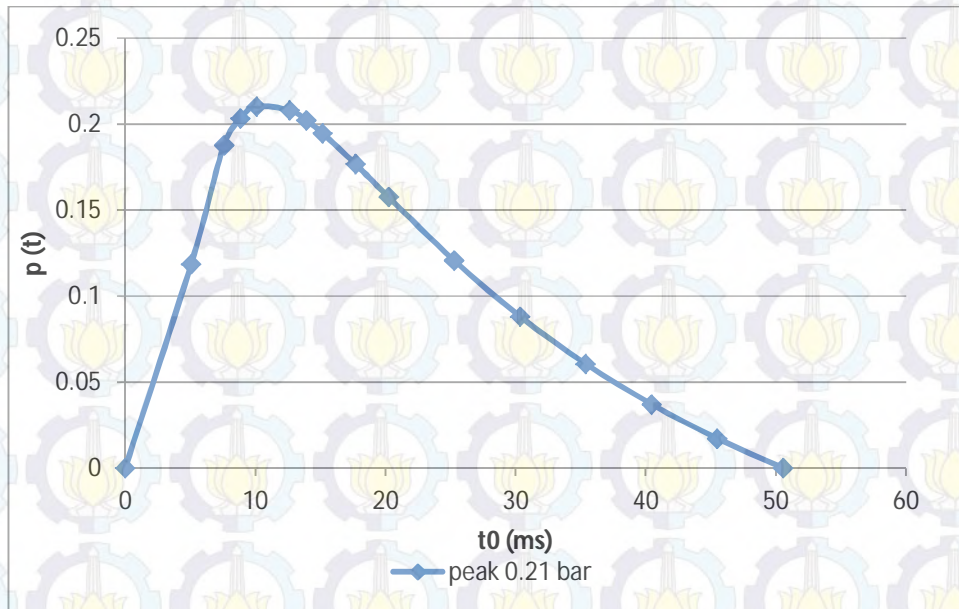
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan untuk Gelombang Ledakan 0.35 bar

step	Ps (bar)	to (ms)	t (ms)	b	P(t) (bar)
0	0.35	0.000	36.7	0.277	0
1	0.35	3.670	36.7	0.277	0.1974
2	0.35	5.505	36.7	0.277	0.3129
3	0.35	6.423	36.7	0.277	0.3389
4	0.35	7.340	36.7	0.277	0.3505
5	0.35	9.175	36.7	0.277	0.3467
6	0.35	10.093	36.7	0.277	0.3370
7	0.35	11.010	36.7	0.277	0.3244
8	0.35	12.845	36.7	0.277	0.2946
9	0.35	14.680	36.7	0.277	0.2627
10	0.35	18.350	36.7	0.277	0.2011
11	0.35	22.020	36.7	0.277	0.1471
12	0.35	25.690	36.7	0.277	0.1010
13	0.35	29.360	36.7	0.277	0.0619
14	0.35	33.030	36.7	0.277	0.0286
15	0.35	36.700	36.7	0.277	0

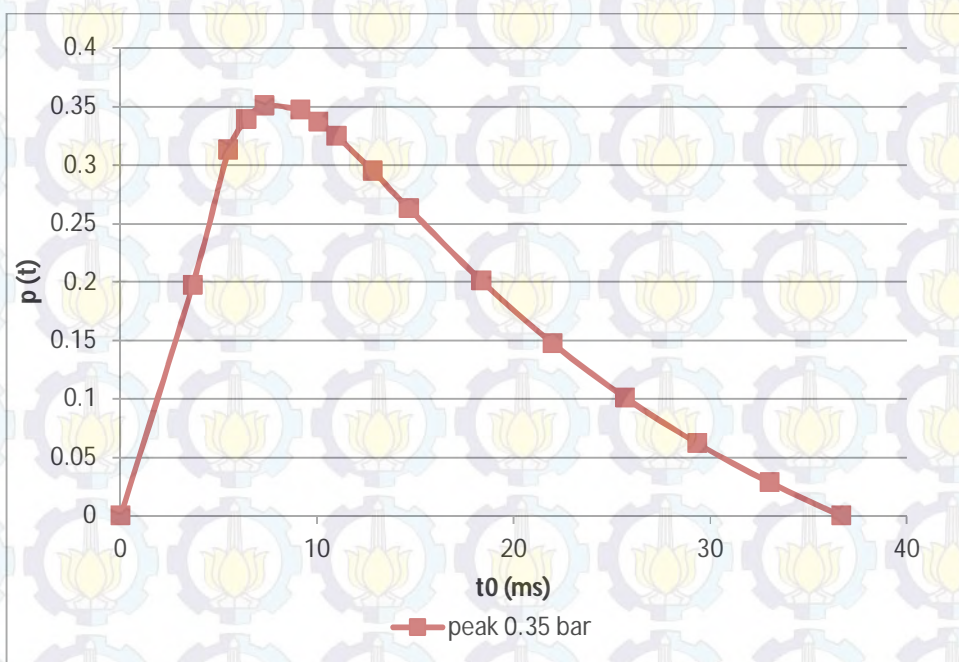
berikut ilustrasi gelombang ledakannya :



Gambar 4.4 Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.03 bar



Gambar 4.5 Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.21 bar



Gambar 4.6 Ilustrasi gelombang ledakan untuk fase positif 0.35 bar

4.2.2 Perhitungan Tekanan Dinamis pada Struktur

Pada perhitungan tekanan dinamis pada struktur akibat ledakan perlu dilakukan agar mendapatkan bentuk gelombang tekan dinamis berbasis time domain yang mendekati kenyataan. Perhitungan tekanan dinamis tersebut diperlukan beberapa variabel penting, diantaranya coefficient drag, massa jenis ledakan, dan kecepatan ledakan. Untuk nilai massa jenis ledakan dan kecepatan ledakan dipengaruhi oleh besarnya puncak ledakan tiap stepnya.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.03 bar

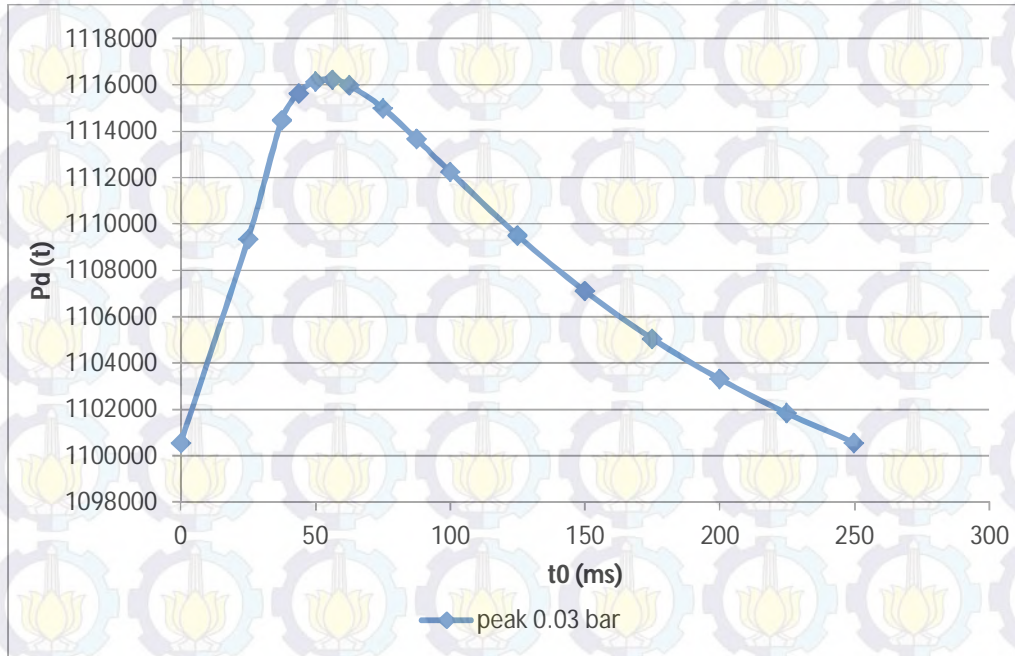
Po (Pa)	P(t) (bar)	P(t) (Pa)	ρ_s (kg/m ³)	Us (t) (m/s)	Pd(t) (Pa)
101325	0.0000	101325.0	8.544	463.34	1100564.85
101325	0.0169	103016.9	8.546	465.12	1109352.15
101325	0.0268	104007.0	8.548	466.16	1114496.55
101325	0.0290	104229.8	8.548	466.40	1115654.45
101325	0.0300	104328.9	8.548	466.50	1116169.60
101325	0.0302	104342.0	8.548	466.51	1116237.77
101325	0.0297	104297.0	8.548	466.47	1116003.72
101325	0.0278	104105.3	8.548	466.27	1115007.88
101325	0.0252	103850.0	8.548	466.00	1113680.67
101325	0.0225	103576.5	8.547	465.71	1112259.51
101325	0.0172	103048.9	8.546	465.16	1109518.74
101325	0.0126	102585.5	8.546	464.67	1107111.06
101325	0.0087	102190.5	8.545	464.25	1105059.76
101325	0.0053	101855.5	8.545	463.90	1103319.70
101325	0.0025	101570.0	8.544	463.60	1101837.19
101325	0.0000	101325.0	8.544	463.34	1100564.85

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.21 bar

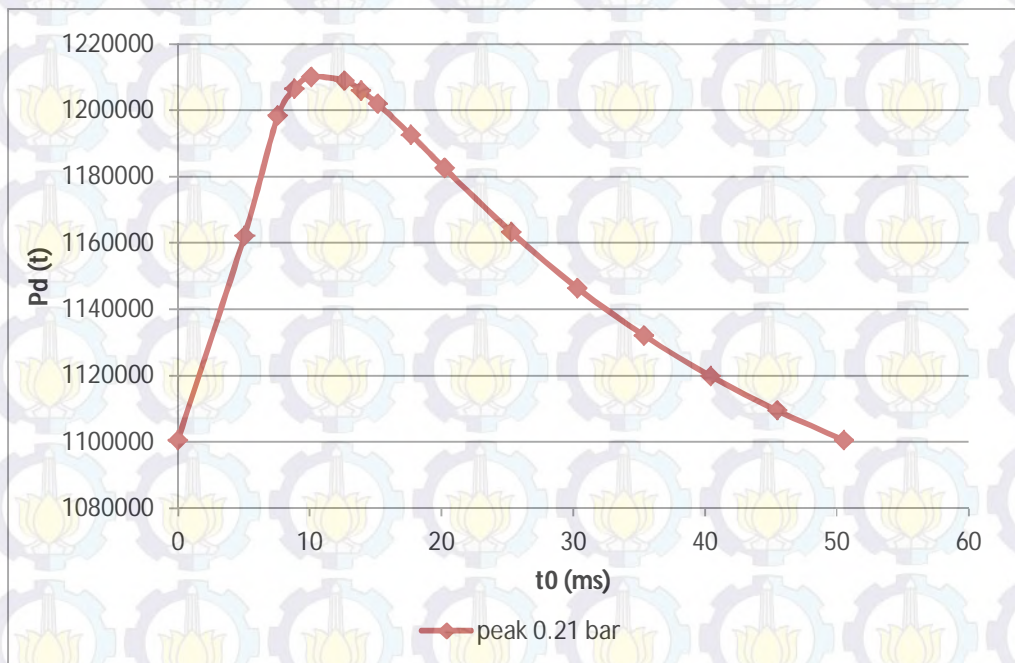
Po (Pa)	P(t) (bar)	P(t) (Pa)	ps (kg/m3)	Us (t) (m/s)	Pd(t) (Pa)
101325	0.0000	101325.0	8.5440	463.342	1100564.85
101325	0.1184	113168.1	8.5605	475.675	1162169.73
101325	0.1877	120098.7	8.5701	482.747	1198321.94
101325	0.2033	121658.4	8.5722	484.324	1206467.89
101325	0.2103	122352.2	8.5732	485.024	1210092.97
101325	0.2080	122128.8	8.5729	484.799	1208925.61
101325	0.2022	121544.6	8.5720	484.209	1205873.39
101325	0.1946	120787.4	8.5710	483.444	1201918.76
101325	0.1767	118999.7	8.5685	481.632	1192584.13
101325	0.1576	117085.2	8.5659	479.685	1182593.37
101325	0.1207	113392.6	8.5608	475.906	1163339.42
101325	0.0882	110148.3	8.5563	472.561	1146440.41
101325	0.0606	107383.8	8.5524	469.692	1132053.83
101325	0.0371	105038.5	8.5492	467.244	1119858.06
101325	0.0172	103040.2	8.5464	465.148	1109473.25
101325	0.0000	101325.0	8.5440	463.342	1100564.85

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan untuk Tekanan Dinamis Ledakan 0.35 bar

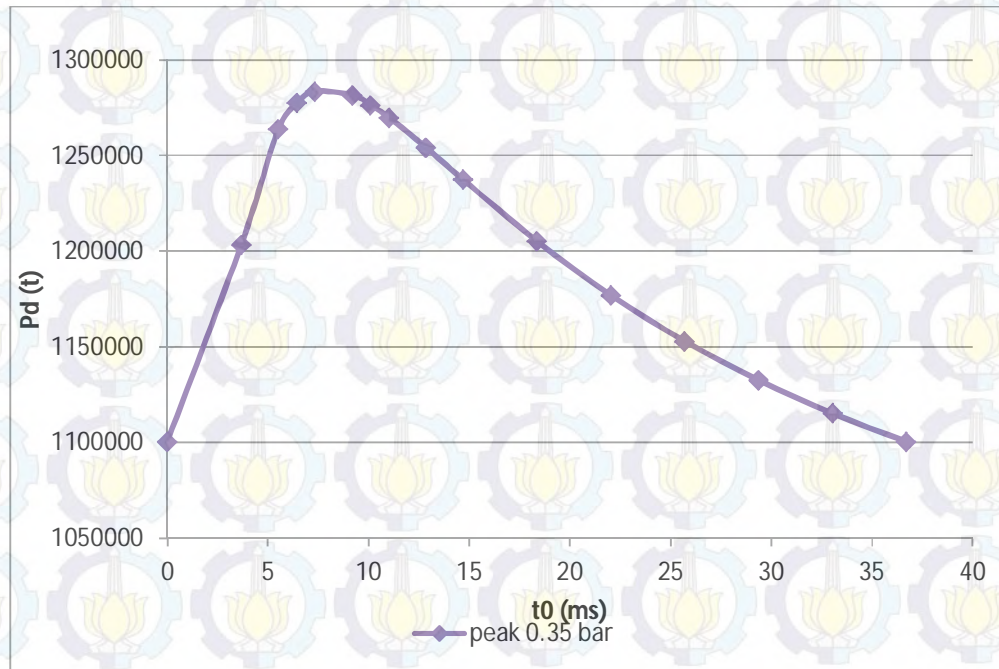
Po (Pa)	P(t) (bar)	P(t) (Pa)	ps (kg/m3)	Us (t) (m/s)	Pd(t) (Pa)
101325	0.0000	101325.0	8.5440	463.342	1100564.85
101325	0.1974	121063.5	8.5714	483.723	1203360.73
101325	0.3129	132614.5	8.5873	495.261	1263796.48
101325	0.3389	135213.9	8.5909	497.821	1277425.24
101325	0.3505	136370.3	8.5925	498.955	1283491.57
101325	0.3467	135998.0	8.5920	498.590	1281537.97
101325	0.3370	135024.3	8.5906	497.635	1276430.47
101325	0.3244	133762.4	8.5889	496.393	1269813.72
101325	0.2946	130782.8	8.5848	493.450	1254199.17
101325	0.2627	127592.0	8.5804	490.278	1237493.03
101325	0.2011	121437.6	8.5719	484.101	1205314.84
101325	0.1471	116030.4	8.5644	478.609	1177091.44
101325	0.1010	111423.0	8.5580	473.878	1153078.27
101325	0.0619	107514.2	8.5526	469.828	1132732.16
101325	0.0286	104183.6	8.5480	466.349	1115414.74
101325	0.0000	101325.0	8.5440	463.342	1100564.85



Gambar 4.7 Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.03 bar



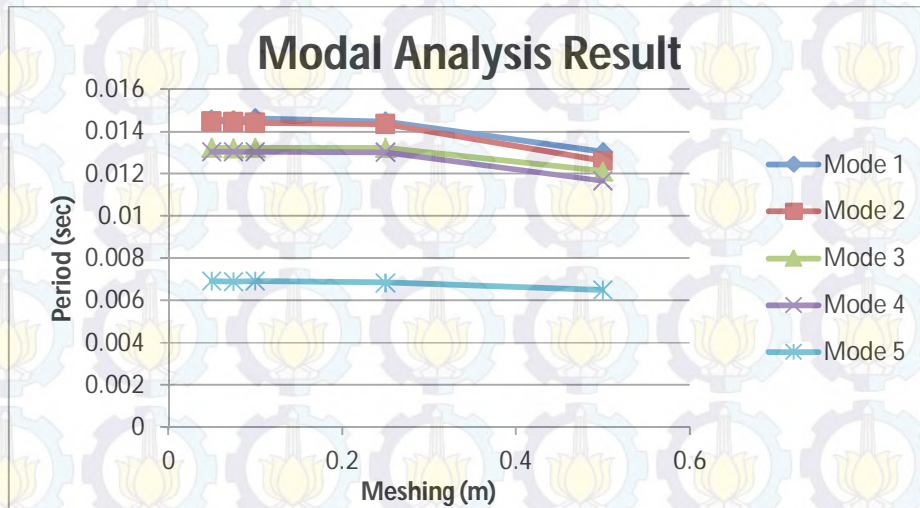
Gambar 4.8 Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.21 bar



Gambar 4.9 Ilustrasi Tekanan dinamis ledakan untuk fase positif 0.35 bar

4.3 Modal Analysis

Pada modal analysis ini dimaksudkan untuk mendapatkan eigenfrequency dan eigenperiod struktur ketika terdapat beban crane sendiri. periode natural adalah waktu bergetarnya sebuah benda dalam satu siklus. Hasil modal analysis dapat dilihat pada lampiran output. Setelah mendapatkan modal analysis kemudian dilakukan validasi terhadap meshing sensitivity untuk mengetahui meshing yang sesuai dengan model crane pedestal tersebut. Variasi meshing menggunakan 500mm, 250mm, 100mm, 75mm dan 50mm. Berikut hasil meshing sensitivity dari modal analysis pada mode 1,



Gambar 4.10 Hasil *meshing sensitivity* modal terhadap tiap mode

Dari *modal analysis* diatas, didapatkan bahwa periode natural struktur *crane pedestal* adalah 0.0146 sec atau 14.6 msec. dari pernyataan diatas, kemudian dapat dilakukan peninjauan terhadap tahap analisa berikutnya, yaitu menggolongkan jenis domain analisa yang digunakan yaitu dengan mencari rasio antara waktu terjadinya ledakan dengan eigenperiod struktur. berdasarkan hasil perhitungan (lihat lampiran) terhadap 3 variasi ledakan maka didapatkan kesimpulan bahwa analisa yang dilakukan adalah quasi-static, karena nilai rasio melebihi 3.

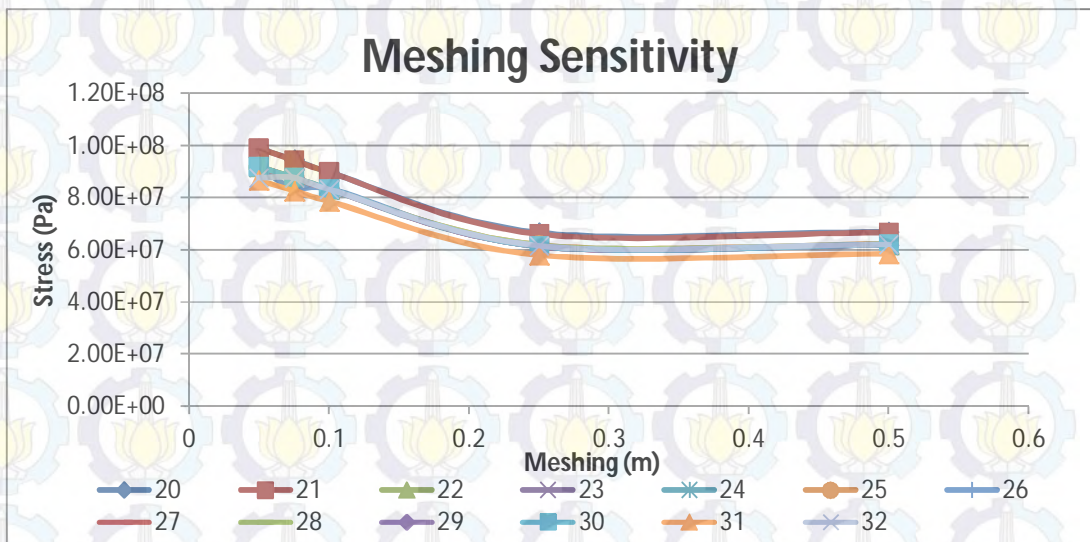
4.4 Pembebanan Statis

Pembebanan statis digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan, regangan dan deformasi dari suatu struktur sebelum dikombinasi dengan beban ledakan. Beban statis struktur *crane pedestal* terdiri dari beban mati crane, beban angkat crane, momen crane. Beban kombinasi (beban mati crane, beban angkat crane, momen crane) ini dipengaruhi oleh perbedaan faktor dari beban moment yang diakibatkan oleh berubahnya sudut. Untuk kasus ini, dicari hasil static analysis yaitu tegangan yang nilainya maksimal yang selanjutnya akan digunakan untuk pembebanan dinamis. Berikut tabel kombinasi beban statis dan dinamis pada *crane pedestal* :

Tabel 4.7 Beban kombinasi statis

Keterangan	Faktor Kombinasi Beban Statis Crane Pedestal												
	Beban Kombinasi												
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Beban Crane Dead load 15 Kips	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Beban Angkat Crane (9 Kips)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Moment crane X (Mx) 207 Kips-ft	0	0.5	0.71	0.87	1	0.87	0.71	0.5	0	-0.5	-0.71	-0.87	-1
Moment crane y (My) 207 Kips-ft	1	0.87	0.71	0.5	0	-0.5	-0.71	-0.87	-1	-0.87	-0.71	-0.5	0

Untuk kasus disini, beban statis dirunning berdasarkan ukuran meshing yang telah dilakukan sebelumnya. Output dari hasil static analysis ini adalah distribusi tegangan, regangan dan deformasi. Meshing sensitivity dilakukan untuk mengetahui ukuran meshing yang pas pada distribusi tegangan yang terjadi. Berikut hasil meshing sensitivity berdasarkan kombinasi statisnya :



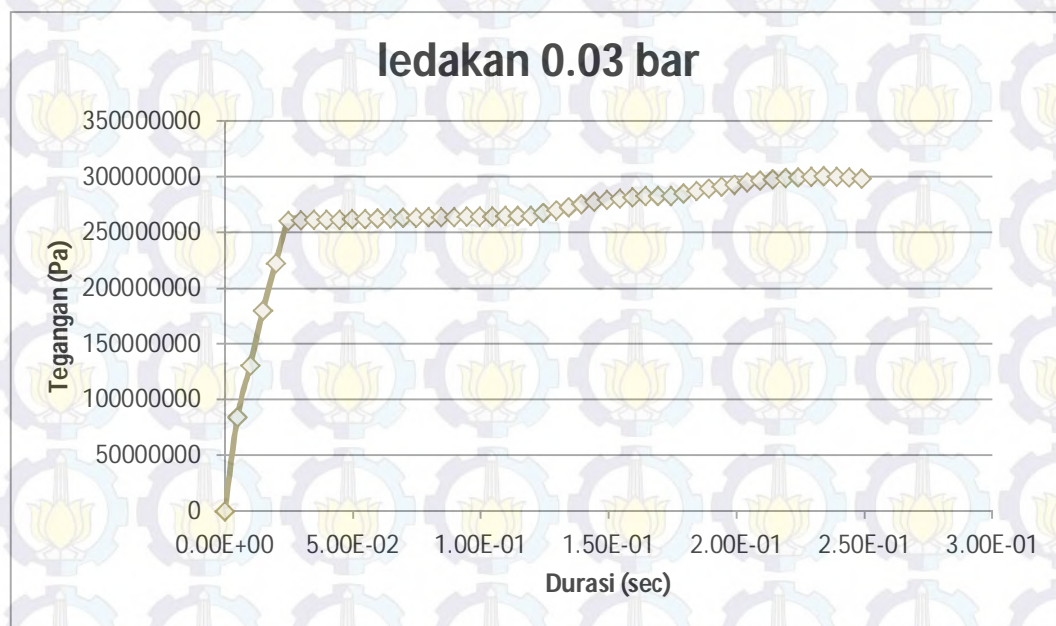
Gambar 4.11 Hasil *meshing sensitivity static analysis*

dari hasil meshing sensitivity pembebanan kombinasi statis diatas didapatkan 3 tegangan terbesar yaitu ketika terjadi beban kombinasi nomer 21 (momen arah 0°), 22 (momen arah 30°), dan 23 (momen arah 45°). Untuk nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi 21 adalah 98905000 Pa, Untuk nilai tegangan

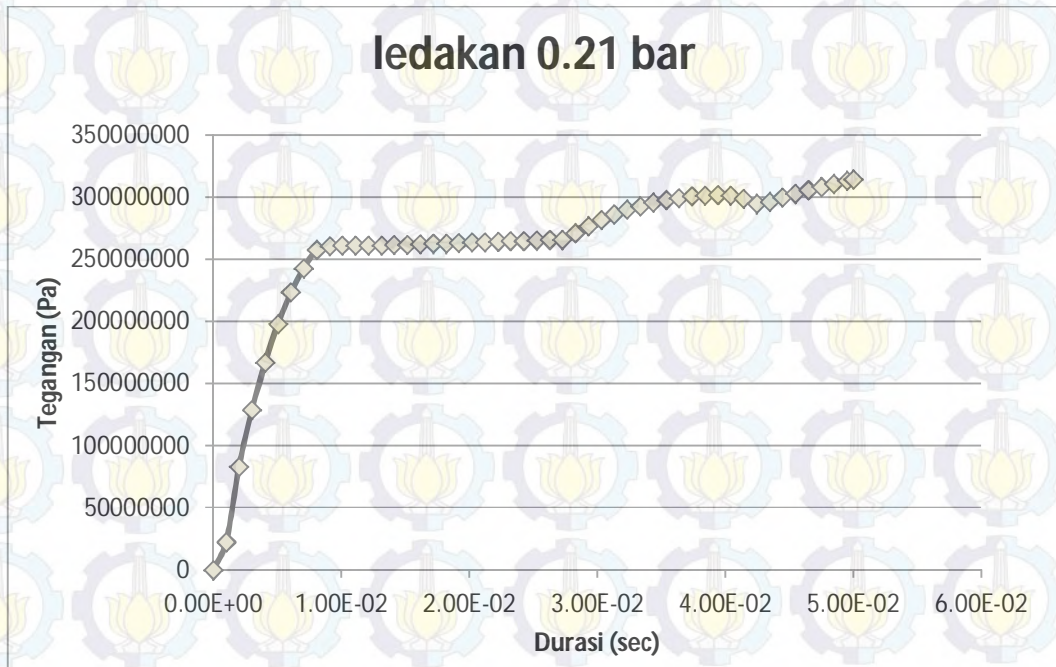
maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi 22 adalah 98829000 Pa, Untuk nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi 23 adalah 91839000 Pa. Hal ini diperlukan agar dalam analisa explicit tidak terlalu banyak melakukan running program dan dapat mengambil kejadian dari kondisi terburuk.

4.5 Pembebanan Dinamis

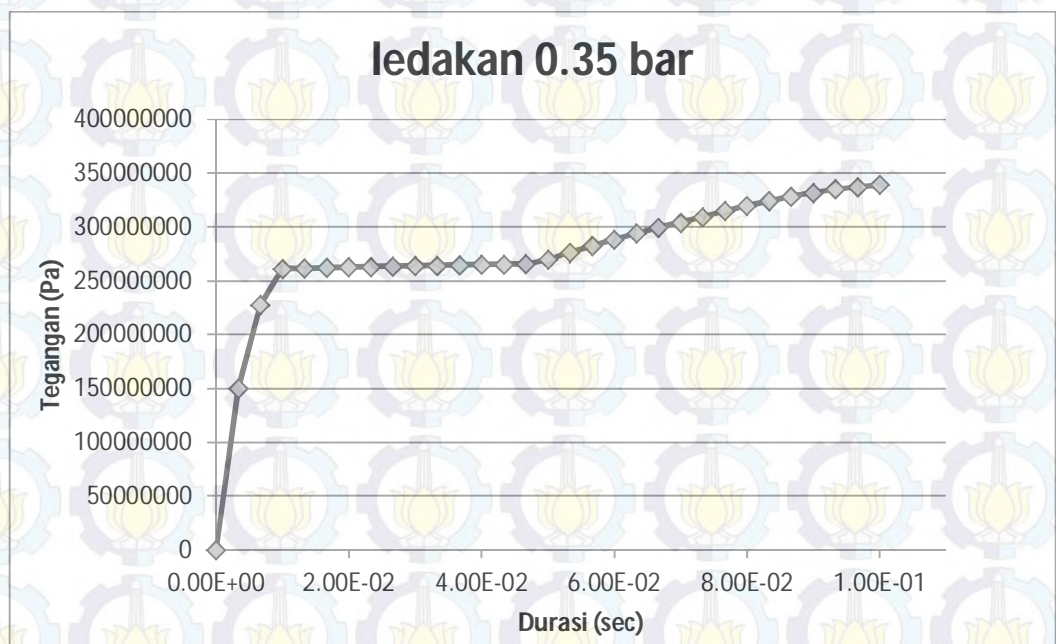
Setelah mendapatkan nilai tegangan terbesar dari beban kombinasi statis, yaitu pada kombinasi nomer 20 (arah 0 derajat) langkah selanjutnya yaitu melakukan pembebanan dinamis berupa beban ledakan saja. Hal ini diperlukan untuk mencari tahu nilai tegangan dan deformasi yang terjadi akibat ledakan saja tiap perubahan waktu. Berikut adalah grafik hasil dari pembebanan dinamis ledakan terhadap *time domain* dengan redaman struktur 5%.



Gambar 4.12 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.03 bar

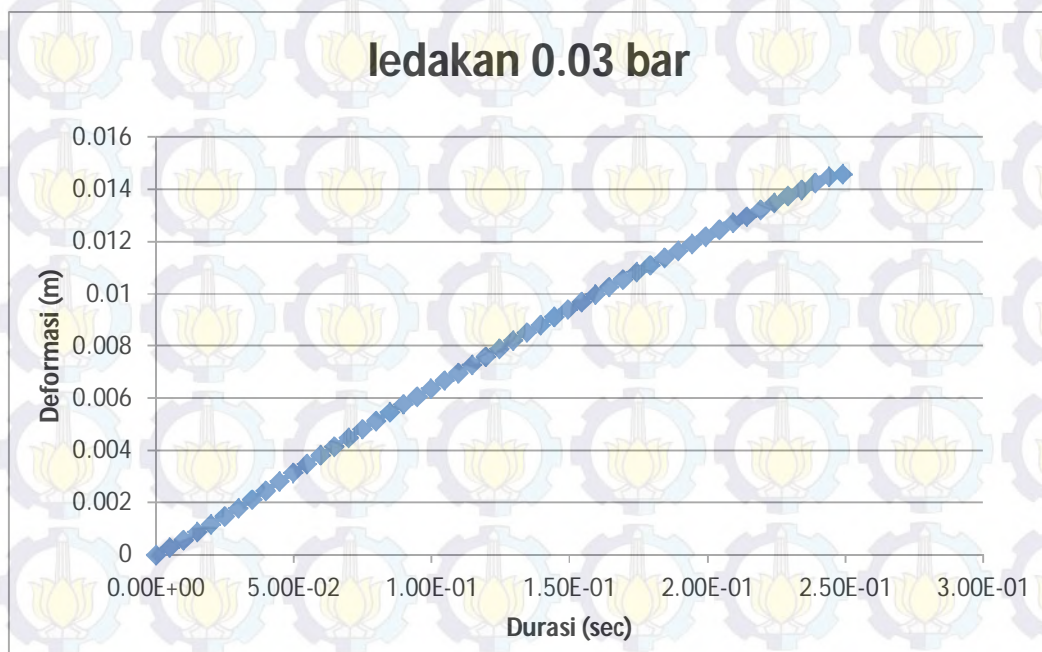


Gambar 4.13 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.21 bar

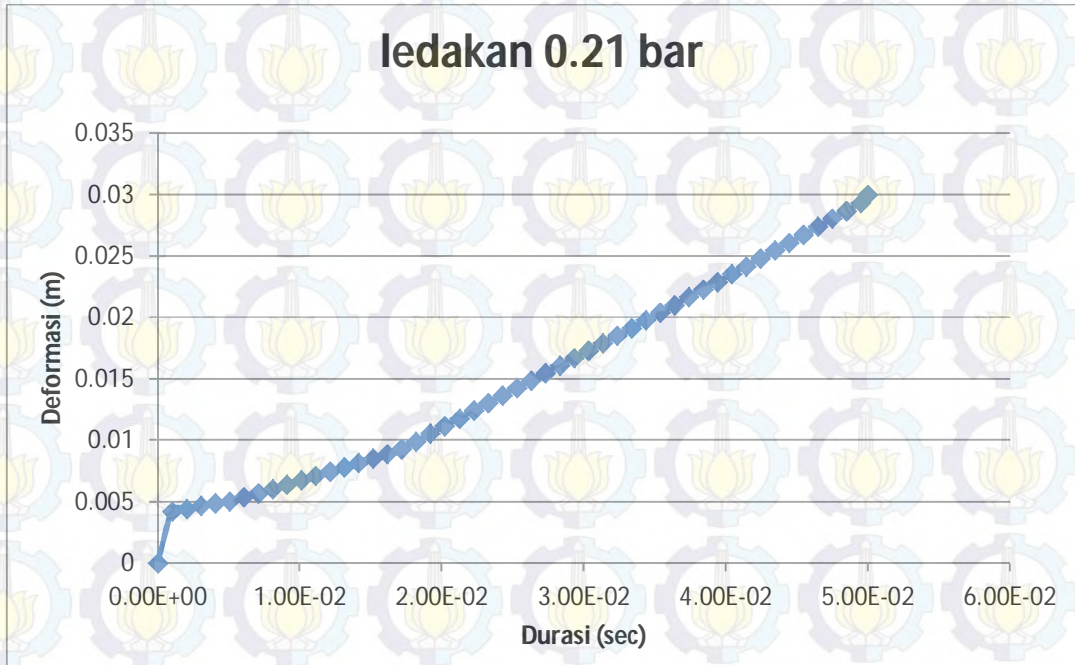


Gambar 4.14 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat ledakan 0.35 bar

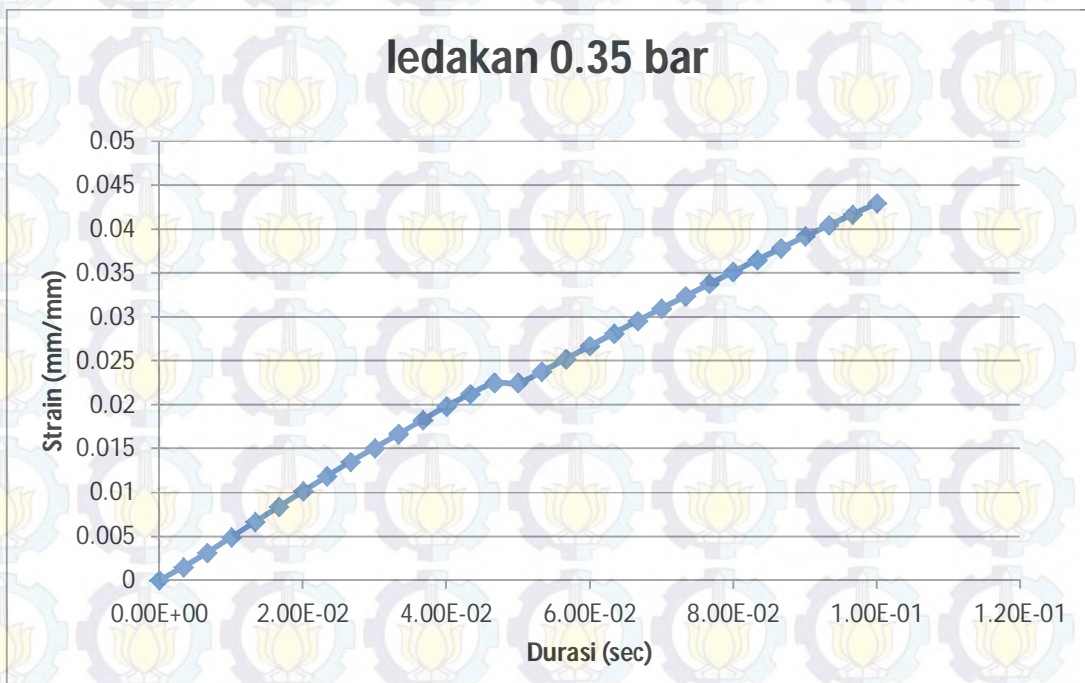
Berdasarkan grafik perubahan tegangan terhadap waktu diatas, terjadi peningkatan cukup tajam pada detik-detik awal. Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan tekanan dinamis ledakan yang seperti di tinjukkan pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9. kemudian setelah mengalami peningkatan cukup tajam, grafik tegangan menunjukkan peningkatan yang cenderung stabil. Hal ini disebabkan karena pada kurva tekanan dinamis yang mengenai struktur terjadi penurunan. sedangkan pada grafik di bawah ini menunjukkan perubahan deformasi terhadap waktu.



Gambar 4.15 grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.03 bar



Gambar 4.16 grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.21 bar

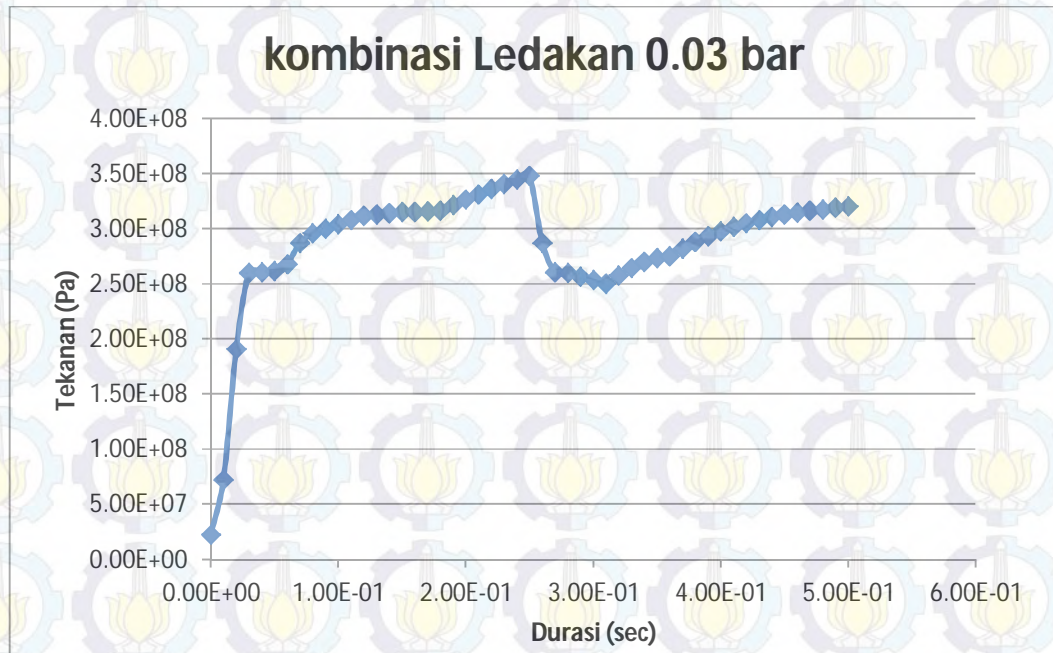


Gambar 4.17 Grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat ledakan 0.35 bar

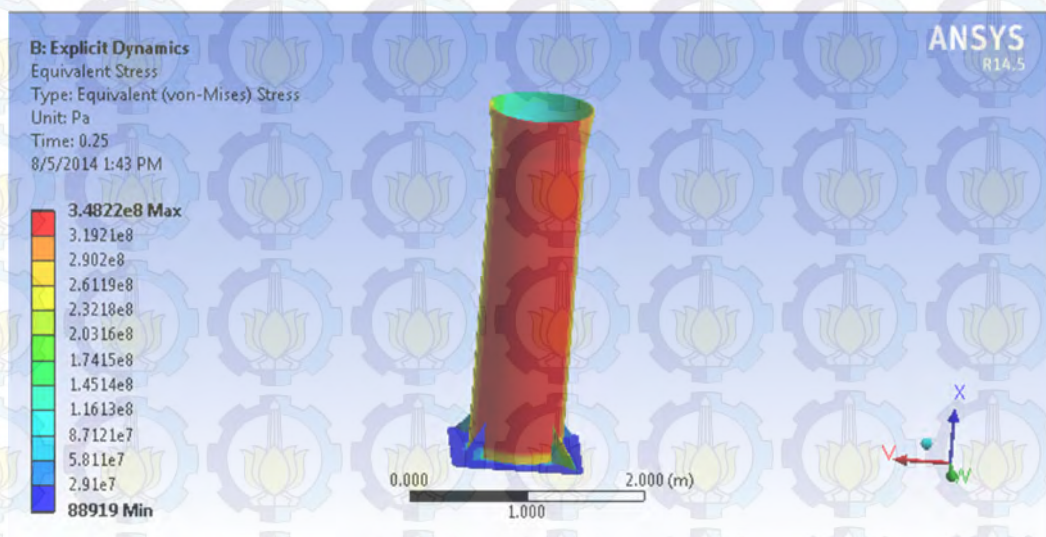
Berdasarkan grafik perubahan deformasi terhadap waktu diatas, terjadi peningkatan yang cukup stabil dari detik-detik awal hingga detik berakhirnya ledakan. Hal ini dikarenakan perubahan deformasi dipengaruhi oleh perubahan tegangan seperti pada gambar 4.12, 4.13, dan 4.14. sehingga dari grafik-grafik diatas dapat disimpulkan bahwa material struktur telah mengalami deformasi plastis.

4.6 Pembebanan Kombinasi

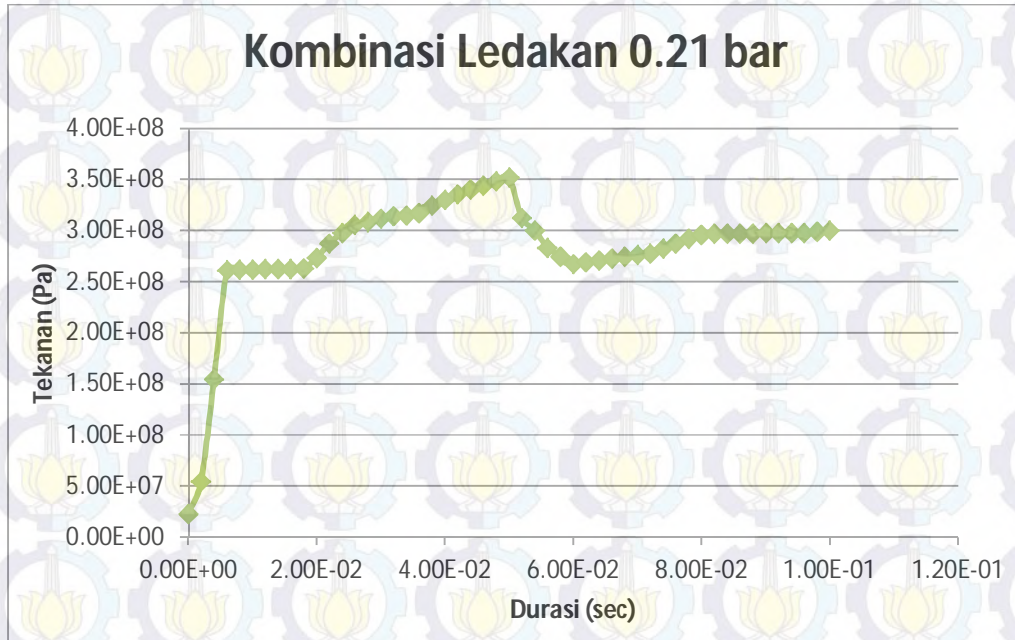
Pembebanan kombinasi adalah penggabungan pembebanan statis dan dinamis yang dilakukan pada suatu struktur crane pedestal untuk memperkirakan kondisi nyata yang terjadi di lapangan, karena tidak menutup kemungkinan ketika di platform terjadi pembebanan statis kemudian secara tidak sengaja terjadi ledakan. Tujuan dari pembebanan kombinasi tersebut adalah untuk mengetahui nilai tegangan dan deformasi maksimum yang terjadi. Untuk pembebanan kombinasi ini pertama-tama dilakukan pembebanan statis terlebih dahulu, kemudian barulah dilakukan input beban ledakan. Berikut adalah hasil dan ulasan singkat mengenai perubahan tegangan dan deformasi terhadap waktu yang terjadi akibat beban kombinasi



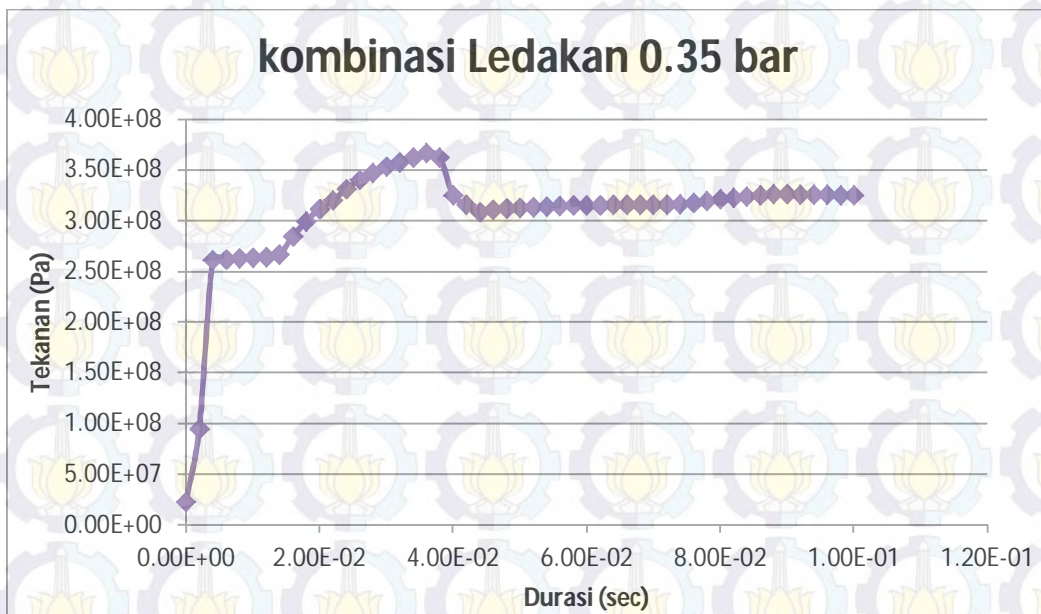
Gambar 4.18 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar



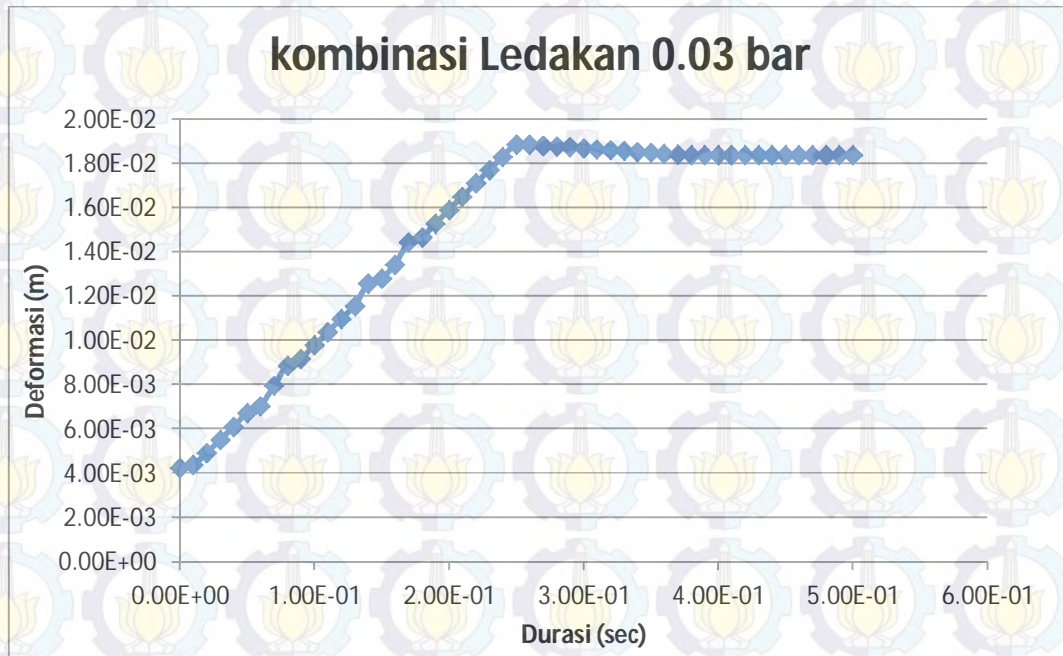
Gambar 4.19 distribusi tegangan max yang terjadi akibat beban ledakan 0.03 bar



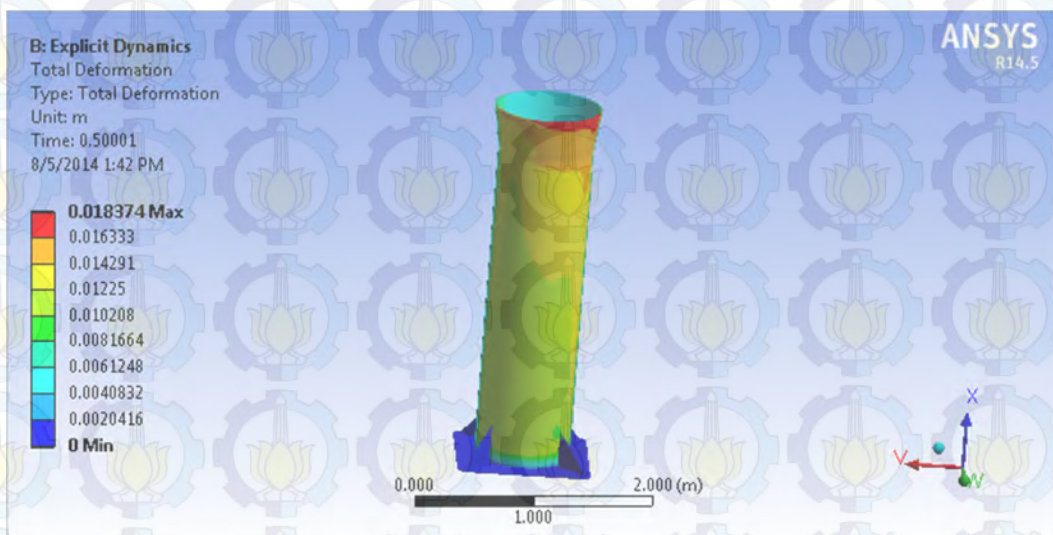
Gambar 4.20 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.21 bar



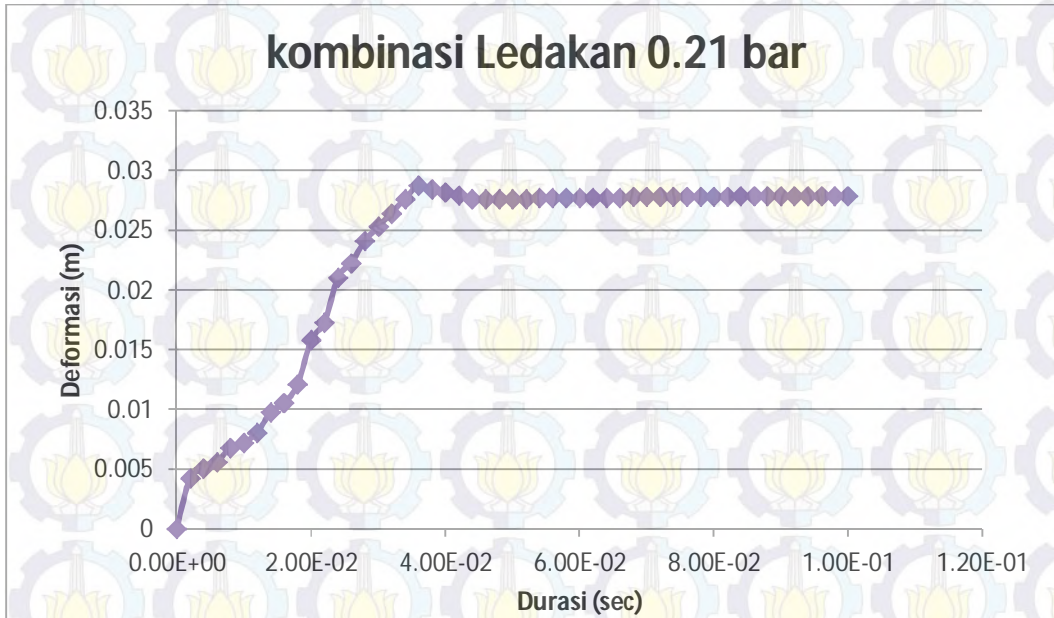
Gambar 4.21 grafik perubahan tegangan terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.35 bar



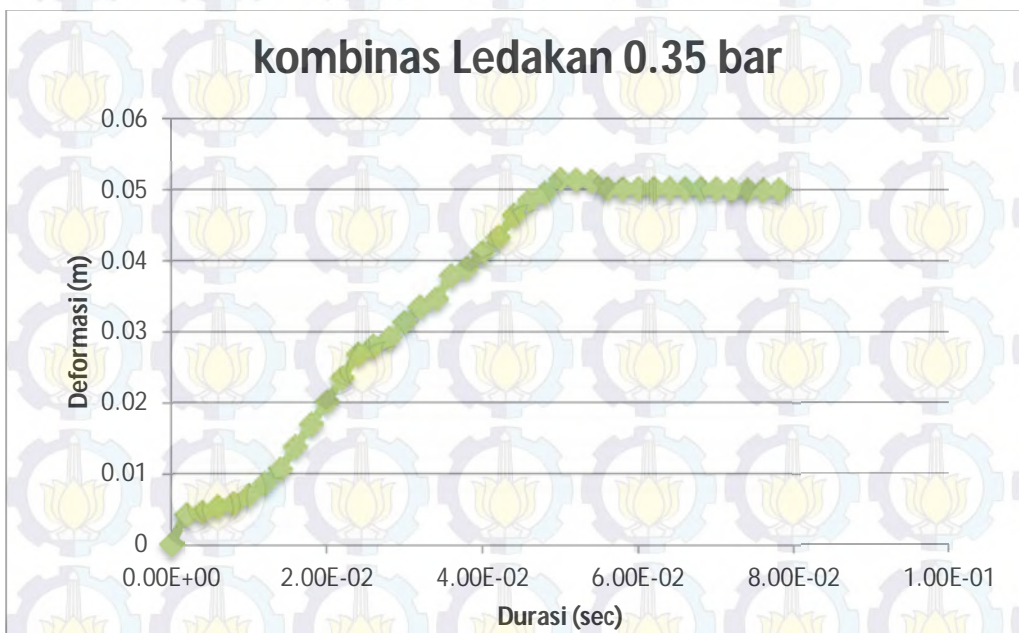
Gambar 4.22 grafik perubahan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar



Gambar 4.23 distribusi deformasi yang terjadi akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar



Gambar 4.24 grafik peningkatan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.21 bar



Gambar 4.25 grafik peningkatan deformasi terhadap waktu akibat beban kombinasi ledakan 0.35 bar

Berdasarkan gambar grafik tegangan dan deformasi diatas, hasil yang ditunjukkan tidak jauh berbeda dengan bentuk grafik tegangan dan deformasi akibat beban ledakan dikarenakan beban statis memiliki nilai yang relatif kecil jika dibandingkan dengan beban ledakan. Hanya saja, dari gambar terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai tegangan dan deformasi setelah ditambahkan beban statis.

4.7 Dynamic Amplification Factor (DAF)

Dynamic amplification factor adalah faktor yang digunakan untuk mewakili beban dinamis dengan beban statis yaitu dengan mengalikan hasil tegangan statis dengan DAF. Untuk kondisi ini dilakukan perhitungan DAF ketika hanya terjadi beban ledakan dan ketika terjadi beban kombinasi. Berikut adalah hasil dari perhitungan DAF:

Tabel 4.8 Hasil perhitungan DAF akibat ledakan statis dan dinamis

Beban ledakan	tegangan dinamis (MPa)	Tegangan statis (MPa)	Tegangan statis perhitungan manual	DAF
0.03 bar	2.98E+08	3.20E+08	3.10E+08	0.931
0.21 bar	3.15E+08	3.44E+08	3.36E+08	0.916
0.35 bar	3.39E+08	3.63E+08	3.57E+08	0.934

Tabel 4.9 Hasil perhitungan DAF akibat kombinasi ledakan statis dan dinamis

Beban ledakan	tegangan dinamis (MPa)	Tegangan statis (MPa)	DAF
0.03 bar	3.48E+08	3.76E+08	0.927
0.21 bar	3.68E+08	3.91E+08	0.941
0.35 bar	3.75E+08	4.06E+08	0.923

4.8 Penentuan nilai kegagalan

Pada pembahasan penentuan nilai kegagalan, akan dilakukan dengan menggunakan 2 asumsi. Pertama dengan menggunakan *damage index modal*, yang kedua dengan menggunakan *ductility limit*.

4.8.1 Damage Index Modal

Untuk mengetahui tingkat kerusakan suatu sistem struktur secara global maupun lokal dapat digunakan parameter modal sebagai dasar pengukuran. Parameter ini menggunakan hasil dari periode natural struktur sebelum dan sesudah terjadi beban ledakan. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung mode shape dan mengambil frekuensi naturalnya yang kemudian dirubah menjadi periode natural. Berikut adalah hasil dari damage index modal :

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan nilai damage index modal

Beban ledakan	Freq natural (Hz)	Freq natural (rad/s)	Periode Natural (msec)	Damage Index modal	Tingkat Kerusakan
0.03 bar	76.686	481.588	13.040	10.68%	ringan
0.21 bar	76.679	481.544	13.041	10.68%	ringan
0.35 bar	76.672	481.500	13.043	10.67%	ringan

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai damage index modal akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar, 0.21 bar dan 0.35 bar memiliki nilai yang hampir sama dan termasuk dalam kategori kerusakan ringan (0% - 20%).

4.8.2 Ductility Limit

Material ductil dapat didefinisikan sebagai bahan yang memungkinkan terjadinya deformasi plastik tanpa kehilangan kekuatannya sebelum terjadi retak atau pecah. Parameter ini menggunakan hasil deformasi dari pembebanan struktur sebelum dan sesudah terjadi beban ledakan. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung deformasi yang terjadi dibagi dengan deformasi elastis maksimumnya. Berikut adalah hasil dari *ductility limit* :

Tabel 4.11 Hasil perhitungan nilai *ductility limit*

beban ledakan	defomasi yang terjadi (mm)	max defomasi elastic (mm)	Ductility limit	kategori kerusakan
0.03 bar	18.374	10.475	1.396	Light
0.21 bar	36.974	10.475	3.530	moderate
0.35 bar	51.433	10.475	4.910	Substansial

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa tingkat kerusakan struktur antara ringan dan sedang yang selanjutnya perlu dilakukan perbaikan baik pada bagian tertentu maupun keseluruhan dikarenakan dapat mengganggu proses produksi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. kurva ledakan yang berasal dari sumber ledakan dapat meningkat hingga 10 kali lipat ketika mengenai struktur, hal ini dapat dilihat dari kurva tekanan ledakan yang mengenai struktur. Hal itu dikarenakan faktor dari kecepatan ledakan dan massa jenis ledakan.
2. Dari hasil pembebanan kombinasi ledakan 0.03 bar, 0.21 bar dan 0.35 bar, didapatkan bahwa tegangan pada crane pedestal telah melewati yield stress (348 MPa, 368 MPa, dan 374 MPa) sehingga dapat dipastikan bahwa struktur telah mengalami deformasi plastis (18 mm, 36mm, dan 52 mm), sedangkan Berdasarkan hasil perhitungan damage index modal, didapatkan hasil bahwa kerusakan struktur akibat perubahan periode natural struktur adalah 10.68% dan dapat dikategorikan sebagai kerusakan ringan. Untuk hasil perhitungan dengan ductility limit, kerusakan yang terjadi dikategorikan pada kerusakan ringan (untuk beban kombinasi ledakan 0.03 bar), kerusakan sedang (untuk beban kombinasi ledakan 0.21 bar) dan kerusakan substansial (0.35 bar). Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur crane pedestal perlu dilakukan perbaikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk analisa untuk penelitian selanjutnya diantaranya,

1. Untuk pemodelan akibat ledakan perlu ditinjau terkait dengan kekuatan sambungan las-lasannya, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh kerusakan yang terjadi pada sambungannya.
2. Untuk perhitungan ledakan selanjutnya perlu dimasukkan gelombang ledakan yang terpantul, sehingga hasil yang didapatkan mendekati dengan hasil yang terjadi di suatu struktur.

Daftar Pustaka

Amdahl J. 2011. **Lecture notes in subject TMR 4195 Design of Offshore Structures**, Trondheim : Dept.Marine Structures, Norwegian Institute of Technology,

American Petroleum Institute (API RP 2A WSD). 2005. **Recommended Practice For Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platform**. Washington DC : Official Publication.

Bosch, V.D, dkk. 1992. **Method for determination of possible damage**. Vooburg, netherlands : The netherlands organisation of applied scientific research (TNO).

British Gas Research and Technology (ERS). 1991. **“Blast and fire engineering project for topside structures”**, Work package No.BR2. United Kingdom

Cullen, L. 1990. **“The Public Inquiry Into The Piper Alpha Disaster”**. HMSO. London

DiPasquale, E. and Cakmak, A. S. 1991. **On the relation between local and global damage indices**. National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-89-0034, State University of New York at Buffalo.

Draganić, H. dan Sigmund, V. 2012. **“Blast Loading On Structures”**. Journal of Faculty of Civil Engineering, Croatia 19 (march), No. 19, 662.15

Dusenberry, D. O. 2010. **Handbook for Blast-Resistant Design of Buildings**.

Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.,

Hjertager, B. H., S. Morgensen, T. Solberg. 1999. **“Investigation Of Gas Explosion in Open Geometris Using EXSIM”**. Aalborg University Esbjerg. Denmark

- International Ammunition Technical Guideline (IATG). 2013. **Formulae for ammunition management**. New York : United Nations Office for Disarmament Affairs (UNODA)
- Kirana, P. 2013. **“Fire And Explosion Risk Assesment (FERA) Report”**. PT. Reka Patria Ekaguna, Jakarta
- Larcher, M. 2008. **“Pressure-Time Functions for the Description of Air Blast Waves”**, Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen, Italy
- Maharlika, A. Y. 2012. **“Analisis Keruntuhan Jacket Platform Akibat Beban Gempa Dengan Variasi Elevasi Deck”**. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Murdjito. 1996. **Diktat Pengantar Bangunan Lepas Pantai**, Kursus Segitiga Biru ITS-Unhas-Unpati, FTK-ITS Surabaya
- Newmark, N. M., 1956. **“An Engineering Approach to Blast Resistant Design”**. Trans. A mer. Soc of Civil Engineers, 121, 45
- Perdana, A. 2008. **“Analisa Balik (Retro Analysis) Keruntuhan Jembatan Krasak Akibat Kebakaran Truk Tangki Bahan Bakar”**. Tugas Akhir, Universitas Indonesia, Jakarta
- Pickering, E. E., And J. L. Bockholt, 1971. **“Probabilistic Air Blast Failure Criteria for Urban Structures,”** Stanford Research Institute, Menlo Park, Callifornia,
- Su, A. 2012. **“Analysis of Explosion Load Effects in Pipe-racks”**. Master Thesis, Norwegian University Science and Technology
- Uchuan, F. 2009. **“Studi Respon Pelat Berpenegar (Stiffened Plates) Akibat Beban Ledakan (Blast Loading) Dengan Metode Elemen Hingga”**. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Yasseri, S. 2005. **“Iso-damage diagrams for blast resistant design”**. FABIG Newsletter Issue 42, Norwegy. 20 October 2005

BIODATA PENULIS

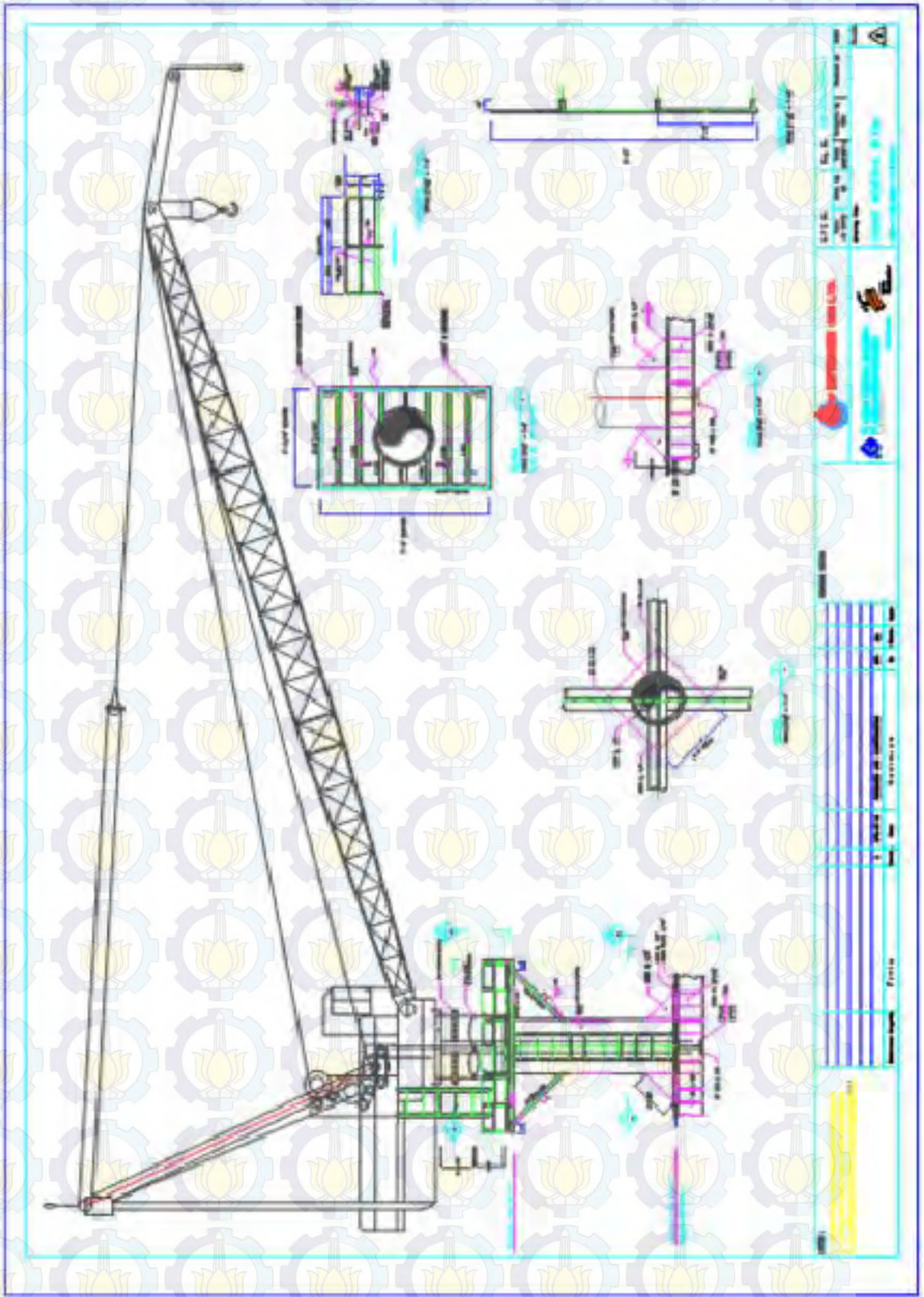


Mochammad ramzi, lahir di Surabaya, 5 Februari 2014, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Menempuh Pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah 4 Surabaya, kemudian SMP Negeri 13 Surabaya dan SMA Negeri 15 Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2010, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS dan terdaftar dengan NRP.4310100096. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan UKM Tenis Lapangan ITS sebagai wakil ketua di tahun kedua dan sebagai ketua di tahun ketiga, Bahrul

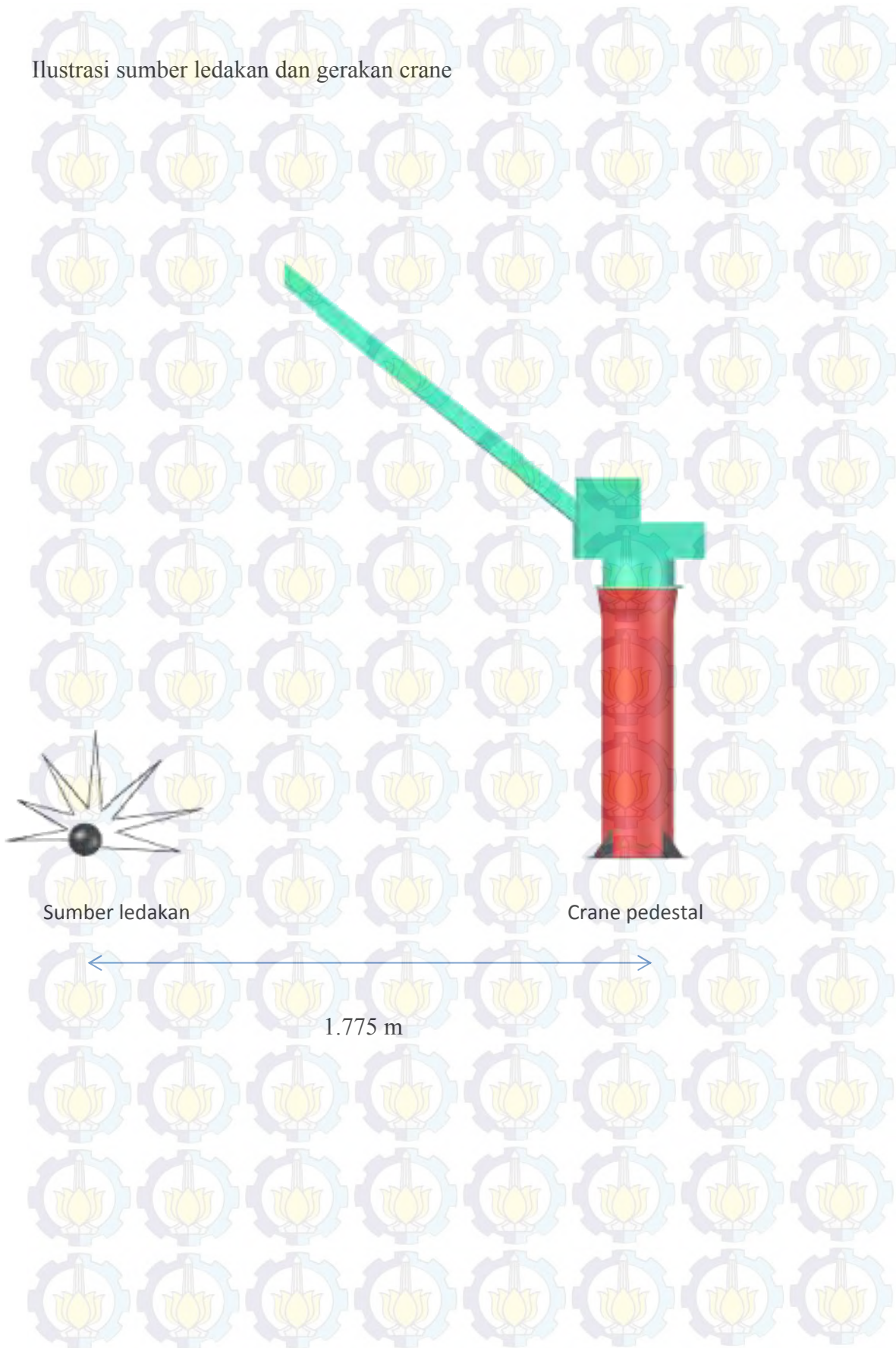
ilmu sebagai sekretaris umum di tahun kedua, serta BEM Fakultas Teknologi Kelautan sebagai staf di departemen Media dan Informasi. Prestasi yang pernah diraih penulis adalah juara I tenis lapangan di acara Pekan olahraga mahasiswa ITS. Buku Tugas Akhir berjudul “Analisa Kegagalan *Crane Pedestal* Akibat Beban Ledakan ” telah diselesaikannya dalam 1 semester sebagai syarat akhir kelulusan pendidikan Strata 1, dimana permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik.



Data drawing crane pedestal



Ilustrasi sumber ledakan dan gerakan crane

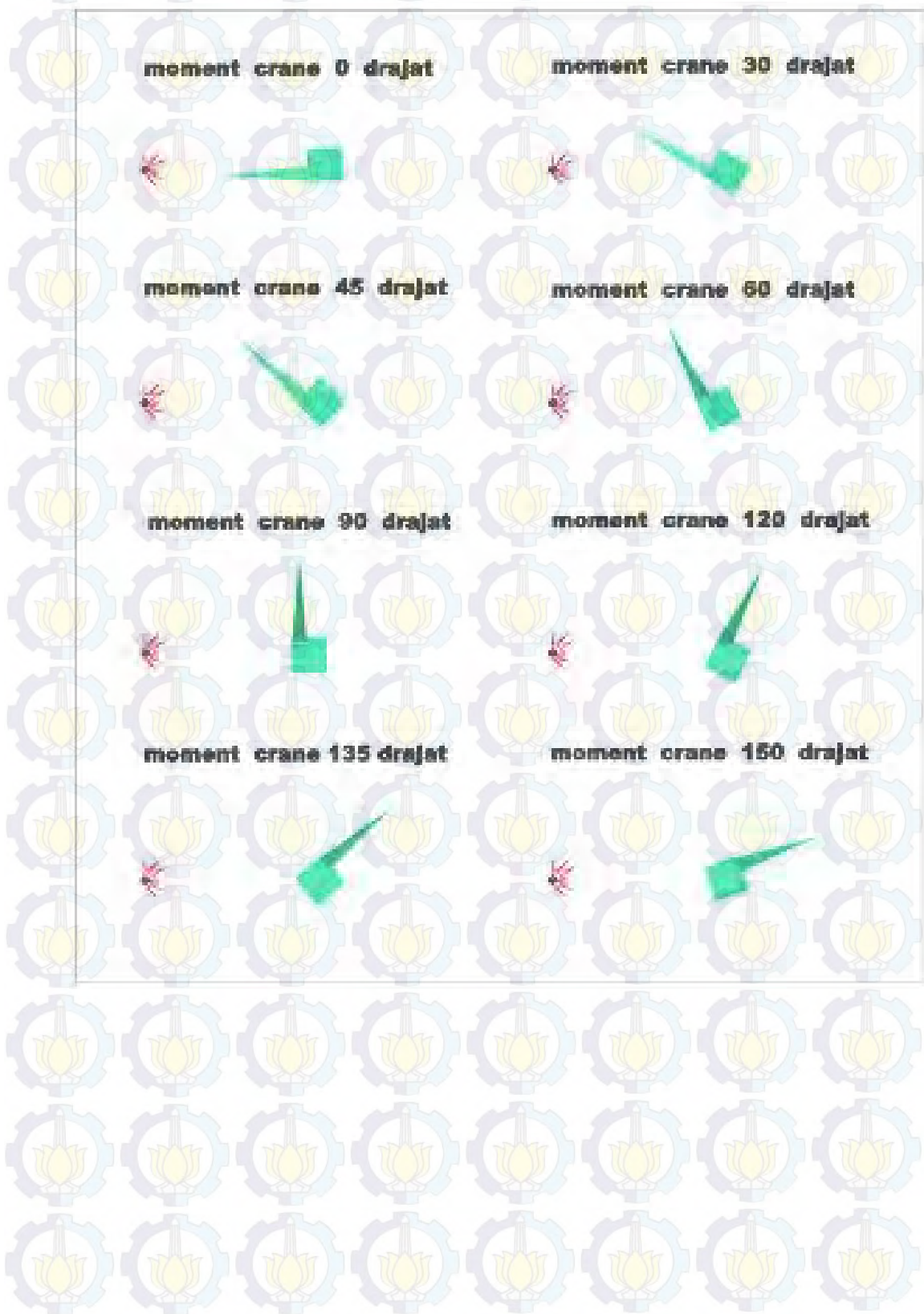


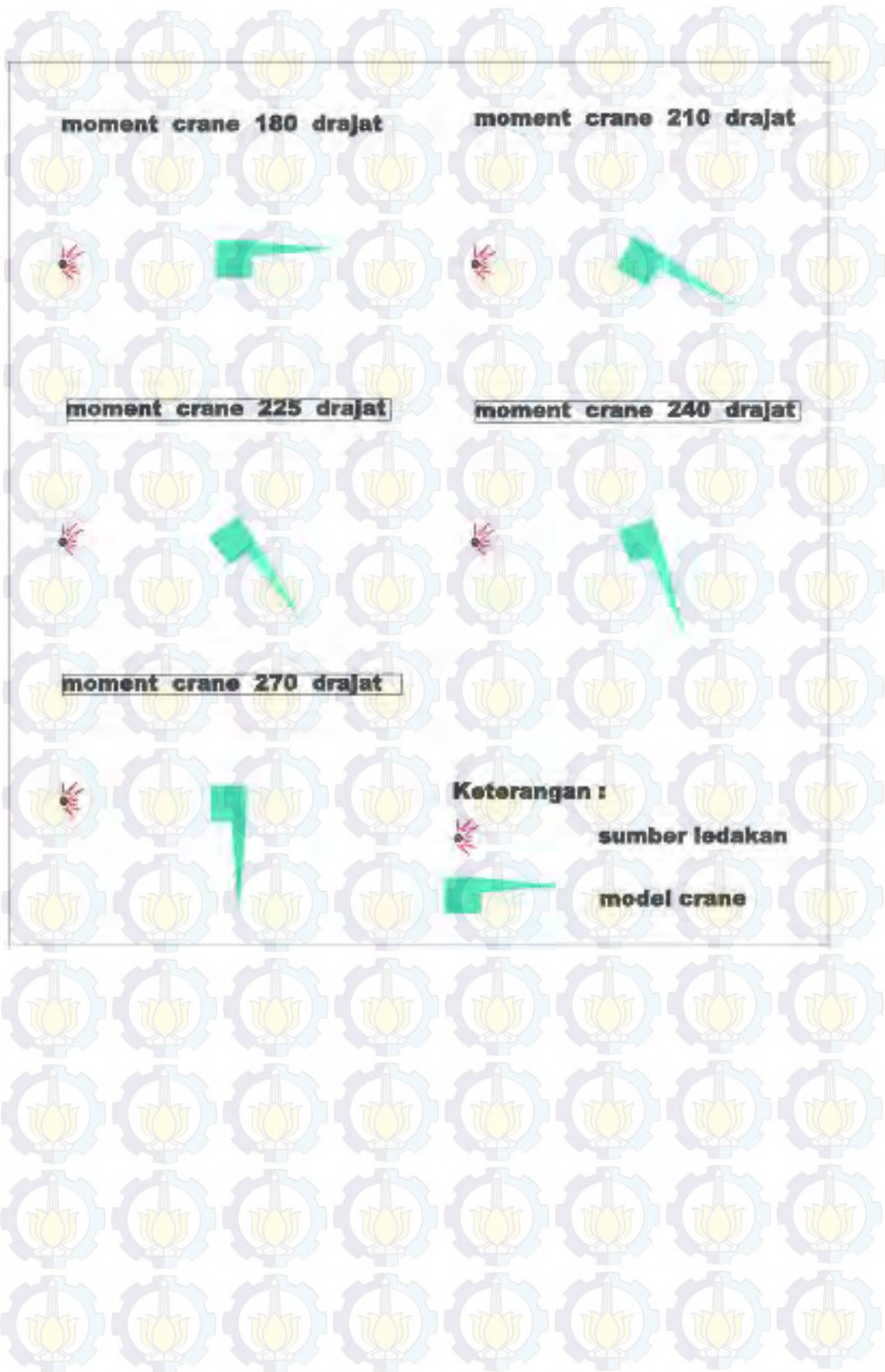
Sumber ledakan

Crane pedestal

1.775 m

Gambar tampak atas gerakan rotasi crane terhadap sumber ledakan





➤ Menghitung beban ledakan

1. Menghitung Massa Jenis Ledakan

Persamaan Massa Jenis Ledakan :

$$\rho_s = (7 + (6 P_s/7P_0)/(7 + P_s/7P_0)) \cdot \rho \text{ udara}$$

Untuk $P_{ex} = 0.03$ bar

$$P_{ex} = 0.03 \text{ bar}$$

$$P_o = 1.0312 \text{ bar} \quad (\text{tekanan atmosfer udara})$$

$$P_s = P_o + P_{ex}$$

$$= 0.03 + 1.0312$$

$$= 1.0612 \text{ bar}$$

$$\rho \text{ udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

maka

$$\rho_s = (7 + (\frac{6 P_s}{7 P_o}) / (7 + \frac{P_s}{7 P_o})) \rho \text{ udara}$$

$$= 8.548103121 \text{ Kg/m}^3$$

Untuk $P_{ex} = 0.21$ bar

$$P_{ex} = 0.21 \text{ bar}$$

$$P_o = 1.0312 \text{ bar} \quad (\text{tekanan atmosfer udara})$$

$$P_s = P_o + P_{ex}$$

$$= 0.21 + 1.0312$$

$$= 1.2412 \text{ bar}$$

$$\rho \text{ udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

maka

$$\rho_s = (7 + (\frac{6 P_s}{7 P_o}) / (7 + \frac{P_s}{7 P_o})) \rho \text{ udara}$$

$$= 8.572621982 \text{ Kg/m}^3$$

Untuk $P_{ex} = 0.35$ bar

$$P_{ex} = 0.35 \text{ bar}$$

$$P_o = 1.0312 \text{ bar} \quad (\text{tekanan atmosfer udara})$$

$$P_s = P_o + P_{ex}$$

$$= 0.35 + 1.0312$$

$$= 1.3812 \text{ bar}$$

$$\rho \text{ udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

maka

$$\rho_s = (7 + (\frac{6 P_s}{7 P_o}) / (7 + \frac{P_s}{7 P_o})) \rho \text{ udara}$$

$$= 8.591574648 \text{ Kg/m}^3$$

2. Menghitung massa gas di CO₂ bottle skid

$$\begin{aligned} \text{Massa Jenis gas} &= 4.34 \text{ lb/ft}^3 \text{ (sumber : Kirana, 2013)} \\ &= 69.520131 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

volume tabung CO₂ Bottle skid

Asumsi : Tabung Bottle skid dianggap penuh

$$\begin{aligned} \text{Volume gas kondisi penuh} &= 5 \text{ ft} \times 3.33 \text{ ft} \times 8.33 \text{ ft} \\ &= 138.6945 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat gas yang terkandung di bottle skid} &= \text{Massa Jenis} \times \text{vol} \\ &= 4.34 \times 138.694 \\ &= 601.93413 \text{ lb} \\ &= 273.031 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Menghitung durasi ledakan

$$\text{Persamaan : } t = 1.3 \sqrt[6]{m \cdot r} \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

sumber (blast effect Calculation, 2011)

dimana : m = massa benda yang meledak (kg)
r = radius dari sumber ledakan (m)

$$\begin{aligned} t &= 1.3 \sqrt[6]{273.031 \sqrt{151.36}} \cdot 10^{-3} \text{ (untuk } P_{\text{ex}} = 0.03 \text{ bar, } r = 151.36 \text{ m)} \\ &= 0.49936146 \text{ sec} \\ &= 499.36146 \text{ msec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= 1.3 \sqrt[6]{273.031 \sqrt{30.61}} \cdot 10^{-3} \text{ (untuk } P_{\text{ex}} = 0.21 \text{ bar, } r = 30.61 \text{ m)} \\ &= 0.10107422 \text{ sec} \\ &= 101.07422 \text{ msec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= 1.3 \sqrt[6]{273.031 \sqrt{22.23}} \cdot 10^{-3} \text{ (untuk } P_{\text{ex}} = 0.35 \text{ bar, } r = 22.23 \text{ m)} \\ &= 0.07340346 \text{ sec} \\ &= 73.40346 \text{ msec} \end{aligned}$$

4. Menghitung kecepatan ledakan

$$\text{persamaan : } V_{\text{sf}} = c \cdot \left[1 + \left(\frac{6 P_{\text{s}}}{7 P_{\text{o}}} \right) \right]^{1/2}$$

sumber (IATG, 2013)

dimana : c = Kecepatan suara di udara (m/s) = 340 m/s
P_{ex} = 0.03 bar V_{sf} = 466.4422232 m/s

$$P_{ex} = 0.21 \text{ bar} \quad V_{sf} = 484.627844 \text{ m/s}$$

$$P_{ex} = 0.35 \text{ bar} \quad V_{sf} = 498.3135918 \text{ m/s}$$

5. Fase positif ledakan

Berdasarkan teori simplified untuk beban ledakan, fase positif dapat diasumsikan setengah dari waktu terjadinya ledakan

untuk $P_{ex} : 0.03 \text{ bar}$

$$t^+ = 0.5 \times 499.36 \text{ msec}$$

$$= 249.68073 \text{ msec}$$

untuk $P_{ex} : 0.21 \text{ bar}$

$$t^+ = 0.5 \times 101.07 \text{ msec}$$

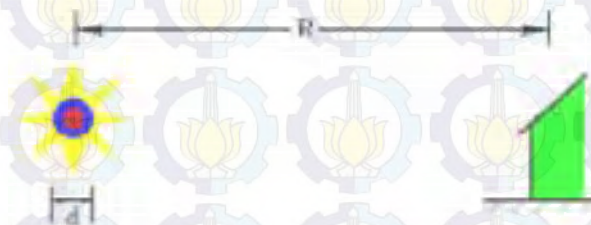
$$= 50.53711 \text{ msec}$$

untuk $P_{ex} : 0.03 \text{ bar}$

$$t^+ = 0.5 \times 73.403 \text{ msec}$$

$$= 36.70173 \text{ msec}$$

6. Menghitung kurva ledakan



Parameter bentuk ledakan

$$b = \frac{R}{\sqrt[3]{W}}$$

dimana : R = jarak antara pusat ledakan dengan benda yang dikenai ledakan (m)

W = berat kandungan gas (kg)

b = parameter gelombang ledakan ($\text{m}/\text{kg}^{1/3}$)

$$b = \frac{1.75}{\sqrt[3]{263.41}}$$
$$= 0.2778 \text{ m}/\text{kg}^{1/3}$$

dengan mengacu pada persamaan di bawah ini, didapatkan gelombang tekanan ledakan berdasarkan time domain sebanyak 15 step untuk bagian yang

nonlinier, perlu dilakukan penambahan step sehingga terlihat lebih jelas bentuk kurva ledakannya

$$p(t) = p_0 + p_s \left(1 - \frac{t}{t_0}\right) \exp\left(-\frac{bt}{t_0}\right)$$

Dimana : b = parameter gelombang ledakan

p_s = puncak tekanan gelombang ledakan statis, (bar)

p_0 = Tekanan atmosfer (bar)

t = waktu selama terjadinya ledakan (s)

t_0 = waktu selama terjadinya fase positif (s)

$p(t)$ = tekanan gelombang ledakan setiap satuan waktu (bar)

Hasil perhitungan kurva ledakan dapat dilihat pada sub bab 4.2.1 tentang perhitungan gelombang ledakan.

➤ Menghitung Tekanan Ledakan Yang Mengenai Struktur

Tahap selanjutnya yaitu menghitung tekanan dinamis yang mengenai struktur Crane Pedestal, dengan menggunakan persamaan dibawah :

$$P_D = C_D \cdot 0.5 \cdot \rho_s \cdot u_s(t)^2$$

dimana :

P_D = Tekanan dinamis yang terkena struktur (Pa)

C_D = Koefisien drag

ρ_s = Massa Jenis Ledakan (kg/m³)

$U_s(t)$ = Kecepatan Ledakan (m/s)

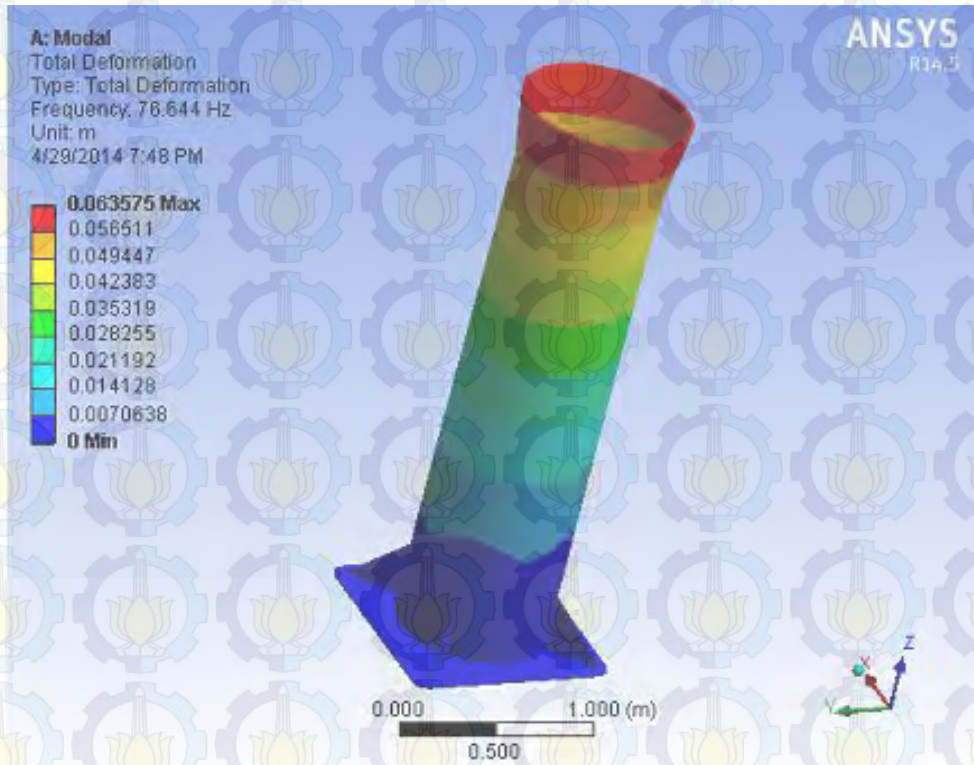
$P(t)$ = Tekanan gelombang ledakan (bar atau Pa)

Hasil perhitungan kurva tekanan ledakan dapat dilihat pada sub bab 4.2.2 tentang Perhitungan Tekanan Dinamis pada Struktur.

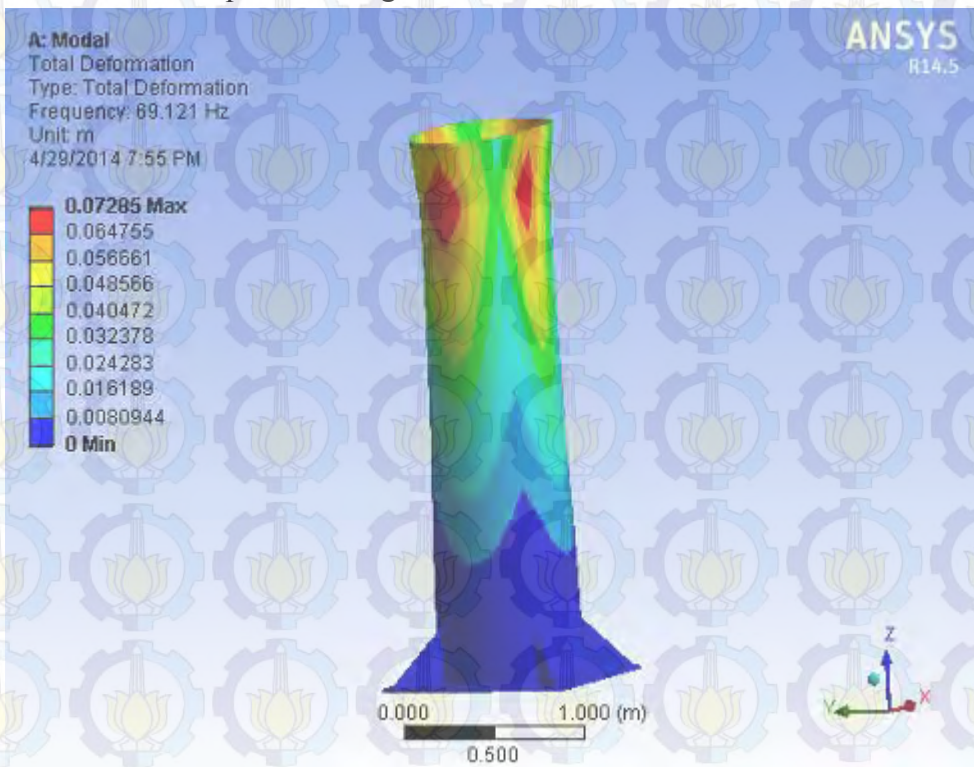


Modal Analysis

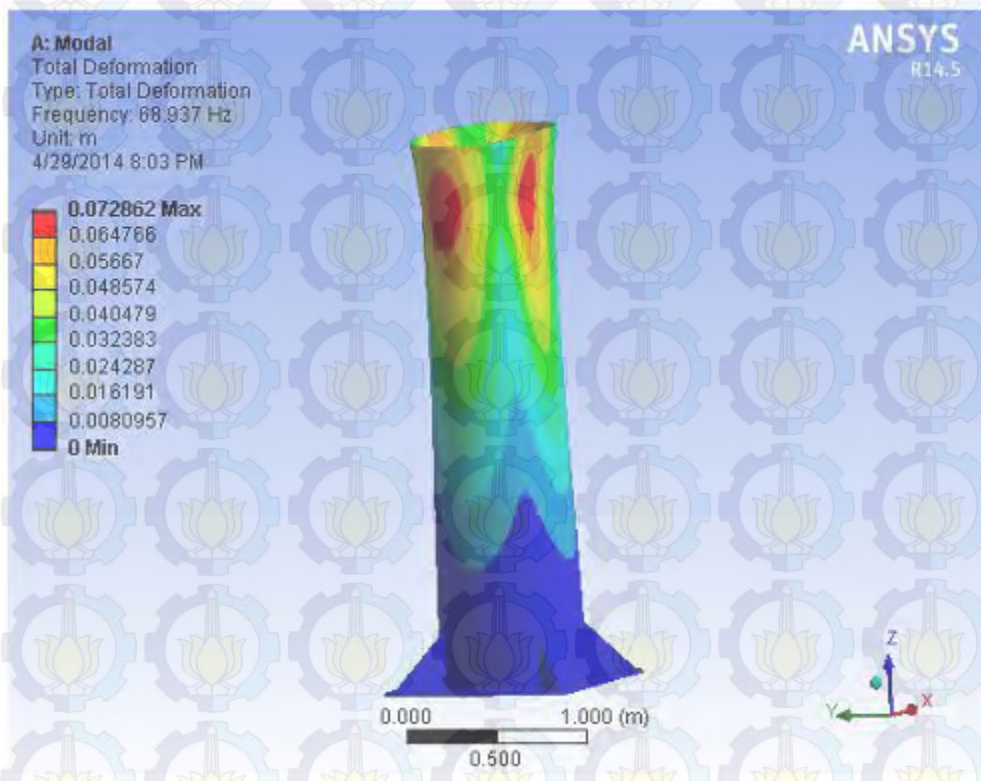
Mode shape 1 meshing 500 mm



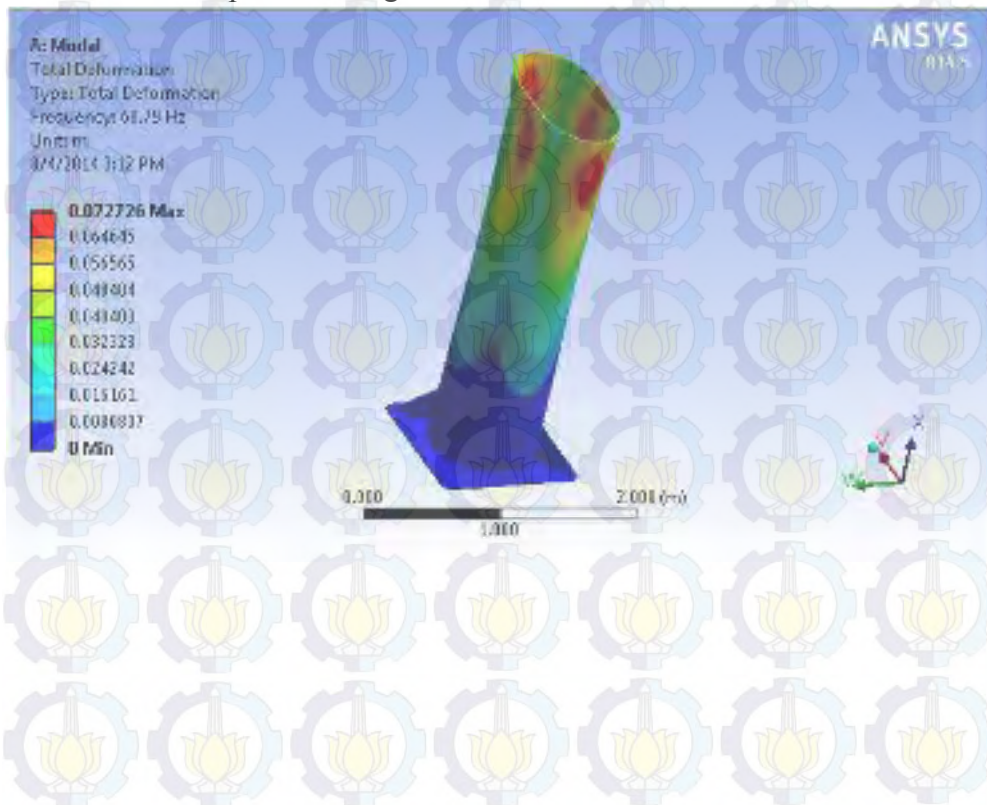
Mode shape 1 meshing 250 mm



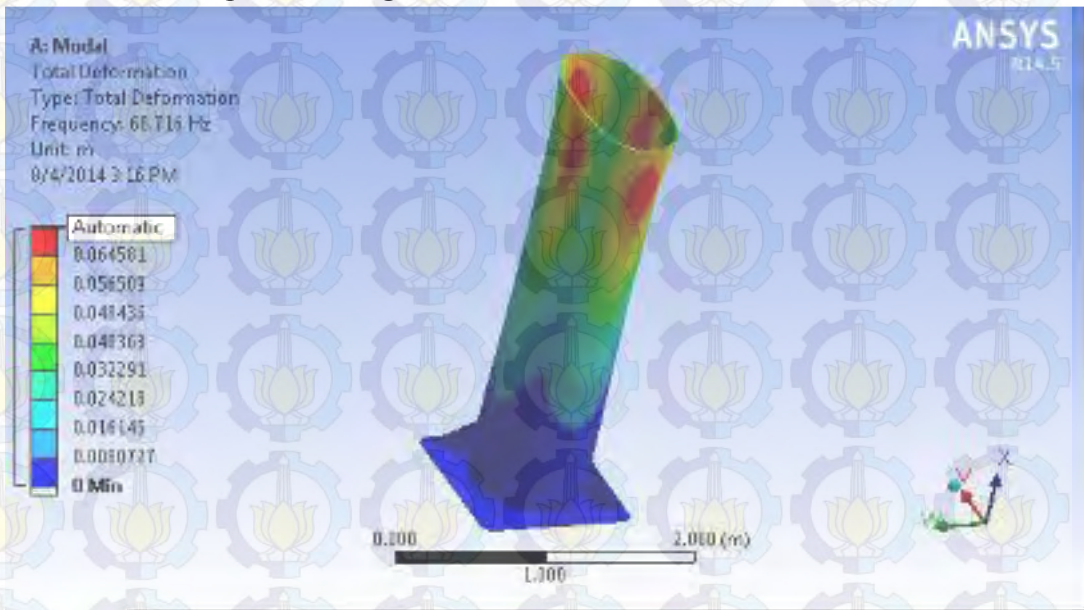
Mode shape 1 meshing 100 mm



Mode shape 1 meshing 75 mm



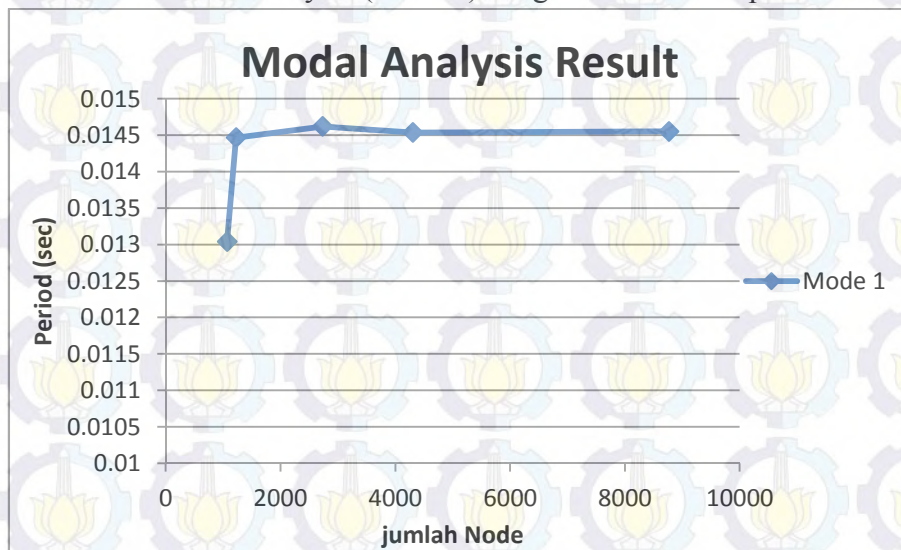
Mode shape 1 meshing 50 mm



Meshing sensitivity

Mode 1					
meshing (m)	Elemen	Nodes	freq (Hz)	freq (rad/s)	period (s)
0.5	414	1070	76.644	481.57	0.0130
0.25	483	1226	69.121	434.08	0.0145
0.1	1176	2736	68.397	429.53	0.0146
0.075	1916	4308	68.79	432.00	0.0145
0.05	4042	8766	68.716	431.54	0.0146

Grafik modal analysis (mode 1) dengan beban crane pedestal



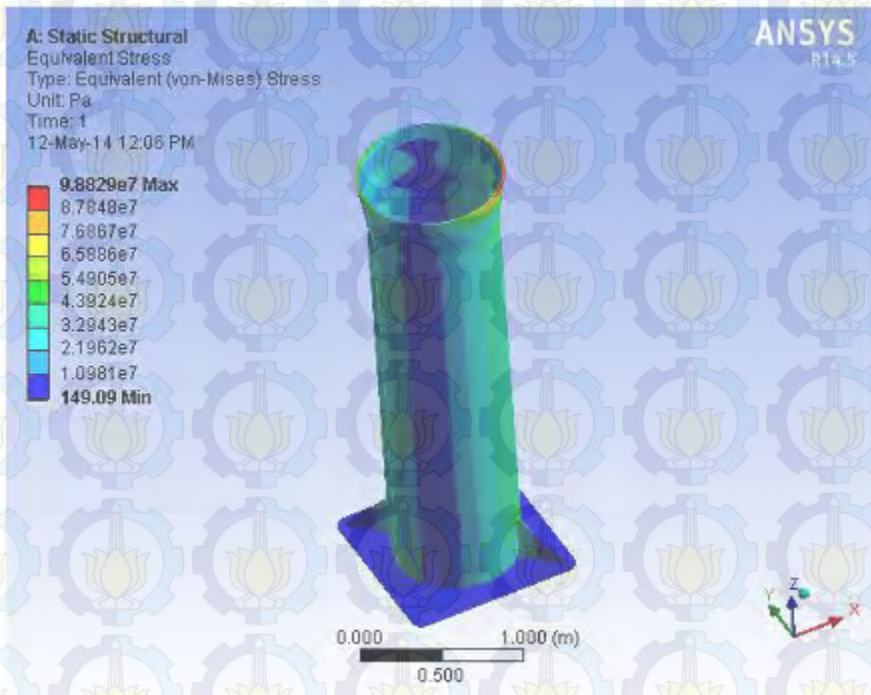
➤ Static analysis tanpa ledakan

Beban statis arah 0^0

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 0$ Kips-in

$M_y = 207$ Kips-in

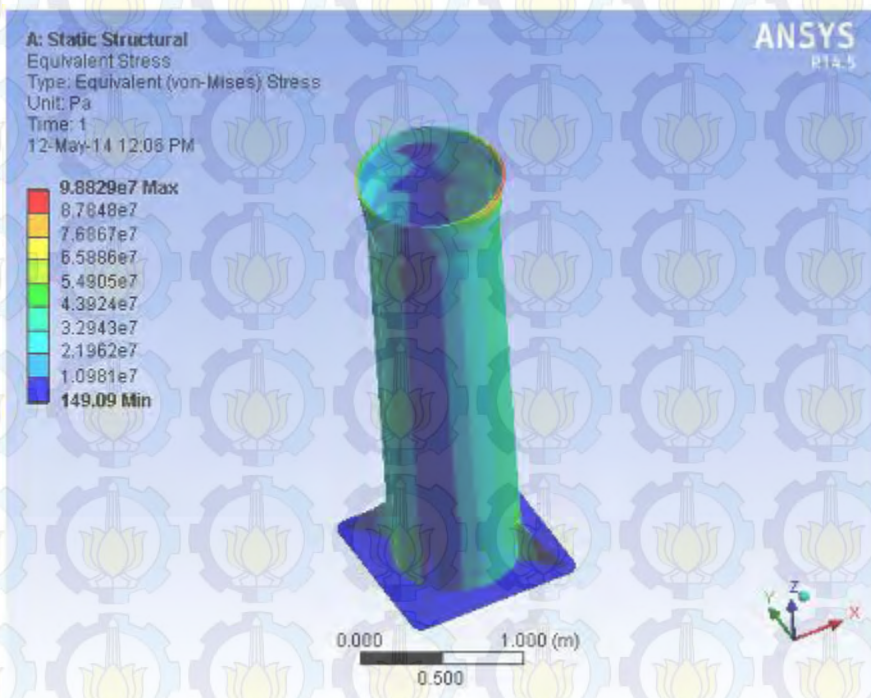


Beban statis arah 30^0

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 103.5$ Kips-in

$M_y = 179.26$ Kips-in

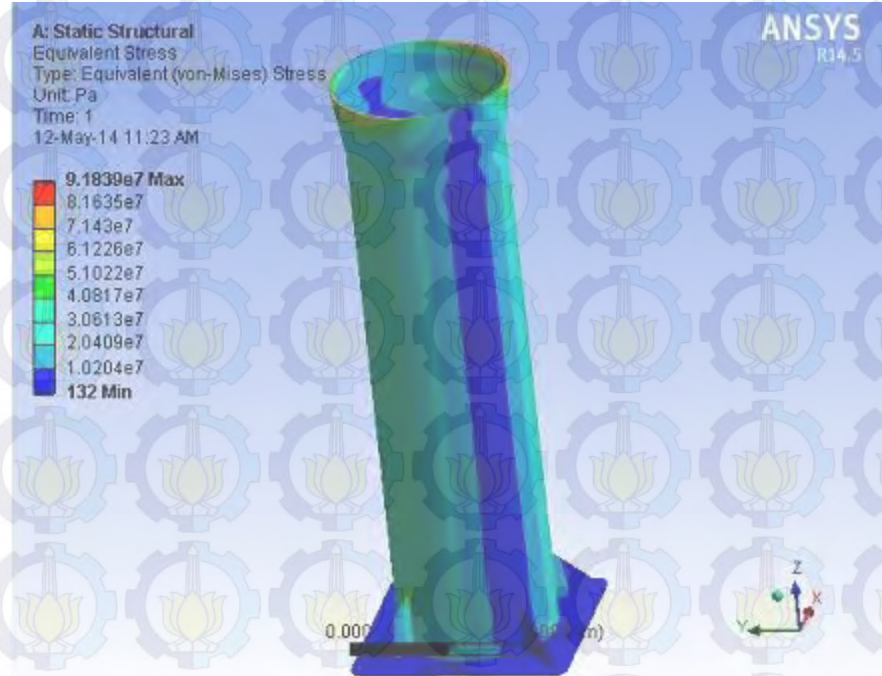


Beban statis arah 45°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 146.371$ Kips-in

$M_y = 146.371$ Kips-in

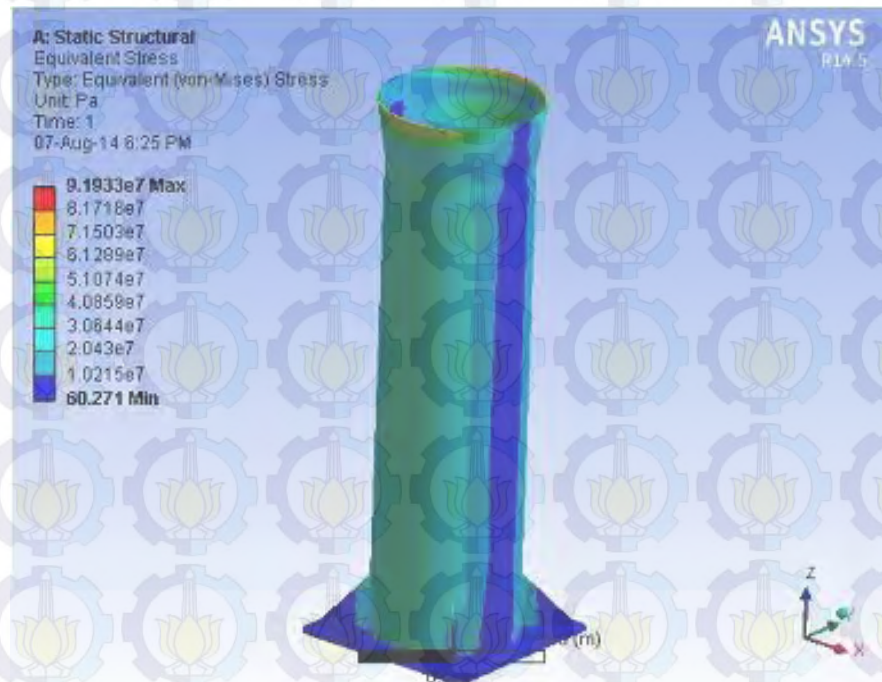


Beban statis arah 60°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 179.26$ Kips-in

$M_y = 103.5$ Kips-in

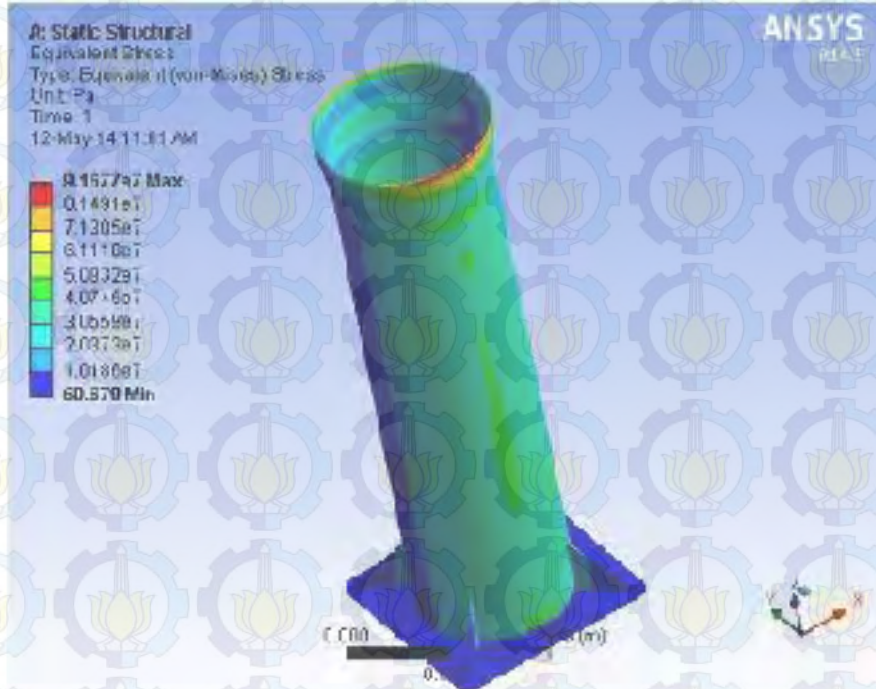


Beban statis arah 90°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 207$ Kips-in

$M_y = 0$ Kips-in

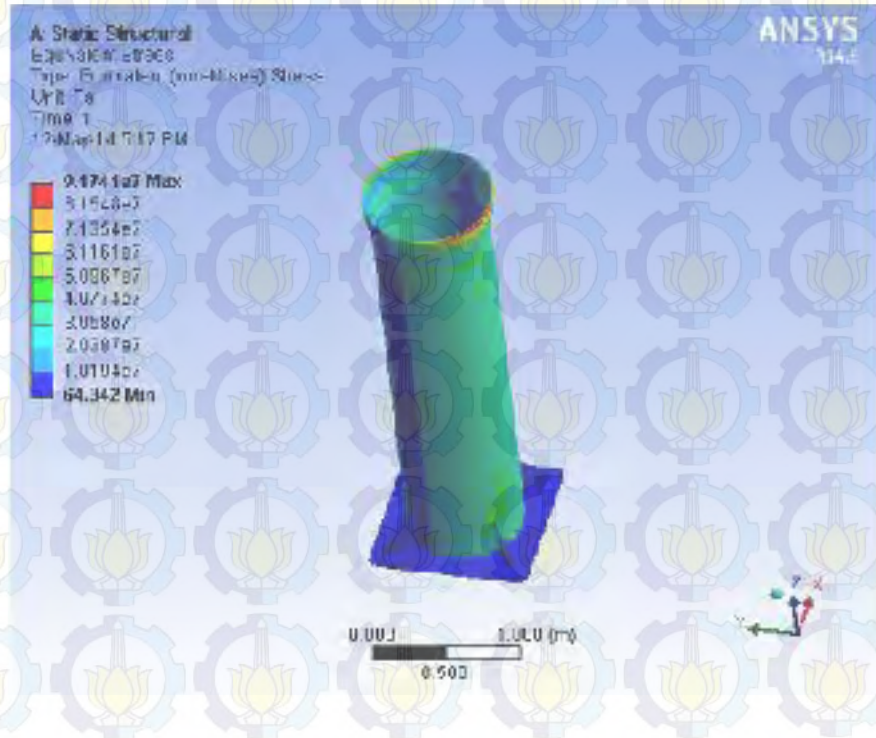


Beban statis arah 120°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 179.26$ Kips-in

$M_y = -103.5$ Kips-in

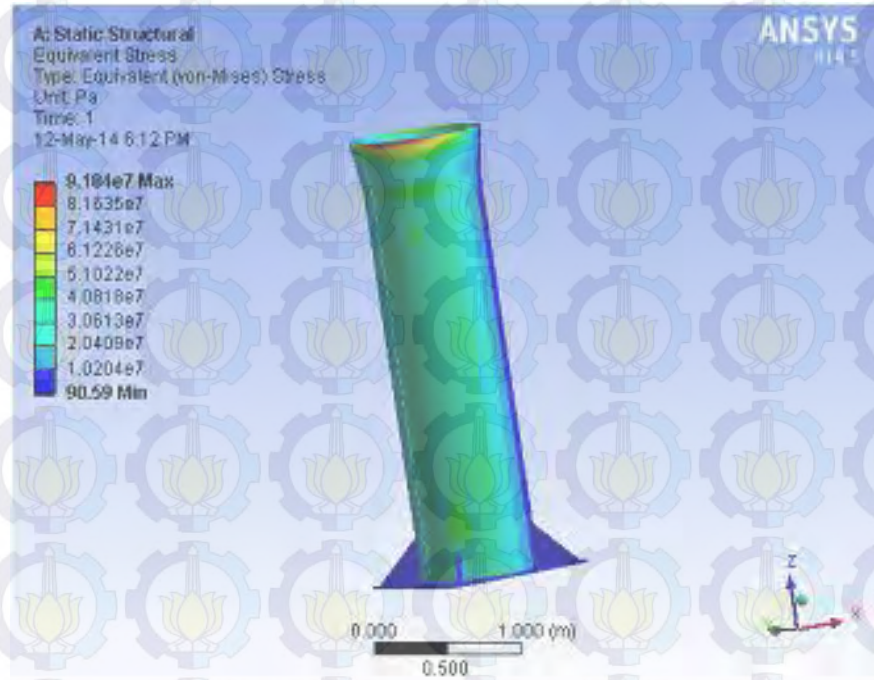


Beban statis arah 135°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 146.371$ Kips-in

$M_y = -146.371$ Kips-in

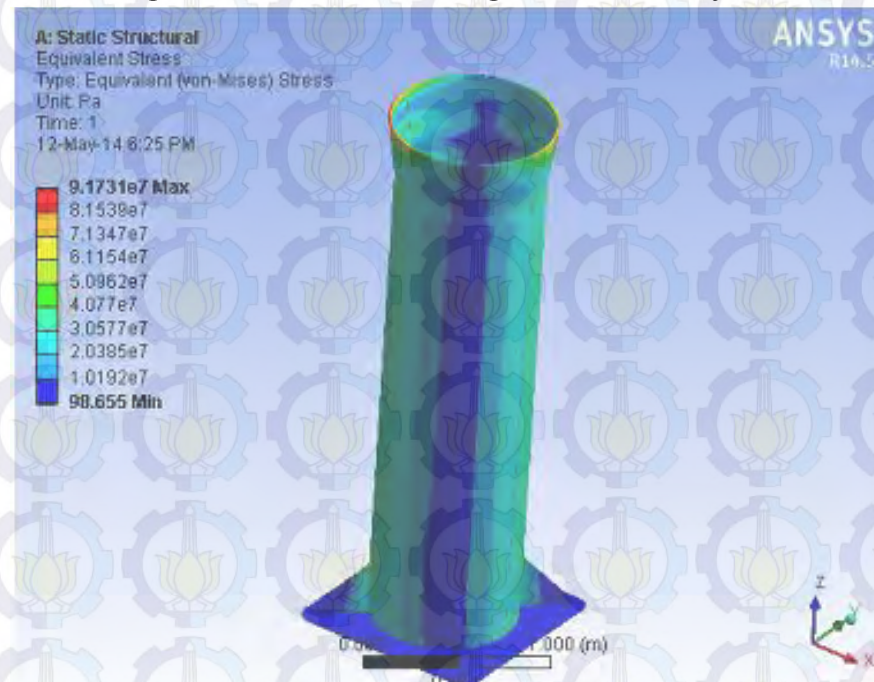


Beban statis arah 150°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 103.5$ Kips-in

$M_y = -179.26$ Kips-in

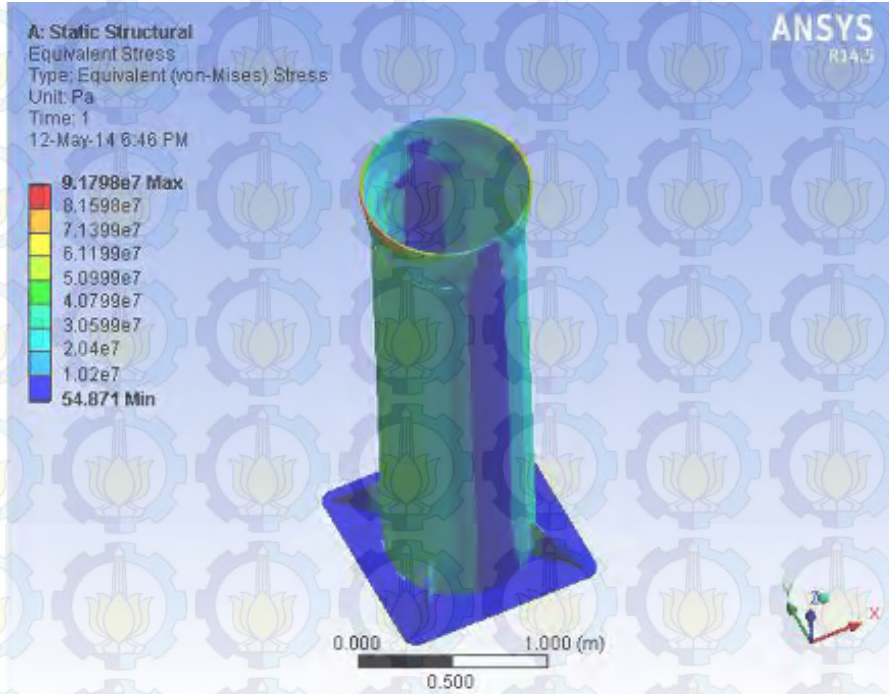


Beban statis arah 180°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = 0$ Kips-in

$M_y = -207$ Kips-in

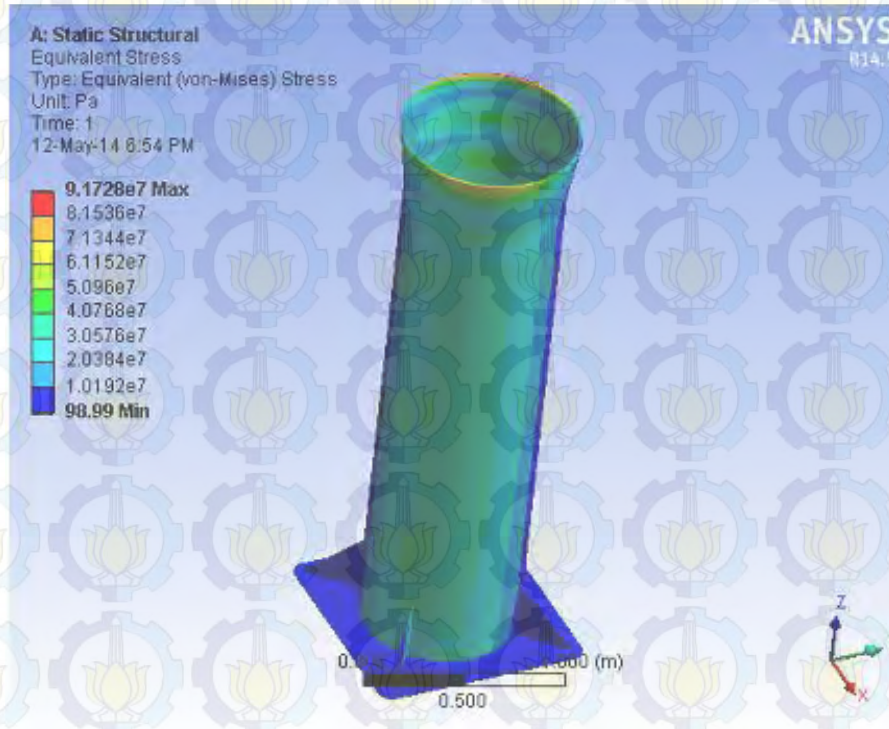


Beban statis arah 210°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = -103.5$ Kips-in

$M_y = -179.26$ Kips-in

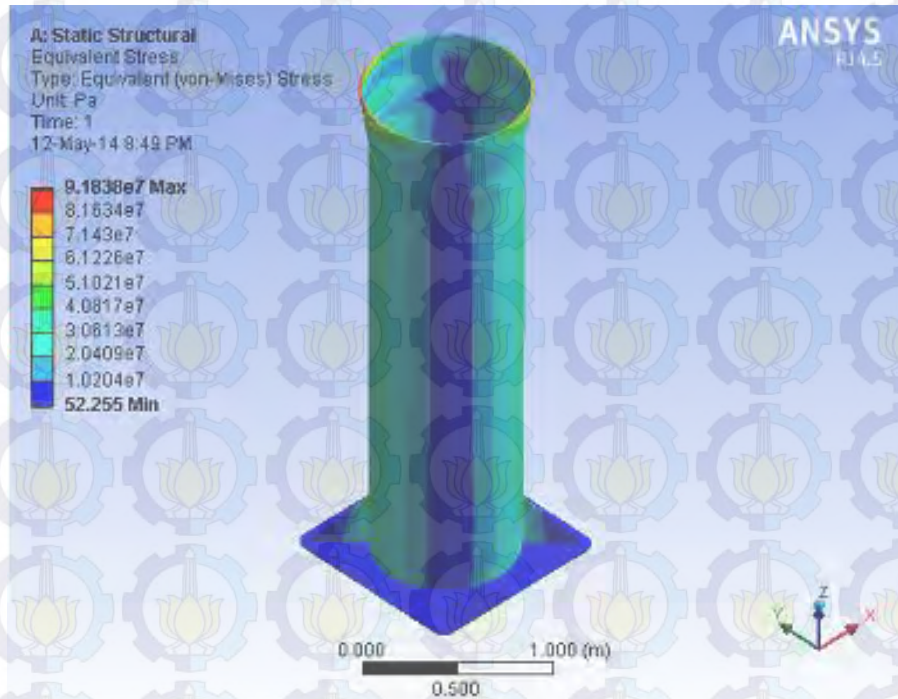


Beban statis arah 225°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = -146.371$ Kips-in

$M_y = -146.371$ Kips-in

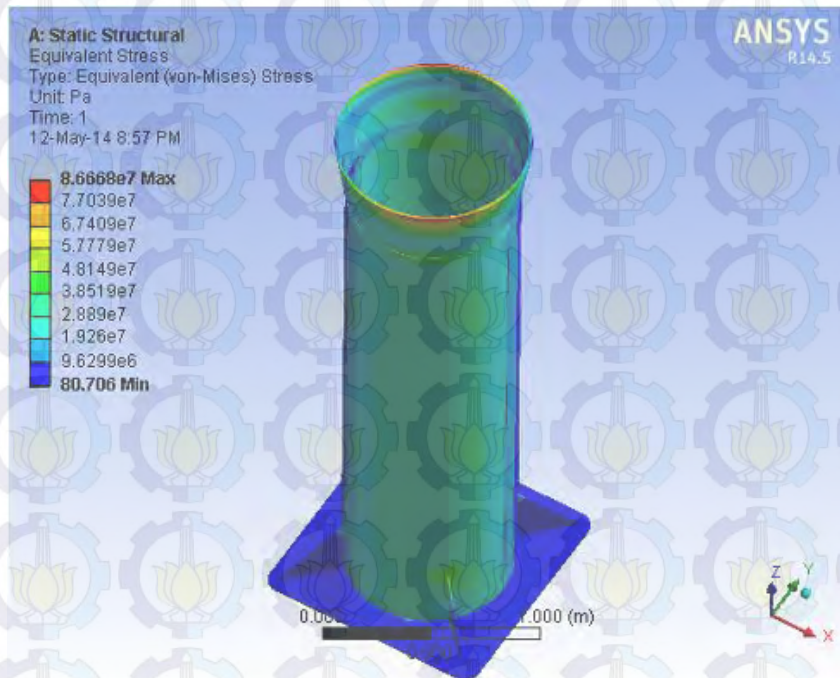


Beban statis arah 240°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = -179.26$ Kips-in

$M_y = -103.5$ Kips-in

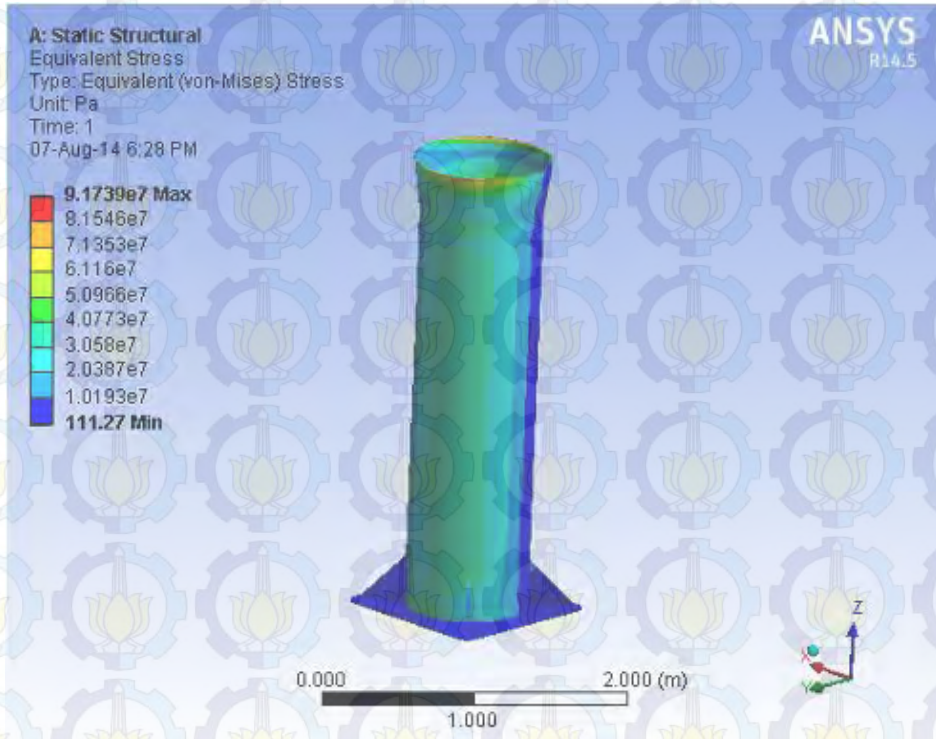


Beban statis arah 270°

$F_z = 24$ Kips

$M_x = -207$ Kips-in

$M_y = 0$ Kips-in



➤ Meshing Sensitivity (max stress)

kombinasi beban/ ukuran mesh (m)	Stress (Pa)				
	0.5	0.25	0.1	0.075	0.05
20	6.69E+07	6.66E+07	8.97E+07	9.44E+07	9.89E+07
21	6.66E+07	6.60E+07	8.97E+07	9.43E+07	9.88E+07
22	6.19E+07	6.13E+07	8.34E+07	8.77E+07	9.18E+07
23	6.19E+07	6.13E+07	8.32E+07	8.75E+07	9.17E+07
24	6.18E+07	6.14E+07	8.29E+07	8.74E+07	9.17E+07
25	6.21E+07	6.18E+07	8.33E+07	8.76E+07	9.18E+07
26	6.19E+07	6.13E+07	8.34E+07	8.34E+07	9.18E+07
27	6.19E+07	6.13E+07	8.32E+07	8.75E+07	9.17E+07
28	6.21E+07	6.18E+07	8.33E+07	8.76E+07	9.18E+07
29	6.19E+07	6.13E+07	8.32E+07	8.75E+07	9.17E+07
30	6.19E+07	6.13E+07	8.34E+07	8.77E+07	9.18E+07
31	5.84E+07	5.79E+07	7.86E+07	8.27E+07	8.67E+07
32	6.20E+07	6.15E+07	8.32E+07	8.77E+07	8.77E+07

➤ Perhitungan manual Beban ledakan tanpa beban crane dan moment

Ledakan 0.03 bar

Data :

$$\text{OD} = 32 \text{ inch} = 0.813 \text{ m}$$

$$\text{tebal} = 0.598 \text{ inch} = 0.015 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 30.804 \text{ inch} = 0.782 \text{ m}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1116237.767 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Tinggi Tubular (t)} = 8.85 \text{ ft} = 2.69748 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\text{Inersia Tubular (I)} = \frac{\pi(OD^4 - ID^4)}{64}$$

$$= \frac{\pi(0.813^4 - 0.782^4)}{64}$$

$$= 0.00303 \text{ m}^4$$

$$\text{Jarak sumbu pusat} = 1/2 \text{ OD}$$

ke permukaan (y)

$$= 1/2 * 0.813$$

$$= 0.406 \text{ m}$$

$$\text{Moment pada crane} = \frac{\pi * OD * t * P * t/2}{2}$$

pedestal (M)

$$= 2310600.796 \text{ N-m}$$

$$\text{tegangan } (\sigma) = My/I$$

$$= 310294094.5 \text{ N/m}^2$$

$$= 310.2940945 \text{ MPa}$$

Ledakan 0.21 bar

Data :

$$\text{OD} = 32 \text{ inch} = 0.813 \text{ m}$$

$$\text{tebal} = 0.598 \text{ inch} = 0.015 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 30.804 \text{ inch} = 0.782 \text{ m}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1210092.971 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Tinggi Tubular (t)} = 8.85 \text{ ft} = 2.69748 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\text{Inersia Tubular (I)} = \frac{\pi(OD^4 - ID^4)}{64}$$

$$= \frac{\pi(0.813^4 - 0.782^4)}{64}$$

$$= 0.00303 \text{ m}^4$$

Jarak sumbu pusat ke permukaan (y) = 1/2 OD

$$= 1/2 * 0.813$$

$$= 0.406 \text{ m}$$

Moment pada crane pedestal (M) = $\frac{\pi * OD * t * P * t/2}{2}$

$$= 2504880.11 \text{ N-m}$$

tegangan (σ) = My/I

$$= 336384159 \text{ N/m}^2$$

$$= 336.384159 \text{ MPa}$$

Ledakan 0.35 bar

- Data :
- OD = 32 inch = 0.813 m
 - tebal = 0.598 inch = 0.015 m
 - ID = 30.804 inch = 0.782 m
 - Tekanan (P) = 1283491.566 N/m²
 - Tinggi Tubular (t) = 8.85 ft = 2.69748 m

Perhitungan :

Inersia Tubular (I) = $\frac{\pi(OD^4 - ID^4)}{32}$

$$= \frac{\pi(0.813^4 - 0.782^4)}{64}$$

$$= 0.00303 \text{ m}^4$$

Jarak sumbu pusat ke permukaan (y) = 1/2 OD

$$= 1/2 * 0.813$$

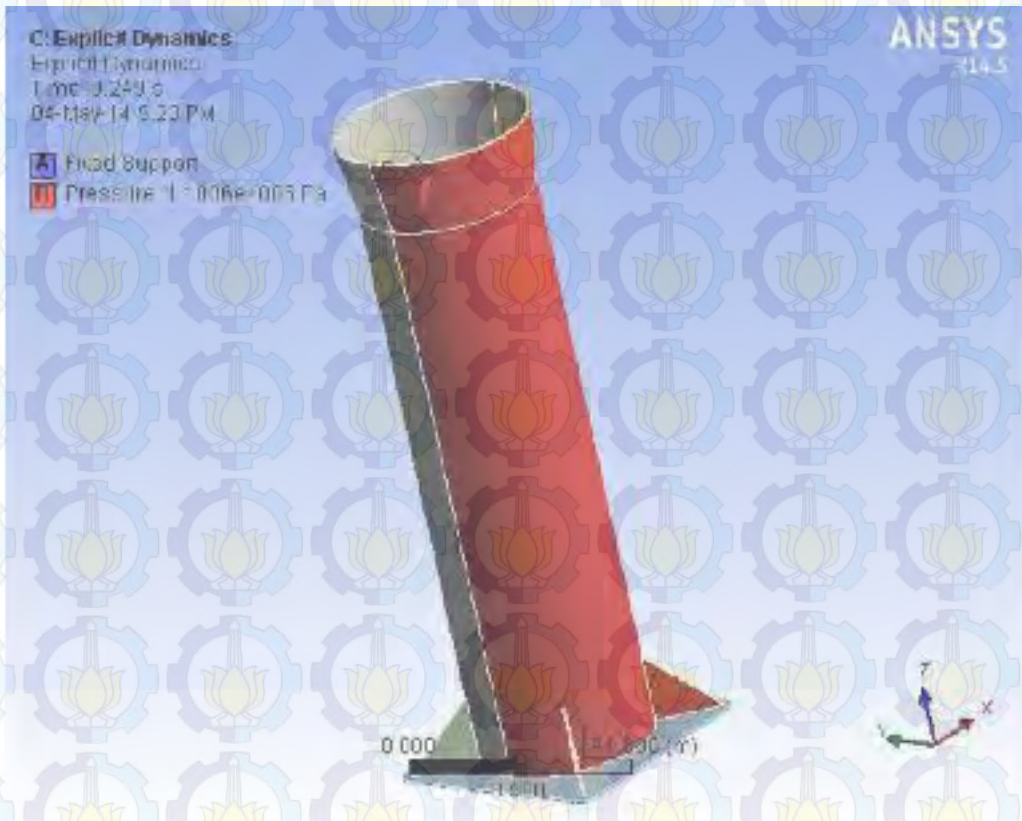
$$= 0.406 \text{ m}$$

Moment pada crane pedestal (M) = $\frac{\pi * OD * t * P * t/2}{2}$

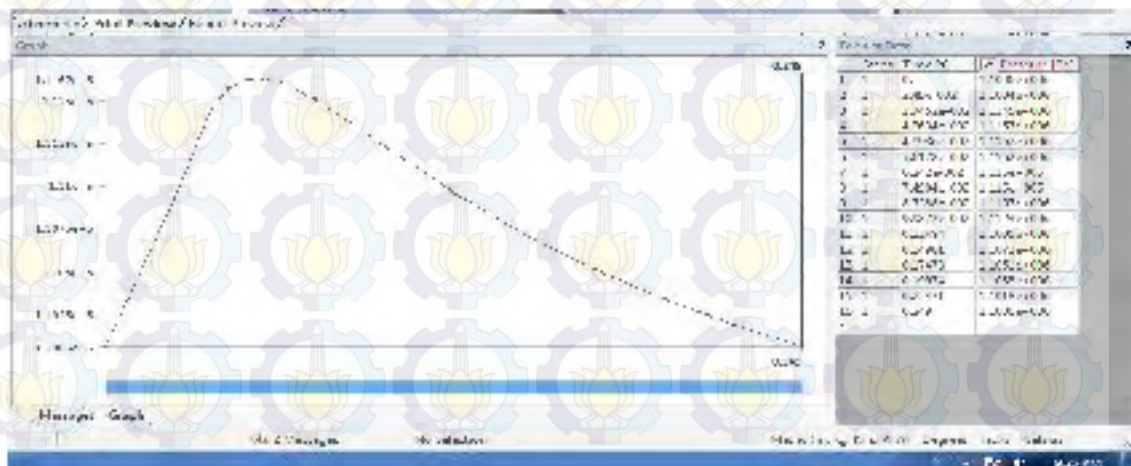
$$= 2656814.453 \text{ N-m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{tegangan } (\sigma) &= My/I \\
 &= 356787653 \text{ N/m}^2 \\
 &= 356.787653 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Constant beban ledakan untuk 0.03 bar

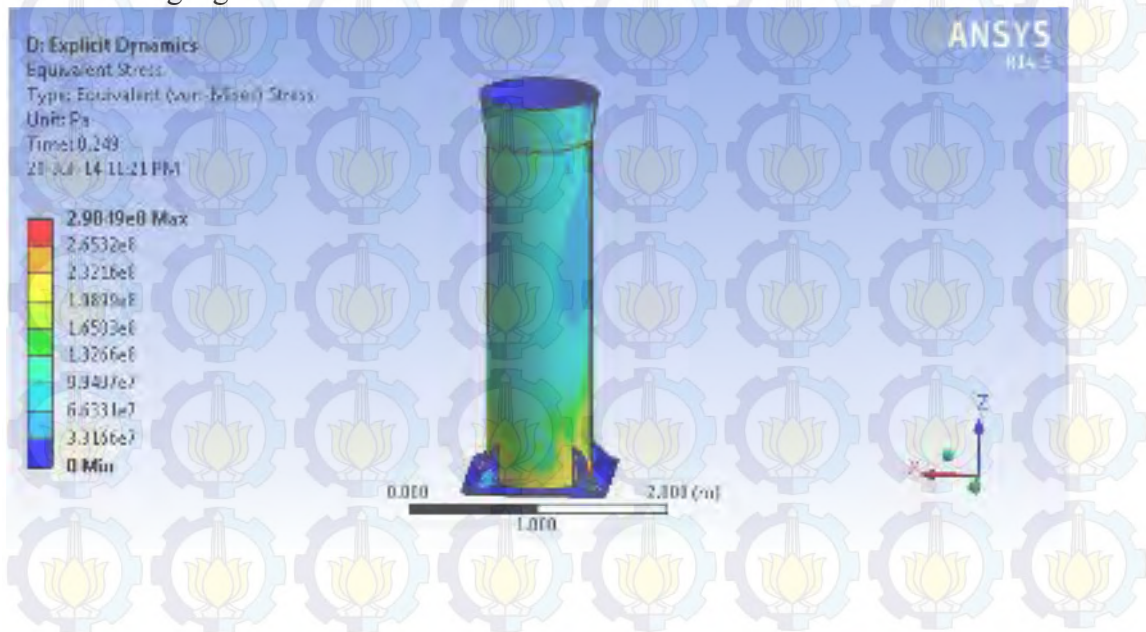


Input kurva ledakan pada explicit analysis

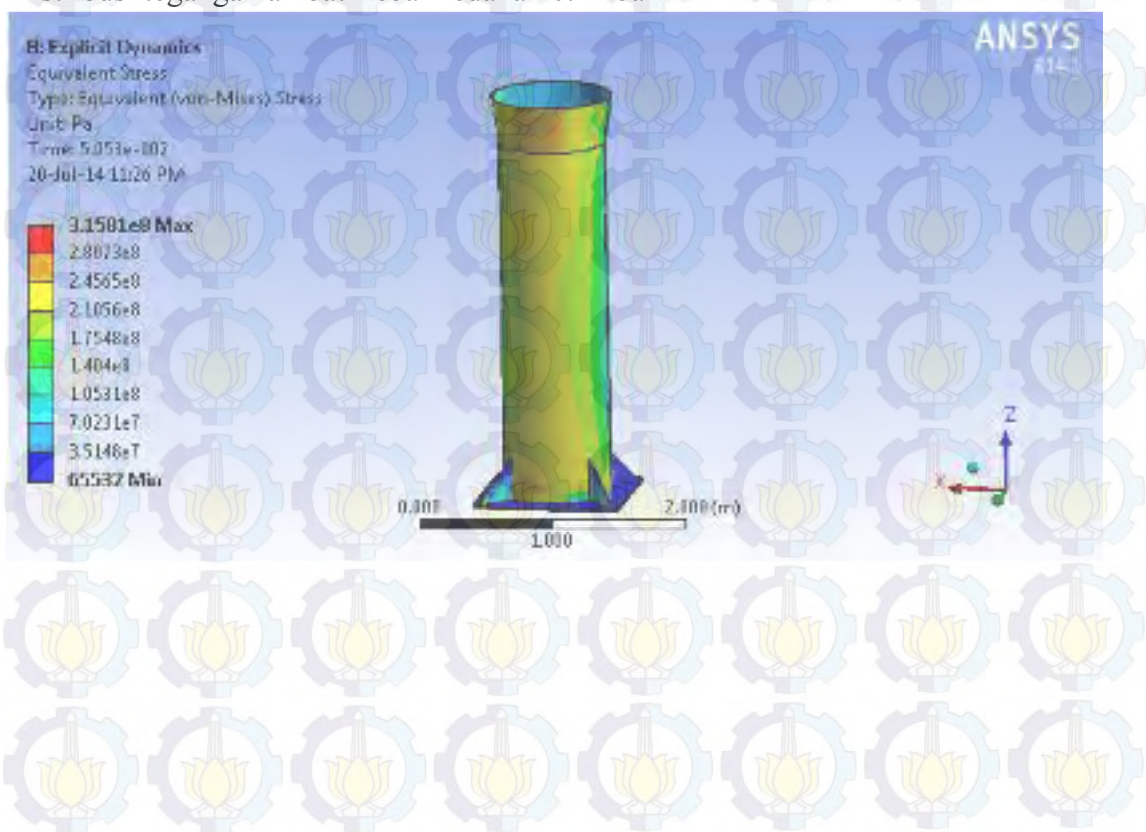


- Explicit analysis tanpa beban statis (beban crane dan moment)

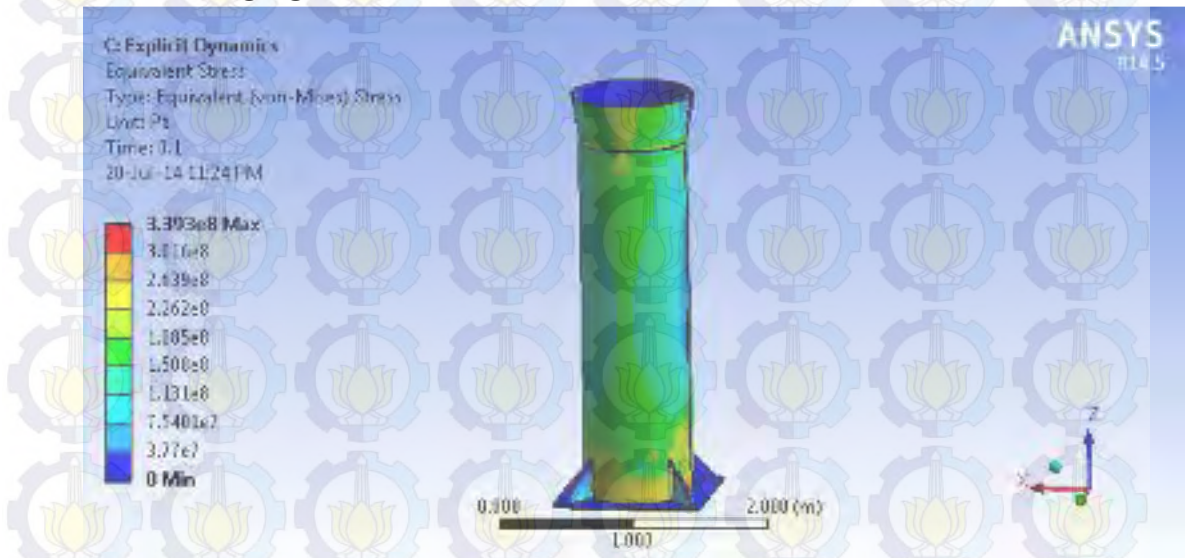
Distribusi tegangan akibat Beban ledakan 0.03 bar



Distribusi tegangan akibat Beban ledakan 0.21 bar



Distribusi tegangan akibat Beban ledakan 0.35 bar

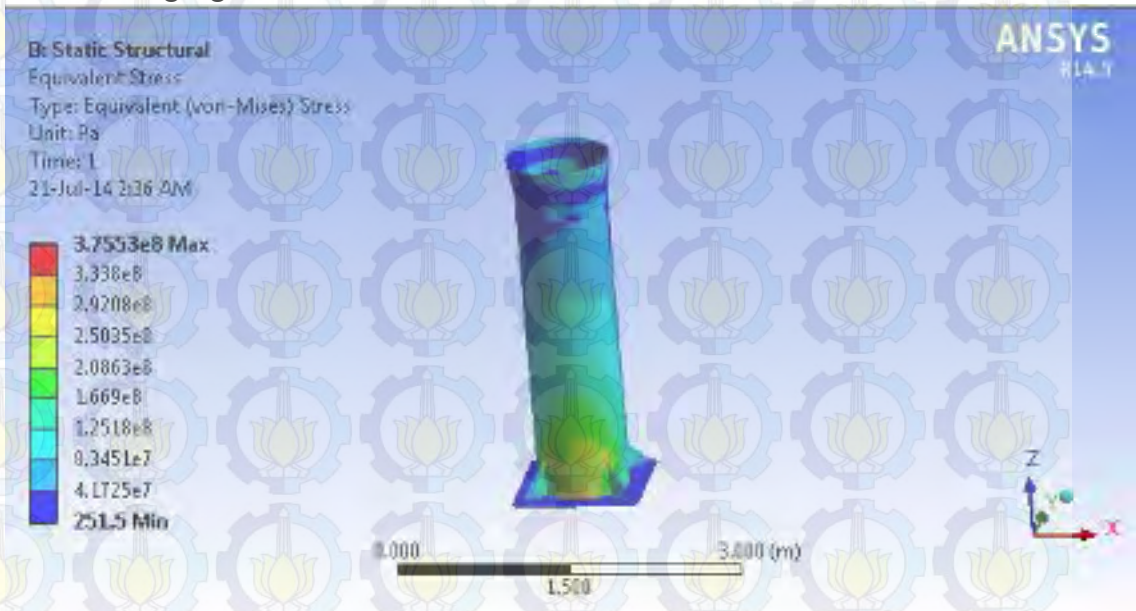


Tabel distribusi tegangan dan deformasi akibat beban ledakan terhadap time domain tanpa memperhitungkan beban crane dan moment

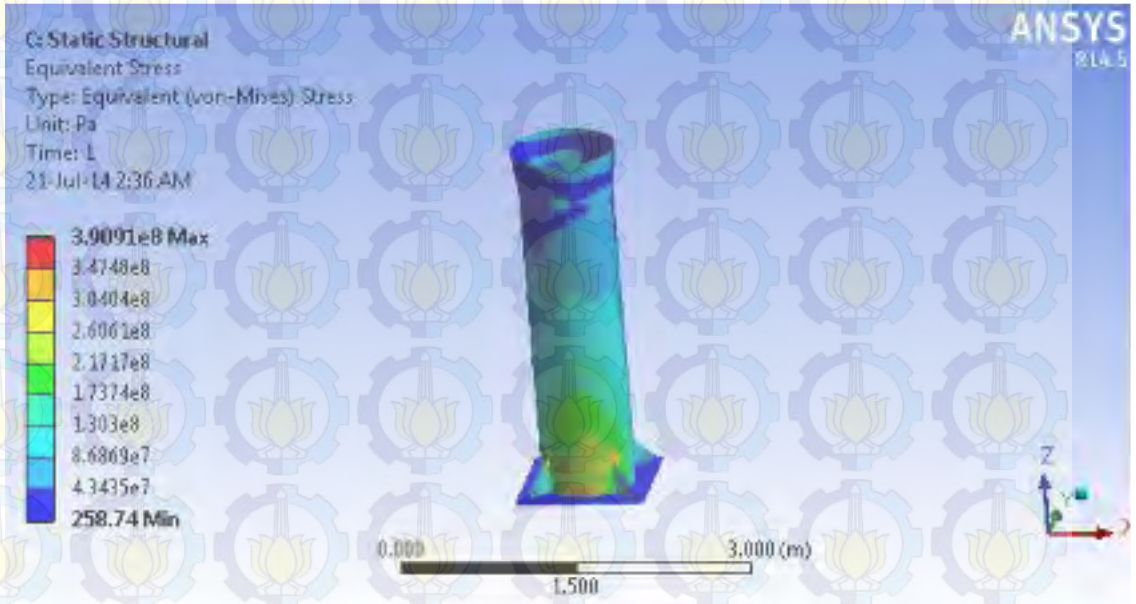
Explicit Dynamic tanpa beban statis								
0.03 bar			0.35 bar			0.21 bar		
time	stress	deformation	time	stress	deformation	time	stress	deformation
1.18E-38	0	0	1.18E-38	0	0	1.18E-38	0	0
4.98E-03	8.41E+07	9.69E-04	3.33E-03	1.50E+08	1.51E-03	1.01E-03	2.25E+07	4.24E-03
9.96E-03	1.31E+08	1.95E-03	6.67E-03	2.27E+08	3.15E-03	2.02E-03	8.33E+07	4.44E-03
1.49E-02	1.80E+08	2.96E-03	1.00E-02	2.61E+08	4.90E-03	3.03E-03	1.29E+08	4.66E-03
1.99E-02	2.23E+08	3.98E-03	1.33E-02	2.62E+08	6.65E-03	4.04E-03	1.67E+08	4.86E-03
2.49E-02	2.61E+08	5.01E-03	1.67E-02	2.62E+08	8.39E-03	5.05E-03	1.98E+08	5.05E-03
2.99E-02	2.61E+08	6.05E-03	2.00E-02	2.63E+08	1.01E-02	6.06E-03	2.23E+08	5.37E-03
3.49E-02	2.61E+08	7.11E-03	2.33E-02	2.63E+08	1.18E-02	7.08E-03	2.43E+08	5.71E-03
3.98E-02	2.62E+08	8.18E-03	2.67E-02	2.64E+08	1.35E-02	8.09E-03	2.58E+08	6.05E-03
4.48E-02	2.62E+08	9.26E-03	3.00E-02	2.64E+08	1.51E-02	9.10E-03	2.61E+08	6.40E-03
4.98E-02	2.62E+08	1.04E-02	3.33E-02	2.64E+08	1.66E-02	1.01E-02	2.61E+08	6.75E-03
5.48E-02	2.62E+08	1.15E-02	3.67E-02	2.65E+08	1.83E-02	1.11E-02	2.61E+08	7.11E-03
5.98E-02	2.63E+08	1.26E-02	4.00E-02	2.65E+08	1.98E-02	1.21E-02	2.61E+08	7.47E-03
6.47E-02	2.63E+08	1.37E-02	4.33E-02	2.65E+08	2.12E-02	1.31E-02	2.62E+08	7.83E-03
6.97E-02	2.63E+08	1.47E-02	4.67E-02	2.66E+08	2.25E-02	1.41E-02	2.62E+08	8.18E-03
7.47E-02	2.63E+08	1.58E-02	5.00E-02	2.70E+08	2.25E-02	1.52E-02	2.62E+08	8.54E-03
7.97E-02	2.64E+08	1.68E-02	5.33E-02	2.76E+08	2.38E-02	1.62E-02	2.62E+08	8.90E-03
8.47E-02	2.64E+08	1.79E-02	5.67E-02	2.83E+08	2.52E-02	1.72E-02	2.63E+08	9.30E-03
8.96E-02	2.64E+08	1.90E-02	6.00E-02	2.88E+08	2.67E-02	1.82E-02	2.63E+08	9.92E-03
9.46E-02	2.64E+08	2.01E-02	6.33E-02	2.94E+08	2.81E-02	1.92E-02	2.63E+08	1.05E-02
9.96E-02	2.64E+08	2.11E-02	6.67E-02	3.00E+08	2.95E-02	2.02E-02	2.64E+08	1.12E-02
0.10458	2.65E+08	2.23E-02	7.00E-02	3.04E+08	3.10E-02	2.12E-02	2.64E+08	1.18E-02
0.10956	2.65E+08	2.34E-02	7.33E-02	3.09E+08	3.24E-02	2.22E-02	2.64E+08	1.24E-02
0.11454	2.65E+08	2.46E-02	7.67E-02	3.15E+08	3.38E-02	2.32E-02	2.65E+08	1.30E-02
0.11952	2.65E+08	2.58E-02	8.00E-02	3.20E+08	3.51E-02	2.43E-02	2.65E+08	1.37E-02
0.1245	2.68E+08	2.70E-02	8.33E-02	3.24E+08	3.65E-02	2.53E-02	2.65E+08	1.43E-02
0.12948	2.70E+08	2.83E-02	8.67E-02	3.28E+08	3.78E-02	2.63E-02	2.66E+08	1.49E-02
0.13446	2.73E+08	2.95E-02	9.00E-02	3.32E+08	3.92E-02	2.73E-02	2.66E+08	1.55E-02
0.13944	2.75E+08	3.07E-02	9.33E-02	3.35E+08	4.04E-02	2.83E-02	2.71E+08	1.61E-02
0.14442	2.78E+08	3.19E-02	9.67E-02	3.37E+08	4.17E-02	2.93E-02	2.77E+08	1.67E-02
0.1494	2.79E+08	3.31E-02	0.1	3.39E+08	4.29E-02	3.03E-02	2.82E+08	1.73E-02
0.15438	2.81E+08	3.44E-02				3.13E-02	2.86E+08	1.79E-02
0.15936	2.82E+08	3.56E-02				3.23E-02	2.90E+08	1.85E-02
0.16434	2.83E+08	3.68E-02				3.34E-02	2.93E+08	1.91E-02
0.16932	2.83E+08	3.80E-02				3.44E-02	2.96E+08	1.98E-02
0.1743	2.83E+08	3.92E-02				3.54E-02	2.98E+08	2.04E-02
0.17928	2.85E+08	4.04E-02				3.64E-02	3.00E+08	2.10E-02
0.18426	2.87E+08	4.15E-02				3.74E-02	3.01E+08	2.16E-02
0.18924	2.89E+08	4.27E-02				3.84E-02	3.01E+08	2.23E-02
0.19422	2.91E+08	4.38E-02				3.94E-02	3.02E+08	2.29E-02
0.1992	2.93E+08	4.49E-02				4.04E-02	3.01E+08	2.35E-02
0.20418	2.95E+08	4.61E-02				4.14E-02	2.99E+08	2.42E-02
0.20916	2.97E+08	4.73E-02				4.24E-02	2.95E+08	2.48E-02
0.21414	2.98E+08	4.85E-02				4.35E-02	2.97E+08	2.54E-02
0.21912	2.99E+08	4.94E-02				4.45E-02	3.00E+08	2.61E-02
0.2241	3.00E+08	5.03E-02				4.55E-02	3.03E+08	2.67E-02
0.22908	3.00E+08	5.12E-02				4.65E-02	3.06E+08	2.74E-02
0.23406	3.01E+08	5.21E-02				4.75E-02	3.09E+08	2.80E-02
0.23904	3.00E+08	5.31E-02				4.85E-02	3.11E+08	2.87E-02
0.24402	2.99E+08	5.40E-02				4.95E-02	3.13E+08	2.93E-02
0.249	2.98E+08	5.49E-02				5.00E-02	3.15E+08	3.00E-02

➤ Explicit static analysis dengan beban crane dan moment

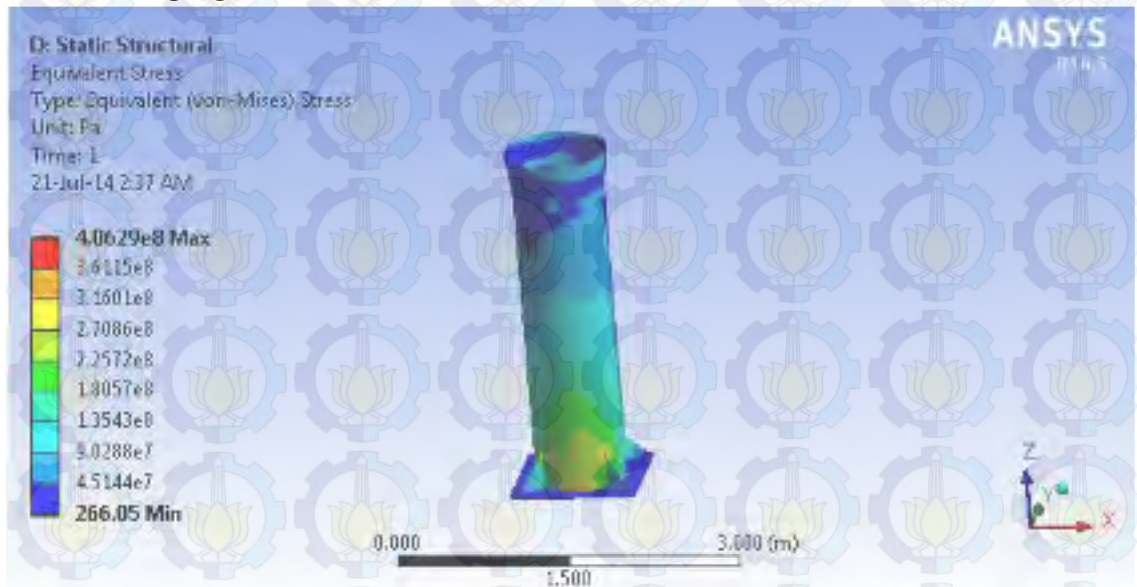
Distribusi tegangan akibat Beban kombinasi ledakan statis 0.03 bar



Distribusi tegangan akibat Beban kombinasi ledakan statis 0.21 bar

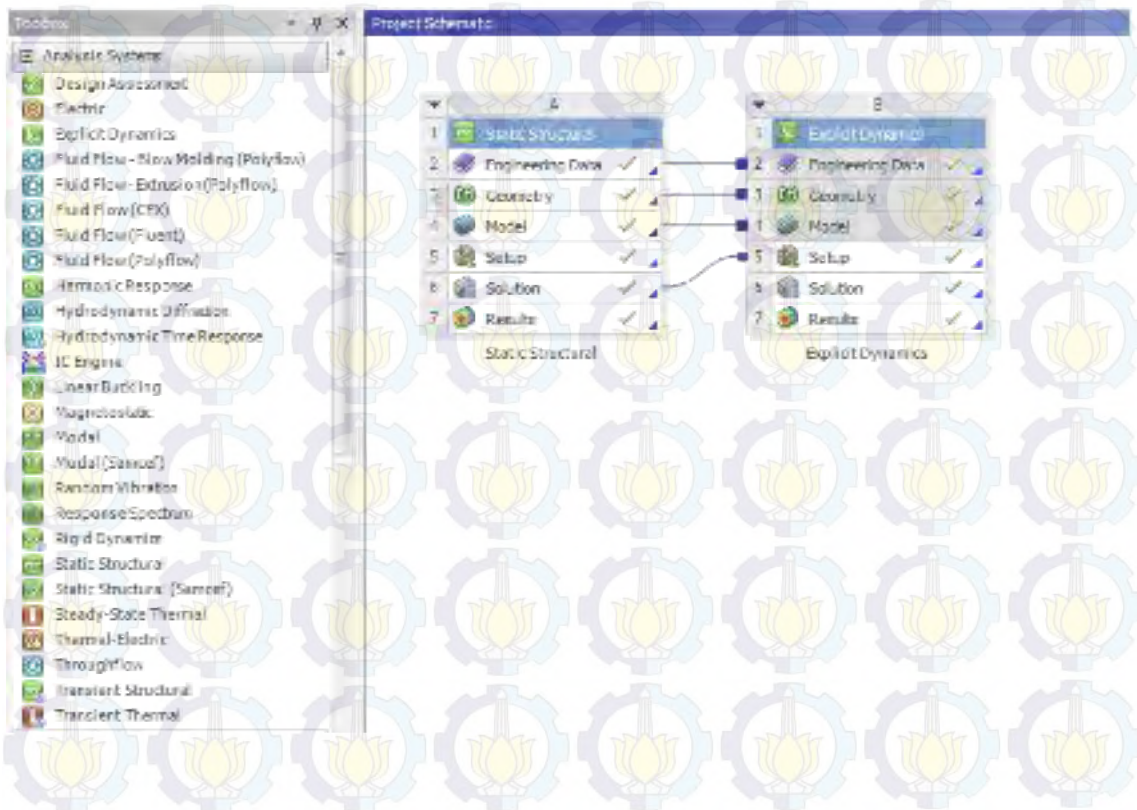


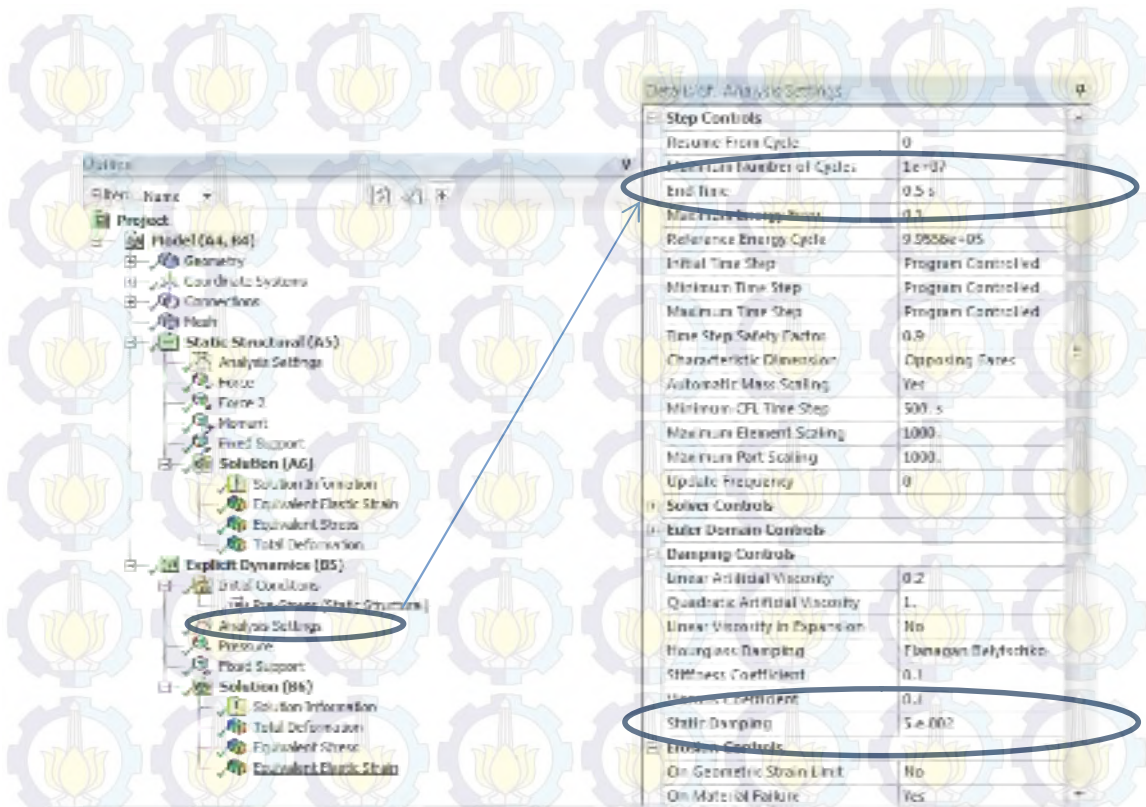
Distribusi tegangan akibat Beban kombinasi ledakan statis 0.35 bar



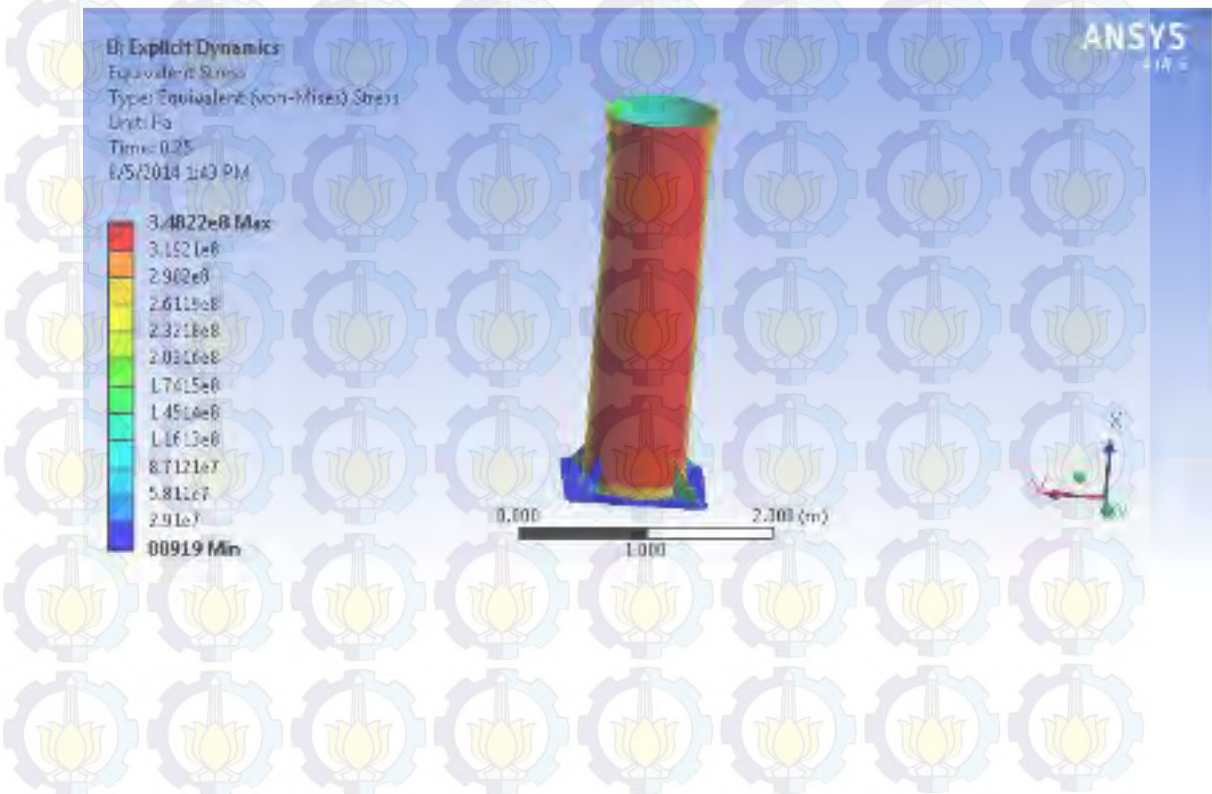
➤ Explicit dynamic analysis dengan beban crane dan moment

Langkah pengerjaan Explicit dynamic analysis dengan beban crane dan moment dengan ANSYS 14.5

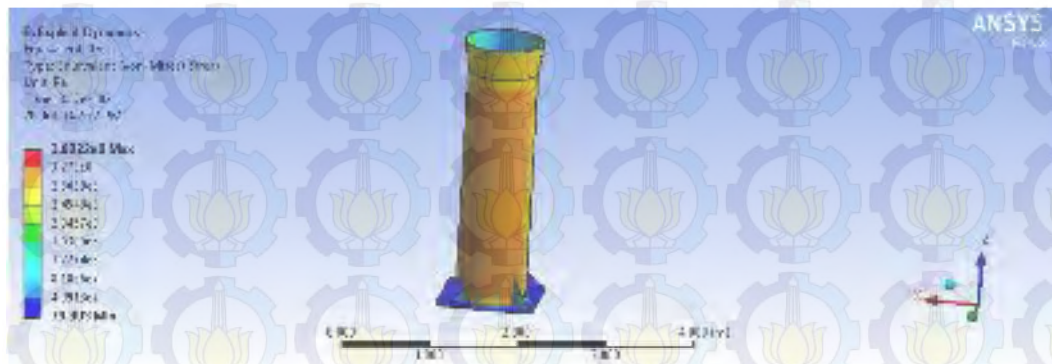




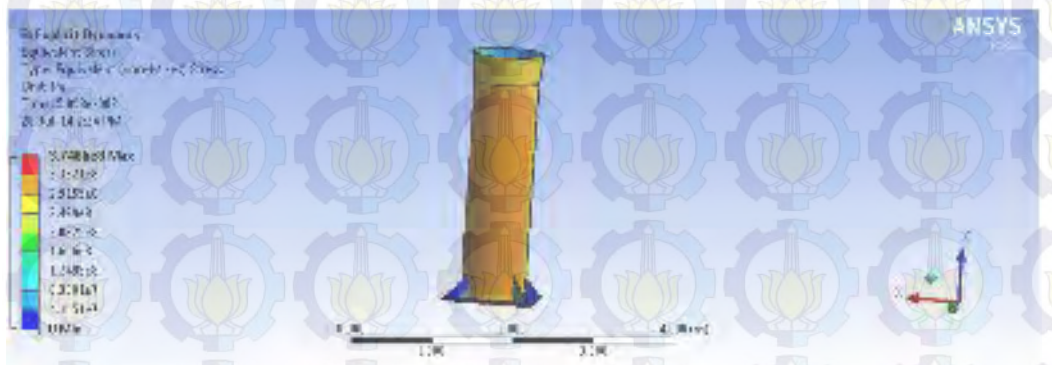
Distribusi tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi ledakan 0.03 bar



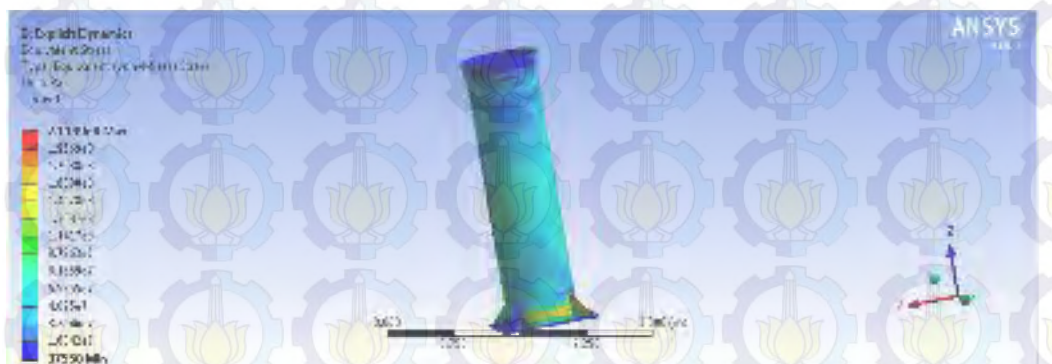
Distribusi tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi ledakan 0.21 bar



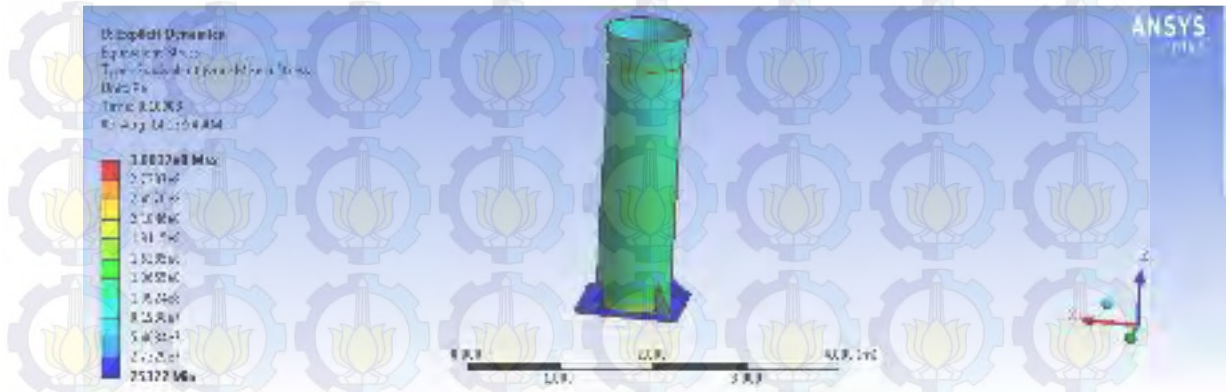
Distribusi tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kombinasi ledakan 0.35 bar



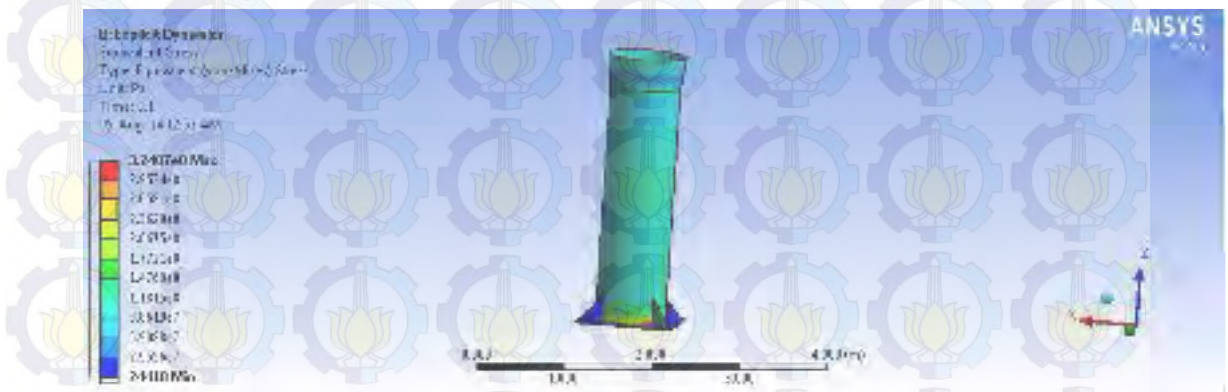
distribusi tegangan (residual stress) setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.03 bar



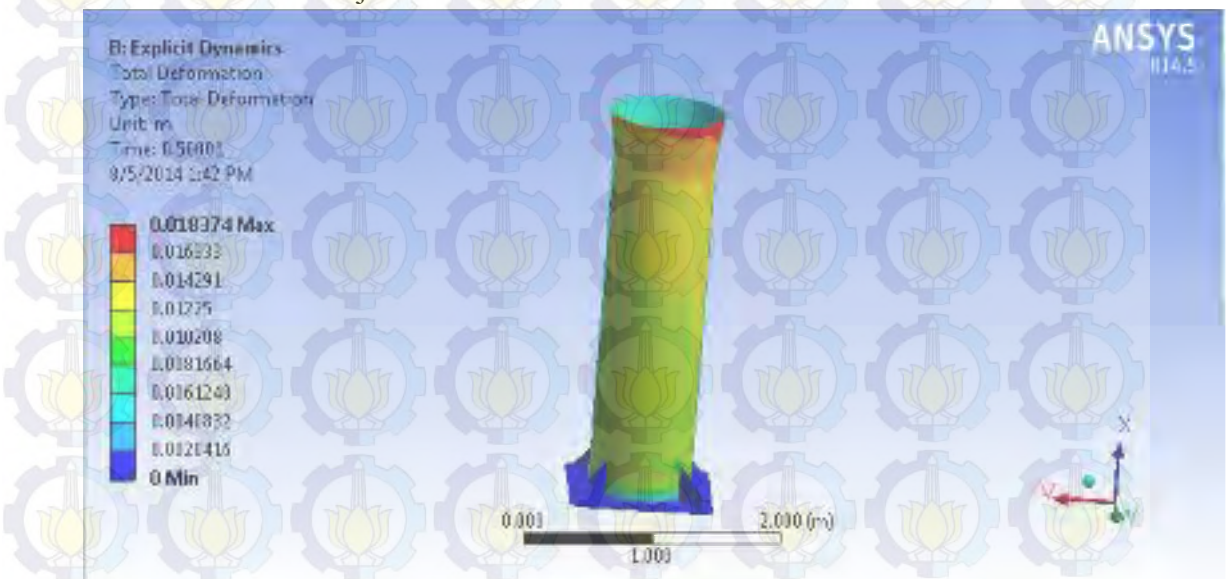
distribusi tegangan (residual stress) setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.21 bar



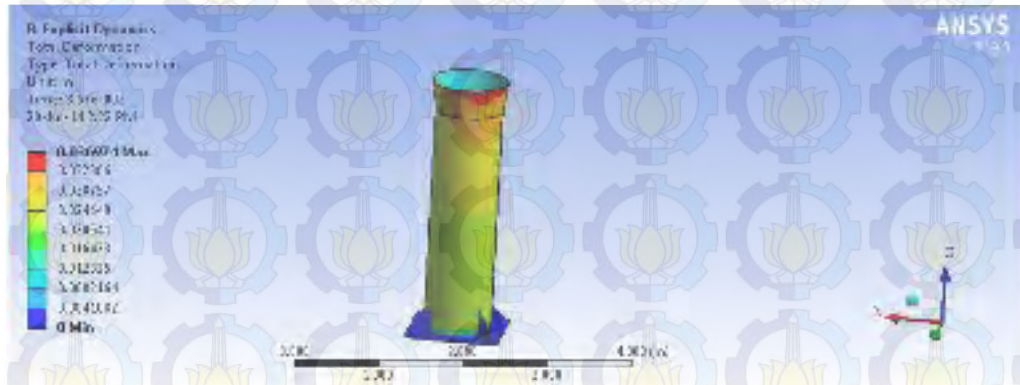
distribusi tegangan (residual stress) setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.35 bar



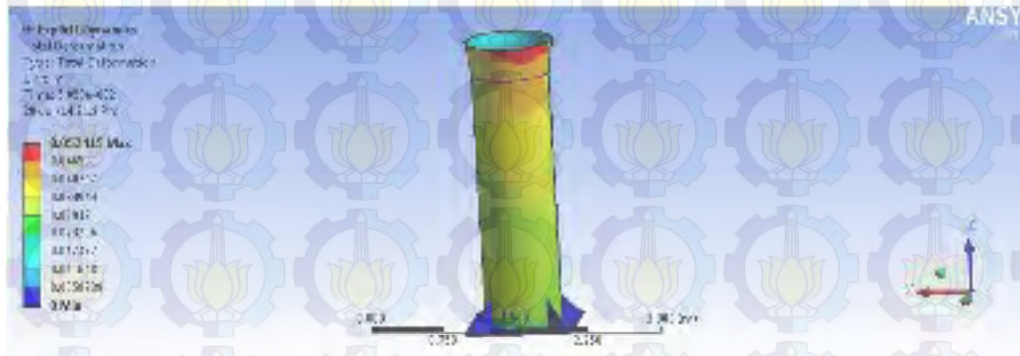
Deformasi setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.03 bar



Deformasi setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.21 bar



Deformasi setelah terjadi beban statis dan ledakan sebesar 0.35 bar



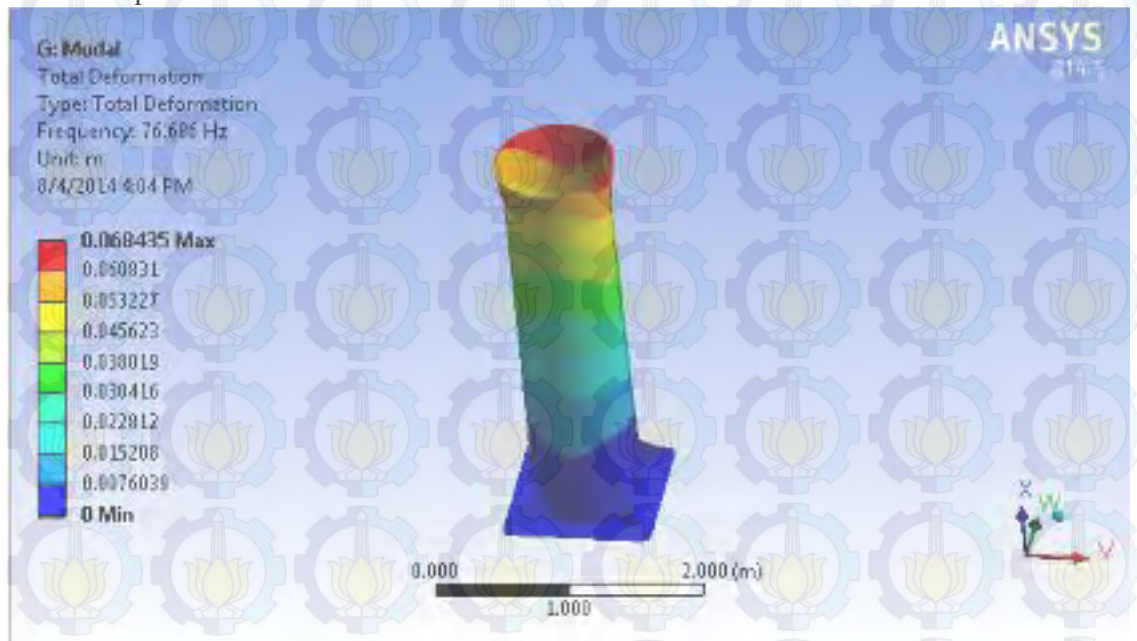
Tabel distribusi tegangan dan deformasi akibat beban ledakan terhadap time domain dengan memperhitungkan beban crane dan moment

Explicit Dynamic dengan beban statis

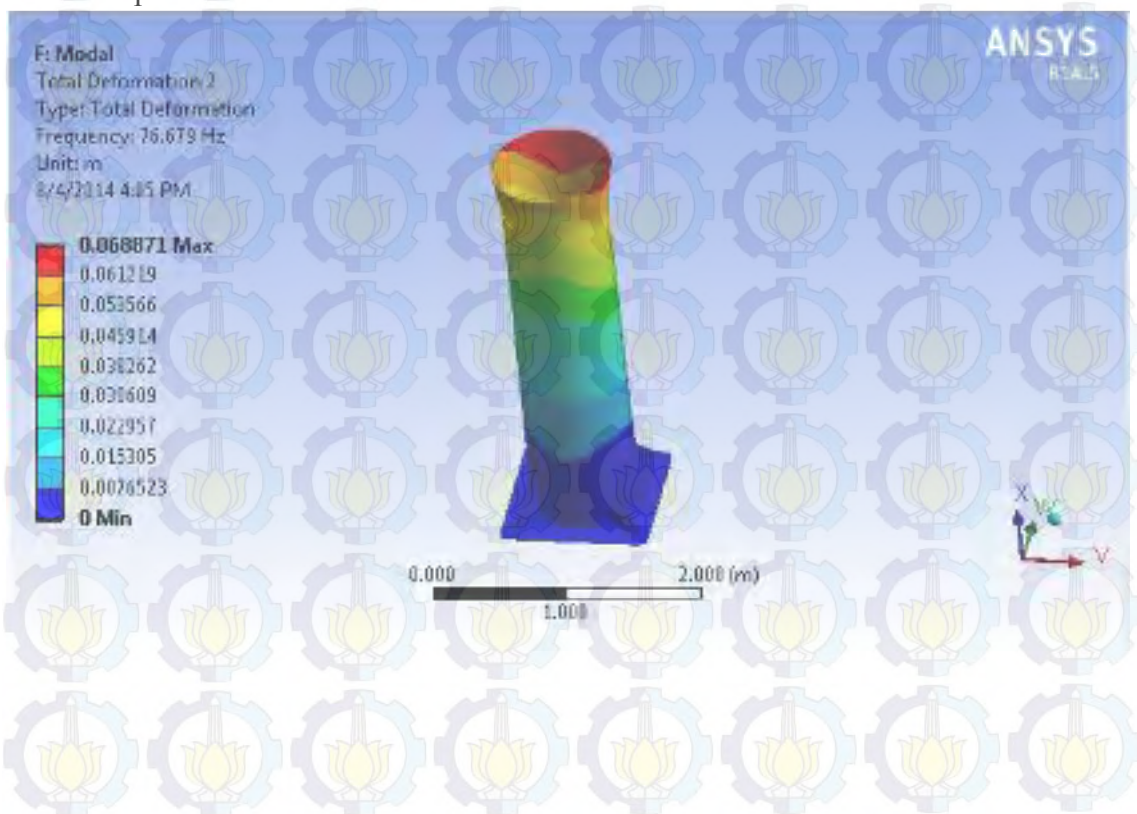
0.03 bar			0.35 bar			0.21 bar		
time (sec)	stress (MPa)	deformation (m)	time (sec)	stress (MPa)	deformation (m)	time (sec)	stress (MPa)	deformation (m)
1.18E-38	2.25E+07	0	1.18E-38	2.25E+07	0	1.18E-38	2.25E+07	0
1.00E-02	7.24E+07	4.37E-03	2.00E-03	9.45E+07	4.24E-03	2.00E-03	5.43E+07	4.24E-03
2.00E-02	1.91E+08	4.90E-03	4.02E-03	2.61E+08	4.62E-03	4.02E-03	1.54E+08	5.03E-03
3.00E-02	2.60E+08	5.49E-03	6.04E-03	2.62E+08	5.34E-03	6.04E-03	2.61E+08	5.59E-03
4.00E-02	2.61E+08	6.10E-03	8.01E-03	2.63E+08	5.83E-03	8.01E-03	2.61E+08	6.80E-03
5.00E-02	2.61E+08	6.71E-03	1.00E-02	2.63E+08	6.93E-03	1.00E-02	2.62E+08	7.21E-03
6.00E-02	2.68E+08	7.03E-03	1.20E-02	2.64E+08	8.63E-03	1.20E-02	2.62E+08	8.05E-03
7.00E-02	2.87E+08	7.95E-03	1.40E-02	2.67E+08	1.06E-02	1.40E-02	2.62E+08	9.78E-03
8.00E-02	2.96E+08	8.86E-03	1.60E-02	2.84E+08	1.38E-02	1.60E-02	2.62E+08	1.05E-02
9.00E-02	3.00E+08	9.17E-03	1.80E-02	2.99E+08	1.69E-02	1.80E-02	2.63E+08	1.21E-02
0.1	3.04E+08	9.78E-03	2.00E-02	3.12E+08	2.02E-02	2.00E-02	2.73E+08	1.58E-02
0.11001	3.08E+08	1.04E-02	2.20E-02	3.20E+08	2.35E-02	2.20E-02	2.87E+08	1.73E-02
0.12002	3.12E+08	1.10E-02	2.40E-02	3.31E+08	2.68E-02	2.40E-02	2.98E+08	2.10E-02
0.13002	3.13E+08	1.16E-02	2.60E-02	3.40E+08	2.79E-02	2.60E-02	3.06E+08	2.22E-02
0.14003	3.14E+08	1.26E-02	2.80E-02	3.47E+08	2.91E-02	2.80E-02	3.09E+08	2.41E-02
0.15003	3.15E+08	1.28E-02	3.00E-02	3.53E+08	3.13E-02	3.00E-02	3.12E+08	2.53E-02
0.16004	3.16E+08	1.34E-02	3.20E-02	3.58E+08	3.35E-02	3.20E-02	3.14E+08	2.64E-02
0.17	3.16E+08	1.44E-02	3.40E-02	3.62E+08	3.46E-02	3.40E-02	3.15E+08	2.76E-02
0.18001	3.17E+08	1.47E-02	3.60E-02	3.67E+08	3.79E-02	3.60E-02	3.17E+08	2.87E-02
0.19003	3.22E+08	1.53E-02	3.80E-02	3.63E+08	3.90E-02	3.80E-02	3.24E+08	2.84E-02
0.20004	3.27E+08	1.59E-02	4.00E-02	3.25E+08	4.11E-02	4.00E-02	3.30E+08	2.82E-02
0.21003	3.31E+08	1.65E-02	4.20E-02	3.16E+08	4.32E-02	4.20E-02	3.36E+08	2.79E-02
0.22004	3.36E+08	1.71E-02	4.40E-02	3.09E+08	4.64E-02	4.40E-02	3.40E+08	2.76E-02
0.23003	3.41E+08	1.77E-02	4.60E-02	3.11E+08	4.84E-02	4.60E-02	3.44E+08	2.76E-02
0.24	3.45E+08	1.83E-02	4.80E-02	3.12E+08	4.95E-02	4.80E-02	3.48E+08	2.76E-02
0.25	3.48E+08	1.89E-02	5.00E-02	3.13E+08	5.14E-02	5.00E-02	3.52E+08	2.76E-02
0.26003	2.87E+08	1.88E-02	5.20E-02	3.14E+08	5.13E-02	5.20E-02	3.12E+08	2.76E-02
0.27002	2.61E+08	1.88E-02	5.40E-02	3.14E+08	5.11E-02	5.40E-02	3.00E+08	2.77E-02
0.28001	2.60E+08	1.88E-02	5.60E-02	3.15E+08	5.01E-02	5.60E-02	2.83E+08	2.77E-02
0.29	2.57E+08	1.87E-02	5.80E-02	3.15E+08	5.01E-02	5.80E-02	2.75E+08	2.77E-02
0.30004	2.54E+08	1.87E-02	6.00E-02	3.15E+08	5.01E-02	6.00E-02	2.67E+08	2.77E-02
0.31003	2.51E+08	1.86E-02	6.20E-02	3.15E+08	5.01E-02	6.20E-02	2.69E+08	2.77E-02
0.32002	2.58E+08	1.86E-02	6.40E-02	3.16E+08	5.01E-02	6.40E-02	2.71E+08	2.77E-02
0.33001	2.65E+08	1.86E-02	6.60E-02	3.16E+08	5.01E-02	6.60E-02	2.73E+08	2.77E-02
0.34004	2.70E+08	1.85E-02	6.80E-02	3.16E+08	5.01E-02	6.80E-02	2.74E+08	2.78E-02
0.35003	2.74E+08	1.85E-02	7.00E-02	3.16E+08	5.01E-02	7.00E-02	2.76E+08	2.78E-02
0.36002	2.75E+08	1.84E-02	7.20E-02	3.16E+08	4.99E-02	7.20E-02	2.78E+08	2.78E-02
0.37001	2.82E+08	1.84E-02	7.40E-02	3.16E+08	4.99E-02	7.40E-02	2.83E+08	2.78E-02
0.38	2.88E+08	1.84E-02	7.60E-02	3.18E+08	4.99E-02	7.60E-02	2.87E+08	2.78E-02
0.39004	2.93E+08	1.84E-02	7.80E-02	3.20E+08	4.99E-02	7.80E-02	2.92E+08	2.78E-02
0.40003	2.98E+08	1.84E-02	8.00E-02	3.21E+08	4.99E-02	8.00E-02	2.96E+08	2.78E-02
0.41002	3.02E+08	1.84E-02	8.20E-02	3.23E+08	4.99E-02	8.20E-02	2.97E+08	2.78E-02
0.42001	3.05E+08	1.84E-02	8.40E-02	3.24E+08	4.98E-02	8.40E-02	2.97E+08	2.79E-02
0.43004	3.08E+08	1.84E-02	8.60E-02	3.25E+08	4.98E-02	8.60E-02	2.97E+08	2.79E-02
0.44003	3.11E+08	1.84E-02	8.80E-02	3.26E+08	4.98E-02	8.80E-02	2.97E+08	2.79E-02
0.45002	3.13E+08	1.84E-02	9.00E-02	3.26E+08	4.98E-02	9.00E-02	2.97E+08	2.79E-02
0.46001	3.15E+08	1.84E-02	9.20E-02	3.26E+08	4.98E-02	9.20E-02	2.97E+08	2.79E-02
0.47	3.16E+08	1.84E-02	9.40E-02	3.26E+08	4.97E-02	9.40E-02	2.98E+08	2.79E-02
0.48003	3.18E+08	1.84E-02	9.60E-02	3.25E+08	4.97E-02	9.60E-02	2.98E+08	2.79E-02
0.49002	3.19E+08	1.84E-02	9.80E-02	3.25E+08	4.97E-02	9.80E-02	2.99E+08	2.79E-02
0.50001	3.20E+08	1.84E-02	1.00E-01	3.25E+08	4.97E-02	1.00E-01	3.00E+08	2.79E-02

➤ Hasil modal analysis struktur setelah terkena beban kombinasi ledakan

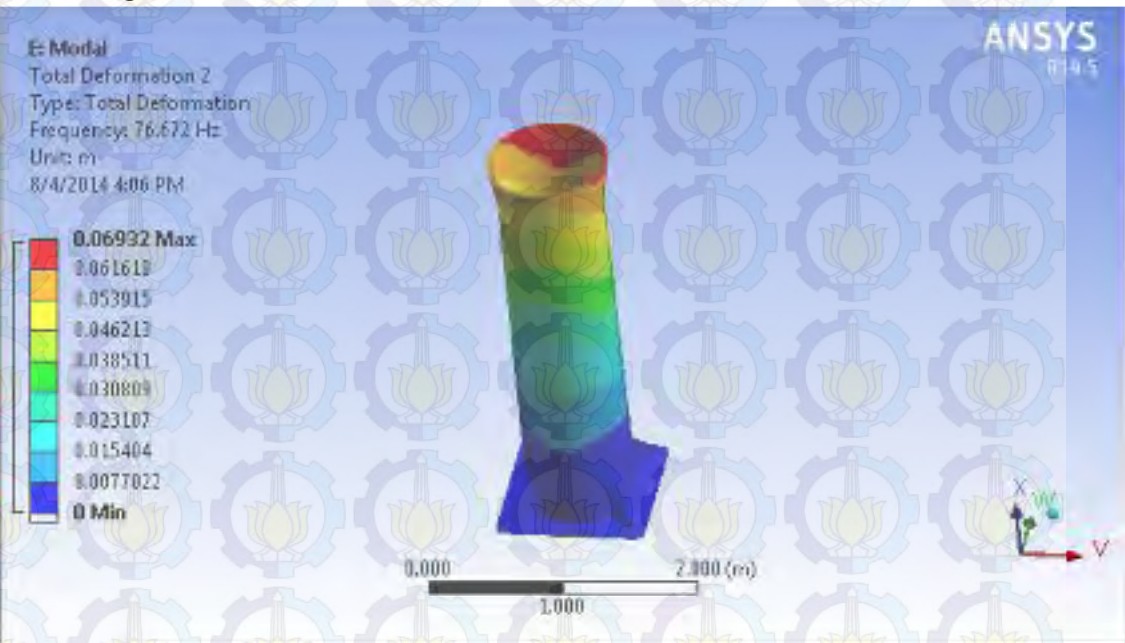
Mode shape 1 setelah terkena beban kombinasi ledakan 0.03 bar

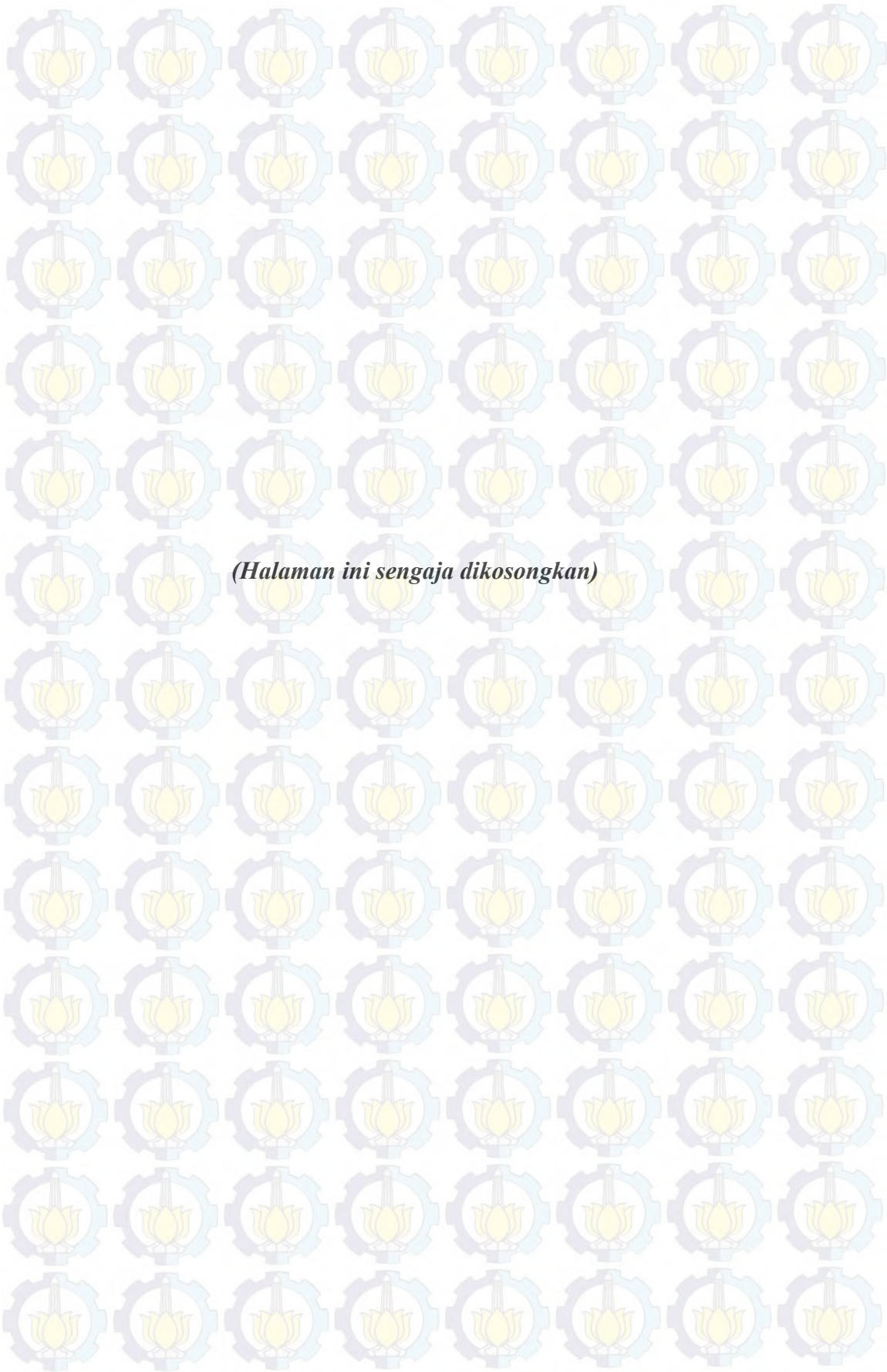


Mode shape 1 setelah terkena beban kombinasi ledakan 0.21 bar



Mode shape 1 setelah terkena beban kombinasi ledakan 0.35 bar





(Halaman ini sengaja dikosongkan)