

37610/H/10

37610/H/10



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSPe
623.82
Har
a-1
2009

TUGAS AKHIR - LK 1347

ANALISA TEKNIK PENGURANGAN RESIKO PERUBAHAN BENTUK PADA PROSES PENGANGKATAN BLOK

SAHID SASMITO HARIADI
N.R.P. 4105 109 601

Dosen Pembimbing
Ir. Soejitno
Ir. Budie Santosa M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11 - 8 - 2009
Terima Dari	H
No. Induk	7.51

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIK PENGURANGAN RESIKO PERUBAHAN BENTUK PADA PROSES PENGANGKATAN BLOK

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Produksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SAHID SASMITO HARIADI
N.R.P. 4105 109 601

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Soejitno
NIP. 130 532 029

2. Ir. Budie Santosa M.T.
NIP : 130 676 232



SURABAYA, JUNI 2009

LEMBAR REVISI

ANALISA TEKNIK PENGURANGAN RESIKO PERUBAHAN BENTUK PADA PROSES PENGANGKATAN BLOK

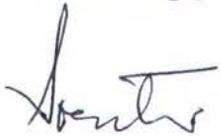
TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Tugas Akhir
Tanggal Juli 2009

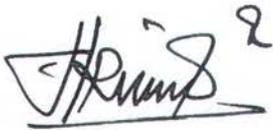
Bidang Studi Produksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
SAHID SASMITO HARIADI
Nrp. 4105 109 601

Dosen Penguji :



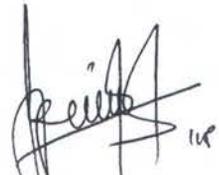
(Ir. Soejitno)



(Ir. Heri Soepomo, M.Sc.)



(I.G.N.S Buana, ST, M.Eng.)



(Sri Rejeki, ST, MT)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Soejitno

NIP : 130 532 029

2. Ir. Budie Santosa M.T

NIP : 130 676 232



SURABAYA,

JULI 2009

ANALISA TEKNIK PENGURANGAN RESIKO PERUBAHAN BENTUK PADA PROSES PENGANGKATAN BLOK

Nama Penulis : Sahid Sasmito Hariadi
Nrp : 4105 109 601
Jurusan : Teknik Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir.Soejitno & Ir. Budie Santosa M.T

ABSTRAK

Deformasi sering menjadi suatu masalah dalam proses pembuatan kapal baru khususnya dalam tahap *erection*. Salah satu penyebab timbulnya deformasi ini adalah akibat pengaruh dari proses pengangkatan blok dengan *crane*. Deformasi ini akan timbul bila cara pengangkatan blok tersebut dilakukan dengan cara yang kurang baik. Dengan menerapkan cara pengangkatan blok yang benar akan dapat mengurangi resiko perubahan bentuk pada saat blok diangkat.

Dalam tugas akhir ini dilakukan analisa mengenai deformasi pada blok akibat pengaruh pengangkatan dengan crane menggunakan bantuan perangkat lunak analisa struktur Ansys. Analisa dilakukan dalam keadaan statis dengan memvariasikan dua buah blok dan posisi *eye plate* yang masing-masing 6 set pada blok 1 dan 3 set pada blok 2, masing-masing set terdiri dari 4 buah *eye plate*. Jarak pengangkatan (dari *hook* ke permukaan blok terdekat) diambil sejauh 5 meter. Kedua blok sengaja dipilih di daerah paralel middle body karena blok-blok di daerah tersebut resiko terbesar terjadinya perubahan bentuk pada proses pengangkatan blok.

Hasil simulasi pengangkatan model-model blok menggunakan Ansys diketahui nilai perubahan bentuk (mm) pada model blok 1, urut dari variasi *eye plate* 1 sampai 6 adalah 0,0488; 0,0247; 0,0297; 0,0654; 0,0247; 0,135 dan nilai perubahan bentuk (mm) pada blok 2, urut dari variasi *eye plate* 1 sampai 3 adalah 0,1431; 0,0929; 0,0738. Nilai perubahan bentuk yang terbesar terjadi pada pengangkatan model blok 1 dengan posisi *eye plate* 6 (0,135 mm) dan nilai terkecil di posisi *eye plate* 2 & 5 (0,0247 mm). Pada model blok 2, nilai perubahan bentuk terbesar di posisi *eye plate* 1 (0,1431 mm) dan nilai terkecil di posisi *eye plate* 3 (0,0738 mm).

Dari hasil simulasi blok DB 5P, untuk mengurangi resiko perubahan bentuk akibat proses pengangkatan blok, dipilih skenario pengangkatan blok dengan posisi *eye plate* 2 atau 5 sedangkan untuk blok DB 5C di posisi *eye plate* 3. Bentuk penguatan-penguatan tidak perlu diberikan karena besarnya perubahan bentuk yang terjadi tidak terlalu besar, dan karena diusahakan sebisa mungkin menghindari pemberian penguatan tambahan.

Kata kunci : Deformasi, Pengangkatan Blok, Ansys, Posisi *Eye Plate*, Susunan Konstruksi

TECHNICAL ANALYSIS TO REDUCE DEFORMATION RISK ON LIFTING BLOCK PROCESS

Name Writer : Sahid Sasmito Hariadi
ID. No : 4105 109 601
Department : Naval Architecture Ocean Technology Faculty, Institute of
Technology Sepuluh Nopember
Supervisor : Ir.Soejitno & Ir. Budie Santosa M.T

ABSTRACT

Deformation is the most common problem in building a new ships especially in erection stage. Deformation can be happen in result of the lifting block processed by crane. This deformation will occur if the block lifted in a bad methods. By applying right lifting method and stiffener location, deformation can be reduced significantly.

This thesis is about deformation analysis regarding to lifting block by crane using Ansys software as structural analysis program. The analysis is done in static condition and by using two blocks and six eye plates position in first block and three eye plates position in second block. Each set of eye plates position consist of 4 pieces eye plate. Lifting distance (from hook to nearest block surface) is taken approximately 5 meters.

The result of this lifting blocks simulation using Ansys software were known as Displacement Value or Deformation (mm) in first Block from eye plates variation 1 to 6 in a row is, 0,0488; 0,0247; 0,0297; 0,0247; 0,135 and for the second Block from eye plate variation 1 to 3 in a row is 0,1431; 0,0929 and 0,0738. Maximum Displacement Value in first Block goes to eye plate position 6 (0,135mm) and minimum Displacement Value is in Position 2 & 5 (0,0247mm). In second block, the maximum Displacement Value is in position 1 (0,1431mm) and the minimum Displacement Value is in position 3 (0,0738mm)

The location of deformation in each eye plates position may vary but average the deformation happens on the same side of eye plates position which means the deformation will occur arround eye plates positioning. So this location should be the most suitable places to use stiffener to reduce deformation.

Key words : *Deformation, lifting block, Ansys, eye plates position, stiffener*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur saya haturkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi guna menyelesaikan program studi Strata-1 pada jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas akhir ini dapat digunakan mahasiswa untuk membuat laporan yang bersifat penelitian ilmiah dan menghubungkan dengan teori yang diperoleh dalam perkuliaan.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak. Karena itu pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberi kekuatan dan kemudahan dalam menyelesaikan Tugas Merancang III
2. Bapak Ir.Soejitno dan Ir.Budie Santosa M.T, selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir.Triwilaswandio,MSc., selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK – ITS
4. Bapak Ir.Heri soepomo, M.Sc , I.G.N Sumanta Buana, ST, M.Eng, Ir. Soejitno dan Ibu Sri Rejeki, ST , MT selaku dosen penguji tugas akhir.
5. Bapak dan Ibu saya yang telah membesarkan, mendoakan dan mendidik saya.
6. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan atas selesainya laporan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan baik dalam pembahasan di dalamnya maupun dalam penyusunan tugas akhir ini. Hal itu semata-mata karena keterbatasan yang ada pada penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar dapat lebih baik di masa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa buku tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang seluas-luasnya bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Teknik Perkapalan pada khususnya.

Surabaya, 24 Juni 2009

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak Indonesia	iii
Abstrak Inggris	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Daftar Istilah	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Pembatasan Masalah	1
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Hipotesis	2
1.7 Metodologi	2
1.8 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Pembangunan Teknologi Produksi Kapal	6
2.1.1 <i>Conventional Construction and Outfitting</i>	6
2.1.2 <i>Hull Block Construction Method and Pre Outfitting</i>	7
2.1.3 <i>Process Lane Hull Construction and Zone Outfitting</i>	8
2.1.4 <i>Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)</i>	8
2.2 Pembagian Blok (<i>Block Division</i>)	11
2.2.1 Gambaran Umum	11
2.2.2 Beberapa Tipe atau Bentuk Dari Blok	12
2.2.3 Kondisi Yang Optimum Untuk Pembagian Blok	14
2.2.3.1 Menetapkan titik awal dari erection	14
2.2.3.2 Menetapkan kapasitas crane	14
2.2.3.3 Kondisi untuk pembangunan dan rotasi pada basis assembly	17
2.2.3.4 Kondisi-kondisi fabrikasi yang perlu diperhatikan pada <i>building berth</i>	18
2.3 Jaringan Kerja <i>Erection (Network Of Erection)</i>	19
2.3.1 Gambaran Umum	19
2.3.2 Jaringan kerja <i>erection</i> , jadwal perencanaan dan tanggal penyelesaian	19
2.3.3 Metode Pengembangan	21
2.3.3.1 Penentuan blok permulaan <i>erection</i>	22
2.3.3.2. Penentuan blok-blok yang disisipkan	
2.3.3.3. Penentuan urutan penurunan blok-blok	
2.4 Tipe <i>Building Berth</i> dan peralatannya	22
2.5 <i>Material Handling Equipment</i>	18
2.6 Konsep Dasar Elemen Hingga	18
2.6.1 Prosedur Elemen Hingga	19

2.6.2 Teori Energi	21
2.6.3 Prinsip Kerja Virtual	21
2.6.4 Energi Regangan (<i>Strain Energy</i>)	21
2.6.5 Energi Potensial	21
2.6.6 Beban Simpul Ekuivalen	22
2.7 Deformasi Struktur Logam	22
2.7.1 Teori Deformasi	22
2.7.2 Deformasi Elastis	22
2.7.3 Deformasi Plastis	24
2.8 Pemrograman dengan Ansys	26
2.8.1 Memulai Ansys	26
2.8.2 <i>Modeling and Meshing</i>	28
2.8.3 Pemodelan Geometri	31
2.8.4 Diskritisasi (<i>Meshing</i>)	32
2.8.5 <i>Loading and Solution</i>	34
BAB III PERANCANGAN MODEL	
3.1 Pemodelan Struktur	38
3.2 <i>Modeling and Meshing</i>	45
3.3 Pemodelan Geometri	48
3.4 Diskritisasi (<i>Meshing</i>)	50
3.5 <i>Loading and Solution</i>	53
3.5.1 <i>Loading</i>	53
3.5.2 <i>Solution</i>	54
3.5.3 <i>Output</i>	54
BAB IV ANALISA DATA	
4.1 Pendahuluan	56
4.2 Variasi Letak Pembebanan	56
4.2.1 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 1	56
4.2.2 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 2	58
4.2.3 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 3	59
4.2.4 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 4	60
4.2.5 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 5	61
4.2.6 Model Blok 1, Variasi <i>eye plate</i> 6	62
4.2.7 Model Blok 2, Variasi <i>eye plate</i> 1	64
4.2.8 Model Blok 2, Variasi <i>eye plate</i> 2	65
4.2.9 Model Blok 2, Variasi <i>eye plate</i> 3	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi	3
Gambar II.1 Komponen <i>Product Oriented Work Breakdown Structure</i>	7
Gambar II.2 Contoh dari sebuah <i>Flat block (Upper Deck Block)</i>	8
Gambar II.3 Contoh dari sebuah <i>Curved Block</i>	9
Gambar II.4 <i>Flowchart</i> Jaringan Kerja <i>Erection</i>	13
Gambar II.5 (a) Struktur kristal mengalami tegangan tarik ; (b) Tidak ada regangan (c) Struktur kristal mengalami tegangan tekan	23
Gambar II.6 Regangan geser pada butir struktur	24
Gambar II.7 Mekanisme slip yang disederhanakan	25
Gambar II.8 Kurva <i>stress-strain</i>	25
Gambar II.9 Tampilan <i>Main Menu</i> Ansys	26
Gambar II.10 <i>Coordinate System in Ansys</i>	28
Gambar II.11 <i>Toolbar</i> pengaturan system koordinat	29
Gambar II.12 <i>Toolbar Workplane setting</i>	30
Gambar II.13 <i>Toolbar View</i>	30
Gambar II.14 <i>Key points</i>	31
Gambar II.15 <i>Modeling by Create Command</i>	31
Gambar II.16 <i>Top Down</i>	32
Gambar II.17 <i>Material Model Behaviour</i>	32
Gambar II.18 <i>Library of Element Type</i>	33
Gambar II.19 Proses <i>Meshing</i> di Ansys	33
Gambar II.20 <i>Mesh Tool</i>	34
Gambar II.21 <i>Define Loads</i>	35
Gambar II.22 <i>Contour of Nodal Solution Data</i>	36
Gambar II.23 <i>List Of Nodal Solution</i>	37
Gambar III.1 Ansys <i>main menu</i>	38
Gambar III.2 <i>Real constant set for Shell 93</i>	40
Gambar III.3 <i>Beam tool</i> untuk mendefinisikan ukuran profil pada <i>beam element</i>	41
Gambar III.4 <i>Material Model Behavior</i>	42
Gambar III.5 <i>Material Linear Isotropic</i>	43
Gambar III.6 <i>Density of Material</i>	43
Gambar III.5 <i>Write Load Step</i>	44
Gambar III.6 <i>Solve Load Step</i>	45
Gambar III.7 <i>Coordinate System in Ansys</i>	46
Gambar III.8 <i>Toolbar</i> Pengaturan sistem koordinat	46
Gambar III.9 <i>Working Plane Setting</i>	47
Gambar III.10 <i>Toolbar View</i>	48
Gambar III.11 <i>Key Points</i>	48
Gambar III.12 Pembuatan model secara <i>Bottom Up</i>	48
Gambar III.13 Pembuatan model dengan <i>Top Down</i>	48
Gambar III.14 Mendefinisikan <i>Material Model Behaviour</i>	50
Gambar III.15 Menentukan Tipe Elemen	51
Gambar III.17 Macam proses <i>Meshing</i> di Ansys	52
Gambar III.18 <i>Mesh Tool</i>	52

Gambar III.19 <i>Loading Solution</i>	53
Gambar III.20 <i>Contour Nodal Solution</i>	54
Gambar III.21 <i>List Of Nodal Solution</i>	55
Gambar VI.1 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 1	56
Gambar IV. 2 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 1 - Variasi 1	57
Gambar VI.3 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 2	58
Gambar IV.4 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 1 - Variasi 2	58
Gambar VI.5 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 3	59
Gambar IV.6 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 1 - Variasi 3	59
Gambar VI.7 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 4	60
Gambar IV.8 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 1 - Variasi 4	61
Gambar VI.9 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 5	61
Gambar IV.10 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 1 - Variasi 5	62
Gambar VI.11 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 6	62
Gambar VI.11 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 6	63
Gambar IV.14 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 2 - Variasi 1	65
Gambar VI.15 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 2	65
Gambar IV.16 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 2 - Variasi 2	66
Gambar VI.17 Variasi letak pelat mata (<i>Eye plate</i>) 3	66
Gambar IV.18 Hasil <i>Running Nodal Solution</i> Blok 2 - Variasi 3	67

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 <i>Maximum displacement</i> Variasi 1	57
Tabel IV.2 <i>Maximum displacement</i> Variasi 2	58
Tabel IV.3 <i>Maximum displacement</i> Variasi 3	60
Tabel IV.4 <i>Maximum displacement</i> Variasi 4	61
Tabel IV.5 <i>Maximum displacement</i> Variasi 5	62
Tabel IV.6 <i>Maximum displacement</i> Variasi 6	63
Tabel IV.7 <i>Maximum displacement</i> Variasi 1	64
Tabel IV.8 <i>Maximum displacement</i> Variasi 2	65
Tabel IV.9 <i>Maximum displacement</i> Variasi 3	67

DAFTAR ISTILAH

$[k]$	= Matrik kekakuan elemen / global
$\{q\}$	= Displacemen simpul
$\{Q\}$	= Gaya simpul
$\{r\}$	= Vektor displacemen simpul
$\{R\}$	= Gaya simpul
δw	= Kerja Virtual
π	= Energi Potensial
(α)	= Nilai dari tangensial sudut
x_n	= koordinat pada masing-masing simpul
a_n	= koefisien dari fungsi <i>polynomial</i>
u	= Deformasi
C_0	= Company
ρ	= Massa jenis material (kg.m^{-3})
t	= Tebal material (mm)
l	= Panjang dari material setelah dikenai gaya (mm)
ε	= Regangan
E	= Modulus Young
ε_x	= Regangan tegak lurus garis las
ε_y	= Regangan searah garis las
ν	= Angka perbandingan poison
τ	= Tegangan geser
F_s	= Gaya (N)
A_s	= Luas bidang geser (m^2)
G	= Modulus geser
γ	= Regangan geser
M_0	= Momen bending
Q_0	= Gaya geser
Ω	= Angular distortion
w	= Distorsi
σ_y	= Tegangan yield

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini semakin banyak galangan-galangan kapal berskala menengah hingga besar yang pada proses produksinya telah menggunakan system blok. System ini memungkinkan kapal untuk diproduksi lebih cepat dibandingkan system produksi kapal sebelumnya yang harus memulai pekerjaan dari bagian bawah kapal (*keel*) terlebih dahulu. Pada system blok proses produksi kapal melibatkan penyambungan blok-blok untuk digabung menjadi sebuah kapal atau biasa disebut *erection*. Pada kebanyakan galangan kapal yang ada di Indonesia, kecenderungan untuk terjadi kesalahan teknis dan non teknis di dalam proses produksi masih cukup besar, salah satunya dikarenakan pengerjaannya masih belum memenuhi standar kerja yang berlaku berikut standar toleransi yang ada. Biasanya kesalahan pada proses *erection* berawal dari proses produksi sebelumnya atau *Assembly*, *Sub Assembly* dan bahkan pada tahap Fabrikasi. Namun dalam tugas akhir ini kami hanya fokus ke kesalahan yang terjadi pada proses *lifting block* yang terdapat pada tahap *Assembly* hingga *erection*. Karena dalam proses ini (*Lifting Block*) yaitu proses pengangkatan blok-blok bagian kapal dari bengkel *assembly* menuju *building berth* sering terjadi kesalahan teknis berupa perubahan bentuk (*deformation*). Pada kebanyakan galangan kapal, blok-blok yang diangkat masih berukuran kecil dan sederhana atau bisa disebut *Sub block*, namun tidak menutup kemungkinan terjadinya perubahan bentuk pada saat proses pengangkatan berlangsung.

Pada tugas akhir ini kami memilih dua buah blok yang strukturnya dirasa cukup mewakili sebagai bentuk blok dan ditunjang data yang ada pada *Accuracy Checksheet* di lapangan yang membuktikan adanya perubahan bentuk yang signifikan pada saat proses pengangkatan berlangsung. Pada proses pengangkatan blok ini akan di simulasikan kondisi pembebanan yang diterima oleh struktur pada saat proses pengangkatan berlangsung. Dari hasil simulasi diharapkan mampu menentukan letak-letak terjadinya deformasi dan bagaimana cara untuk memperkecilnya. Deformasi ini apabila tidak diatasi akan menimbulkan masalah pada tahap selanjutnya atau tahap *Erection*, masalah ini biasanya akan menambah jam kerja orang, menambah waktu produksi dan lain-lain yang akan merugikan pihak galangan sebagai Produsen kapal.

Perubahan bentuk atau yang biasa disebut deformasi ini sering terjadi pada blok produk antara *assembly* hingga *sub assembly* yang cenderung memiliki susunan konstruksi yang sederhana sehingga perubahan bentuk pada saat pengangkatan akan lebih mudah terjadi. Dan di zona itulah fokus tugas akhir kami yang berjudul "ANALISA TEKNIS PENGURANGAN RESIKO PERUBAHAN BENTUK PADA PROSES PENGANGKATAN BLOK".

Tujuan dari tugas akhir kami yaitu berusaha menentukan penempatan *eye plate* yang mampu meminimalkan perubahan bentuk berdasarkan teori produksi kapal dan perhitungan metode elemen hingga dan kemudian mensimulasikan bentuk blok-blok tersebut yang apabila diangkat dengan standar kerja yang berlaku dan kondisi pembebanan yang sedemikian rupa dengan menggunakan software analisa struktur Ansys 9.0. Mengapa kami pilih Ansys, karena Ansys memiliki dua jenis output yang keduanya dapat saling menguatkan, yaitu *Output Grafis* dan dalam Bentuk *List Nodal Solution*. Sehingga memudahkan untuk melihat besar dan letak perubahan bentuk yang terjadi pada setiap hasil simulasi khususnya dalam hal ini simulasi pengangkatan blok dengan memvariasikan posisi *eye plates* nya.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan latar belakang masalah seperti diatas maka masalah yang ingin dipecahkan adalah :

1. Bagaimana cara memperkirakan letak dan besar perubahan bentuk yang terjadi pada saat pengangkatan blok ?
2. Bagaimana cara mencegah terjadinya perubahan bentuk (*Deformation*) pada proses pengangkatan (*Lifting*) blok ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Memperkirakan letak dan besarnya perubahan bentuk pada proses pengangkatan blok.
2. Menentukan cara mencegah terjadinya perubahan bentuk (*Deformation*) pada proses pengangkatan (*Lifting*) blok.

1.4 Pembatasan Masalah

Batasan – batasan masalah yang diberikan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Blok yang dianalisa dipilih pada proses *assembly* hingga *subassembly* pembangunan kapal tanker 6500 LTDW MT.Vanda, di PT.Dok & Perkapalan, Surabaya, sebanyak 2 buah dengan berat masing-masing 18,26 dan 22,03 Ton
2. Blok diangkat dengan memvariasikan 6 set posisi *eye plate* yang masing-masing set berjumlah 4 *piece eye plate*.
3. Jarak dari *hook* ke permukaan blok terdekat dibuat sama yaitu 5 meter.
4. Pemberian penguat diberikan bila terjadi perubahan bentuk yang melebihi standar toleransi yang berlaku.
5. Masalah ekonomis tidak dibahas dan dihitung dalam tugas akhir ini.

1.5 Manfaat

Manfaat secara langsung dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

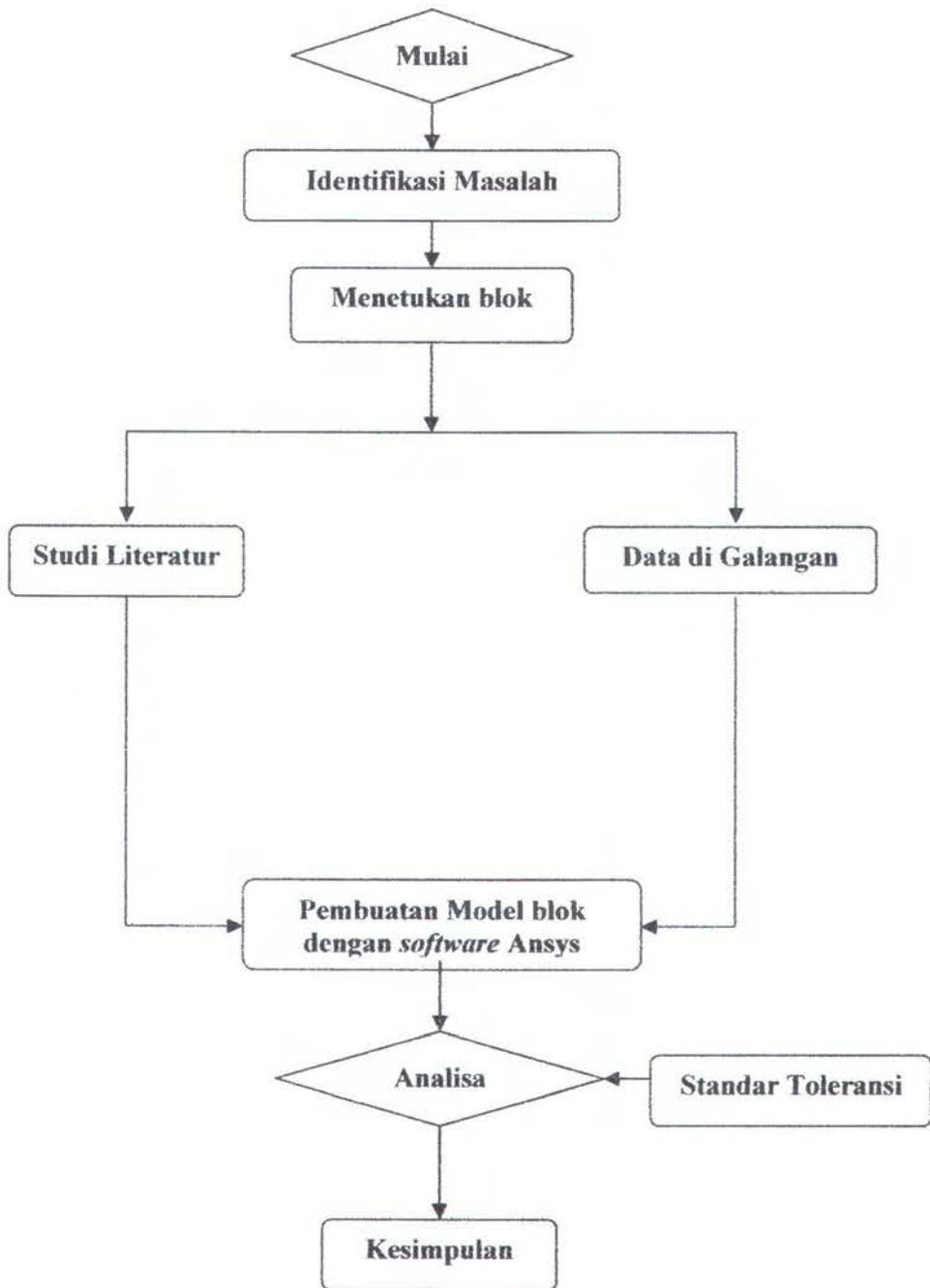
1. Dapat memperkirakan dimana letak struktur yang mudah terjadi perubahan bentuk pada proses pengangkatannya.
2. Bagi pihak galangan, maka penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk menentukan posisi penguatan sebagai cara untuk mencegah terjadinya perubahan bentuk pada proses pengangkatan blok.

1.6 Hipotesis

Dengan menerapkan cara pengangkatan blok dan peletakan penguat yang benar, resiko perubahan bentuk dapat dikurangi.

1.7 Metodologi

Urutan pelaksanaan pemodelan yang akan dilakukan adalah mengikuti diagram alir sebagai berikut :



Gambar 1.1 Diagram Alir Metodologi

Proses pengerjaan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis berdasarkan urutan kerja yang dilakukan oleh penulis

a. Identifikasi Masalah

Penulis mendapatkan sebuah permasalahan dari seorang teman yang bekerja di sebuah galangan kapal di Indonesia berupa masalah perubahan bentuk yang terjadi akibat proses pengangkatan blok khususnya blok bangunan atas yang memiliki tebal pelat lebih tipis dari keseluruhan tebal pelat yang ada di kapal. Kemudian didapatkan suatu inti titik permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yaitu Bagaimana cara mengurangi resiko terjadinya perubahan bentuk pada saat proses pengangkatan blok.

b. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui teori-teori dasar yang menunjang dalam penulisan tugas akhir dan sebagai acuan dalam menyusun semua hipotesa dan kesimpulan yang akan diambil. Studi literatur berfungsi sebagai bekal dan pengetahuan awal untuk menentukan arah pengerjaan tugas akhir ini. Dalam studi literatur ini juga digunakan untuk mencari data tentang dasar teori elemen hingga, teori deformasi plat dan teori produksi kapal (*Ship Production*) dan analisa struktur dengan *Software Ansys*.

b. Data di galangan

Proses pengumpulan data untuk melakukan analisa pada tugas akhir ini di lakukan di galangan kapal PT.Dok & Perkapalan, Surabaya. Data berupa gambar detail beberapa blok, *Accuracy Checksheet Block-nya* dan *Block Division*.

c. Pembuatan model dengan menggunakan program komputer ANSYS

Tugas Akhir ini menggunakan bantuan software Ansys untuk pengujian yang akan dilakukan. Untuk itu pertama kali yang harus dilakukan adalah pembuatan model yang akan digunakan. Model yang sudah jadi kemudian dibagi menjadi elemen-elemen kecil untuk memudahkan dalam proses meshing dalam ansys dan perhitungan selanjutnya. Secara umum langkah-langkah yang harus dilakukan dalam Ansys adalah sebagai berikut di bawah ini :

- Penggambaran model ANSYS sesuai dengan standar yang digunakan.
- Menentukan *material properties*.
- *Meshing* (pembuatan elemen).
- Pemberian displacemen (tumpuan) pada model sesuai standar.
- Pemberian beban pada model
- *Running* model yang telah lengkap

d. Analisa dengan program ANSYS

Analisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini yaitu analisa struktural. Analisa struktural yang akan digunakan mampu memprediksi gejala perubahan bentuk pada simulasi pembebanan proses pengangkatan blok. Karena dalam hasil analisa Ansys bisa di dapat 2 model pencitraan, secara grafis dan list. Dalam analisa ini dipilih Grafis karena untuk mengetahui letak dan besar perubahan bentuk yang terjadi saat *lifting block*.

1. Validasi Model

Untuk menjamin bahwa permodelan yang dilakukan sudah benar maka validasi model dilakukan dengan mengacu pada perbandingan total berat blok antara blok sesungguhnya dan blok hasil pemodelan dengan Ansys. Selisih berat tidak boleh terlalu besar, dengan toleransi sebesar 10%. Setelah model dipastikan Valid baru dilakukan proses selanjutnya yaitu simulasi pengangkatan blok.

2. Simulasi model blok

Setelah model dinyatakan valid maka tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi pengangkatan blok dengan memvariasikan penempatan eye platenya. Variasi ini digunakan untuk mengetahui posisi eye plate mana yang menghasilkan

pembebanan paling merata sehingga blok yang diangkat tidak mengalami pembebanan terpusat yang cukup besar sehingga mengakibatkan perubahan bentuk /deformasi. Setelah di dapatkan hasil dari simulasi pengangkatan blok, selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi tersebut dan dipilih yang hasilnya terkecil untuk skenario pengangkatan blok sesungguhnya di galangan.

e. Penarikan Kesimpulan Dan Saran.

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisa yang telah dilakukan, maka kesimpulan dapat diambil dan juga dapat ditentukan saran-saran yang dapat membantu untuk mendapatkan cara pengangkatan blok yang menghasilkan perubahan bentuk seminimal mungkin.

Sistematika Pembahasan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dibuat sistematika pembahasan sebagai berikut :

Lembar Judul
Lembar Pengesahan
Abstrak
Kata Pengantar
Daftar Isi
Daftar Gambar
Daftar tabel

BAB I. PENDAHULUAN

Berisikan konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika pembahasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini penulis meninjau penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya baik dari jurnal, tugas akhir, ataupun tesis yang berkaitan dengan perubahan bentuk pada proses lifting block. Dasar teori yang digunakan dalam bab ini berupa konsep dasar teknologi pembangunan kapal (*Ship Production*), konsep dasar metode elemen hingga, *Ansys Guide* dan teori deformasi struktur logam.

BAB III PERANCANGAN MODEL

Berisikan langkah-langkah pembuatan model, penentuan elemen, penentuan *material properties*, sistematika dan peralatan yang digunakan untuk melakukan analisa dan simulasi.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil-hasil yang diperoleh dari simulasi pengangkatan model blok dengan menggunakan Ansys, hasil analisa berdasarkan teori dan data yang dipakai sebagai acuan dari penulisan tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan dari hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam tugas akhir ini.

Daftar Pustaka
Lampiran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Pembangunan Teknologi Produksi Kapal

Dasar pembangunan teknologi produksi kapal dapat dibagi menjadi empat tahapan, berdasarkan teknologi yang digunakan pada proses *construction* dan *outfitting* (Chirillo, 1993). Adapun tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

A. *Conventional Construction and Outfitting*

Tahapan pertama ini diberi nama tahapan *system* karena pekerjaan produksi terpusat pada masing-masing *system* fungsional. Kapal direncanakan dan dibangun sebagai suatu *system*. Pertama lunas diletakkan, kemudian gading-gading dipasang dan kulitnya, bidang badan kapal (*Hull*) hampir selesai, pekerjaan *outfitting* dimulai. Pekerjaan *outfitting* direncanakan dan dikerjakan dari *system* ke *system*, seperti pemasangan ventilasi, *system* pipa, mesin dan listrik. Pengorganisasian pekerjaan *system* demi *system* merupakan halangan untuk mencapai produktifitas yang tinggi. Mengatur dan mengawasi pekerjaan pembangunan kapal menggunakan ratusan pekerja adalah sangat sulit. Kegagalan seorang pekerja dalam menyelesaikan suatu pekerjaan yang diperlukan oleh pekerja lain sering mengakibatkan *overtime* untuk pekerja tersebut. Selain hampir semua aktifitas produksi dikerjakan di *Building Berth* pada posisi yang sulit, semua keadaan diatas pada prinsipnya sangat menghalangi usaha-usaha untuk meningkatkan produktifitas.

B. *Hull Block Construction Method and Pre Outfitting*

Tahapan ini dimulai dengan dipakainya teknologi pengelasan pada pembuatan kapal. Proses pembuatan kapal menjadi pembuatan *Block-block* atau seksi-seksi yang dilas, seperti seksi geladak dan kulit dll, yang kemudian dirakit menjadi badan kapal. Perubahan ini diikuti dengan perubahan pada pekerjaan sudah jadi, perubahan ini dikenal dengan sebutan "*Pre Outfitting*". Tahapan kedua ini masih memperhitungkan tahapan tradisional, karena *design* dan material definisinya masih dikerjakan secara *system* demi *system*. Sedangkan proses produksinya diorganisasi berdasarkan *zone*, sehingga tahapan ini juga dikenal dengan tahapan *system* (*stage*). Karena adanya aspek yang bertentangan antara perencanaan dan pengerjaannya, banyak kesempatan untuk memperbaiki produktifitas tidak dapat dilakukan. Dengan metode ini, kualitas hasil pekerjaan akan lebih baik, karena volume pekerjaan di *building berth* menjadi berkurang dan pekerjaan pengelasan banyak dilakukan di bengkel dengan kondisi lingkungan kerja yang lebih nyaman. Pekerjaan pengelasan sudah mulai dilakukan dengan mesin las semi otomatis dengan posisi mendatar (*Down hand*), sehingga pekerjaan pengelasan posisi diatas kepala (*Overhead*) dapat dikurangi.

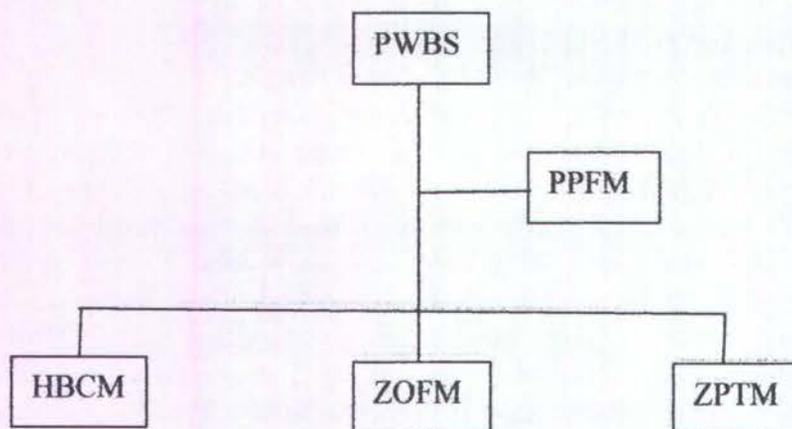
C. *Process Lane Hull Construction and Zone Outfitting*

Tahapan berikut ini diberi nama "*Zone / Area*". Kebanyakan galangan di Jepang dan Eropa menggunakan *system* ini, evolusi dari teknologi pembangunan kapal *modern* dari metode tradisional dimulai pada tahap ini. *Process Lane* dari segi produktifitas adalah suatu seri "*Work Station*" yang dilengkapi dengan fasilitas produksi (Mesin, peralatan dan tenaga kerja dengan keahlian khusus) untuk membuat suatu kelompok produk yang mempunyai keragaman dalam proses produksinya. Suatu contoh pengelompokan adalah sebagai berikut pertama adalah *process lane* untuk *subassembly* bentuk yang datar, kedua untuk *subassembly* bentuk yang mempunyai kelengkungan dan ketiga untuk bentuk-bentuk yang kompleks. Dengan pengelompokan seperti ini berarti galangan

mengelompokkan proses produksi berdasarkan kesamaan fungsi proses produksinya yang memungkinkan pekerja berpengalaman menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan di *work station* tempat mereka bekerja, ini adalah suatu faktor yang penting untuk mencapai produktifitas yang tinggi. *Zone Outfitting* adalah teknologi kedua yang membedakan tahapan ini dan metode tradisional. Istilah "*Zone Outfitting*" berarti membagi pekerjaan ini menjadi "*Region / Zone*" tidak berdasarkan system fungsinya. Karakteristik berikut dari metode ini adalah dibaginya pekerjaan *Outfitting* menjadi tiga tahapan yaitu :

- *On Unit* : Pekerjaan *outfitting* komponen-komponen badan kapal pada tahap *assembly*
- *On Block* : *Outfitting* yang dilakukan pada penyambungan *block* badan kapal
- *On Board* : Pekerjaan *Outfitting* pada tahap *erection* dan setelah peluncuran

Galangan *modern* secara sistematis berusaha meminimalkan pekerjaan *Outfitting on board*. Pada tahap ini, proses produksi sudah terkonsentrasi pada bengkel-bengkel dan volume pekerjaan pada *building berth* semakin kecil. Penggunaan teknologi ini sudah mensyaratkan diterapkannya *system Accuracy Control*, disetiap proses produksi untuk menjamin ketepatan bentuk dan dimensi dari seluruh bentuk bagian konstruksi pada daerah sambungan *block*. Lingkup pekerjaan dapat dikelompokkan seperti gambar 2.1 :



HBCM : *Hull Block Construction Method*

ZOFM : *Zone Outfitting Method*

ZPTM : *Zone Painting Method*

PPFM : *Pipe Piece Family Manufacturing*

Gambar II.1 Komponen *Product Oriented Work Breakdown Structure*

D. *Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)*

Tahapan keempat ini merupakan teknologi yang paling mutakhir dalam pembangunan kapal, dimana proses pembuatan badan kapal (*Hull Construction*) sudah terintegrasikan secara maksimal dengan pekerjaan perlengkapan kapal (*Outfitting*) dan pengecatan (*Painting*) pada setiap *Zone/Area/Stage*. Teknologi ini merupakan pengembangan dari teknologi produksi tahapan ketiga, dengan semakin sempurnanya standar-standar kerja dan semakin konsistennya proses produksi.

Teknologi IHOP mensyaratkan suatu *build strategy* yang matang dan kemampuan *planning* dan *scheduling* yang sangat tinggi dan rasional, berdasarkan kondisi potensi sumber daya galangan yang ada. Pada tahap ini, *system accuracy control* bukan hanya mutlak dilaksanakan secara sempurna dan menyeluruh, tetapi juga menuntut kesempurnaan *design engineering* dan standar-standar kerjanya. Dengan demikian kegiatan produksi berlangsung secara konsisten dan sempurna, dengan tingkat kesalahan dan penyimpangan yang sangat kecil.

2.2. Block Division (Pembagian Blok)

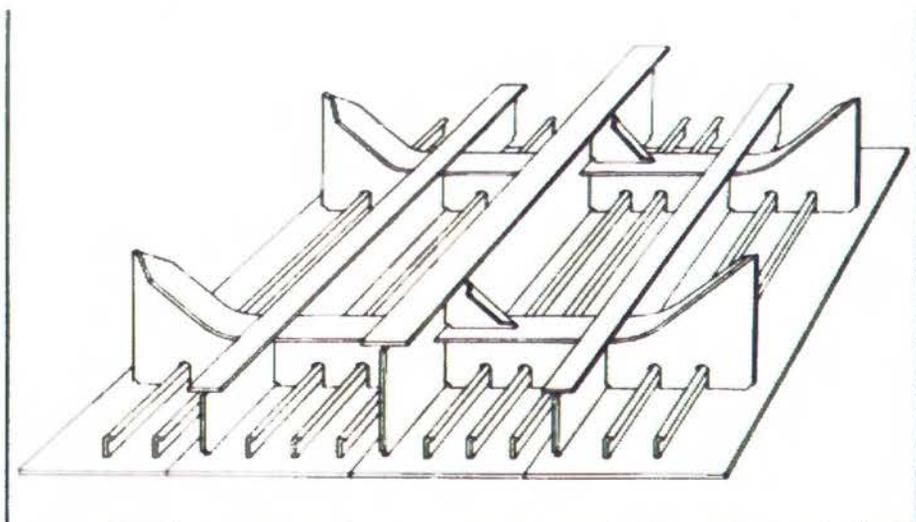
2.2.1. Gambaran Umum

Tujuan utama dari metode pembangunan blok adalah suatu upaya bagaimana agar beban pembangunan kapal pada *building berth (Dock)* dapat lebih ringan dan waktu pembangunannya dapat lebih singkat. Dari suatu lambung kapal dibagi menjadi beberapa puluh atau beberapa ratus blok (tergantung dari ukuran blok) dan dirakit / diassembling di bengkel *assembly*. Pembagian blok tersebut mengacu dari perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya berdasarkan unit-unit *assembly*, dengan kata lain pembagian blok (*block division*) ini akan menentukan banyaknya jumlah unit-unit blok yang akan di loading / diturunkan. Oleh karena itu, mengapa beberapa blok pembangunannya dilaksanakan secara kombinasi dalam bentuk suatu *Grand Assembly*, yaitu suatu proses *assembly* di darat dan *erection* di *building berth / graving dock*, sehingga dalam hal ini unit-unit *assembly* akan berbeda dengan *unit-unit erection*.

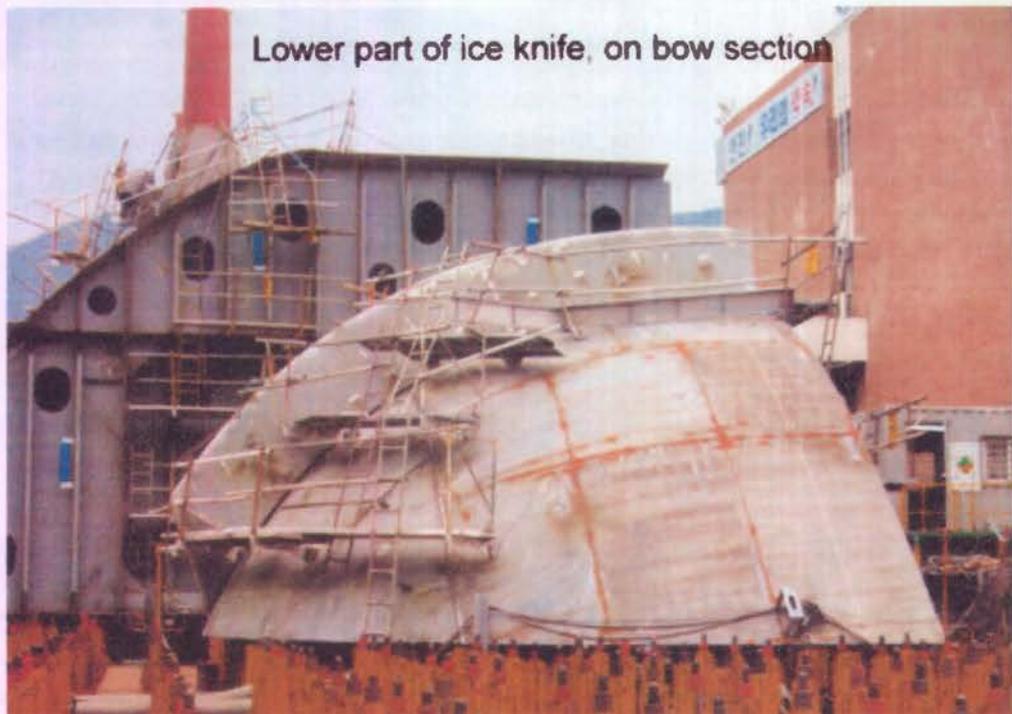
2.2.2. Beberapa Tipe atau Bentuk Dari Blok

Meskipun ada banyak tipe blok-blok yang sangat dipengaruhi dari ukuran dan bentuknya namun tipe / bentuk blok-blok tersebut secara kasar dapat dikelompokkan sebagai berikut :

Pada struktur lambung, jumlah dari *flat block* lebih banyak dari pada jumlah dari pada jumlah *cubic block*. Kedua tipe blok terbuat dari material-material kulit dan struktur komponen-komponen yang berkaitan, sedangkan *cubic block* merupakan suatu kombinasi yang *solid* dari beberapa *flat blocks* dan *curved blocks*.



Gambar II.2 Contoh dari sebuah *Flat block (Upper Deck Block)*



Gambar II.3 Contoh dari sebuah *Curved Block*

2.2.3. Kondisi Yang Optimum Untuk Pembagian Blok

Pembagian blok tersebut didasarkan pada pembangunan sesuai *shipbuilding line chart* (SBLC), yaitu lama waktu pembangunan, metode pembangunan, spesifikasi kapal, gambar-gambar rancang bangun / *basic design* (gambar rencana umum, gambar potongan melintang di tengah-tengah kapal, gambar sekat melintang kapal dan beberapa gambar-gambar lain yang sesuai dengan kontrak) dan kapasitas peralatan dari galangan kapal tersebut.

Blok-blok tersebut biasanya dibagi dan dihitung dengan ukuran yang sesuai untuk mendapatkan keadaan-keadaan sebagai berikut :

- a) Titik awal dimulainya *erection*
- b) Kapasitas *crane* di bengkel *Assembly* dan Bengkel *Erection*
- c) Keadaan-keadaan pada tahap *assembly*
- d) Keadaan-keadaan permukaan pelat pada waktu pemutaran bok di bengkel *Assembly*
- e) Keadaan-keadaan selama pembangunan di Dok / *Building Berth*
- f) Keadaan-keadaan yang berhubungan dengan pekerjaan *outfitting*
- g) Dan lain-lain

Beberapa keadaan ini kadang-kadang satu dengan yang lainnya saling bertentangan, sehingga tidak semua keadaan optimum tersebut dapat selalu ditemukan. Kesulitan-kesulitan didalam pembagian blok terletak pada kebutuhan untuk memilih antara memenuhi atau mengabaikan kondisi-kondisi tersebut diatas, disesuaikan dengan kepentingan galangan atau bangunannya.

2.2.3.1. Menetapkan titik awal dari erection

Langkah pertama dalam pembagian / division adalah menetapkan blok mana yang akan diturunkan lebih dahulu untuk setiap konstruksi. Oleh karena itu setiap galangan menggunakan metode-metode pembangunan yang berbeda, maka ada beberapa kegiatan tersebut dan masing-masing dinamakan sebagai berikut :

- a) *Erection* dengan satu titik (*One Point Erection*)
- b) *Erection* dengan lebih dari satu titik (*Multiple Point Erection*)
- c) Pembangunan secara berlapis
- d) *Assembly* seksi
- e) Dan lain-lain

Titik dimulainya *erection* ditentukan oleh gambaran utilitas dari setiap galangan. Biasanya dalam kaitannya dengan keinginan untuk mengawasi pekerjaan *outfitting* di bagian belakang kapal (*stern part*) dan kamar mesin, maka ditentukan satu titik awal *erection*nya di bagian blok kamar mesin atau bagian dari blok kamar mesin tersebut dibagian sisi depan.

2.2.3.2. Menetapkan kapasitas crane

1) Kapasitas crane pada area assembly

Dalam galangan kapal besar, crane-crane, ban berjalan (*conveyor*) dan alat-alat transportasi yang digunakan di area *assembly* mempunyai kapasitas yang lebih dari pada berat blok-blok yang direncanakan, sehingga pembatasan pembagian blok relatif kecil. Galangan-galangan kapal yang ada saat ini saling mengembangkan ukuran kapal-kapal yang akan dibangun dan telah mengijinkan peningkatan berat blok, sehingga kapasitas *crane* di area *assembly* menjadi faktor utama. Dalam hal ini, perlu mempertimbangkan kondisi-kondisi cara pengangkatan dengan bermacam-macam crane, ketinggian pengangkatan, dan faktor-faktor lain dalam menentukan berat blok-blok dan dimensinya yang maksimum.

2) Kapasitas crane di tempat pembangunan kapal

Di galangan - galangan kapal besar dan *modern*, dok - doknya dilengkapi dengan *Goliath Crane (Gantry Crane)* yang bisa memindahkan blok-blok melebihi kapasitas dari *crane* dok yang biasanya ada. Sehingga berat maksimum blok yang akan diangkut dapat disesuaikan dengan berat pembagian blok. Dalam hal ini jarang kapasitas *crane* menjadi faktor pembatas pembuatan blok di area *assembly* (perakitan). Faktor utama biasanya berat maksimum dari blok-blok raksasa di area *grand assembly*. Pada galangan-galangan kapal yang mempunyai *Jib Crane* disekitar tempat pembangunan kapal, perlu sebuah diagram tata letak (*layout*) *crane* yang akurat dan mempertimbangkan kapasitas angkatnya. Harus ada perhatian khusus masalah keamanan ketika menggunakan dua *crane* atau lebih untuk mengangkat sebuah blok dengan memperhitungkan titik gravitasinya.

2.2.3.3. Kondisi untuk pembangunan dan rotasi pada basis assembly

Pertama untuk menjaga akurasi blok dalam fabrikasi, perlu membuat bentuk blok sehingga blok-blok itu tidak deformasi selama assembly.

Kedua, Suatu metode pembagian yang perlu membuat penguat utama ketika pemindahan dan pembalikan blok-blok tidak diijinkan. Ini tidak perlu merubah ukuran blok-blok, sebaliknya pengikatan sebuah struktur terpisah mungkin memperkuat sebuah blok, sehingga penguat tidak diperlukan. Ini suatu yang harus dipertimbangkan secara hati-hati pada gambar. Contoh, apabila *deck beam* dibagi oleh sebuah *bulkhead*, *deck beam* mungkin memerlukan penguat ketika pemindahan atau pembalikan tanpa diikat *bulkhead*. Dalam hal seperti ini, perencanaan harus dapat dibuat mengikat *bulkhead* ke *deck* sehingga tidak perlu membuat penguat. Sebagai suatu kondisi untuk rotasi pada plat permukaan, bentuk dari blok-blok dalam seksi paralel harus dibuat semirip mungkin, sehingga

sejumlah dari keperluan kerja untuk setiap blok kurang lebih adalah rata. Sama adalah benar untuk struktur-struktur seksi haluan dan seksi buritan, yaitu blok-blok yang bentuknya semirip mungkin harus dirakit pada basis yang sama. Ini membuat pemerataan dari sejumlah keperluan pekerjaan untuk setiap blok menjadi mudah. Dalam beberapa hal, supaya memperbaiki penggunaan rasio dari basis-basis *assembly*, dimensi-dimensi maksimum dari blok-blok ditetapkan sebelumnya sehingga blok-blok akan tepat dalam mengatur dimensi dasar. Sebagai suatu hasil, ini perlu membagi blok-blok sehingga bertemu kondisi-kondisi ini. Lebih jauh, dari konsep perpindahan sebanyak mungkin pekerjaan *erection* ke pekerjaan lapangan (*yard*), ini lebih menguntungkan untuk membuat blok-blok sebesar mungkin, akan tetapi jika blok-blok dibuat terlalu besar kemudian rasio pelaksanaan di lapangan akan jatuh / rendah.

Untuk mengatasi problem-problem seperti diatas, maka blok-blok yang telah selesai di tempat *assembly* tersebut dipindahkan ke tempat *grand assembly* yang dekat dengan tempat pembangunan kapal atau dok / *building berth*. Dimana blok-blok tersebut selanjutnya dirakit menjadi bentuk blok-blok yang lebih besar lagi.

- a) Ini harus mempermudah menjaga bentuk dan akurasi blok-blok
- b) Akurasi dapat diperbaiki dengan melaksanakan *single-line butts* (pada pelat kulit dan *stiffenery in line*).
- c) Blok-blok harus dibuat sampai mendekati bentuk persegi, sehingga usaha untuk menjaga akurasi bentuk-bentuk blok lebih sederhana dan selain itu kemungkinan masih ada "*dead space*" kecil dalam tahap proses *assembly* ini.
- d) Blok-blok harus dibagi sesuai dengan fasilitas *welding automatization* keselamatan kerja di *assembly*
- e) Bentuk-bentuk blok dan ukurannya sedapat mungkin harus dibuat agar dapat tertutup secara bersama-sama, sehingga jumlah dari pekerjaan dapat diatur secara merata (panjang dari blok harus terdiri dari beberapa panjang tanki atau beberapa jarak gading)
- f) Hindari bentuk pembagian blok yang memerlukan penguat pada saat diangkat dengan *crane*.
- g) Bentuk dan ukuran dalam pembagian blok harus tepat benar (*fixed*) terhadap *equipment* dan kapasitas (*dimention*) mesin-mesin dari berbagai macam bengkel yang memprosesnya.
- h) Harus diperhatikan dengan mempertimbangkan ketinggian kemampuan daya angkat *crane*, pembalikan blok-blok dan cara keluar dari bengkel pada saat menentukan ukuran-ukuran blok tersebut.
- i) Agar dipersiapkan sarana untuk tempat penyimpanan blok sementara (*block stock*) dan bila mungkin agar blok-blok tersebut ditumpuk.
- j) Bila blok-blok tersebut disubkontrakkan, agar diyakinkan bahwa kapasitas pabrik dari subkontraktor dan rute penyerahan blok-blok tersebut dapat dilaksanakan dengan kondisi yang singkat.

2.2.3.4. Kondisi-kondisi fabrikasi yang perlu diperhatikan pada *building berth*

- a) Penghematan waktu untuk menuaikan blok

Bentuk blok harus disesuaikan dengan perlengkapan yang dapat menghemat waktu penggunaan *crane* pada saat menurunkan blok-blok tersebut. Oleh karena itu, blok-blok harus dibagi sedemikian rupa sehingga tetap stabil pada saat diturunkan.

- b) Disederhanakan cara penempatannya

Diusahakan penempatan blok dapat lebih dipercepat dan bentuk lambung dijaga agar tetap / akurat. Sebab pembagian blok tersebut dapat mempengaruhi hasil ukuran utama kapal (misalnya panjang, lebar, dan tinggi kapal), sehingga harus dipertimbangkan benar secara hati-hati pada saat perencanaan.

c) Penghematan kerja di dalam dok / *building berth*.

Dalam kaitannya untuk menghemat kerja didalam dok / *building berth*, maka pekerjaan yang diperlukan untuk penyambungan-penyambungan blok harus dapat dikurangi. Metode yang lainnya adalah dengan membangun blok-blok yang lebih besar yang masih memungkinkan.

d) Diciptakan lingkungan kerja yang baik

Diusahakan untuk menghilangkan penyambungan-penyambungan blok yang sulit dilaksanakan di dalam dok / *building berth*, misalnya pekerjaan yang harus dilaksanakan dengan posisi *overhead*, bekerja ditempat yang sangat tinggi, sangat sempit dan sebagainya. Untuk lebih jelasnya, bila penyambungan – penyambungan berada dilokasi sumur bilga, ruang muat kapal (*hold bilge well*) dari kapal cargo atau di dalam tanki kecil (*small tank*) di dalam dasar ganda dari kamar mesin, maka sangat sulit bagi pekerja untuk masuk di dalam ruangan tersebut atau bila memungkinkan agar diberi ventilasi yang cukup. Oleh karena itu, dengan penyesuaian posisi-posisi penyambungan, maka akan memungkinkan untuk diutilisasikan bagian-bagian dari bangunan lambung kapal untuk suatu pekerjaan di lantai / *floor*, sehingga peralatan *scaffolding* menjadi tidak diperlukan lagi. Hal-hal yang demikian tadi akan dipertimbangkan dengan sangat hati-hati pada saat melakukan pembagian blok-blok tersebut.

2.3. Jaringan Kerja Erection (*Network Of Erection*)

2.3.1. Gambaran Umum

Jaringan kerja erection blok dapat ditentukan, setelah didapatkannya :

- a. Pembagian blok (*Block Division*)
- b. Metode pembangunannya (Sistem Perakitannya)
- c. Lokasi pembangunan.
- d. Periode waktu pemakaian *building berth* dan rata-rata kesenjangan dari blok-blok yang dikerjakan dengan sistem perakitan besar / *Grand assembly*.
- e. Dan lain-lain

Yang mana jaringan kerja ini menjelaskan tentang urutan dan tenggang waktu pembebanan blok konstruksi.

Hal-hal penting selama pelaksanaan proses pembuatan ini adalah :

1. Harus diyakini bahwa penentuan urutan dan tenggang waktu erectionnya, supaya memenuhi terhadap “Kurva berat pembebanan”, dengan kata lain, agar diyakinkan bahwa kurva beban kerja dan kurva beban kerja *erection* adalah seimbang dan harus dijaga bahwa proses kemajuan pekerjaan supaya berlangsung lancar.

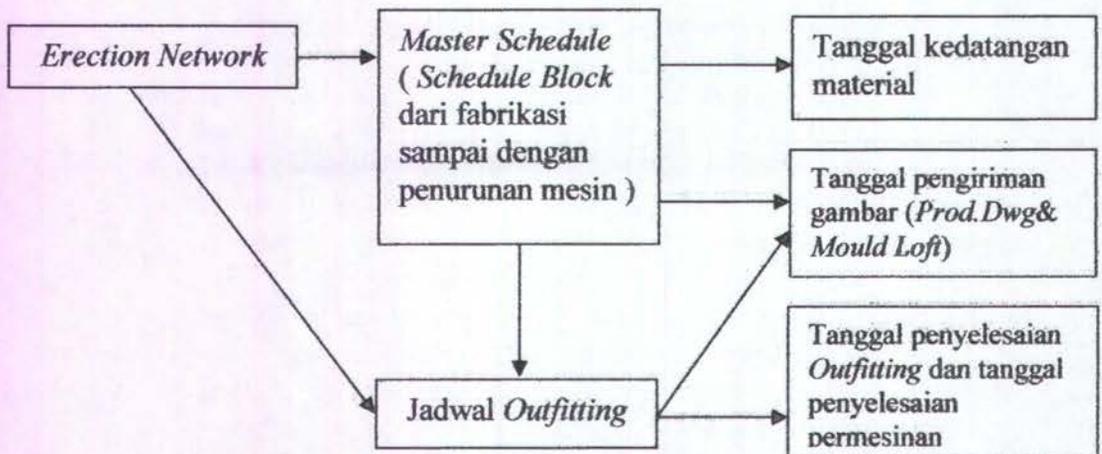
Dalam hal ini, maka hal-hal yang terbaik akan dicapai apabila blok-blok yang bentuknya sejajar dan bentuknya lengkung harus secara jelas saling dibedakan baik penggunaannya maupun perlakuan dalam proses selanjutnya.

2. Agar beban kerja dapat diselaraskan, maka harus dipertimbangkan tentang cara-cara dan metode yang berkaitan dengan sistem sbb :

- a. Titik tunggal *erection* blok
 - b. *Erection* blok dengan banyak titik
 - c. *Erection* blok dengan jalan bertingkat (*Multi Deck*)
 - d. *Erection* dengan cara menggunakan blok sisipan (*Insert Block*)
3. Harus ditentukan pula hal-hal yang berkaitan dengan proses pekerjaan lain, seperti :
 - a. Pekerjaan pelurusan poros mesin
 - b. Tanggal selesainya pekerjaan *erection* blok sendiri
 - c. Hal-hal pokok lainnya
 4. *Interval* pembebanan blok harus disesuaikan dengan penentuan posisi (*adjusting*), pemasangan, pengelasan dan pembebanan blok dan banyaknya blok yang akan ditegakkan pada setiap harinya.
 5. Harus mempertimbangkan pula terhadap jumlah berapa banyaknya *crane* (alat angkat) yang dipergunakan di galangan. Dan untuk urutan *erection* blok konstruksi, harus dipertimbangkan terhadap hal-hal sebagai berikut :
 - a. Tanggal dibuatnya / dirakitnya blok konstruksi tersebut, urutan dan tanggal perlengkapan-perengkapan kapal yang berukuran besar akan diletakkan diatas kapal, dll.
 - b. Kesenjangan dan tanggung jawab dari pelaksanaan pekerjaan-pekerjaan perakitan besar (*Grand Assembly*)
 - c. Blok-blok konstruksi yang akan direksi pertama kali dan blok konstruksi yang akan dilakukan penyisipan terakhir
 - d. Jumlah blok (yang dibebankan, dilakukan perakitan besar dan dilaksanakan perakitan biasa)
 - e. Kolom-kolom sementara untuk plat kulit (pada kapal khusus)

2.3.2. Jaringan kerja *erection*, jadwal perencanaan dan tanggal penyelesaian.

Jaringan kerja penurunan blok merupakan suatu hal yang penting yang digunakan sebagai referensi untuk menentukan *overhaul* jadwal keseluruhan pada pembangunan sebuah kapal baru sampai dengan peluncuran, dan untuk menentukan tanggal penyerahan dari material dan permesinan.



Gambar II.4 Flowchart Jaringan Kerja *Erection*

2.3.3. Metode Pengembangan

Jika pembangunan sebuah kapal *single* telah dipertimbangkan, selanjutnya dikembangkan dengan dimulainya pekerjaan *erection* dengan suatu blok yang sudah tetap dalam kondisi di *install*, kemudian pembangunan dilanjutkan kearah memanjang,

kearah horisontal dan kearah vertikal. Kemudian bagaimana pengembangan tersebut berlanjut akan sangat tergantung pada pengembangan yang akan dibahas ini, yang merupakan titik fokus dimana pengembangan tersebut dibagi kedalam beberapa metode berikut ini :

- a. Metode Berlapis (*Layered Method*)
Metode ini mempunyai fokus pada pengembangan ke arah memanjang
- b. Metode Potongan (*Sliced Method*)
Metode ini mempunyai fokus pada pengembangan ke arah vertikal
- c. Metode Piramida (*Pyramidal Method*)
Merupakan sebuah kombinasi dari pengembangan ke arah memanjang dan vertikal
- d. Selain dari metode di atas, juga dikarenakan tergantung pada jumlah dari permulaan awal blok dan lokasinya, maka *erection* kapal dapat dibagi kedalam metode *erection* dengan “metode satu titik” dan *erection* dengan “metode banyak titik”.

Metode yang digunakan akan dikembangkan tergantung pada konsep pembangunan dari galangan, kondisi-kondisi yang mempengaruhinya, periode pembangunan, pembagian secara merata dari beban kerja dan sebagainya.

Erection dengan “metode piramidal” dan *erection* dengan “metode banyak titik” seperti yang secara umum telah digunakan dan dipakai di galangan Mitsui *Engineering & Shipbuilding, & Co.*, di Tamano Chiba, Jepang, akan digambarkan sebagai berikut :

- a) Metode Pyramidal
Metode ini merupakan sebuah kombinasi dari “metode berlapis” (*Layered Method*) dengan “metode potongan” (*Sliced Method*) dan dipergunakan kelebihan-kelebihan dari kedua metode tersebut dengan metode tersebut dengan menghilangkan kekurangan-kekurangannya. Dalam beberapa tahun ini metode ini menjadi hal yang biasa. Gambar dibawah ini menunjukkan status penurunan blok setelah n hari kalender dari saat *keel laying*. Dalam metode ini, blok-blok dasar dengan segera diturunkan setelah *keel laying* dilaksanakan , dan keadaan ini menyebabkan berkurangnya waktu luang yang terjadi. Selanjutnya blok-blok sekat diturunkan, kemudian blok kulit dan *upper deck* diturunkan. Apabila perlu mempertimbangkan ukuran secara akurat, perlu dijaga keakurasian bentuk dari lambung dan lingkungan kerja disekitarnya, dsb. Penggeseran blok antara sekat dan pelat kulit dan antara pelat kulit dan *upper deck* harus dilaksanakan dengan sekitar 3 atau 4 blok unit. Setiap galangan harus menemukan berapa jumlah blok menggeser optimum yang bisa dilakukan, dan akan dipakai untuk memperkirakan kapasitas produksi.
- b) Metode *erection* dengan banyak titik
Meskipun metode berlapis sangat efektif untuk membuat beban pekerjaan merata pada proses *assembly* dan penurunan blok, bila puncak pembebanannya sama, maka periode pembangunannya akan sama pula jika menggunakan metode potongan. Oleh karena itu jika puncak pembebanannya diperpendek dengan maksud untuk mengurangi waktu pembangunan hal ini hanya akan menyebabkan kebingungan selama masa pembangunan. Agar supaya diperoleh pengurangan waktu pembangunan, maka digunakan metode *erection* dengan banyak titik yang diatur dengan dua atau lebih titik-titik dimulainya *erection*. Jika beberapa titik-titik dimulainya *erection* diatur, maka hal ini akan menjadikan keadaan periode pembangunan menjadi lebih pendek, tetapi sejumlah blok-blok besar yang harus dipasang akan menjadi lebih sulit dikerjakan. Oleh karena itu penentuan jumlah

dari titik dimulainya *erection* hanya dibatasi dua atau tiga titik saja. Gambar dibawah ini akan menunjukkan contoh dari metode pengembangan blok untuk metode dua titik. Pada contoh dua titik di gambar dibawah ini sejumlah pekerjaan pada bagian depan kapal, bagian ruang muat kapal, kamar mesin dan seluruh kesimbangan dar proses harus dipertimbangkan ketika memutuskan dimulainya blok pertama dan blok terakhir yang harus di *erection*. Hal ini harus dilaksanakan, sehingga periode pembangunan dapat disesuaikan dengan yang diinginkan.

c) Urutan tahap *erection*

Dengan adanya pertimbangan dari sejumlah blok yang dibuat menjadi sebuah kapal, maka urutan *erection* ditentukan berdasarkan metode pengembangan dan mengacu pada rencana pembagian blok. Urutan *erection* merupakan hubungan relatif terhadap kapasitas produksi dari kemampuan fasilitas galangan. Maka dari itu kapasitas produksi setiap bentuk dari proses *assembly* harus dimengerti dan urutan penurunan blok harus ditentukan sehingga proses penurunan blok dan proses *sub assembly* blok semua bisa seimbang. Berikutnya kita akan menguraikan konsep-konsep yang memengaruhi didalam menentukan urutan penurunan blok.

1) Metode Berlapis

Metode ini difokuskan pada pengembangan *erection* arah memanjang dari blok permulaan, sehingga pengembangannya dimulai dari blok bagian dasar / *bottom*. Kemudian sekat melintang, sekat memanjang dan pelat kulit dapat dikembangkan. Gambar dibawah ini menunjukkan situasi penurunan blok pada hari ke-n setelah *keel laying*.

Kelebihan-kelebihannya bahwa :

1. Oleh karena suatu pertimbangan bahwa sejumlah pekerja akan terlibat saat pelaksanaan *erection*, maka waktu luang yang terjadi sebelum dan setelah peluncuran kapal dapat diatasi dengan cepat. Metode ini sangat efektif untuk pengembangan awal pada bagian dasar yang relatif melibatkan jumlah pekerja lebih besar
2. Sebab pekerja-pekerja yang sama dapat terlibat dalam pekerjaan yang sama dalam suatu masa yang sudah pasti, penyempurnaan dalam efisiensi dapat diharapkan melalui spesialisasi.
3. Tidak ada pekerjaan kearah vertikal dan pekerjaan yang campur aduk dapat dihindari, sehingga lingkungan kerja dapat menjadi baik , kerja menjadi aman dan hal ini akan meningkatkan efisiensi yang cukup signifikan.
4. Jika hanya metode pelapisan yang digunakan, maka secara sekwen lokasi-lokasi pekerja akan bergerak / berpindah dari dasar kapal ke sekat melintang dan sekat memanjang, plat kulit dan akhirnya ke arah *upper deck*, sehingga pekerjaan tersebut pekerjaan tersebut dapat diselesaikan dengan hanya beberapa perkerja saja dan hal ini mempermudah dalam membagi pekerjaan. Oleh karena blok-blok yang similiar dikerjakan dalam sekwen yang sama, maka langkah untuk otomatisasi dan penggunaan permesinan pada tahap *assembly* menjadi mudah.

Kelemahan – kelemahannya :

- 1) Dibandingkan dengan pengembangan ke arah memanjang, maka penyelesaian pekerjaan ke arah vertikal akan menjadi lambat, sehingga penyelesaian kompartemen kapal secara individual akan menjadi lambat, dan inspeksi tangki-tangki dan pekerjaan *outfitting* lainnya akan menurun. Secara umum keinginan untuk memperpendek waktu pembangunan dan peningkatan jumlah produksi tidak dapat diharapkan.

- 2) *Unless* sekwen pengelasan pada blok-blok yang diturunkan *is appropriate*, derajat deformasi dari bentuk kapal menjadi besar, khususnya permintaan *cocking up* pada bagian depan / *bow* dan belakang / *stern* kapal akan bertambah besar sehingga ketepatan akhir dari kapal akan menjadi buruk.

2) Metode Seksi Assembly

Metode ini difokuskan pada pengembangan *erection* pada arah vertikal dan penurunan ditetapkan untuk satu tangki pada saat dari dasar ke *upper deck*.

Kelebihan-kelebihannya :

1. Karena pembangunannya ditetapkan bahwa satu tangki pada satu waktu, maka pemeriksaan tangki menjadi cepat dan penggunaan peralatan dan permesinan untuk bekerja di tangki menjadi mudah.
2. Adanya sedikit *cocking up* pada bagian belakang kapal / *stern* dan bagian depan kapal / *bow*.
3. Pelaksanaan *grand assembly* dari blok-blok di darat menjadi lebih mudah dan dapat diharapkan terjadinya peningkatan efisiensi yang tinggi sebab adanya derajat keselamatan kerja yang tinggi.

Kelemahan-kelemahannya :

1. Karena pengembangan awak dari dasar kapal tidak memungkinkan, waktu kosong / *idle time* antara pembangunan dari kapal-kapal yang berbeda tidak dapat diserap, sehingga hal itu akan menyulitkan untuk menyamaratakan beban kerja.
2. Pekerjaan vertikal dan pekerjaan campur aduk / *mixed work* sering sering terjadi dan akan memperbesar pengaruh lingkungan kerja menjadi buruk.
3. Karena pekerjaan pada dasar kapal, sekat melintang, pelat kulit, *upper deck*, dan bagian-bagian lain dicampur, maka ketebalan pelat dan ukurannya berbeda, sehingga hal itu akan menimbulkan kondisi naik dan turun dalam pembuatan distribusi pekerjaan untuk para pekerja menjadi lebih sulit. Oleh karena itu keadaan naik dan menurunnya dalam batas area dan pembagian pekerja lebih seperti yang terjadi selama tahap *assembly*.

2.3.3.1. Penentuan blok permulaan *erection*

Penentuan blok permulaan *erection* tergantung pada kapasitas produksi dari suatu galangan dan waktu pembangunan berdasarkan pada *Shipbuilding line chart* (SBLC). Sebagai contoh, jika metode pengembangan tidak dapat sesuai dengan waktu pembangunan yang diinginkan, kemudian diatur dengan menggunakan beberapa titik permulaan *erection* sehingga *erection* dengan metode titik ganda dapat digunakan. Pada saat yang sama, sejumlah pekerjaan yang terkait dengan konstruksi lambung dan *outfitting* harus dilaksanakan, dan bagian-bagian yang kritis harus dimasukkan kedalam periode pembangunan dari SBLC.

Contoh dalam hal ini dimana dua titik permulaan diatur menggunakan metode *erection* dua titik sebagaimana ditunjukkan dalam gambar diatas, maka titik-titik permulaan harus ditempatkan dimana pekerjaan pada bagian belakang kapal / *stern part*, bagian *parallel middle body* dan bagian depan kapal / *bow part* akan lebih atau kurang sinkron. Tanpa hal ini dilaksanakan, maka selama waktu pembangunan akan menyebabkan di beberapa tempat pembangunan kapal perlu

melibatkan tenaga kerja yang sangat banyak dan akibat dari hal ini keseimbangan kerja akan terganggu.

Penentuan titik-titik permulaan dari *erection* harus dengan mempertimbangkan pada *shaft alignment*, penurunan mesin induk, peluncuran dan kejadian-kejadian besar lainnya. Oleh karena itu sangat penting untuk memilih titik-titik dimana konstruksi lambung dan pekerjaan *outfitting* dapat dilaksanakan dengan cara paralel dengan lebih mudah /*smoothly*. Secara umum, titik permulaan untuk *erection* adalah blok dari kamar mesin dengan alasan-alasan sebagai berikut :

1. Distribusi jam orang untuk divisi produksi dalam proses pembangunan kapal .Alasan dari titik permulaan dari penurunan blok ditempatkan di bagian belakang dari kapal adalah karena ruang mesin dan bagian belakang kapal mempunyai struktur yang lebih kompleks dari pada struktur di ruang muat, sehingga hal tersebut akan memerlukan jam orang yang lebih banyak untuk penyelesaiannya
2. Permulaan cepat dari kamar mesin *outfitting*. Kamar mesin termasuk mesin induk, mesin-mesin bantu dan pekerjaan-pekerjaan pipanya dan sejumlah besar pekerjaan lainnya, sehingga waktu pembangunan akan menjadi lebih panjang dan pekerjaan ini harus dimulai secepat mungkin.
3. Titik permulaan dari *erection* harus mempunyai suatu sekat. Keberadaan suatu sekat pada titik permulaan dari *erection* dan lambung kapal dan *dock* membuat pengaturan pekerjaan lebih mudah dan hal ini merupakan keuntungan dari sudut pandang menjaga ketepatan bentuk dari lambung kapal. Oleh karena itu, pada beberapa tahun terakhir metode *windlass* dari kapal digunakan sesudah peluncuran untuk menarik kapal pada dermaga *outfitting*, konstruksi haluan kapal juga merupakan bagian kritis, sehingga titik permulaan kedua diletakkan pada bagian haluan kapal dari kapal-kapal yang berukuran sedang.

2.3.3.2. Penentuan blok-blok yang disisipkan

Dengan meningkatnya ukuran kapal-kapal perintis menjadi kapal-kapal besar, seperti VLCC dan ULCC, metode *erection* titik ganda menjadi sering digunakan. Ketika metode pengembangan titik ganda digunakan, blok-blok yang akan dipasang harus ditentukan. Bagian belakang kapal termasuk sejumlah pekerjaan besar lambung dan *outfitting*, dimana bagian buritan kapal ini dibatasi oleh pandangan titik tengah as *propeller*, oleh karena itu, bagian pelat lambung lengkung harus dipasang. Apabila memilih suatu blok yang akan dipasang, maka lokasi dimana blok tersebut akan diturunkan dan kepastian dari keakurasian bentuk lambung yang sederhana harus dipilih. gambar dibawah ini menunjukkan lokasi penyisipan blok.

2.3.3.3. Penentuan urutan penurunan blok-blok

Setelah titik-titik permulaan dan penyisipan blok-blok ditentukan maka urutan penurunan blok-blok harus ditentukan. Item-item berikut ini harus dipertimbangkan bila menentukan urutan penurunan blok-blok, yaitu :

1. Bentuk dari pada lambung harus dapat dijaga (ketepatan ukuran blok)
2. Pekerjaan-pekerjaan vertikal dan pekerjaan campuran harus dihindari, dan harus dijaga lingkungan kerja yang baik.
3. Blok-blok yang diturunkan sejak awal harus sudah dipastikan, dan sudah dijamin keselamatan kerjanya.

4. Tipe *Building Berth* dan peralatannya

Building berth adalah nama yang diberikan untuk sebuah area dimana lambung kapal dirangkai hingga kapal diluncurkan. Tipe dari *Building Berth* dan peralatannya bergantung pada tipe, dimensi dan fitur struktur dari kapal yang sedang dibuat dan ditentukan oleh dasar kondisi lokal (ukuran lintasan lurus, garis pantai, variasi garis air, tipe tanah, kondisi iklim,dll).

Blok lambung kapal dapat dirangkai pada beragam tipe *building berth*. Jika sebuah tipe *building berth* telah ditentukan maka *initial outlay* dan *running cost* harus dihitung berdasarkan data dan analisa untuk beberapa tipe *building berth* yang berbeda yang nantinya akan ditemukan nilai yang paling optimal pada sebuah tipe *building berth* tertentu.

Berdasarkan posisinya, *building berth* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *horizontal* dan *inclined*. Dan sudah dijelaskan diatas bahwa *assembly* dan operasi pemasangan jauh lebih mudah dan lebih meyakinkan pada *building berth* dengan posisi *horizontal*.

Ada beberapa karakteristik berdasarkan tipe *building berth* yaitu : (1) *Building Docks*; (2) *End Launching Buiding Berths*; (3) *Side Launching Building Berths*; (4) *Mechanized Building Berths*; (5) *Horizontal Fabrication Platforms*.

2.5. *Material Handling Equipment*

Material Handling Equipment (Peralatan Kontrol Material) dapat dibagi menjadi empat kategori umum : *Conveyors*, *cranes and hoists*, *industrial vehicles*, dan *containers*.

Conveyor adalah biasanya digunakan untuk memindahkan material atau bahan utama dalam alur yang tetap dengan pola gerak berkelanjutan. Aplikasi utama pada galangan kapal yang menggunakan *conveyor* adalah untuk memindahkan material sebagai bagian dari *assembly line* untuk tipe proses produksi.

Cranes adalah salah satu tipe pengontrol material yang paling banyak digunakan di galangan kapal. Ada empat kategori utama yaitu *bridge cranes*, *jib cranes*, *gantry cranes* dan *mobile cranes*. *Bridge crane* biasa terdapat di bengkel-bengkel, seperti *panel lines & pipe* dan juga di bengkel permesinan. *Bridge cranes* juga bisa digunakan di ruang terbuka. Ia membutuhkan topangan di dua sisinya sepanjang jangkauannya. *Bridge cranes* mampu mengangkat beban hingga lebih dari 300 atau 40 ton. *Gantry cranes* serupa dengan *bridge cranes* kecuali ia bisa menopang sendiri dan berjalan di rel yang ada di atas permukaan tanah. *Gantry cranes* biasanya memiliki kapasitas angkat dan jangkauan sama dengan *bridge cranes* dan biasanya dikontrol melalui sebuah kabin. *Jib cranes*, seperti *gantry cranes*, bisa menyokong dirinya sendiri dan berjalan di rel. Tipe yang banyak digunakan adalah tipe memutar yang mampu menjangkau sekitar dengan daerah kerja terbuka, termasuk tempat proses ereksi dan area penyimpanan. *Jib cranes* umumnya mempunyai penyeimbang berat dan berputar, mempunyai lengan dengan satu atau lebih lokasi pengambilan. Kapasitas angkatnya pada umumnya kurang dari *bridge cranes*. *Hammer head cranes* juga serupa dengan *jib cranes*, tetapi tidak seperti *jib cranes*, *hammerhead cranes* biasanya permanen dan tidak dapat berubah tempat. *Mobile cranes* memiliki berbagai macam tipe dan ukuran. Ia bisa berupa *low-capacity wheeled vehicles*, *crawler type vehicles* or *floating cranes*, yang mana mampu mengangkat beban hingga 500 ton.

2.6. Konsep Dasar Elemen Hingga

Dalam masalah teknik sering kali kita dihadapkan pada perhitungan-perhitungan yang rumit. Misalnya dalam melakukan perhitungan tegangan-regangan pada konstruksi yang sedikit rumit dan tidak mungkin didekati secara matematik. Dengan metode klasik menunjukkan masalah-masalah seperti ini akan sangat sulit dicari jawabannya karena

geometri struktur dan pembebanannya terlalu kompleks untuk diperoleh jawaban tertutupnya (*closed form solution*). Untuk itu diperlukan solusi numerik yang memadai dan salah satunya dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*).

Secara singkat prinsip dari elemen hingga adalah memperlakukan suatu *body* atau sistem sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang disebut *finite element*. Elemen-elemen ini digabungkan satu sama lainnya melalui titik-titik yang disebut titik simpul (*nodal point*). Sehingga suatu sistem akan terdiri dari beberapa elemen dan titik simpul yang akan membentuk suatu sistem.

Dalam bentuknya yang sekarang metode elemen hingga (*FE*) dirumuskan oleh para insinyur sipil. Sedangkan sebelumnya metode ini diusulkan dan dirumuskan dalam berbagai manifestasi oleh ahli matematika dan fisika.

Konsep dasar yang melandasi metode elemen hingga bukan merupakan hal yang baru, yaitu prinsip diskritisasi yang sebenarnya sudah dipergunakan dalam banyak usaha manusia. Mungkin usaha terhadap pendiskritan atau membagi-bagi benda dalam ukuran-ukuran yang lebih kecil lebih supaya lebih mudah pengelolaannya, timbul dari keterbatasan manusia yang mendasar, yaitu mereka tak dapat melihat atau memahami benda-benda disekelilingnya di alam semesta dalam bentuk keseluruhan atau totalitas. Bahkan kita sering sekali harus menengok beberapa kali untuk mendapatkan suatu gambaran metal yang digabung-gabungkan dari benda-benda disekitar kita. Dengan kata lain kita mendiskritkan ruang di sekitar kita ke dalam segmen-segmen kecil, dan hasil rakitan akhir yang kita visualisasikan adalah suatu tiruan dari lingkungan kontinyu yang nyata. Umumnya pandangan yang digabungkan seperti elemen kesalahan.

Elemen dalam ANSYS bisa dikategorikan kedalam 2-D atau 3-D dan terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen area dan elemen *solid*. Dan elemen-elemen ini dapat dikombinasikan sesuai dengan yang dibutuhkan. *LINE element* bisa digunakan sebagai 2-D atau 3-D. *Beam* atau struktur pipa, sebaik 2-D model untuk 3-D aksisimetris pelat. 2-D *SOLID* analisis digunakan untuk struktur datar yang tipis (*plane stress*), struktur yang memiliki penampang melintang konstan (*plane strain*), atau struktur solid aksisimetris. 3-D *SHELL* model digunakan untuk struktur tipis di ruang 3-D. 3-D *SOLID* model analisis digunakan untuk struktur tebal di ruang 3-D yang tidak memiliki penampang melintang konstan ataupun sumbu simetri. Dalam pemodelan struktural pipa yang berupa profil digunakan *LINE element*.

2.6.1 Prosedur Elemen Hingga

Seperti telah disebutkan diatas bahwa suatu system diperlakukan sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil. Dimana elemen-elemen kecil ini digabungkan menjadi suatu system melalui titik-titik simpul. Sehingga hasil yang didapat dari analisa adalah hasil pada tiap-tiap titik-titik simpul tersebut. Pemeriksaan terhadap elemen-elemen untuk analisis tegangan-regangan dari suatu benda yang berada dalam kesetimbangan dibawah pengaruh beban yang bekerja akan melibatkan uraian hubungan kekakuan beban. Untuk mendapatkan hubungan semacam ini dilakukan melalui berbagai langkah yang biasa digunakan untuk mempermudah dalam menganalisa suatu struktur. Adapun langkah atau prosedur tersebut adalah sebagai berikut :

a.) Pendiskritan (*discretization*) dari body atau struktur yang dianalisa

Langkah ini merupakan suatu proses dimana suatu sistem yang dianalisa dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*finite element*). Perpotongan antara sisi elemen dinamakan simpul atau titik simpul dan permukaan antara elemen-elemen disebut garis simpul dan bidang simpul. Pembagian elemen-elemen disebut garis simpul dan bidang simpul. Pembagian elemen tersebut bisa berupa elemen garis untuk 1

Dimensi, elemen segitiga dan segi empat untuk 2 Dimensi ataupun prisma segi enam untuk 3 Dimensi.

b.) Pemilihan model displacemen

Pada Pemilihan model displacemen ini sering digunakan fungsi polinomial. Bila deformasi adalah u sebagai besaran yang tak diketahui maka bentuk polinomial secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_{n+1}x_n$$

Dimana :

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ adalah koefisien dari fungsi *polynomial* atau disebut koordinat umum (*generalized coordinate*).

x, x^2, x^3, \dots, x_n adalah koordinat pada masing-masing simpul.

c.) Menentukan hubungan regangan-perpindahan dan tegangan-regangan

Untuk menuju kelangkah berikutnya yang menggunakan prinsip-prinsip tertentu, maka dalam menurunkan persamaan elemen kita harus menentukan besaran yang tepat yang muncul dalam prinsip tersebut. Untuk persoalan tegangan deformasi salah satu dari persamaan ini adalah regangan (*gradient*) - perpindahan. Selain itu kita juga harus menentukan suatu besaran tambahan yang umumnya dilakukan untuk menyatakan hubungan dengan regangan yang mana sering disebut dengan hubungan tegangan-regangan (*Stress-Strain Diagram*)

d.) Penurunan matrik kekakuan elemen

Dengan menggunakan prinsip yang berlaku kita dapat memperoleh persamaan yang menentukan tingkat laku suatu struktur (*element*). Kekakuan (*stiffness*) pada dasarnya adalah suatu besaran yang menghubungkan displacemen simpul dengan gaya luar (*external force*) yang bekerja pada simpul. Secara simbolis persamaan keseimbangan ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$[k] \{q\} = \{Q\}$$

Dimana :

$[k]$ = Matrik kekakuan elemen (*stiffness matrix*)

$\{q\}$ = Displacemen simpul (*nodal displacement*)

$\{Q\}$ = Gaya simpul (*nodal force*)

e.) Pembentukan matrik kekakuan global

Matrik kekakuan struktur merupakan penggabungan dari seluruh matrik kekakuan elemen. Sehingga pembentukan dari matrik kekakuan global ini didasarkan pada anggapan bahwa keseimbangan di titik-titik simpul yang menggabungkan antara satu elemen dengan elemen yang lainnya. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan sejumlah persamaan aljabar simultan sebanyak harga yang tidak diketahui dalam suatu system yang dianalisa. Secara simbolis persamaan global ini ditulis sebagai berikut :

$$[K] \{r\} = \{R\}$$

Dimana :

$[K]$ = Matrik kekakuan global

$\{r\}$ = Vektor displacemen simpul

$\{R\}$ = Gaya simpul

Untuk mendapatkan sejumlah persamaan yang sama dengan jumlah besaran yang tidak diketahui, maka dalam hal ini peranan harga batas (*Boundary Condition*) sangat menentukan sekali.

f.) Penyelesaian persamaan aljabar simultan

Setelah persamaan global dan harga batasnya dapat diselesaikan, maka pada langkah ini akan didapatkan harga dari masing-masing displacemen simpulnya.

2.6.2 Teori Energi

Pada pembahasan ini akan kita gunakan metode energi untuk mendapatkan matrik kekuatan [k]. Dimana dengan menggunakan metode energi ini maka akan membantu memudahkan kita untuk mendapatkan matrik kekakuan terutama untuk struktur yang lebih rumit

2.6.3 Prinsip Kerja Virtual

Sebuah sistem yang berada dalam keadaan keseimbangan mengalami displacemen yang kecil. Maka displacemen kecil ini sering kita sebut dengan Virtual displacement, sedangkan kerja yang dihasilkan disebut dengan kerja Virtual (*Virtual Work*).

Virtual displacemen ini dianggap kecil sehingga tidak menimbulkan perubahan geometri yang berarti, serta gaya yang bekerja dianggap tidak berubah selama terjadi virtual displacemen.

Dimana partikel diperlakukan sebagai sistem dan terdapat tiga buah gaya P_1, P_2, P_3 . Maka akibat adanya virtual displacemen akan timbul kerja virtual sebagai berikut :

$$\delta w = P_1 \delta q_1 + P_2 \delta q_2 + P_3 \delta q_3 \quad (\text{II.3.1.1})$$

Dimana $\delta q_1, \delta q_2, \delta q_3$ adalah tiga komponen dari virtual displacemen δq yang disebabkan karena adanya ketiga gaya P. Karena ketiga gaya berada dalam keseimbangan maka kerja yang dihasilkan oleh virtual displacemen adalah sebagai berikut :

$$\delta w = 0 \quad (\text{II.3.1.2})$$

Untuk sejumlah partikel gaya internal dari sistem continue elastis menggambarkan kasi dari partikel, karena itu timbul sebagai pasangan dari gaya tetapi berlawanan arah untuk 3 partikel. Jika sistem berada dalam keseimbangan maka persamaan (II.3.1.2) dapat dipakai untuk ketiga partikel.

2.6.4 Energi Regangan (*Strain Energy*)

Suatu sistem yang elastis akan mengalami deformasi jika dikenai gaya luar. Akibat dari deformasi ini maka gaya luar akan melakukan kerja. Apabila sistem tersebut adalah elastis sempurna maka sistem akan kembali keposisi semula (tak teregang) bila gaya diluar ditiadakan. Maka sistem ini akan memberikan kerja yang sama dengan kerja yang dilakukan oleh gaya luar. Kerja yang dilakukan oleh sistem ini dianggap sebagai energi yang tersimpan dalam benda (*internal energy*) yang biasa disebut dengan energi regangan (*strain energy*).

2.6.5 Energi Potensial

Dalam kasus analisa tegangan-deformasi, fungsi gaya F sering kali dinyatakan dengan salah satu fungsi energi. Misalnya gaya F dinyatakan sebagai energi potensial dalam sistem yang dikenai beban tertentu. Sistem ini akan berada pada kondisi keseimbangan jika sistem tersebut mempunyai energi potensial yang minimum. Energi potensial (π) ini didefinisikan sebagai jumlah energi regangan internal (U) dan kerja yang dilakukan oleh beban eksternal (w). Dengan demikian energi potensial ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\pi = U + W$$

Jika kita menerapkan prinsip energi potensial minimum, maka kita mengambil turunan (variasi) dari π dan menyamakan dengan nol. Dan bila kita gunakan konsep tentang kerja virtual (*virtual work*) maka teori ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\delta\pi = \delta u - \delta W = 0$$

Dari Persamaan (II.3.2.3) didapatkan :

$$U = \frac{1}{2} \{ \epsilon \}^T \{ \delta \} dV$$

2.6.6 Beban Simpul Ekuivalen

Pada analisa ini diasumsikan struktur akan mengalami pembebanan secara merata. Beban ini didistribusikan pada seluruh bidang plat maupun profil. Sesuai dengan konsep elemen hingga beban yang terdistribusi secara merata harus diubah menjadi beban simpul ekuivalen, sehingga akan diperoleh matrik gaya luar.

Jika $P(x,y)$ adalah vektor beban merata yang bekerja pada arah x,y,z sesuai dengan beban satu dimensi, dua dimensi, atau tiga dimensi. Dan $U(x,y)$ adalah vektor virtual displacemen.

2.7 Deformasi Struktur Logam

2.7.1 Teori Deformasi

Deformasi merupakan perubahan pada material baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Beban bisa berupa beban mekanis maupun proses fisika-kimia. Perubahan yang terjadi pada material dapat berupa pemuaihan maupun pengkerutan. Perubahan ini dimulai dari perubahan struktur dalam material sebelum akhirnya berdampak pada perubahan dimensi material. Jadi perubahan dimensi tergantung dari perubahan struktur material. Apabila perubahan struktur dari material teratur maka perubahan dimensi secara umum juga teratur. Namun tidak selalu perubahan struktur pada material terjadi dengan teratur sehingga mengakibatkan perubahan dimensi yang tidak teratur pula.

Pada struktur logam deformasi terjadi mulai dari struktur kristal yang berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Untuk mengurangi dampak dari batas butir dan untuk mengurangi kerumitan dalam pembahasan selanjutnya kita akan mengkhususkan pada pembahasan pada deformasi kristal tunggal. Deformasi pada logam fasa tunggal berdasarkan prosesnya meliputi deformasi elastis dan deformasi plastis.

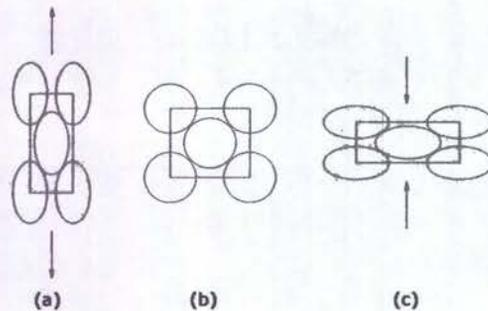
2.7.2 Deformasi Elastis

Deformasi elastis merupakan perubahan yang bersifat tidak tetap. Hal ini karena perubahan yang terjadi pada struktur akan segera kembali ke bentuk semula bila beban yang bekerja pada struktur dihilangkan. Sehingga dapat dikatakan deformasi elastis tidak menyebabkan perubahan yang nyata dalam struktur. Pada saat bekerjanya beban maka terjadi perpindahan atom secara elastis ke tingkat yang lebih

tinggi relatif terhadap yang lain. Karena sela deformasi, bahan menyerap energi akibat gaya yang bekerja sepanjang garis deformasi.

Pada sebagian besar material, selama beban tidak melebihi batas elastisitas, deformasi sebanding dengan besarnya beban. Hubungan ini disebut dengan hukum Hooke yang sering dinyatakan regangan sebanding dengan tegangan. Hukum Hooke mensyaratkan bahwa hubungan beban deformasi tersebut berbentuk linier. Namun tidak semua material berperilaku elastis dan memiliki hubungan antara tegangan dan regangan linier. Salah satu contoh bahan yang memiliki hubungan tegangan-regangan non-linier adalah karet. Tetapi karet masih tetap memenuhi sifat elastis.

Bila beban yang bekerja berupa gaya tarik, benda akan bertambah panjang. Setelah gaya dihilangkan benda akan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya bila benda dikenai dengan gaya tekan maka benda akan mengalami pengkerutan sehingga menjadi lebih pendek. Regangan elastis baik dalam arah memanjang maupun memendek ditunjukkan pada gambar II.5 berikut :



Gambar II.5 (a) Struktur kristal mengalami tegangan tarik ; (b) Tidak ada regangan ; (c) Struktur kristal mengalami tegangan tekan (Amarna 1988).

Dalam deformasi elastis regangan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan material disebut dengan Modulus Elastisitas, E , (Modulus Young). Modulus Elastisitas dapat menjadi karakteristik dari material logam. Makin besar gaya tarik antar atom logam maka semakin besar pula modulus elastisitasnya.

Setiap perpanjangan atau perpendekan struktur kristal dalam satu arah tertentu karena gaya luar akan mengakibatkan perubahan dimensi dalam arah tegak lurus dengan gaya tersebut. Pada gambar 2.10.a terlihat adanya kontraksi tegak lurus gaya tarik.

Perbandingan negatif antara regangan melintang (ϵ_y) dan regangan tarik (ϵ_z) disebut dengan bilangan poisson. Harga dari bilangan poisson berkisar antara 0,25 sampai dengan 0,5.

$$\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (2.12)$$

Pada beban geser, bekerja dua gaya sejajar seperti ditunjukkan pada gambar 2.10b. Tegangan geser (τ) adalah gaya (F_s) dibagi dengan luas bidang geser (A_s).

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (2.13)$$

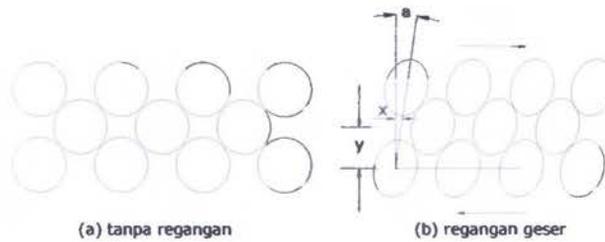
Gaya geser menyebabkan adanya pergeseran sudut (α). Regangan geser (γ) didefinisikan sebagai nilai dari tangensial sudut (α) tersebut dengan regangan geser (γ), Regangan geser elastis sebanding dengan tegangan geser.

$$G = \frac{\alpha}{\gamma} \quad (2.14)$$

Dimana G adalah modulus geser . Modulus geser atau modulus kekakuan berbeda dengan modulus elastisitas (E) namun untuk regangan yang kecil berlaku hubungan sebagai berikut :

$$E = 2G (1 + \nu) \quad (2.15)$$

Regangan geser akan tetap bersifat elastis selama atom-atom yang mengalami pergeseran tetap bertetangga dengan atom-atom sebermula. Analogi proses terjadinya pergeseran dapat dilihat pada gambar II.6

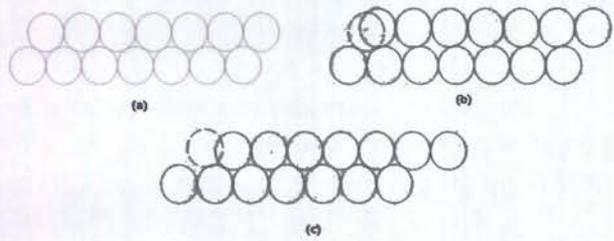


Gambar II.6 Regangan geser pada butir struktur (Amarna 1988)

2.7.3 Deformasi Plastis

Apabila tegangan yang bekerja pada material melebihi batas elastisitas maka deformasi yang timbul adalah deformasi plastis. Batas elastisitas adalah suatu batas dimana tegangan maksimum yang dapat dikenakan tanpa menghasilkan suatu deformasi yang bersifat permanen. Deformasi plastis berkaitan dengan perpindahan atom-atom di dalam butiran dan mengakibatkan perubahan permanen pada bentuk spesimen material.

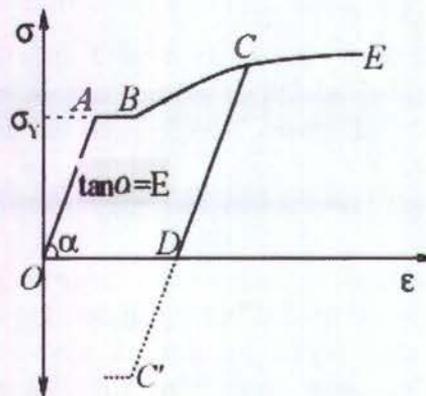
Deformasi plastis terjadi karena adanya geseran plastis atau slip, dimana bidang atom bergeser terhadap bidang di dekatnya. Deformasi geser juga terjadi bila ada gaya tekan atau tegangan, karena gaya-gaya ini dapat diuraikan menjadi tegangan geser. Tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan slip dalam bidang kristal tertentu disebut tegangan geser kritis. Gambar II.7 menunjukkan mekanisme slip yang disederhanakan.



Gambar II.7 Mekanisme slip yang disederhanakan (Amarna 1988)

Deformasi plastis merubah struktur intern logam, oleh karena itu deformasi dapat merubah pula sifat-sifat dari suatu logam. Salah satu bukti dari perubahan ini adalah dengan melakukan pengukuran tahanan. Sifat lain yang juga berubah yang mempunyai nilai teknik lebih besar adalah kekuatan.

Deformasi plastis bersifat merugikan bagi struktur karena dapat menurunkan kekuatan dari material. Untuk itu deformasi ini sebisa mungkin dihindari dengan pemberian beban pada struktur yang tidak melebihi batas elastisitas material. Demikian juga dalam kasus pengelasan, hal ini bisa dicapai dengan prosedur pengelasan yang baik, yaitu pengelasan yang tidak menimbulkan residual stress yang besar yang dapat menimbulkan perubahan bentuk yang permanen pada material struktur



Gambar II.8 Kurva stress-strain (Pilipenko 2001)

Bagian A-B menggambarkan kondisi material yang mulai mengalami dislokasi dan berubah secara bebas sampai mencapai batas plastis secara struktural. Bentuk kurva seperti ini adalah ciri khas dari material yang ulet (*ductile*). Titik A adalah titik yield dari material. Di atas titik yield, beban akan meningkatkan kondisi plastis dari material. Gradien atau kemiringan kurva berkurang dengan teratur seiring dengan terus bertambahnya beban. Jika material terus diregangkan melebihi titik D, deformasi akan mengikuti kurva DCE. Pada saat seperti ini material telah melebihi daerah deformasi

elastis. Material yang diregangkan sampai melampaui batas elastisitasnya akan mengalami perubahan bentuk yang permanen, meskipun beban telah dihilangkan dari material. Suatu saat ketika beban terus berjalan maka material akan mengalami kepatahan di titik E.

Dengan mengetahui sifat material khususnya logam jika diberi beban, kita dapat menentukan besarnya beban yang akan kita gunakan agar material tidak mengalami deformasi plastis yang bersifat permanen. Deformasi plastis sangat merugikan karena dapat mengganggu pada proses pengerjaan material selanjutnya. Selain besarnya beban, hal lain yang harus diperhatikan adalah lamanya pembebanan. Material juga mempunyai sifat kejenuhan bila menanggung beban. Beban yang tidak terlalu besar dapat menyebabkan deformasi plaatis bahkan kepecahan bila terus-menerus dikenakan pada material.

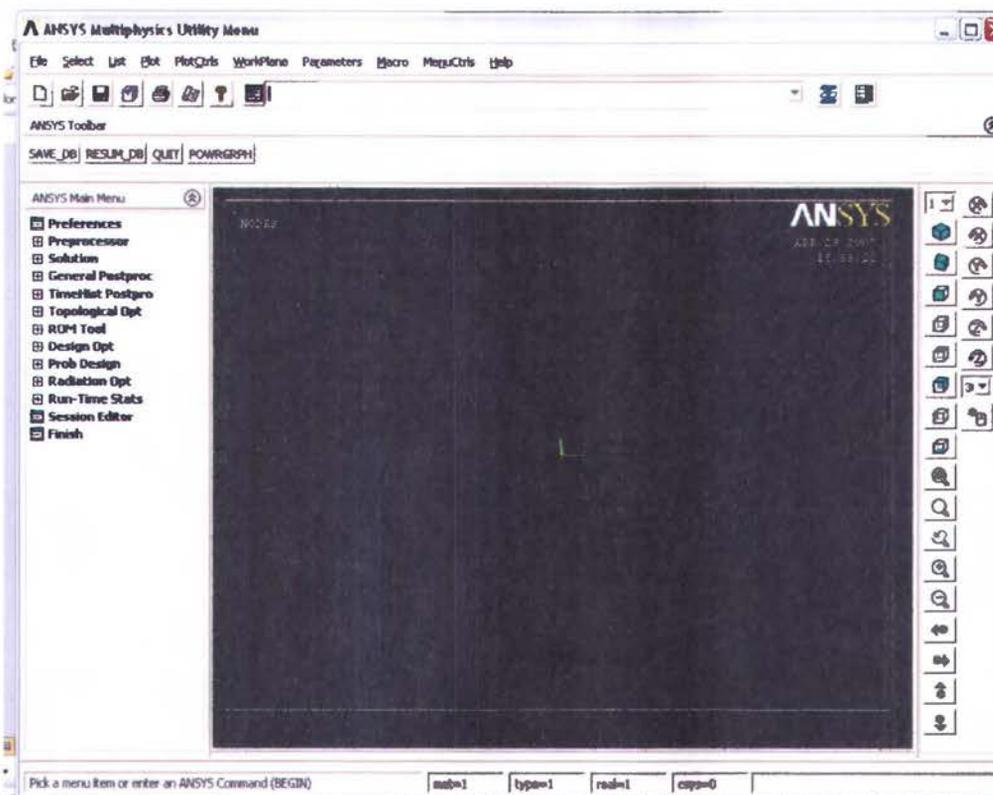
2.8 Pemrograman dengan Ansys

2.8.1 Memulai Ansys

ANSYS adalah *software analysis* yang digunakan untuk melakukan analisa ocal pada struktur menggunakan teori metode elemen hingga (*finite element method*). Secara umum, tahapan permodelan terdiri dari :

1. pembuatan model dan *meshing*
2. pembebanan dan analisa
3. pembacaan *output*

Gambar dibawah ini merupakan tampilan awal (*Main Menu*) dari *Software Ansys*, dimana terdapat beberapa pilihan



Gambar II.9 Tampilan *Main Menu* Ansys

Perintah pada ANSYS dapat dilakukan dengan 2 cara, melalui *command list* atau *toolbar* yang disediakan. *Toolbar* dasar adalah *main menu* yang selalu tampak pada kiri layar (gambar II.9). Beberapa menu yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

Preference

Preference memuat bidang analisis yang akan dilakukan dalam pemodelan. ANSYS 8.0 memuat bidang analisa struktural, thermal, fluida dan elektromagnetik. Bidang analisa dapat dipilih salah satu atau banyak bidang jika analisa yang dilakukan adalah multifisika yang mengharuskan anda untuk “bermain” dengan banyak elemen.

Preprocessor

Preprocessor adalah menu untuk memodelkan geometri dan pendefinisian sifat mekanis dan fisika dari model anda dan juga digunakan untuk proses *mesh* model utuh kedalam rangkaian titik-titik yang disebut node. Adapun sub-menu dari preprocessor yang lazim dipakai antara lain ;

- a. *Element type* untuk menentukan jenis elemen yang paling sesuai untuk analisa anda
- b. *Real constant* untuk mendefinisikan konfigurasi elemen (lihat element reference dalam help program)
- c. *Material Props* untuk memberikan sifat-sifat mekanis dan fisika pada model anda
- d. *Modelling*, sub-menu ini berisikan perintah-perintah untuk membangun model anda secara geometris sesuai pendekatan yang akan dilakukan. Jenis pembuatan model ini dapat didekati dengan 2 cara yaitu bottom – up (generasi dari titik hingga volume) dan juga top – down (campuran kombinasi berbagai entitas menjadi satu kesatuan). Selain itu terdapat operasi yang paling penting yaitu Boolean operation, fungsi ini dipakai untuk penyelesaian matematis-geometris pada model anda. Operasi yang dilakukan meliputi penambahan, pengurangan, *copy*, *mirroring*, dan *moving*. Pendefinisian operasi boolean sangat penting untuk menyesuaikan generasi model anda dengan kondisi riil. Pembangunan model merupakan tahapan yang sulit karena anda akan “bermain” dengan working plane dan koordinat global XYZ. Perlu diperhatikan agar anda tetap bekerja pada active coordinate system agar tidak kehilangan orientasi model dan kehilangan sumbu acuan.
- e. *Mesh tool*, merupakan fasilitas untuk mendiskretkan model menjadi titik-titik nodal serta merapikan hasil setting mesh anda
- f. *Check mesh*, untuk menguji bentuk elemen apakah sudah memenuhi syarat-syarat dalam prinsip elemen hingga
- g. *Numbering Control*, untuk menyatukan node-node yang telah dibuat menjadi satu jika ada satu atau lebih node yang berimpit.

Solution

Fasilitas ini digunakan untuk menentukan jenis penyelesaian (statik atau dinamik) serta tipe iterasi numerik yang akan dilakukan komputer terhadap model anda sesuai pembebanan dan kondisi batas yang diberikan pada model. *Sub-menu* yang lazim dipakai antara lain ;

- a. *Loads*, fasilitas ini dipakai untuk memberikan beban-beban yang bekerja pada model beserta kondisi batas yang ada untuk mendekati kondisi riil. Beban yang dapat diaplikasikan adalah *pressure*, *force/moment*, *temperature*, gravitasi, elektromagnetik dan fluida.
- b. *Load step option*, untuk analisa dinamis dan menentukan *setting time* beban yang bekerja pada model.
- c. *Solve*, untuk me-running model yang telah digenerasi dalam elemen hingga serta telah diaplikasikan beban. Atau dapat juga me-running file beban yang sebelumnya telah disimpan dalam direktori kerja anda.

General postprocessor

Fasilitas ini digunakan untuk menampilkan hasil iterasi komputer terhadap model anda. Sub-menu untuk melihat hasil solusi nodal dan tampilan grafis adalah **plot result**. Pembacaan besaran hasil tiap node dapat dilihat dari perintah **List result > nodal solution**.

2.8.2 Modeling and Meshing

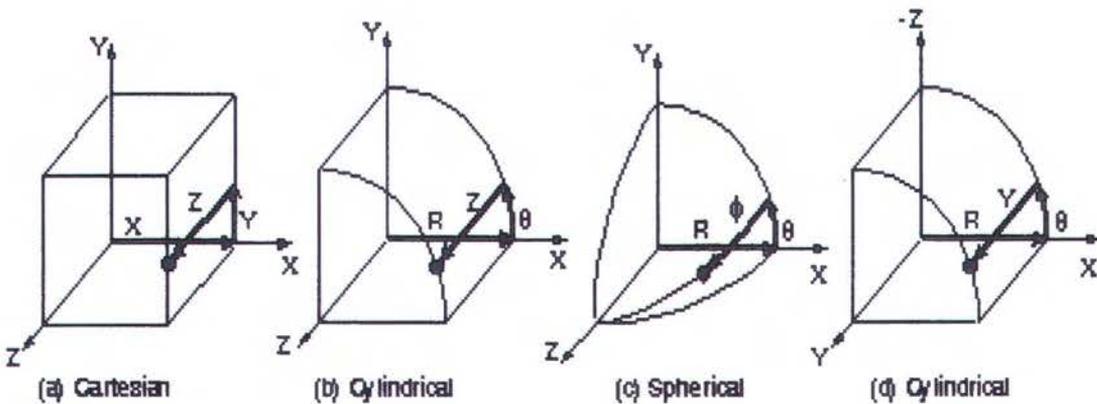
Tahapan pembuatan model merupakan awalan yang sangat penting untuk menyesuaikan atau mendekati bentuk yang akan dianalisa pada kondisi riil. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan adalah :

1. Unit

ANSYS tidak memiliki fasilitas untuk mendeskripsikan satuan yang digunakan. Oleh karena itu dituntut konsistensi dalam penggunaan input satuan mulai dari awal pemodelan hingga penampilan hasil analisa.

2. Coordinate System

Terdapat 2 macam sistem koordinat yaitu koordinat global dan koordinat lokal. Koordinat global adalah sistem kartesian XYZ yang berporos pada titik 0,0,0. Sistem koordinat global yang dapat dipilih pada ANSYS adalah sebagai berikut :



Gambar II.10 Coordinate System in Ansys

(a) Cartesian (X, Y, Z components) coordinate system 0 (C.S.0)

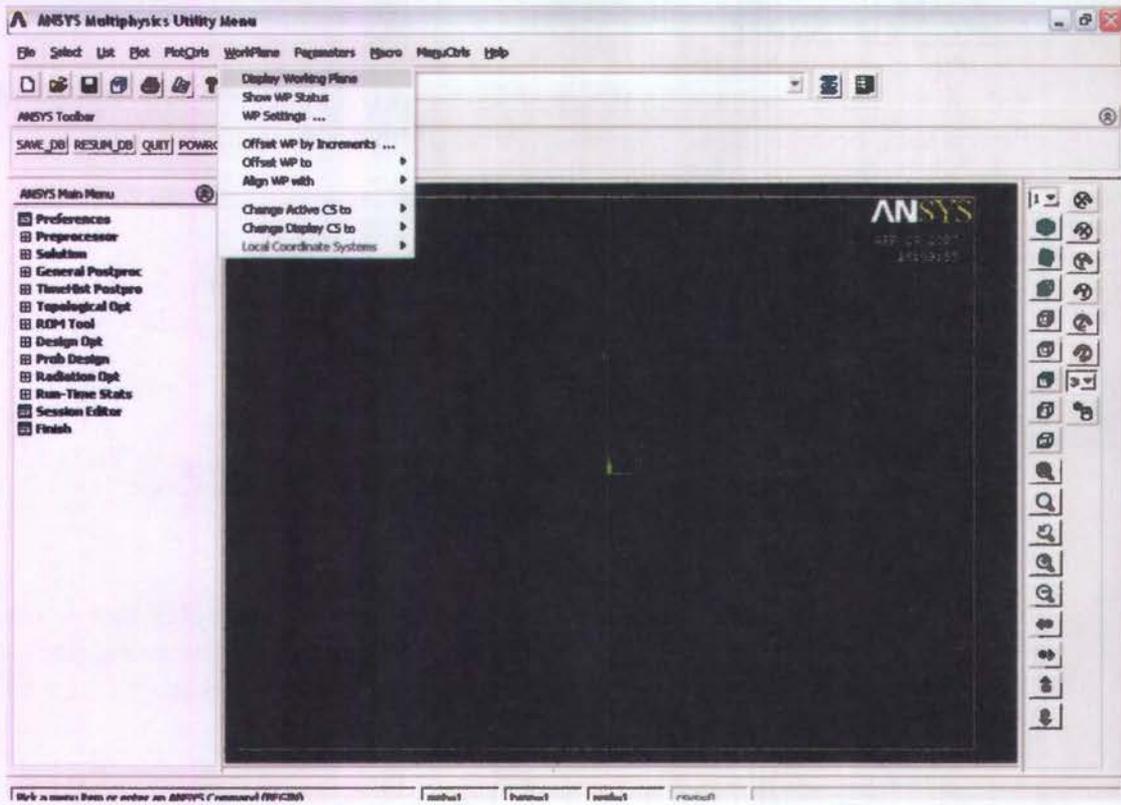
(b) Cylindrical (R, θ , Z components) coordinate system 1 (C.S.1)

(c) Spherical (R, θ , ϕ components) coordinate system 2 (C.S.2)

(d) Cylindrical (R, θ , Y components) coordinate system 5 (C.S.5)

Sedangkan system koordinat lokal merupakan sistem koordinat yang dapat dipindahkan pada titik-titik tertentu sesuai kebutuhan anda. Sistem koordinat lokal dapat disesuaikan dengan *global cartesian coordinates*, *nodes*, *keypoints* atau *working plane*.

Pengaturan system koordinat dapat dilakukan melalui toolbar sebagaimana yang terlihat pada gambar II.11



Gambar II.11 *Toolbar* pengaturan system koordinat

GUI:

Utility Menu>WorkPlane>Change Active CS to

Utility Menu>WorkPlane>Local Coordinate Systems

3. *Working plane*

Working plane / WP ini merupakan bidang kerja dalam ANSYS yang harus benar-benar dicermati. Pada *toolbar* paling atas dari window ANSYS, dapat ditemukan pilihan-pilihan untuk memodifikasi WP agar langkah pembuatan model lebih mudah (gambar II.12). Setelah memindah / mengubah WP, jangan lupa untuk selalu menyelaraskan WP dengan Global kartesian agar operasi-operasi berikutnya tidak kehilangan orientasi terhadap sumbu globalnya

GUI:

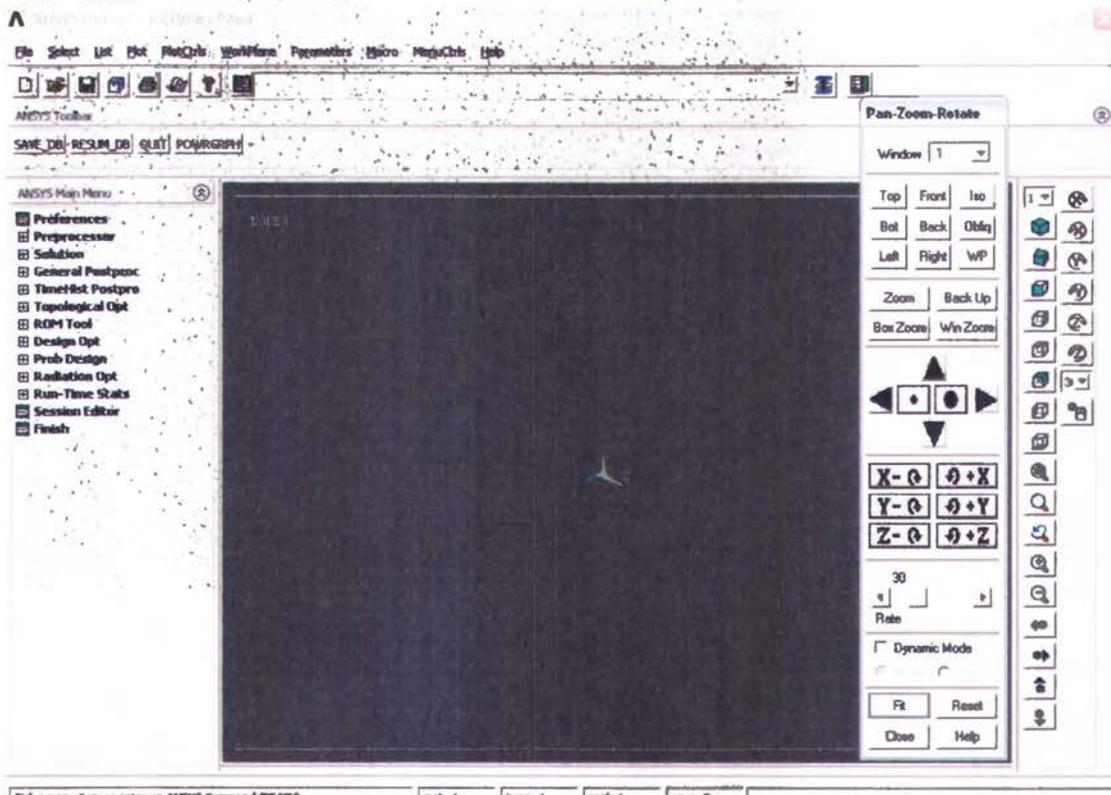
Utility Menu>WorkPlane>Display Working Plane

Utility Menu>WorkPlane>WP Settings



Gambar II.12 *Toolbar Workplane setting*

4. View



Gambar II.13 *Toolbar View*

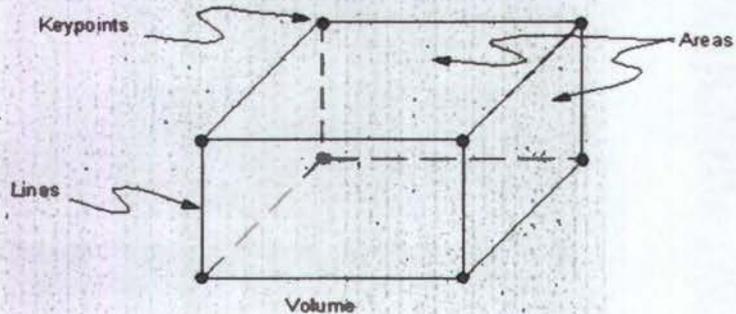
GUI:

Utility menu > plot control > pan, zoom, rotate

2.8.3 Pemodelan Geometri

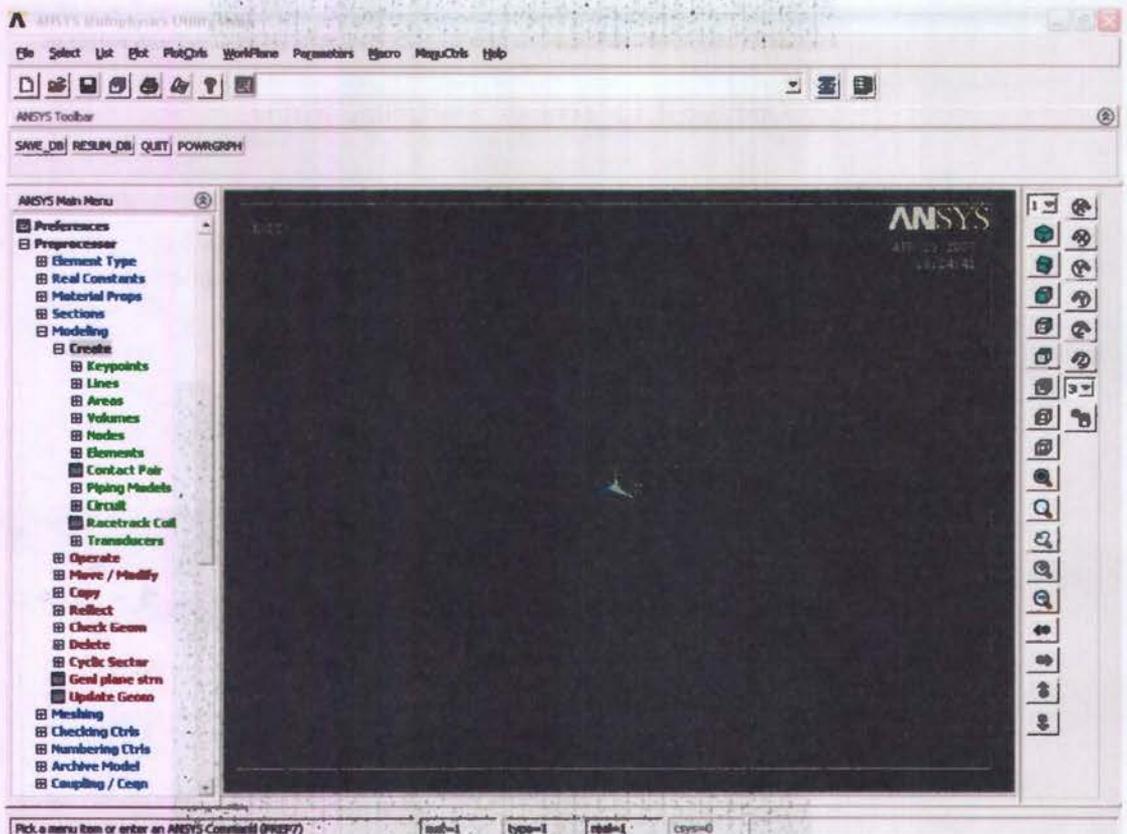
Pemodelan geometri dapat dilakukan dengan 2 cara :

1. **Bottom up**, yaitu pembuatan model yang dilakukan secara manual dengan mendefinisikan *keypoint* terlebih dahulu, yang kemudian dikembangkan untuk membuat garis, area dan volume seperti pada gambar II.14.



Gambar II.14 Key points

Pembuatan model secara bottom up dapat dilakukan melalui *create command*, sebagaimana gambar II.15.

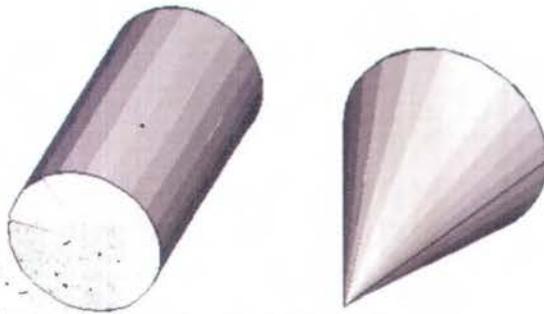


Gambar II.15 Modeling by Create Command

GUI:

- Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Key points
- Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Lines
- Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Arbitrary

2. **Top down**, yaitu pembuatan model dengan memodifikasi geometri dasar yang telah tersedia (gambar II.16).



Gambar II.16 Top Down

Langkah awal pembuatan geometri dimulai dengan *create command* untuk memilih geometri dasar, yang dilanjutkan dengan *operate command* untuk membentuk model yang diinginkan.

2.8.4 Diskritisasi (*Meshing*)

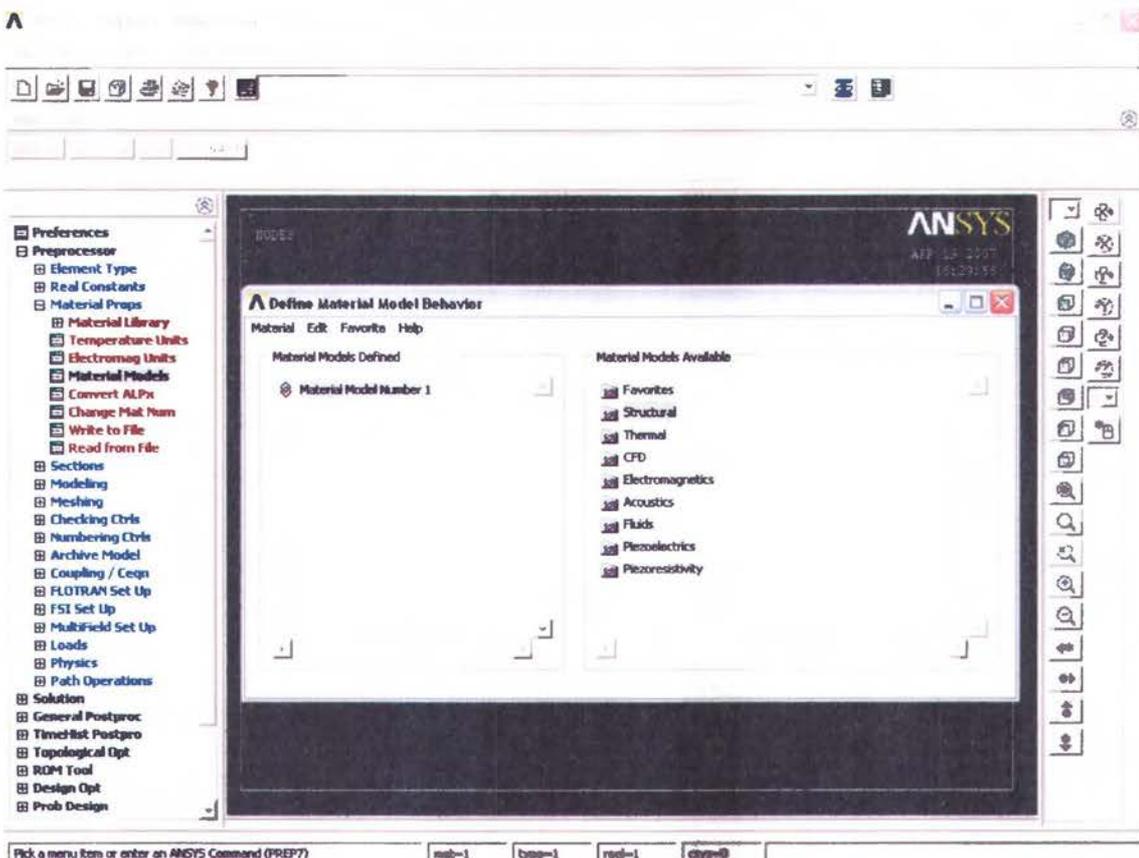
Proses ini dilakukan untuk menjadikan model yang kontinu kedalam mode discrete yaitu elemen-elemen kecil yang terhubung / terkait dengan *node* agar dapat dianalisa dengan baik sesuai pendekatan elemen hingga. Tahapan-tahapan yang harus dilakukan :

1. Mendefinisikan material dan sifat-sifat mekaniknya

Material didefinisikan berdasarkan kebutuhan analisa yang hendak dilakukan seperti yang terlihat di gambar II.17.

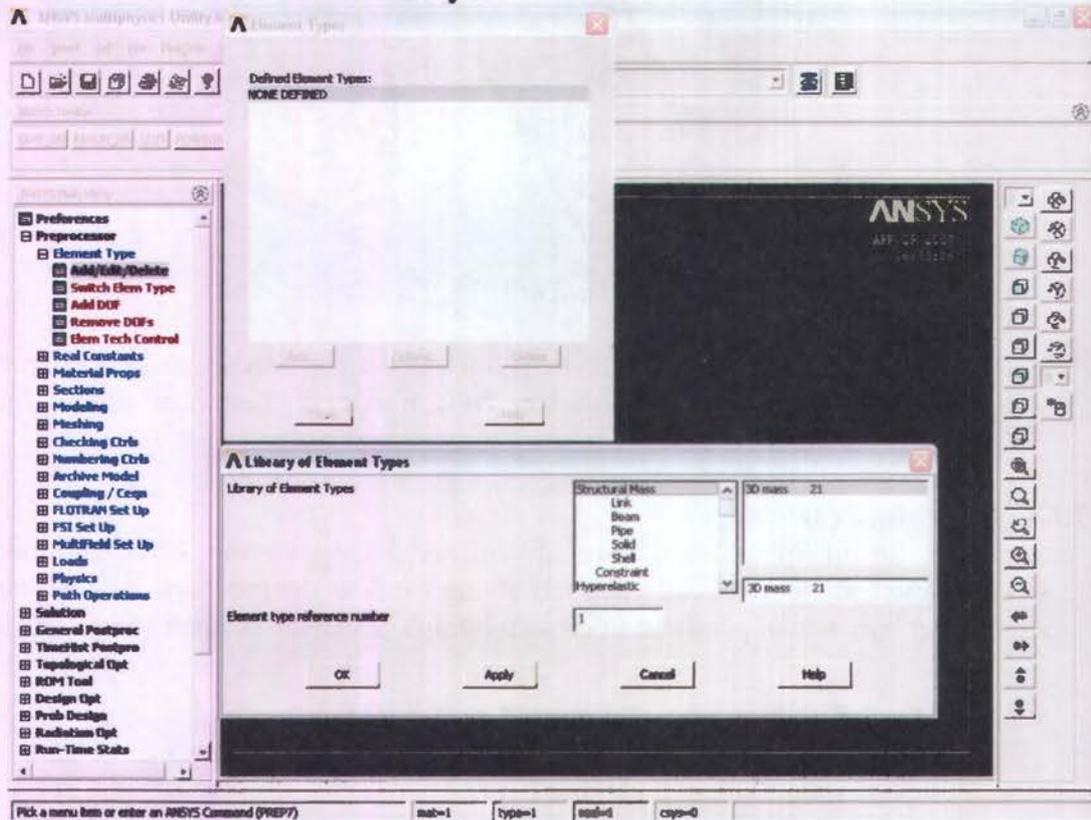
GUI:

Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models



Gambar II.17 Material Model Behaviour

2. Menentukan elemen dan atributnya



Gambar II.18 Library of Element Type

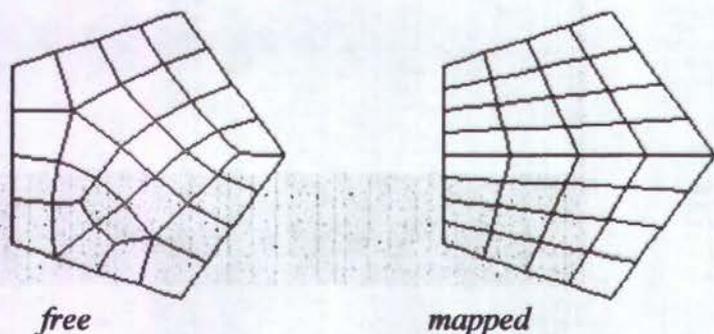
GUI : Main Menu>Preprocessor>Element type>Add/Edit/Delete

ANSYS menyediakan beberapa jenis elemen, yang masing-masingnya dapat dipilih berdasarkan kemampuan produk yang kita pilih / disesuaikan dengan geometri dan analisa yang dilakukan seperti pada gambar II.18. Jenis-jenis elemen dan karakteristiknya dapat dilihat pada ANSYS Help>ANSYS 6.0 Documentation>ANSYS Element Reference.

3. Meshing

Konsep dasar analisa lokal adalah penggunaan metode elemen hingga, dimana suatu struktur dibagi menjadi elemen-elemen yang terdiri dari *node-node* untuk mengetahui lebih akurat proses distribusi beban dan akibatnya pada struktur. Proses pembagian inilah yang dinamakan dengan proses *meshing*. Proses *meshing* pada ANSYS dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu *free* atau *mapped*.

Free mesh digunakan jika pengguna menghendaki pembagian elemen dan *node* ditentukan oleh ANSYS, sedangkan *mapped mesh* digunakan apabila pengguna menghendaki bentuk *meshing* tertentu (gambar II.19).



Gambar II.19 Proses Meshing di Ansys



Gambar II.20 Mesh Tool

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Meshtool

Mapped mesh dapat diatur melalui *size control* yang dapat dilihat pada menu *meshtool* maupun *meshing* (gambar II.20). Menu *concatenate* digunakan untuk seakan-akan menyambung garis-garis yang berbeda untuk memenuhi persyaratan dalam penggunaan *mapped mesh*. Garis-garis yang terbentuk akibat *concatenate* harus dihapus sebelum melakukan proses analisa untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam perhitungan.

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Meshing>Concatenate

Setelah proses *meshing* selesai, terlebih dahulu dilakukan *check mesh* untuk mengetahui apakah *meshing* yang terbentuk telah memenuhi kriteria yang disyaratkan. Elemen *meshing* yang “cacat” atau tidak sesuai dengan kriteria dan syarat valid dapat diperbaiki dengan tombol *refine*.

GUI:

Main Menu>Preprocessor>Meshing>Check Mesh

2.8.5 Loading And Solution

a) Loading

Beban-beban untuk analisa statik terdiri dari :

a. DOF Constraints : Memberikan batasan pada derajat kebebasan.

Ex : displacement

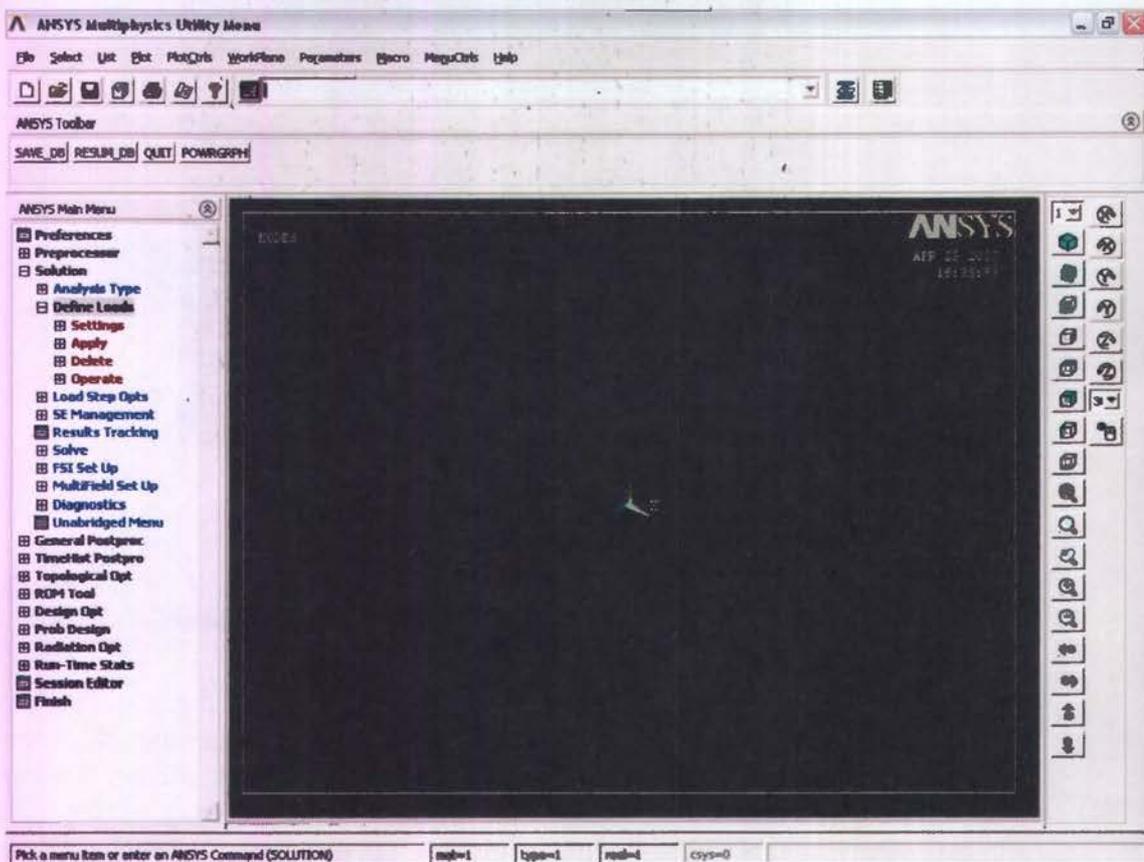
b. Forces : Beban terpusat yang bekerja pada node

Ex : gaya, moment, heat flow rates

- c. Surface Loads : Beban uniform pada permukaan
- d. Body Loads : Beban yang bekerja pada daerah tertentu
- e. Inertia Loads : Digunakan pada mass matrix
- f. Coupled-field Loads : Penggunaan hasil analisa sebagai beban pada analisa yang lain.

GUI:

Main Menu>Solution>Define Load>Apply



Gambar II.21 Define Loads

Opsi setting digunakan untuk menentukan kondisi lingkungan dan sifat ataupun skala pembebanan. Untuk menu loads step option digunakan untuk mendefinisikan beban dinamis sesuai fungsi waktu dalam model blok (lihat gambar II.21)

GUI:

Main Menu>Solution>Define Load >Settings

Main Menu>Solution>Load Step Option

b) Solution

Setelah seluruh proses pembebanan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses analisa (*runing*). Analisa struktural statis dilakukan untuk mengetahui perubahan pada model yang bersifat struktural seperti *defleksi*, *displacement*, distribusi tegangan dan regangan, dll.

GUI:

Main Menu>Solution>Current LS

c) **Output**

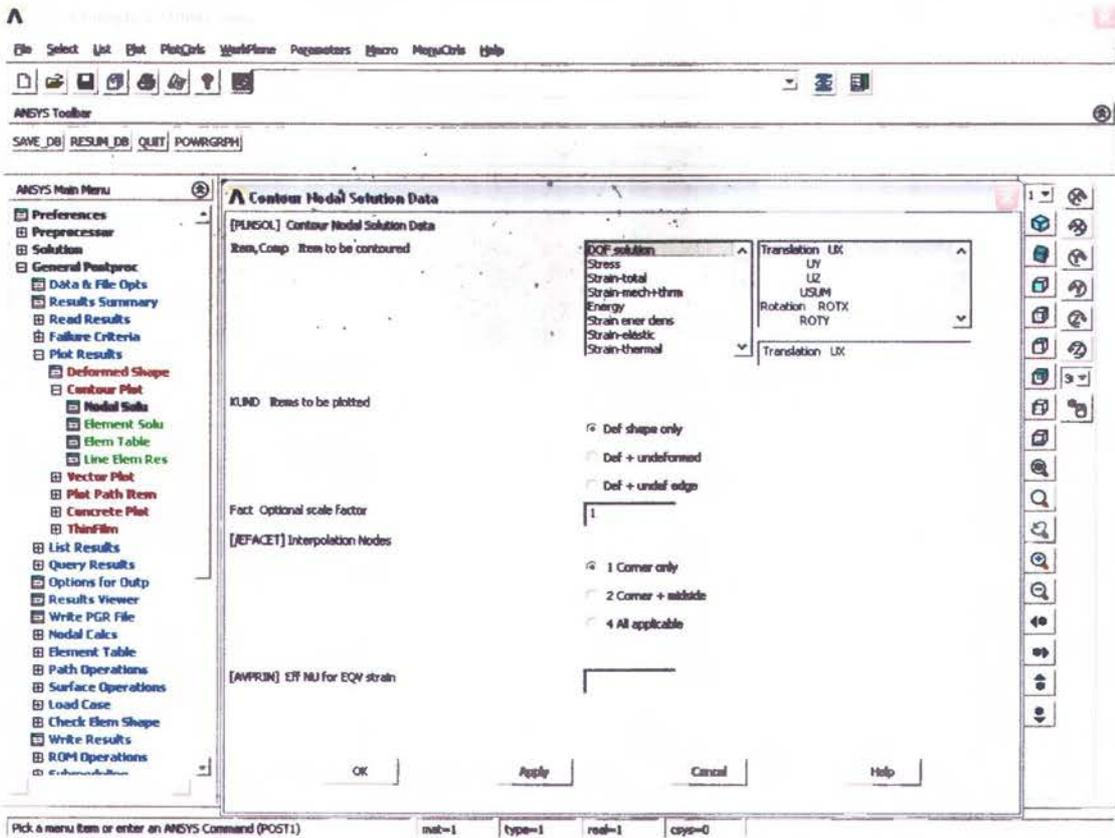
ANSYS menyediakan 2 jenis output :

- a. Grafis → hasil analisa ditunjukkan dengan perubahan warna pada model (gambar II.22)

GUI: Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solution

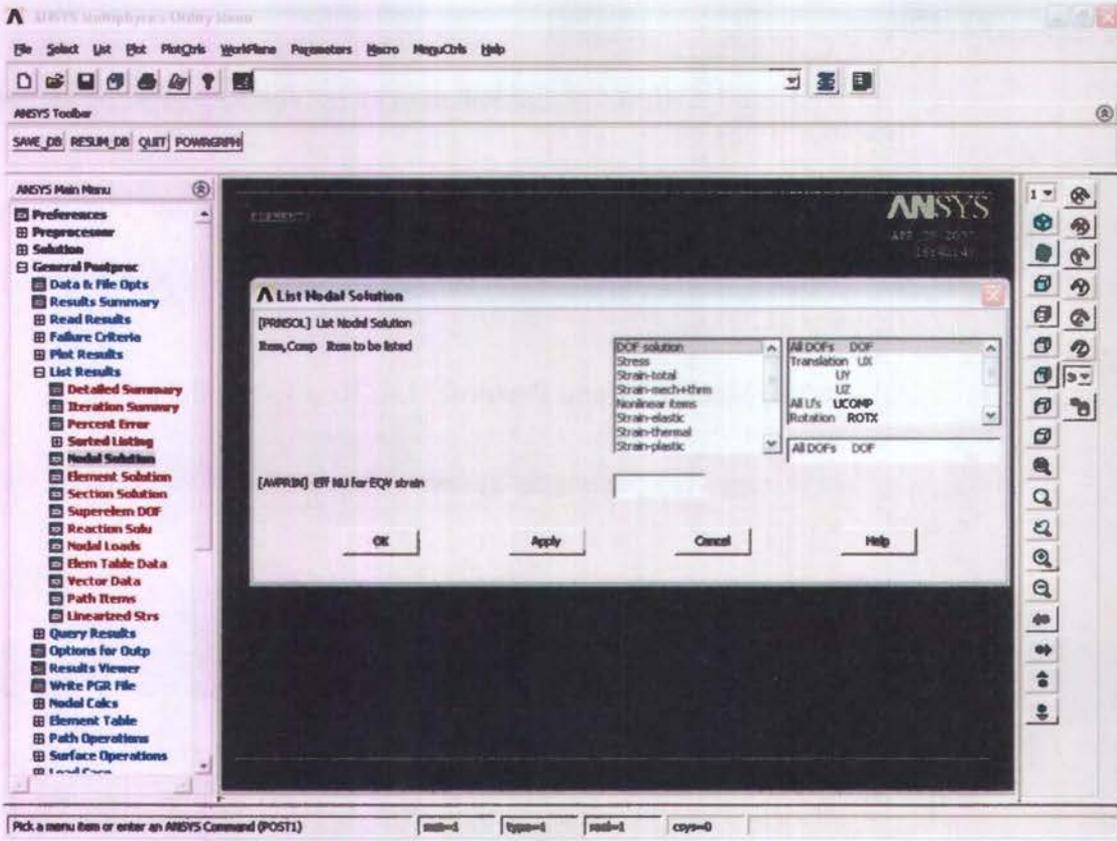
- b. List → hasil analisa ditunjukkan dengan angka numerik pada tiap node (gambar II.23)

GUI: Main Menu>General Postproc>List Results>Nodal Solution



Gambar II.22 *Contour of Nodal Solution Data*





Gambar II.23 List Of Nodal Solution

NEW ORLEANS
271

BAB III PERANCANGAN MODEL

3.1 Pemodelan Struktur

ANSYS adalah *software analysis* yang digunakan untuk melakukan analisa lokal pada struktur menggunakan teori metode elemen hingga (*finite element method*). Secara umum, tahapan permodelan terdiri dari :

1. pembuatan model dan *meshing*
2. pembebanan dan analisa
3. pembacaan *output*

Perintah pada ANSYS dapat dilakukan dengan 2 cara, melalui *command list* atau *toolbar* yang disediakan. Dari sini kita dapat mulai proses simulasi dengan terlebih dahulu mengisi beberapa pilihan menu yang tampak pada layer menu utama, sebagai berikut:

Preference

Preference memuat bidang analisis yang akan dilakukan dalam pemodelan. ANSYS memuat bidang analisa struktural, thermal, fluida dan elektromagnetik. Bidang analisa dapat dipilih salah satu atau banyak bidang jika analisa yang dilakukan adalah multifisika yang mengharuskan anda untuk “bermain” dengan banyak elemen. Untuk masalah perubahan bentuk pada blok maka Preferences kita Structural agar dapat menentukan besarnya perubahan bentuk yang terjadi pada blok yang kita modelkan nanti Perintah yang digunakan adalah *Preferences > Structural > Ok*.

Preprocessor

Preprocessor adalah menu untuk memodelkan geometri dan pendefinisian sifat mekanis dan fisika dari model anda dan juga digunakan untuk proses *mesh* model utuh kedalam rangkaian titik-titik yang disebut *node*. Adapun sub-menu dari *preprocessor* yang dipakai antara lain :

- a. *Element type*, untuk menentukan jenis elemen yang paling sesuai untuk analisa ini.
 - *Line Element*, Untuk pemodelan penumpu, penegar, gading, balok geladak dan profile yang lainnya digunakan *Beam 189_Quadratic Finite Strain Beam*. *Beam 189* adalah elemen yang cocok digunakan dalam analisa struktur ramping (*slender*) sampai struktur agak tebal dari balok. Elemen ini didasarkan pada teori balok Timoshenko. Efek deformasi gaya geser juga diikutkan. *Beam 189* adalah kuadratik (3-Node) elemen balok di ruang 3-D, yaitu tipe elemen *beam* yang memiliki 3 simpul (*node*) sehingga lebih elastis bila dibandingkan dengan elemen *beam* yang hanya memiliki 2 simpul (*node*). *Beam 189* memiliki enam derajat kebebasan, terdiri dari tiga translasi dan tiga rotasi. Elemen ini baik digunakan untuk linear, rotasi yang besar atau aplikasi regangan nonlinear. *Beam 189* dipakai untuk pemodelan gading, balok, penegar,

penumpu, gading besar, flens maupun pilar karena memiliki kemampuan sebagai balok. Selain itu bentuk kuadratik memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan bentuk linear.

- *3D Shell*, Pada *element library* ANSYS terdapat banyak jenis *shell element*. Seperti halnya *line element*, jenis-jenis elemen shell ini dapat digunakan sesuai kebutuhan dan analisa yang akan dilakukan. Untuk pemodelan blok digunakan *Shell 93_8node Structural Shell*. Shell 93 pada khususnya baik digunakan untuk pemodelan pelat lengkung. Elemen ini memiliki enam derajat kebebasan di tiap node: translasi pada arah x,y dan z serta rotasi pada arah sumbu x, y dan z. Bentuk terdeformasi adalah kuadratik pada bidang elemen.

Shell 93 dipakai dalam pemodelan pelat kapal terutama karena kemampuannya dalam pemodelan pelat-pelat kapal yang kebanyakan lengkung. Serta bentuk terdeformasi yang kuadratik memungkinkan perhitungan di tengah elemen (*mid-side node*) lebih akurat. Elemen dibentuk oleh 8 node, 4 ketebalan dan material ortotropik. *Mid-side node* pada elemen tidak dapat dihilangkan dan dengan demikian elemen ini hanya kompatibel dengan elemen bentuk kuadratik. Pemilihan *shell element* tipe ini dilakukan pada semua pelat karena elemen pelat dengan 8 simpul lebih elastis bila dibandingkan dengan elemen pelat yang hanya memiliki 4 simpul di setiap elemennya. Pada elemen *shell 8 node* ini, arah ortotropik material sesuai dengan arah sistem koordinat elemen. Semua pelat kapal dimodelkan dengan menggunakan *shell 93_8 node*, termasuk bagian-bagian yang datar seperti di bangunan atas ataupun di deck.

- Real constant*, Dalam menentukan konstanta digunakan *Real Constant set* sesuai dengan pemilihan elemen yang digunakan pada pembuatan model. *Real Constant set for Shell 93* digunakan untuk menentukan ketebalan pelat. Selain penentuan konstanta, pada elemen beam dan shell perlu didefinisikan section. Dalam penentuan *section* ini dilakukan penentuan ukuran elemen pada potongan melintang dari profil (*beam*) dan pelat (*shell*). Untuk profil didefinisikan ketebalan dan ukuran profil yang dipakai dengan menggunakan *beam tool*, sedangkan untuk pelat hanya didefinisikan ketebalannya dengan menggunakan *real constant set for shell 93*. *Real Constant set* untuk shell 93 digunakan untuk menentukan ketebalan dari pelat.

Untuk mendefinisikan konfigurasi elemen (lihat *element reference* dalam help program). Perintah yang digunakan adalah *Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement*.

Real Constant Set Number 13, for SHELL 93

Element Type Reference No. 1

Real Constant Set No.

Shell thickness at node I TK(I)

at node J TK(J)

at node K TK(K)

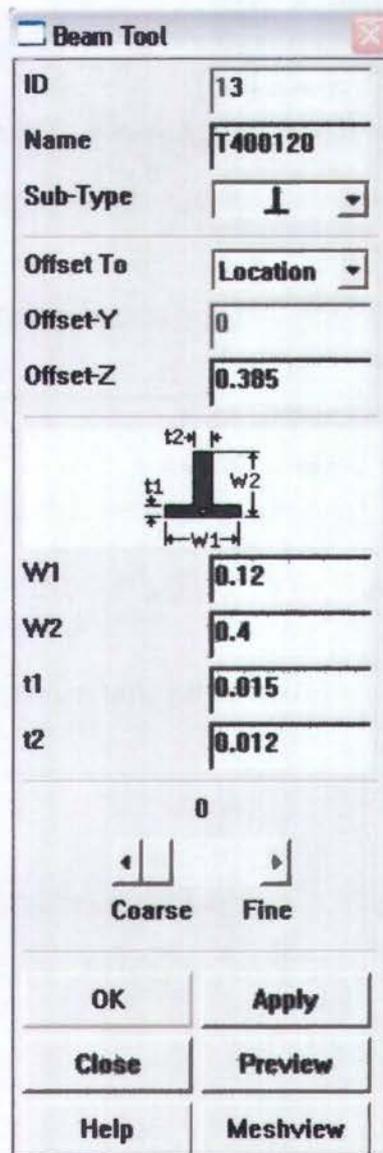
at node L TK(L)

Element X-axis rotation THETA

Added mass/unit area ADMSUA

OK Apply Cancel Help

Gambar III.1 Real constant set for Shell 93



Gambar III.2 *Beam tool* untuk mendefinisikan ukuran profil pada *beam element*

- c. *Material Properties*, dipilih melalui *material model behavior* (gambar III.4). Pada *material model behavior* dipilih untuk analisa *structural linear*, kemudian dipilih untuk material *elastic isotropic* (Gambar III.5). Pada kolom material *elastic isotropic* terdapat kolom EX yang harus diisi harga modulus elastisitas dari material yang akan digunakan. Selain itu, terdapat kolom PRXY yang harus diisi harga *poisson ratio* dari material yang dipilih. Kemudian pada *material model behavior* juga dipilih *density* yang harus diisi harga massa jenis material (Gambar III.6). Oleh karena itu, dalam menentukan material properties, hal ini tergantung pada material yang digunakan untuk struktur kapal, yang memiliki modulus elastisitas (*Young's modulus*), *poisson ratio* dan massa jenis (*density*) tertentu, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

a. *Young's Modulus*

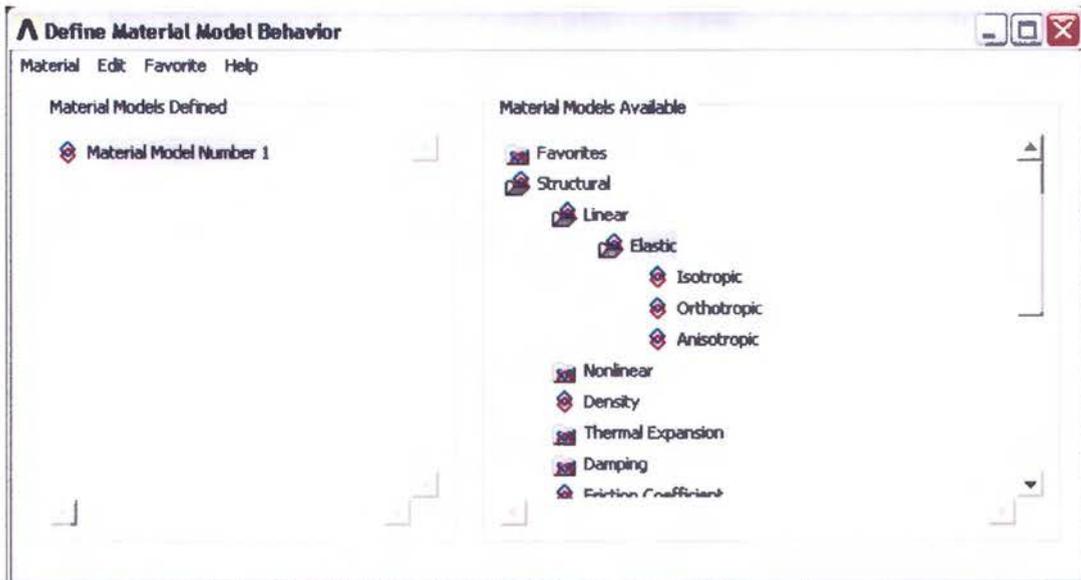
Young's Modulus (Modulus Elastisitas) ialah ukuran dari seberapa mudahnya suatu material untuk meregang ketika ditarik (dalam kaitannya dengan gaya tarik/ *tensile forces*) atau seberapa baik material memendek ketika ditekan (dalam kaitannya dengan gaya tekan/ *compressive forces*). Semakin besar nilai modulus elastisitas, semakin besar pula gaya yang diperlukan untuk meregangkan atau memendekkan (dengan gaya tekan) dari suatu material. Sebagai contoh, modulus elastisitas dari paduan aluminium adalah dari range 70 sampai 79 Gpa, dimana baja memiliki modulus elastisitas dalam range 190 sampai 210 GPa. Sehingga dengan demikian baja tiga kali lebih kaku dibandingkan dengan aluminium. Modulus elastisitas untuk baja yang digunakan pada pemodelan kapal ini adalah 200 Gpa.

b. *Poisson Ratio*

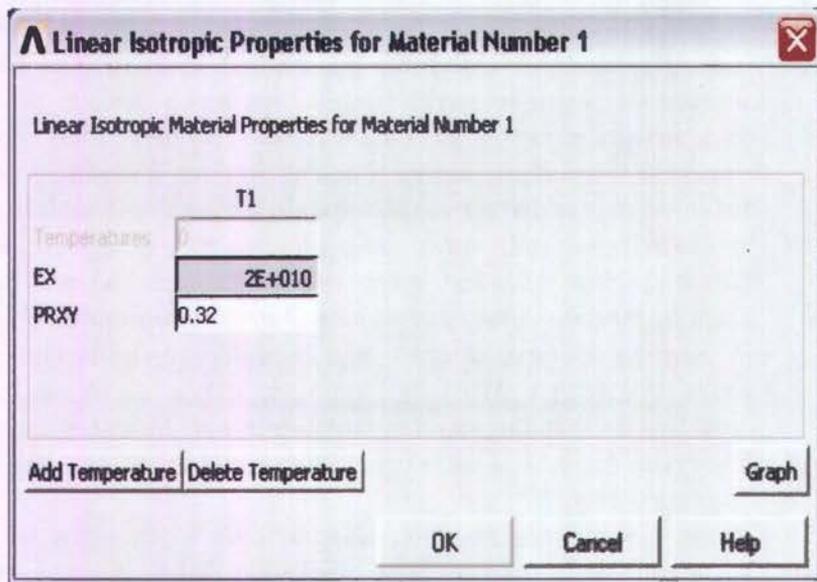
Poisson Ratio adalah perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial akibat gaya uniaksial. Dalam hal ini poisson ratio untuk baja diambil 0,32.

c. *Density*

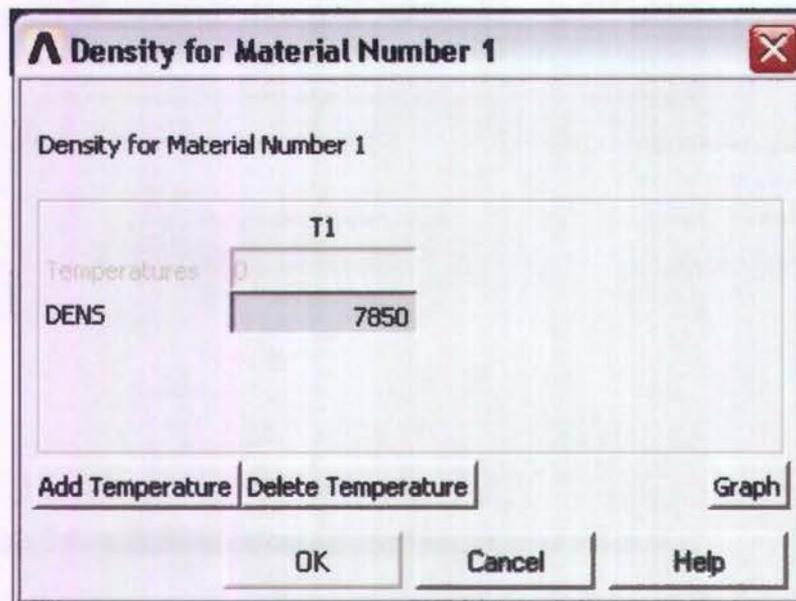
Density atau massa jenis didefinisikan sebagai massa per unit volume. Dalam hal ini massa jenis baja adalah 7850 kg/m^3 .



Gambar III.3 *Material Model Behavior*



Gambar III.4 *Material Linear Isotropic*



Gambar III.5 *Density of Material*

- d. *Modelling, sub-menu* ini berisikan perintah-perintah untuk membangun model anda secara geometris sesuai pendekatan yang akan dilakukan. Jenis pembuatan model ini dapat didekati dengan 2 cara yaitu bottom – up (generasi dari titik hingga volume) dan juga top – down (campuran kombinasi berbagai entitas menjadi satu kesatuan). Selain itu terdapat operasi yang paling penting yaitu Boolean operation, fungsi ini dipakai untuk penyelesaian matematis-geometris pada model anda. Operasi yang dilakukan meliputi penambahan, pengurangan, *copy*, *mirroring*, dan *moving*. Pendefinisian operasi boolean sangat penting untuk menyesuaikan generasi

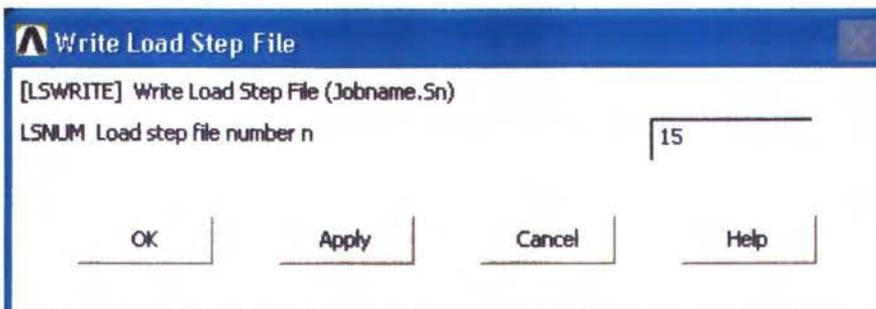
model anda dengan kondisi riil. Pembangunan model merupakan tahapan yang sulit karena anda akan “bermain” dengan working plane dan koordinat global XYZ. Perlu diperhatikan agar anda tetap bekerja pada active coordinate system agar tidak kehilangan orientasi model dan kehilangan sumbu acuan.

- e. *Meshtool*, merupakan fasilitas untuk mendiskretkan model menjadi titik-titik nodal serta merapikan hasil setting mesh. Pada pembuatan elemen (*mesh density*), penentuan ukuran elemen sangatlah penting. Jika ukuran elemen (*mesh*) terlalu kasar, hasilnya kemungkinan menyimpang jauh bahkan dapat terjadi error. Akan tetapi, meshing yang kasar akan memperkecil kebutuhan kapasitas komputer, mempersingkat waktu pembuatan model dan waktu yang diperlukan untuk running program. Namun, jika mesh terlalu halus maka akan semakin besar pula kapasitas dan sumber daya komputer yang dibutuhkan, baik untuk pembuatan model maupun untuk running model. Selain itu, mesh yang terlalu halus akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk pembuatan model dan running program. Pada kondisi yang paling buruk adalah kapasitas model yang dibuat dengan mesh halus menjadi terlalu besar untuk bisa diselesaikan pada komputer yang dipakai, sehingga model tidak bisa dianalisa.
- f. *Check mesh*, untuk menguji bentuk elemen apakah sudah memenuhi syarat-syarat dalam prinsip elemen hingga
- g. *Numbering Control*, untuk menyatukan node-node yang telah dibuat menjadi satu jika ada satu atau lebih node yang berimpit.

Solution

Fasilitas ini digunakan untuk menentukan jenis penyelesaian (statik atau dinamik) serta tipe-tipe iterasi numerik yang akan dilakukan komputer terhadap model anda sesuai pembebanan dan kondisi batas yang diberikan pada model. Sub-menu yang lazim dipakai antara lain ;

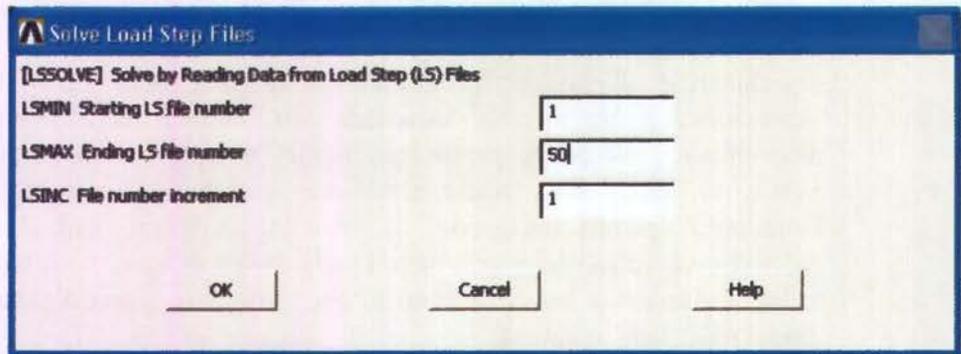
- a. *Loads*, fasilitas ini dipakai untuk memberikan beban-beban yang bekerja pada model beserta kondisi batas yang ada untuk mendekati kondisi riil. Beban yang dapat diaplikasikan adalah *pressure*, *force/moment*, *temperature*, gravitasi, elektromagnetik dan fluida.
- b. *Load step option*, untuk analisa dinamis dan menentukan setting time beban yang bekerja pada model (Gambar III.5)



Gambar III.6 *Write Load Step*

Perintah yang digunakan untuk penulisan load step adalah *Preprocessor > Loads > Load Step Opts > Write Ls*. Penulisan *load step* ini dilakukan sebanyak pembebanan yang dilakukan yaitu mulai dari *load step* 1 samapai dengan ke-n.

- c. *Solve*, untuk me-running model yang telah digenerasi dalam elemen hingga serta telah diaplikasikan beban (Gambar III.6). Atau dapat juga me-running file beban yang sebelumnya telah disimpan dalam direktori kerja. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Solve > From LS Files > Starting = 1, Ending = 50 > OK*



Gambar III.7 *Solve Load Step*

General postprocessor

Fasilitas ini digunakan untuk menampilkan hasil iterasi komputer terhadap model anda. *Sub-menu* untuk melihat hasil solusi *nodal* dan tampilan grafis adalah *plot result*. Pembacaan besaran hasil tiap *node* dapat dilihat dari perintah *List result > nodal solution*.

3.2 *Modeling and Meshing*

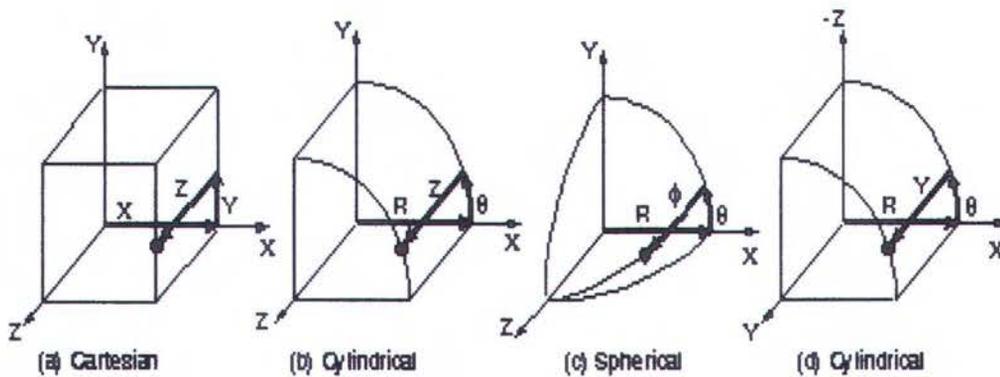
Tahapan pembuatan model merupakan awalan yang sangat penting untuk menyesuaikan atau mendekati bentuk yang akan dianalisa pada kondisi riil. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan adalah :

1. *Unit*

ANSYS tidak memiliki fasilitas untuk mendeskripsikan satuan yang digunakan. Oleh karena itu dituntut konsistensi dalam penggunaan input satuan mulai dari awal pemodelan hingga penampilan hasil analisa.

2. *Coordinate System*

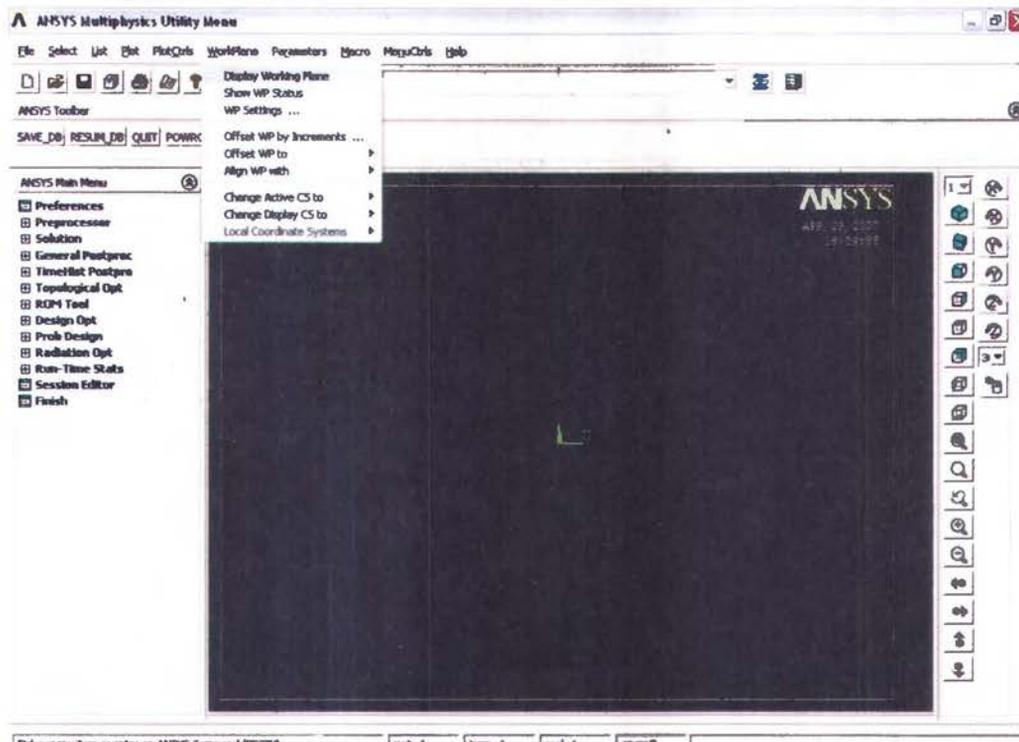
Terdapat 2 macam sistem koordinat yaitu koordinat global dan koordinat lokal. Koordinat global adalah sistem kartesian XYZ yang berporos pada titik 0,0,0. Sistem koordinat global yang dapat dipilih pada ANSYS adalah seperti gambar III.7 di bawah ini.



Gambar III.8 Coordinate System in Ansys

Sedangkan system koordinat lokal merupakan sistem koordinat yang dapat dipindahkan pada titik-titik tertentu sesuai kebutuhan anda. Sistem koordinat lokal dapat disesuaikan dengan *global cartesian coordinates*, *nodes*, *keypoints* atau *working plane*.

System koordinat yang digunakan pada Sistem koordinat kartesian, karena merupakan system koordinat yang paling banyak digunakan atau umum. Pengaturan system koordinat dapat dilakukan melalui toolbar sebagaimana yang terlihat pada gambar III.8 dibawah ini.



Gambar III.9 Toolbar Pengaturan sistem koordinat

GUI:

Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to

Utility Menu > WorkPlane > Local Coordinate Systems

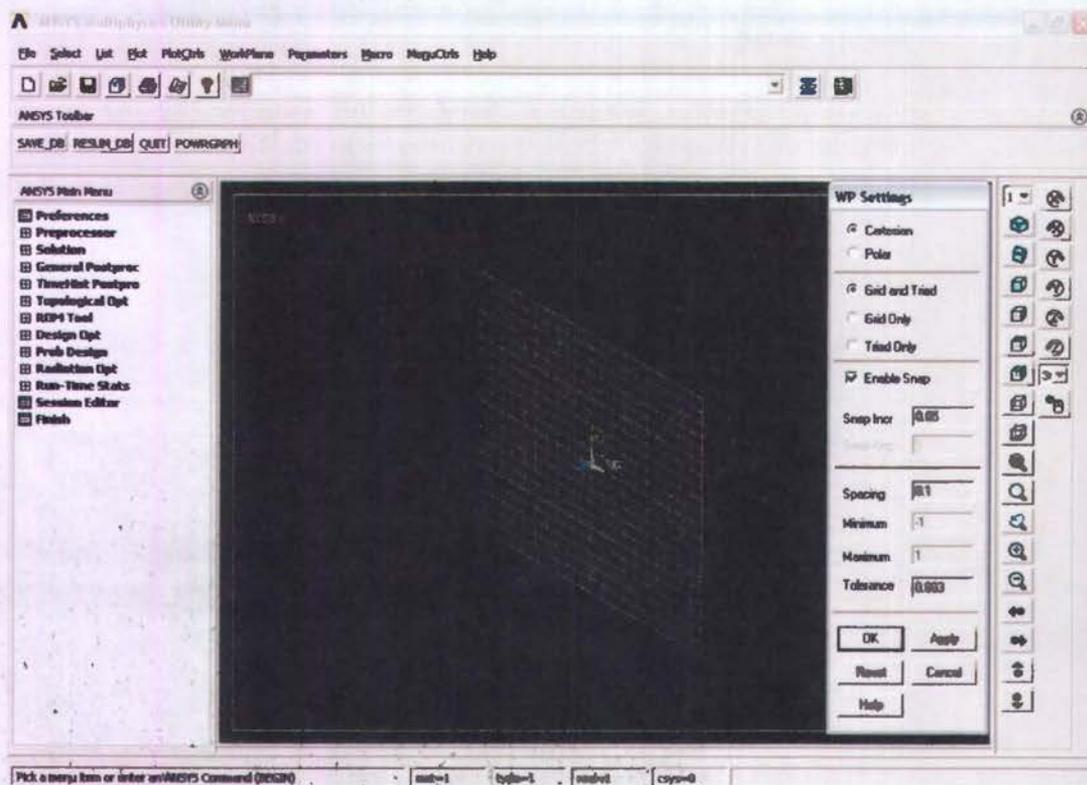
3. Working plane

Working plane /WP ini merupakan bidang kerja dalam ANSYS yang harus benar-benar dicermati. Pada toolbar paling atas dari window ANSYS, dapat ditemukan pilihan-pilihan untuk memodifikasi WP anda agar langkah pembuatan model lebih mudah (gambar III.9). Setelah memindah / mengubah WP, jangan lupa untuk selalu menyelaraskan WP dengan Global kartesian agar operasi-operasi berikutnya tidak kehilangan orientasi terhadap sumbu globalnya.

GUI:

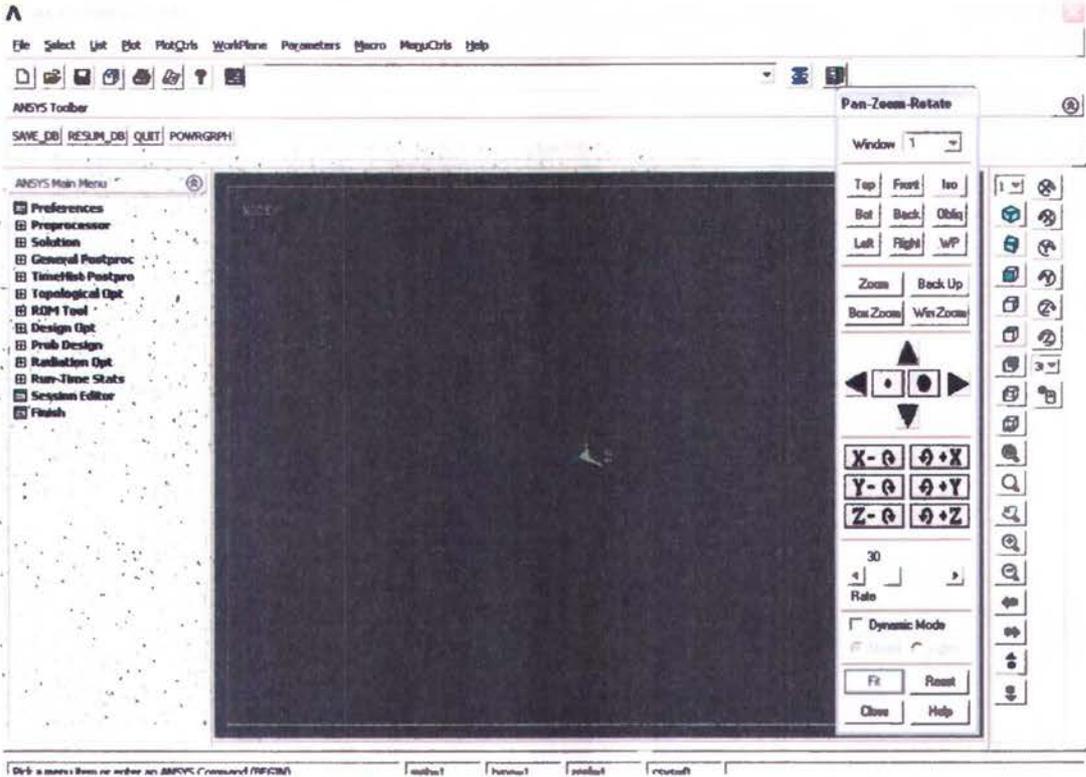
Utility Menu > WorkPlane > Display Working Plane

Utility Menu > WorkPlane > WP Settings



Gambar III.10 Working Plane Setting

4. View



Gambar III.11 *Toolbar View*

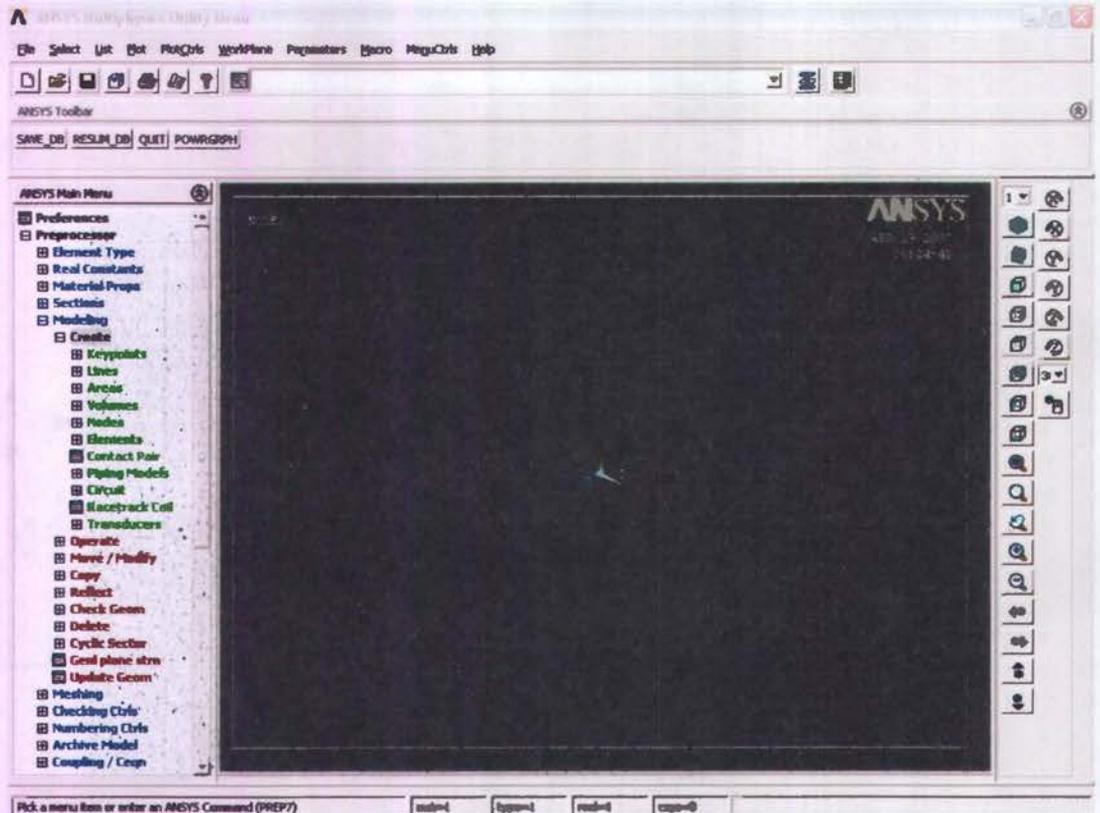
GUI: *Utility menu > plot control > pan, zoom, rotate*

3.3. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri dapat dilakukan dengan 2 cara :

1. **Bottom up**, yaitu pembuatan model yang dilakukan secara manual dengan mendefinisikan keypoint terlebih dahulu, yang kemudian dikembangkan untuk membuat garis, area dan volume.

Pembuatan model secara bottom up dapat dilakukan melalui *create command*, sebagaimana a gambar III.12



Gambar III.12 Pembuatan model secara *Bottom Up*

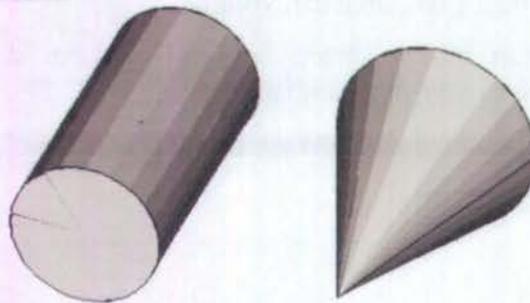
GUI:

Main Menu>*Preprocessor*>*Modeling*>*Create*>*Key points*

Main Menu>*Preprocessor*> *Modeling*>*Create*>*Lines*

Main Menu>*Preprocessor*> *Modeling*>*Create*>*Arbitrary*

2. *Top down*, yaitu pembuatan model dengan memodifikasi geometri dasar yang telah tersedia.



Gambar III.13 Pembuatan model dengan *Top Down*

Langkah awal pembuatan geometri dimulai dengan *create command* untuk memilih geometri dasar, dalam analisa ini digunakan pemdelan geometri secara *Top-Down* (Gambar III.13), yang dilanjutkan dengan *operate command* untuk membentuk model yang diinginkan.

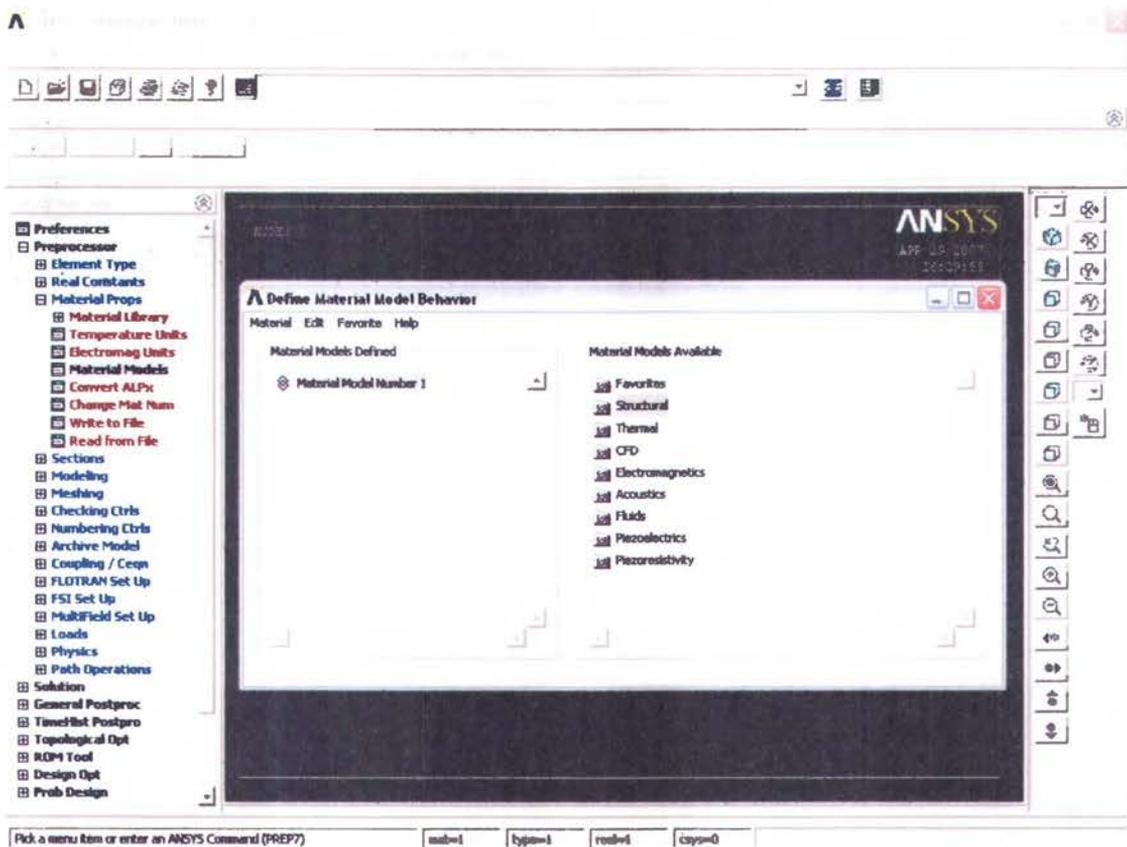
3.4. Diskritisasi (*Meshing*)

Proses ini dilakukan untuk menjadikan model yang kontinu kedalam mode diskret yaitu elemen-elemen kecil yang terhubung / terkait dengan *node* agar dapat dianalisa dengan baik sesuai pendekatan elemen hingga. Tahapan - tahapan yang harus dilakukan :

1. Mendefinisikan material dan sifat-sifat mekaniknya. Material didefinisikan berdasarkan kebutuhan analisa yang hendak dilakukan seperti terlihat di gambar III.14

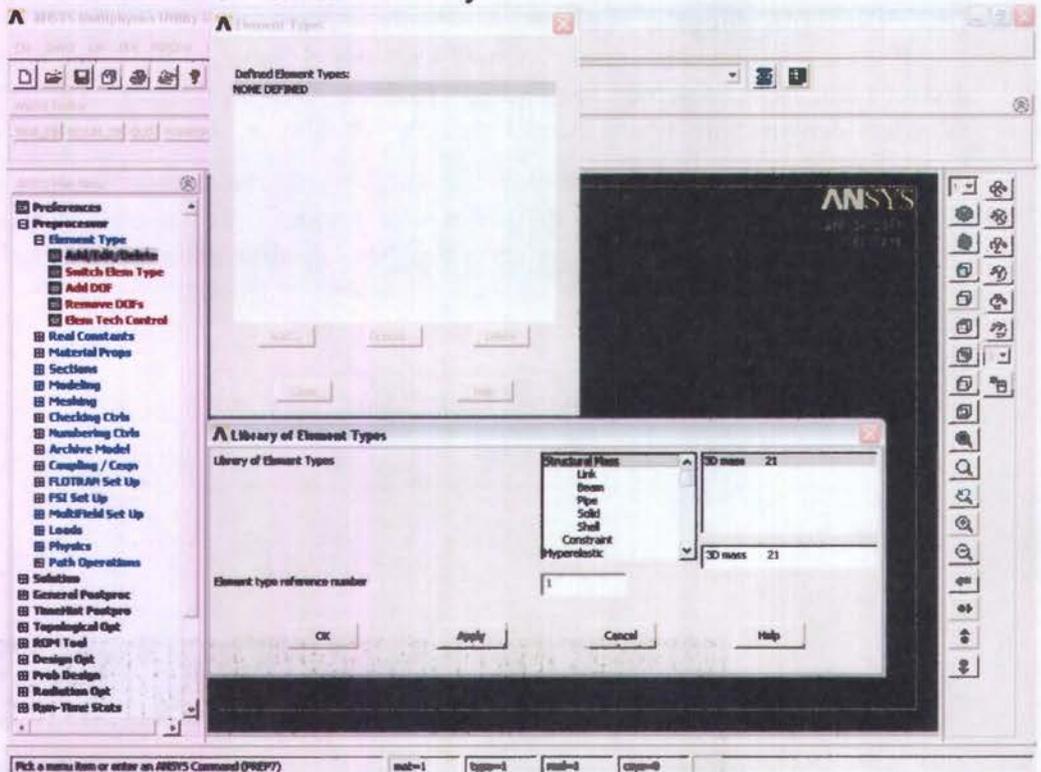
GUI:

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models



Gambar III.14 Mendefinisikan *Material Model Behaviour*

2. Menentukan elemen dan atributnya



Gambar III.15 Menentukan Tipe Elemen

GUI:

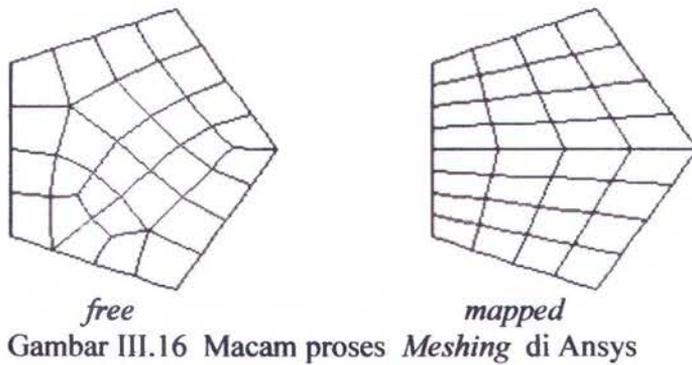
Main Menu > Preprocessor > Element type > Add/Edit/Delete

ANSYS menyediakan beberapa jenis elemen, yang masing-masingnya dapat dipilih berdasarkan kemampuan produk yang kita pilih atau disesuaikan dengan geometri dan analisa yang dilakukan. Jenis-jenis elemen dan karakteristiknya dapat dilihat pada *ANSYS Help > ANSYS 6.0 Documentation > ANSYS Element Reference.*

3. Meshing

Free mesh digunakan jika pengguna menghendaki pembagian elemen dan *node* ditentukan oleh ANSYS, sedangkan *mapped mesh* digunakan apabila pengguna menghendaki bentuk *meshing* tertentu (gambar III.16).

Analisa kami menggunakan proses *Meshing* tipe *Mapped*, karena bentuk blok yang dimodelkan sudah terdapat ukuran-ukurannya dan maupun perkiraan bentuk-bentuk detailnya.



Gambar III.16 Macam proses *Meshing* di Ansys



Gambar III.17 *Mesh Tool*

GUI:

Main Menu>*Preprocessor*>*Meshtool*

Main Menu>*Preprocessor*>*Meshing*

Mapped mesh dapat diatur melalui *size control* yang dapat dilihat pada menu *meshtool* maupun *meshing*. Menu *concatenate* digunakan untuk seakan-akan menyambung garis-garis yang berbeda untuk memenuhi persyaratan dalam penggunaan *mapped mesh*. Garis-garis yang terbentuk akibat *concatenate* harus dihapus sebelum melakukan proses analisa untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam perhitungan.

GUI:

Main Menu>*Preprocessor*>*Meshing*>*Concatenate*

Setelah proses *meshing* selesai, terlebih dahulu dilakukan *check mesh* untuk mengetahui apakah *meshing* yang terbentuk telah memenuhi kriteria yang disyaratkan. Elemen *meshing* yang “cacat” atau tidak sesuai dengan kriteria dan syarat valid dapat diperbaiki dengan tombol *refine*.

GUI: *Main Menu>Preprocessor>Meshing>Check Mesh*

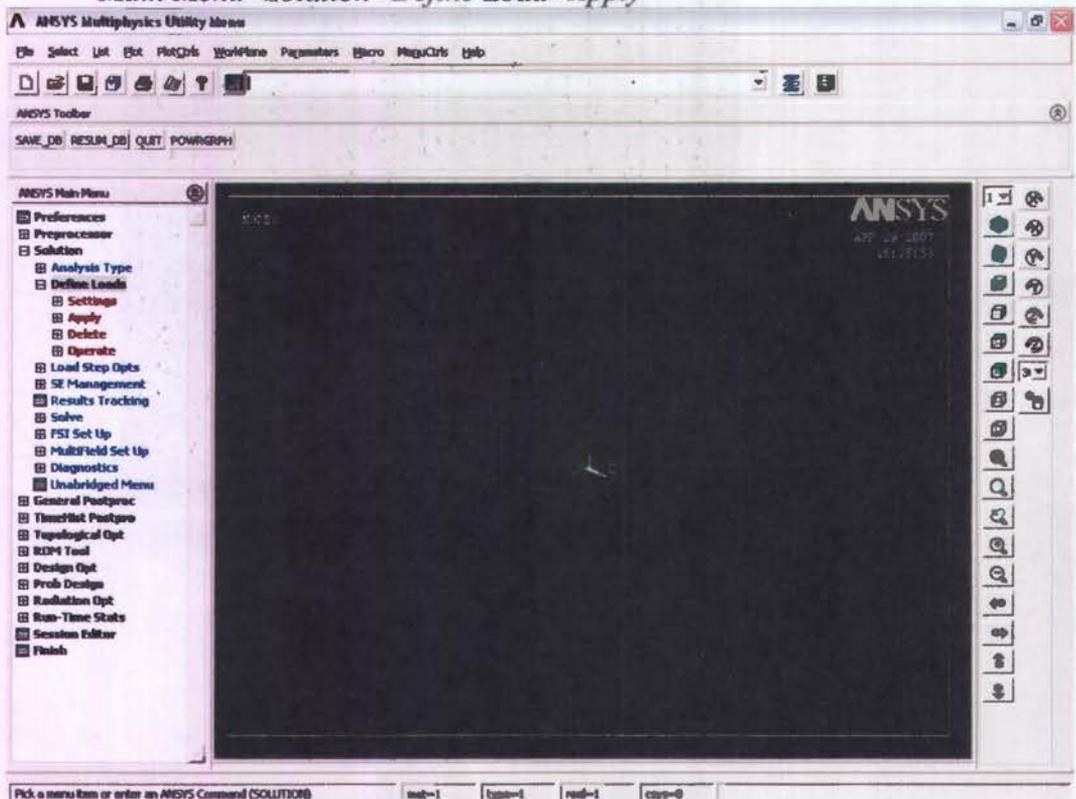
3.5. LOADING AND SOLUTION

3.5.1 *Loading*, Beban-beban untuk analisa statik terdiri dari :

- a. *DOF Constraints* : Memberikan batasan pada derajat kebebasan.
Ex : *displacement*
- b. *Forces* : Beban terpusat yang bekerja pada node
Ex : gaya, moment, heat flow rates
- c. *Surface Loads* : Beban uniform pada permukaan
- d. *Body Loads* : Beban yang bekerja pada daerah tertentu
- e. *Inertia Loads* : Digunakan pada mass matrix
- f. *Coupled-field Loads* : Penggunaan hasil analisa sebagai beban pada analisa yang lain

GUI:

Main Menu>Solution>Define Load>Apply



Gambar III.18 *Loading Solution*

Opsi *setting* digunakan untuk menentukan kondisi lingkungan dan sifat ataupun skala pembebanan. Untuk menu *loads step option* digunakan untuk mendefinisikan beban dinamis sesuai fungsi waktu dalam model anda.

GUI:

Main Menu>Solution>Define Load >Settings

Main Menu>Solution>Load Step Option

3.5.2 Solution

Setelah seluruh proses pembebanan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses analisa (*runing*). Analisa struktural statis dilakukan untuk mengetahui perubahan pada model yang bersifat struktural seperti *defleksi*, *displacement*, distribusi tegangan dan regangan, dll.

GUI:

Main Menu>Solution>Current LS

3.5.3 Output

ANSYS menyediakan 2 jenis output :

- Grafis → hasil analisa ditunjukkan dengan perubahan warna pada model (gambar III.19)

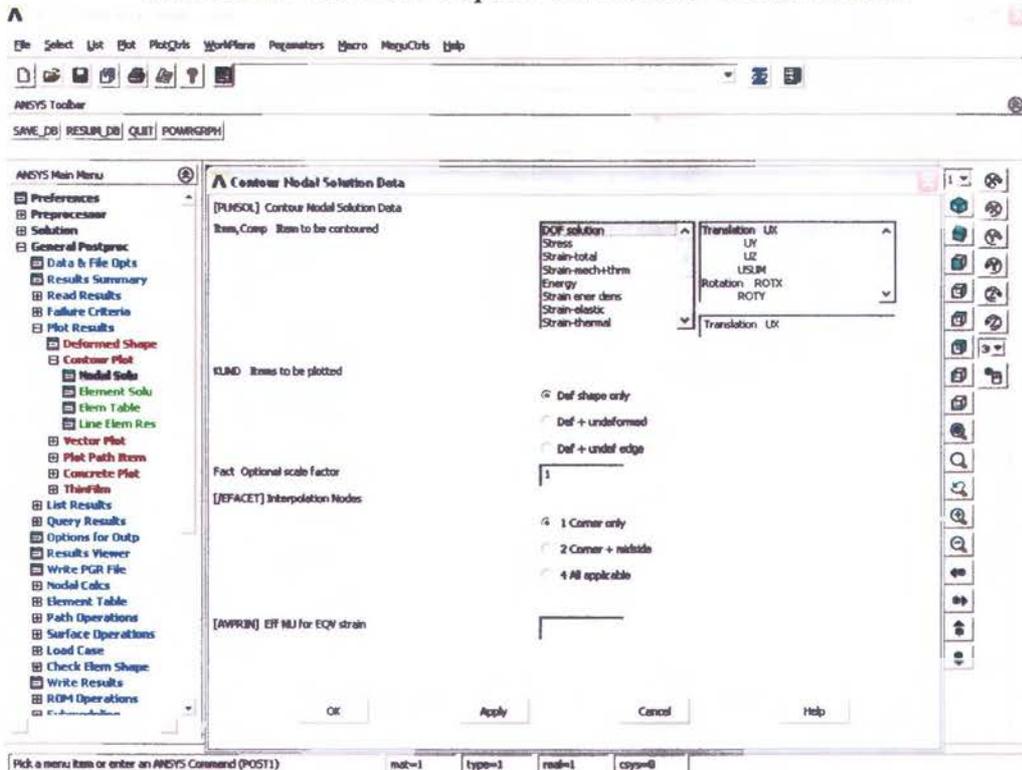
GUI:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solution

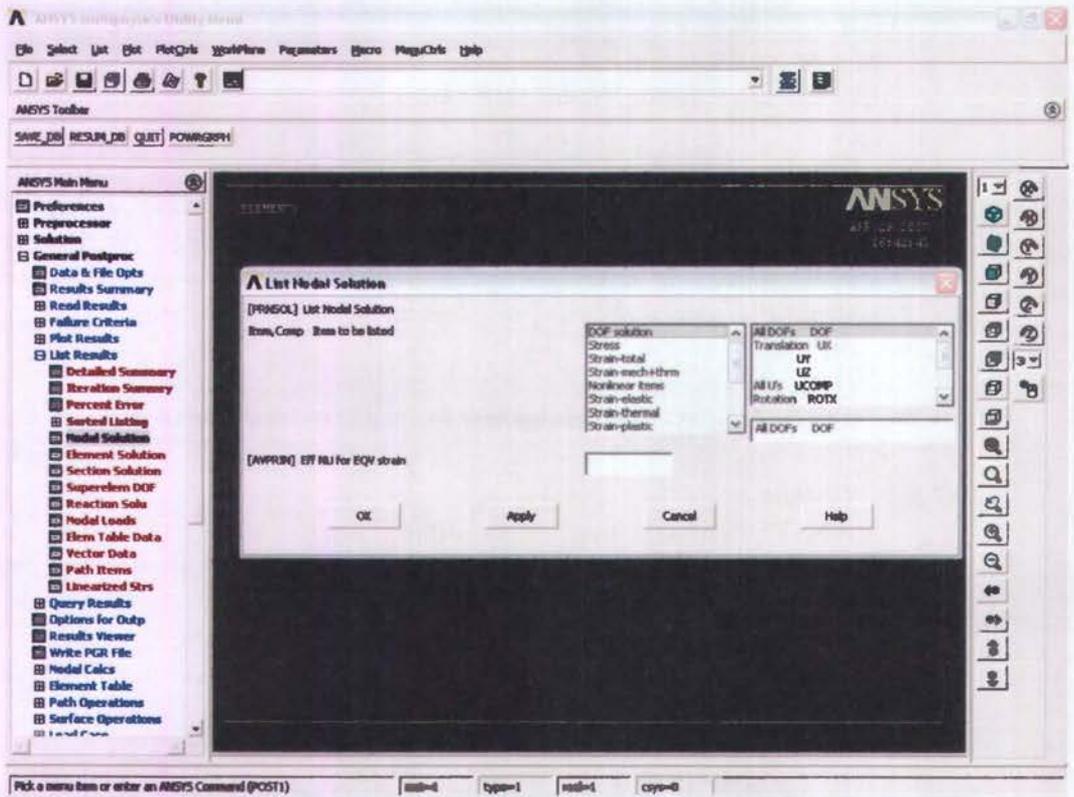
- List → hasil analisa ditunjukkan dengan angka numerik pada tiap *node* (gambar III.20)

GUI:

Main Menu>General Postproc>List Results>Nodal Solution



Gambar III.19 Contour Nodal Solution



Gambar III.20 *List Of Nodal Solution*

Output dalam hasil simulasi ini sengaja dipilih tipe Grafis (Gambar III.19) agar nilai displasemen dan letak terjadi maksimum maupun minimum displasemennya dapat dilihat dengan jelas berupa perubahan warna yang masing-masing warna mewakili besar nilai displasemen.

Sebagai pelengkap kami juga memberikan *alternative solution* yang berupa *List Of Nodal Solution* seperti pada gambar III.20, yang dapat menunjukkan lokasi terjadinya nilai maksimum dan minimum dari hasil simulasi yang dilakukan. Hasil dari *List of Nodal Solution* ini sebagian kami sertakan sebagai lampiran D “*Nodal Degree of Freedom Listing Ansys*”.

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan tentang simulasi yang dari model yang telah dibuat dengan menggunakan bantuan *software* Ansys. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan langkah-langkah untuk membuat dua model yang telah kami pilih dengan memvariasikan penempatan *eye plate* sebagai tolok ukur dalam membandingkan dan mencari besarnya perubahan bentuk yang terjadi pada sebuah blok pada saat blok tersebut diberi beban yang mirip seperti pada saat blok tersebut diangkat dan dipindahkan dengan *Crane* dari bengkel *Assembly / SubAssembly* ke *Building Berth*.

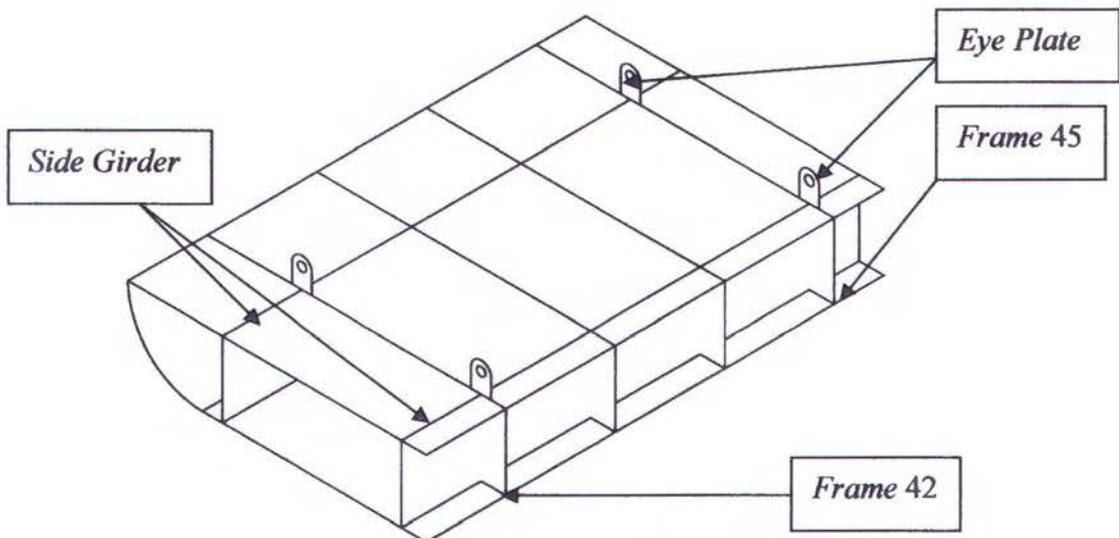
Dalam proses simulasi ini kedua blok sengaja dipilih yang letaknya berada di PMB (*Paralel Middle Body*) karena kemungkinan terjadinya perubahan bentuk cukup besar. Selain itu data dari galangan (*Accuracy Checksheet*) menunjukkan perubahan bentuk yang signifikan di kedua blok ini.

Adapun berat masing-masing blok, blok pertama yaitu DB 5P yang artinya letak blok tersebut berada di *Grand Block* nomer lima (daerah *Paralel Middle Body*) tepatnya bagian *Double Bottom* sebelah kiri (*Port Side*) adapun letak *frame* dari blok ini mulai dari *frame* 42 sampai dengan *frame* 45. Sedangkan berat dari blok ini (DB 5P) adalah 18,26 Ton sedangkan untuk berat Blok kedua yaitu DB 5C sebesar 22,03 Ton. Data kami dapatkan dari *Block Division* 6500 LTDW MT Vanda.

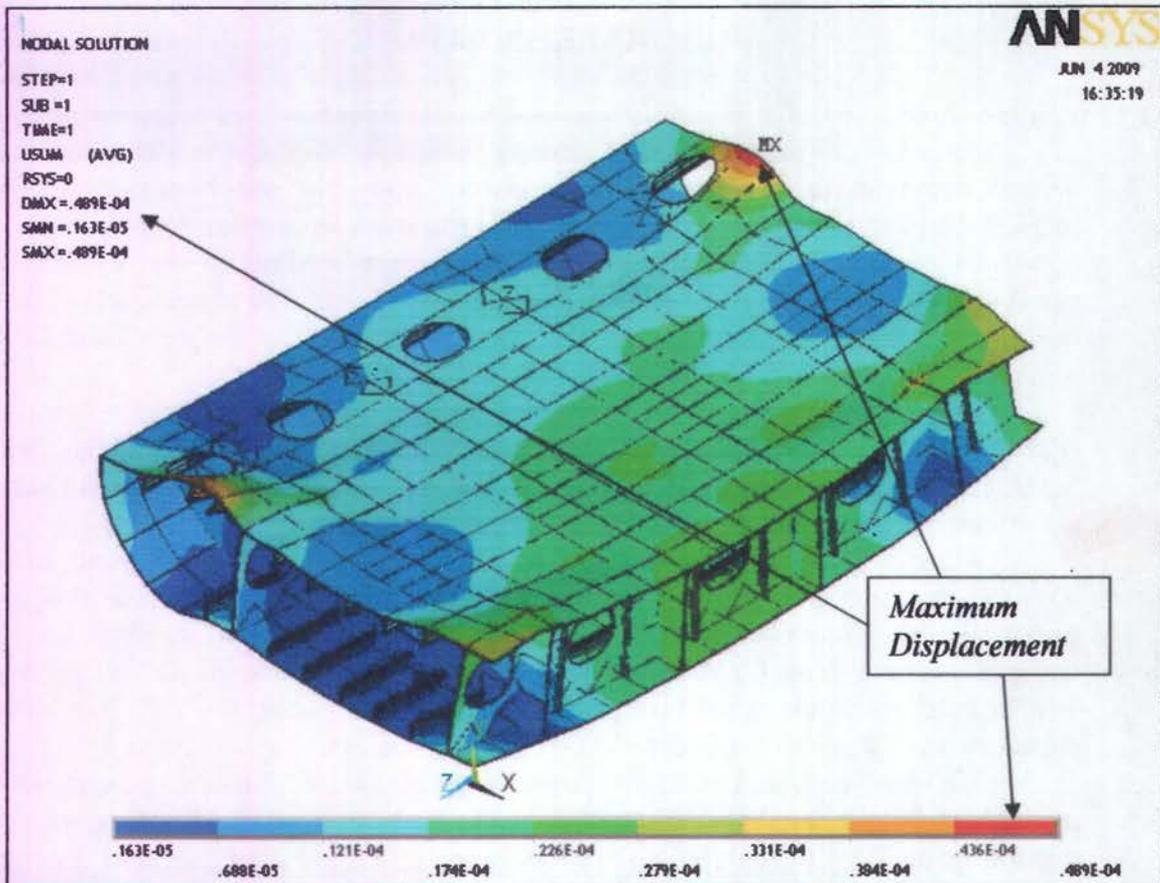
Simulasi pengangkatan blok dilakukan dengan 6 skenario pengangkatan pada model blok DB 5P dan 3 skenario pengangkatan pada model blok DB 5C. Posisi *eye plates* diambil sesuai dengan standar kerja proses pengangkatan blok di galangan sehingga posisi penempatannya terbatas di variasi yang telah kami berikan.

4.2. Variasi Letak Pembebanan

4.2.1 Model Blok 1, Variasi *eye plate* 1



Gambar VI.1 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 1



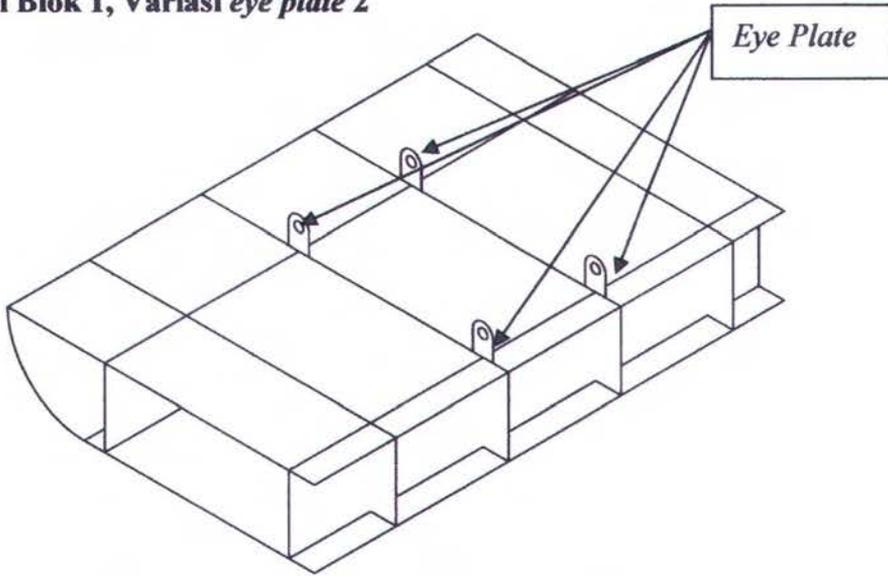
Gambar IV. 2 Hasil Running Nodal Solution Blok 1 - Variasi 1

Maximum displacement Variasi 1:

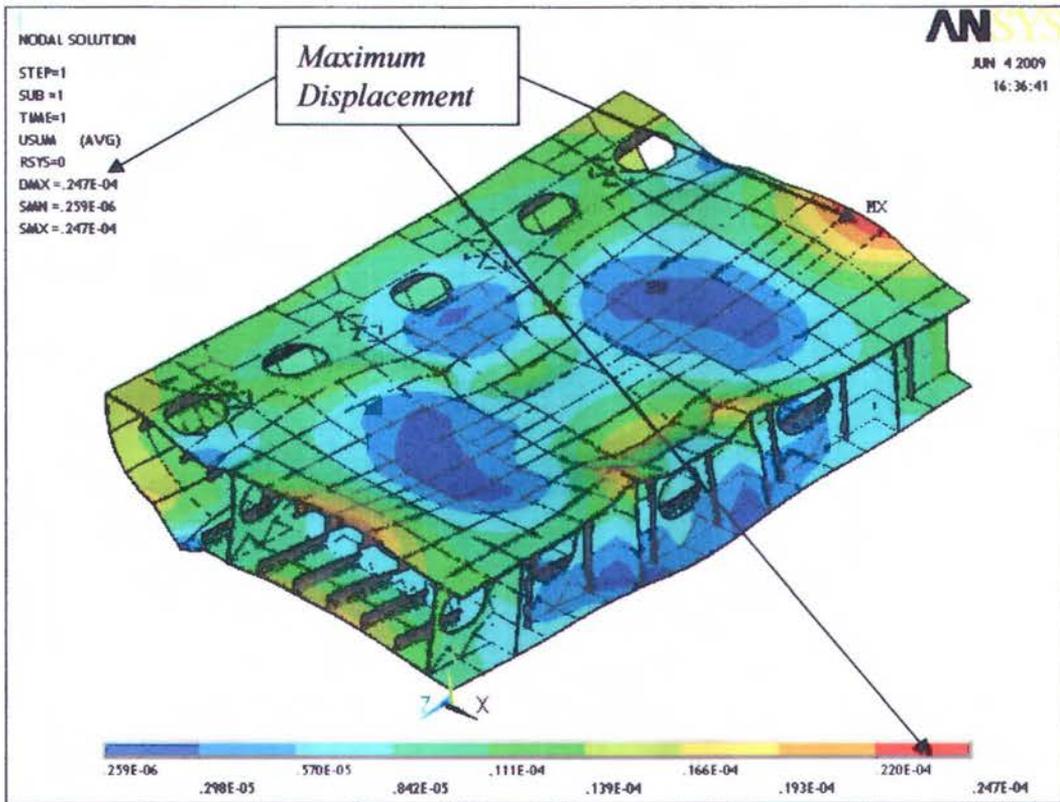
Maximum Displacement	Node Number	Displacement Value (mm)
displacement arah sumbu X	722	0.0133
displacement arah sumbu Y	1599	0.0465
displacement arah sumbu Z	722	0.0287
displacement total	1836	0.0488

Dari hasil simulasi (Gambar IV.2) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 1 sebesar 0,0488 mm yang terletak di *Node* 1836 yang diwakilkan dengan warna merah. Sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

4.2.2 Model Blok 1, Variasi eye plate 2



Gambar VI.3 Variasi letak pelat mata (Eye plate) 2



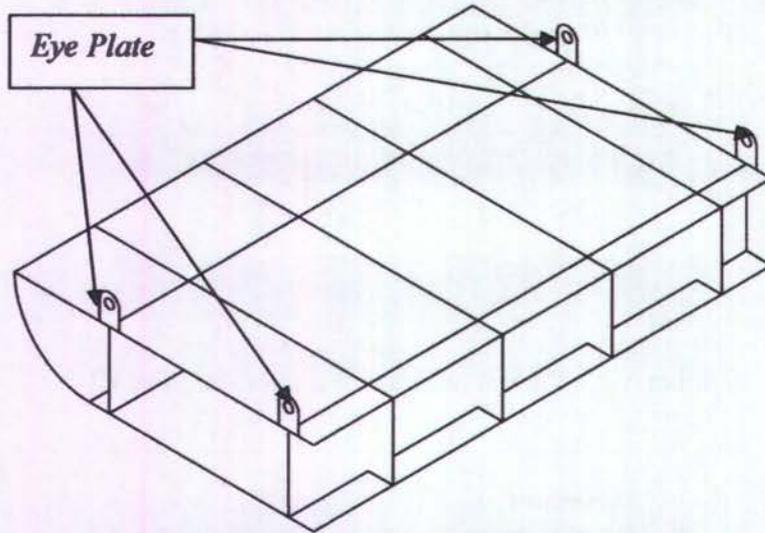
Gambar IV.4 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 1 - Variasi 2

Maximum displacement Variasi 2 :

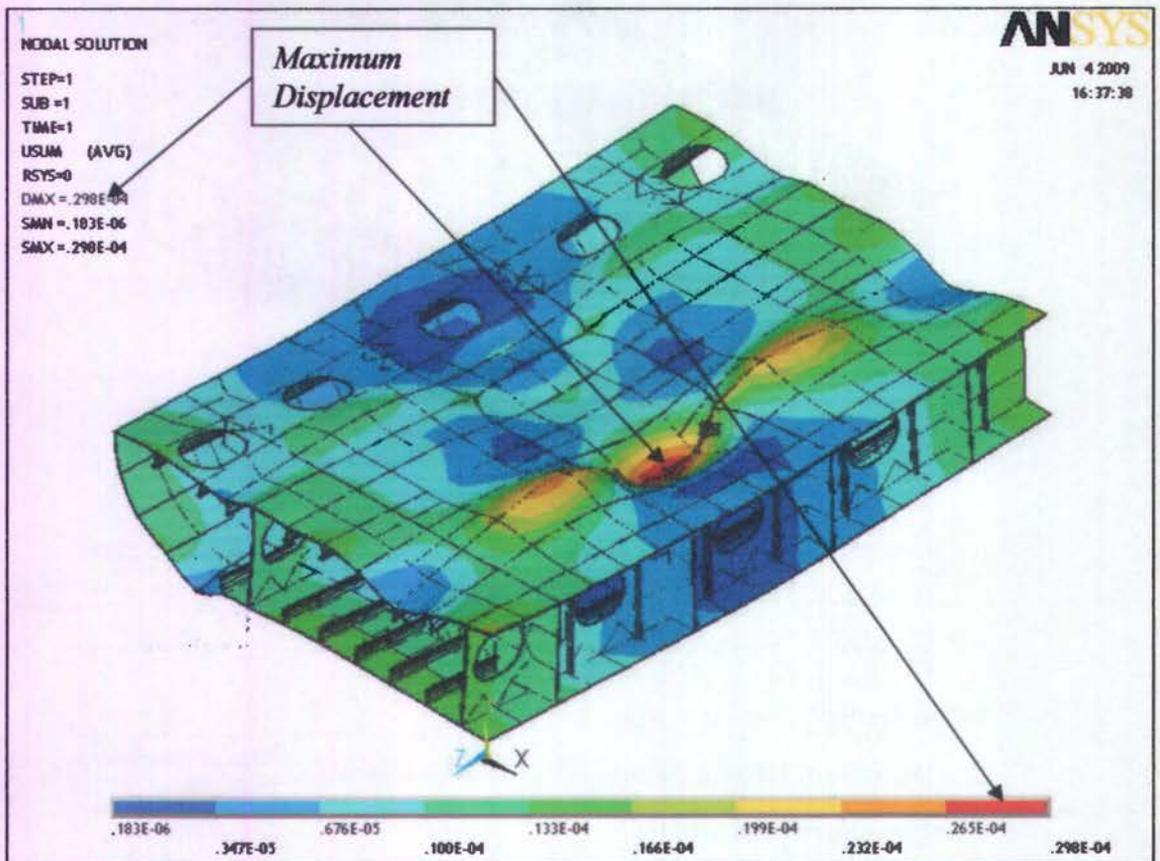
Maximum Displacement	Node Number	Displacement Value (mm)
displacement arah sumbu X	398	0.0186
displacement arah sumbu Y	4497	0.0247
displacement arah sumbu Z	242	0.0134
displacement total	4497	0.0247

Dari hasil simulasi (Gambar IV.4) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 2 sebesar 0,0247 mm yang terletak di Node 4497 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

4.2.3 Model Blok 1, Variasi *eye plate* 3



Gambar VI.5 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 3



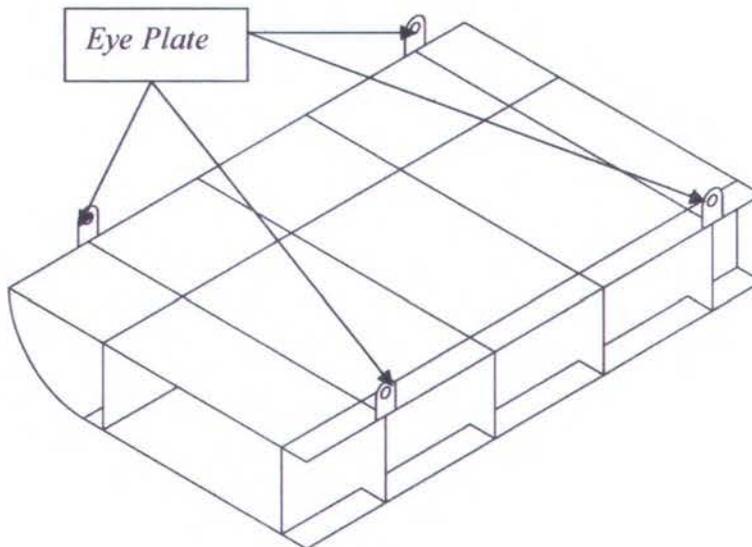
Gambar IV.6 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 1 - Variasi 3

Maximum displacement Variasi 3 :

<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	2065	0.00706
displacement arah sumbu Y	2069	0.02975
displacement arah sumbu Z	1984	0.01654
displacement total	2069	0.02975

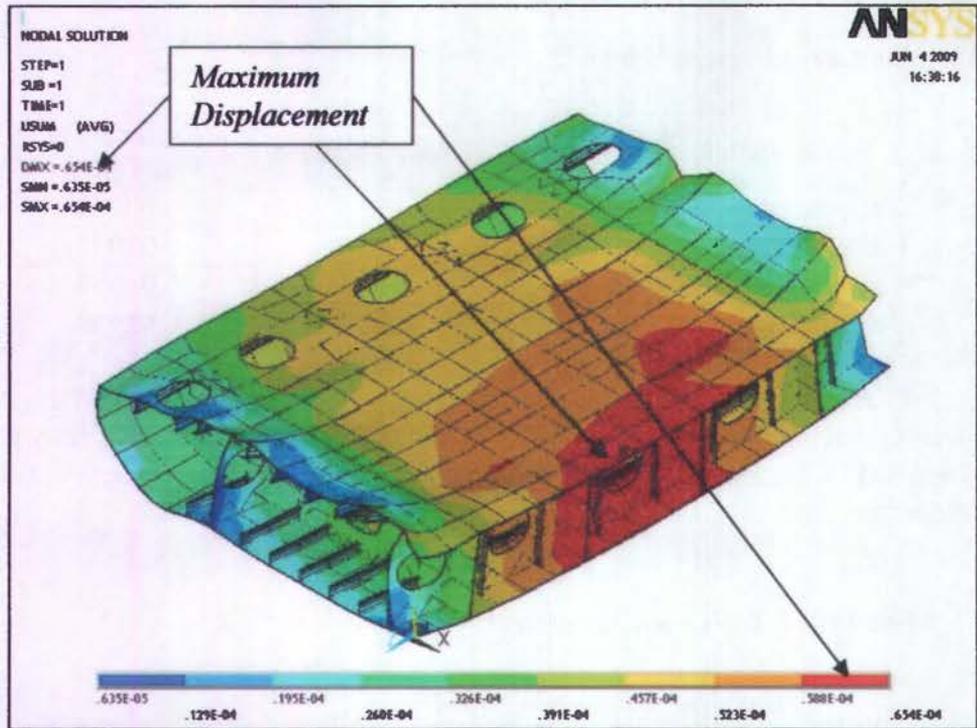
Dari hasil simulasi (Gambar IV.6) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 3 sebesar 0,02975 mm yang terletak di *Node* 2069 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

4.2.4 Model Blok 1, Variasi *eye plate* 4



Gambar VI.7 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 4





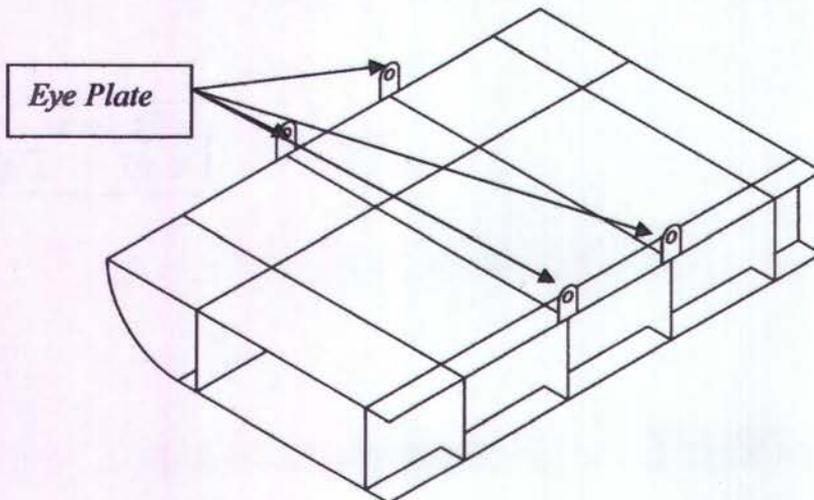
Gambar IV.8 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 1 - Variasi 4

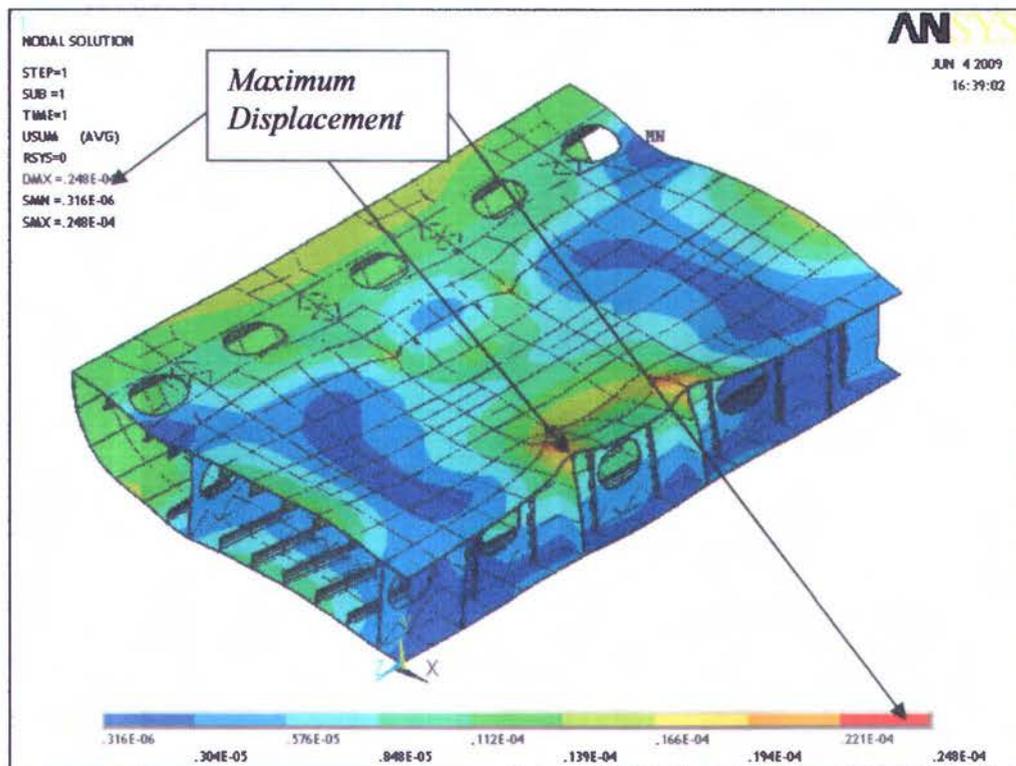
Maximum displacement Variasi 4 :

<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	753	0.0213
displacement arah sumbu Y	1727	0.0654
displacement arah sumbu Z	693	0.0521
displacement total	1727	0.0654

Dari hasil simulasi (Gambar IV.8) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 4 sebesar 0,0654 mm yang terletak di *Node* 1727 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

4.2.5 Model Blok 1, Variasi *eye plate* 5



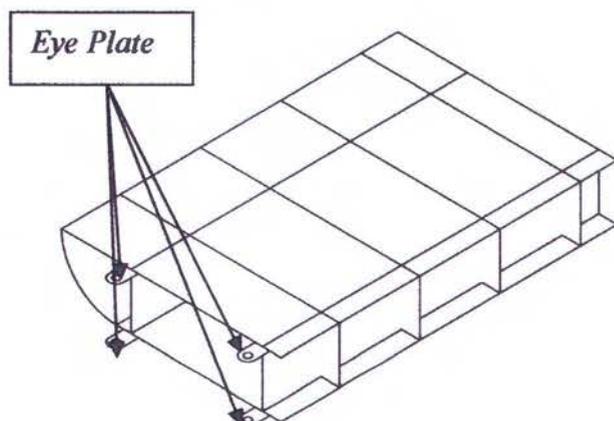
Gambar VI.9 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 5Gambar IV.10 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 1 - Variasi 5

Maximum displacement Variasi 5 :

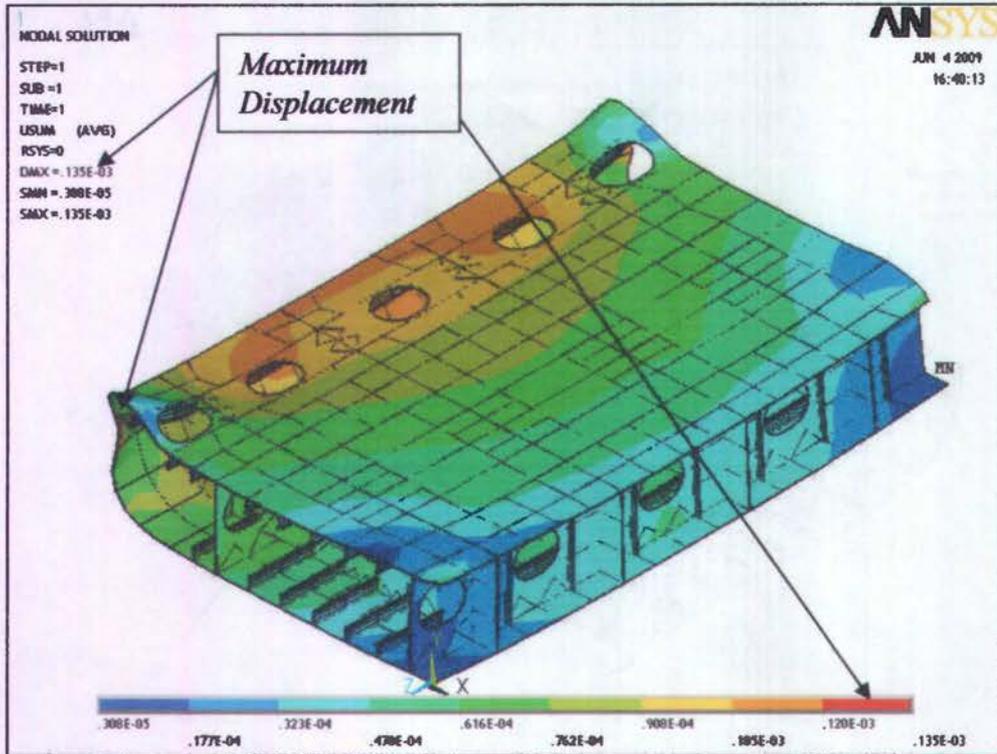
<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	398	0.0238
displacement arah sumbu Y	3038	0.0157
displacement arah sumbu Z	1698	0.0826
displacement total	242	0.0247

Dari hasil simulasi (Gambar IV.10) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 5 sebesar 0,0247 mm yang terletak di *Node* 242 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

4.2.6 Model Blok 1, Variasi *eye plate* 6



Gambar VI.11 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 6



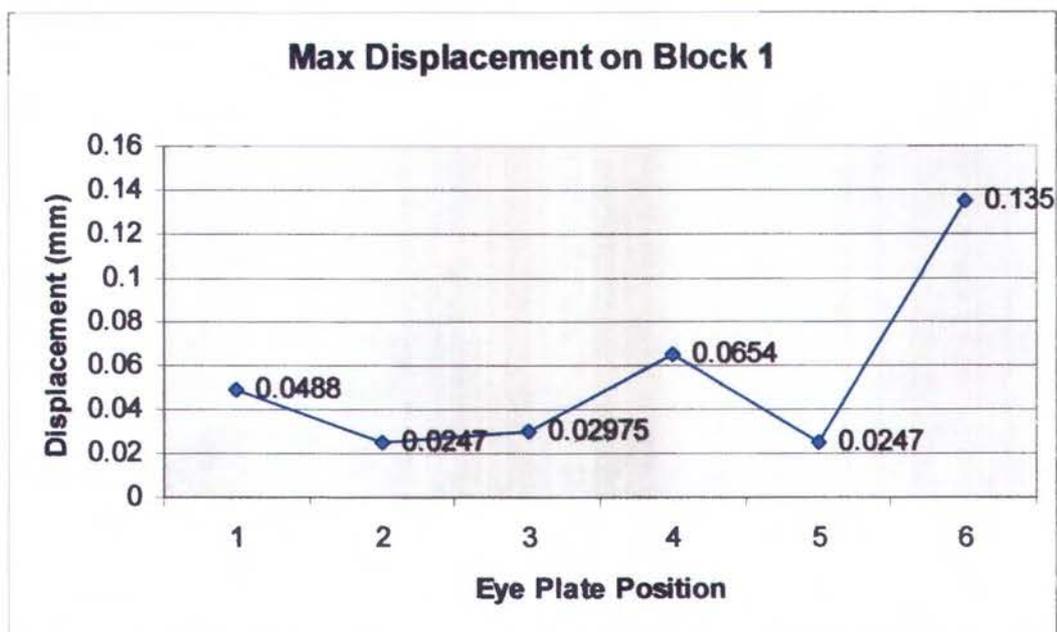
Gambar IV.12 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 1 - Variasi 6

Maximum displacement Variasi 6 :

<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	2913	0.135
displacement arah sumbu Y	1520	0.114
displacement arah sumbu Z	1666	0.077
displacement total	2913	0.135

Dari hasil simulasi (Gambar IV.12) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 1 variasi *eye plate* 6 sebesar 0,135 mm yang terletak di *Node* 2913 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

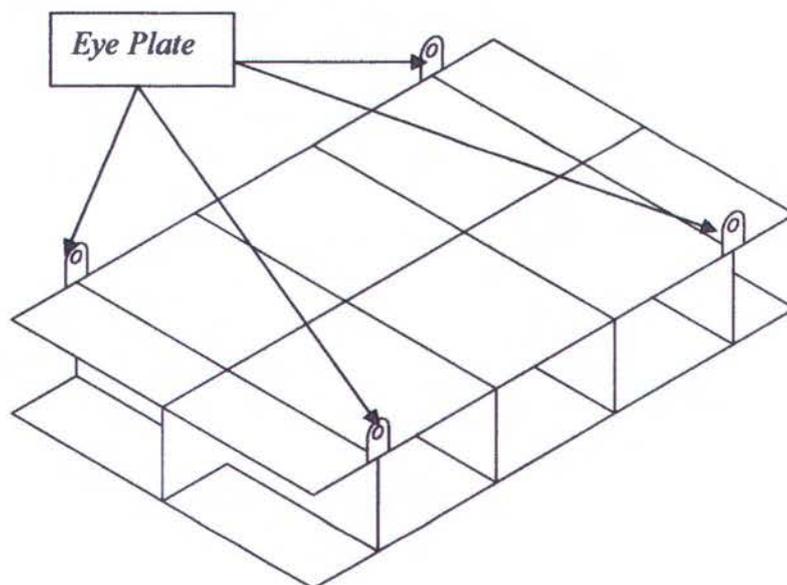
Setelah memvariasikan ke-enam posisi *eye plates* maka dapat dibuat grafik *maximum displacement* hasil dari simulasi dari blok pertama yaitu seperti grafik di bawah ini :



Grafik.II.1 Maksimum Displasemen Variasi *eye plate* pada Blok 1

Dari grafik dapat kita lihat bahwa nilai maksimum displasemennya terdapat pada variasi posisi *eye plate* 6 dengan nilai 0,135 mm

4.2.7 Model Blok 2, Variasi *Eye Plate* 1

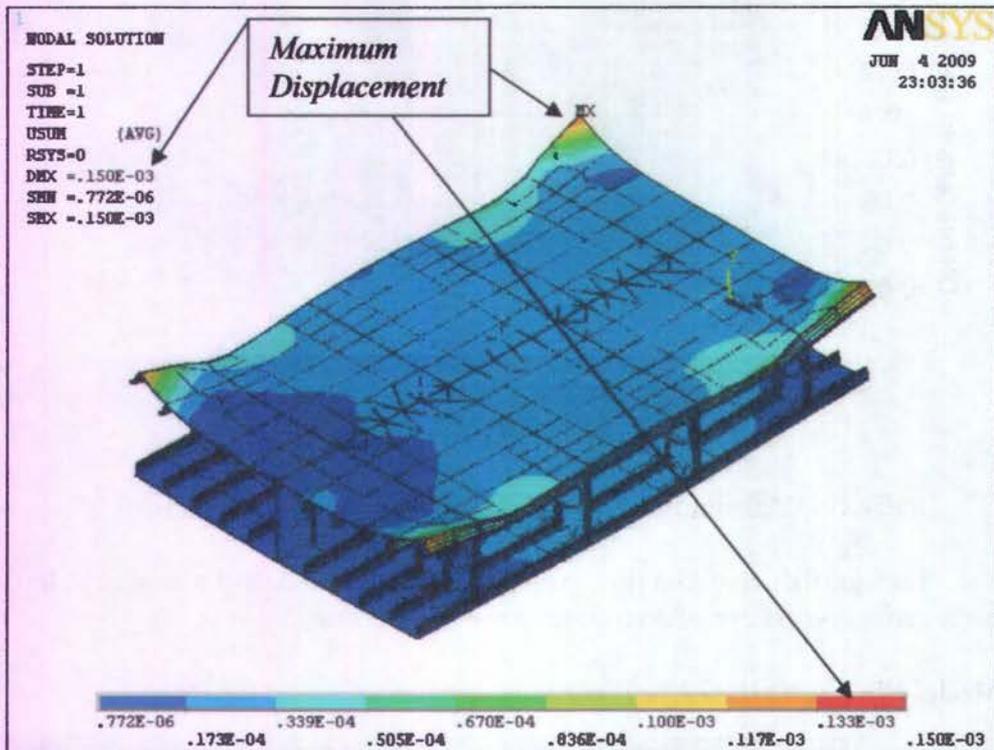


Gambar VI.13 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 1

Maximum displacement Variasi 1 :

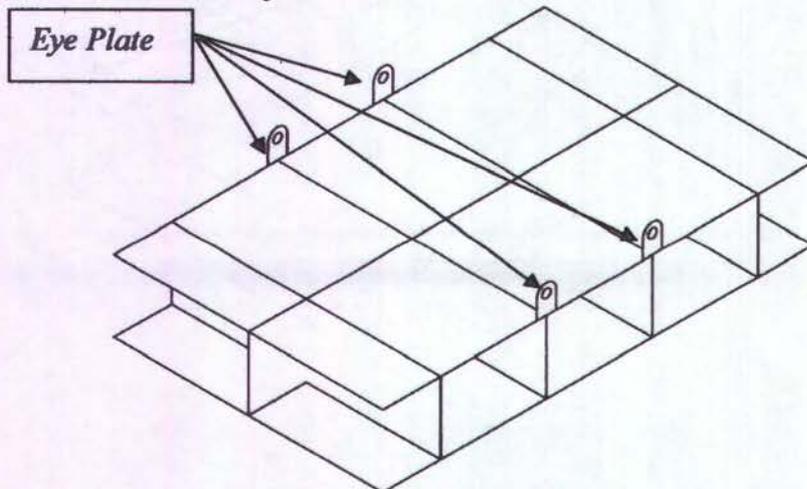
<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	791	0.0255
displacement arah sumbu Y	1807	0.1387
displacement arah sumbu Z	401	0.0448
displacement total	1807	0.1431

Dari hasil simulasi (Gambar IV.14) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 2 variasi *eye plate* 1 sebesar 0,1431 mm yang terletak di *Node* 1807 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.



Gambar IV.14 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 2 - Variasi 1

4.2.8 Model Blok 2, Variasi *Eye Plate* 2

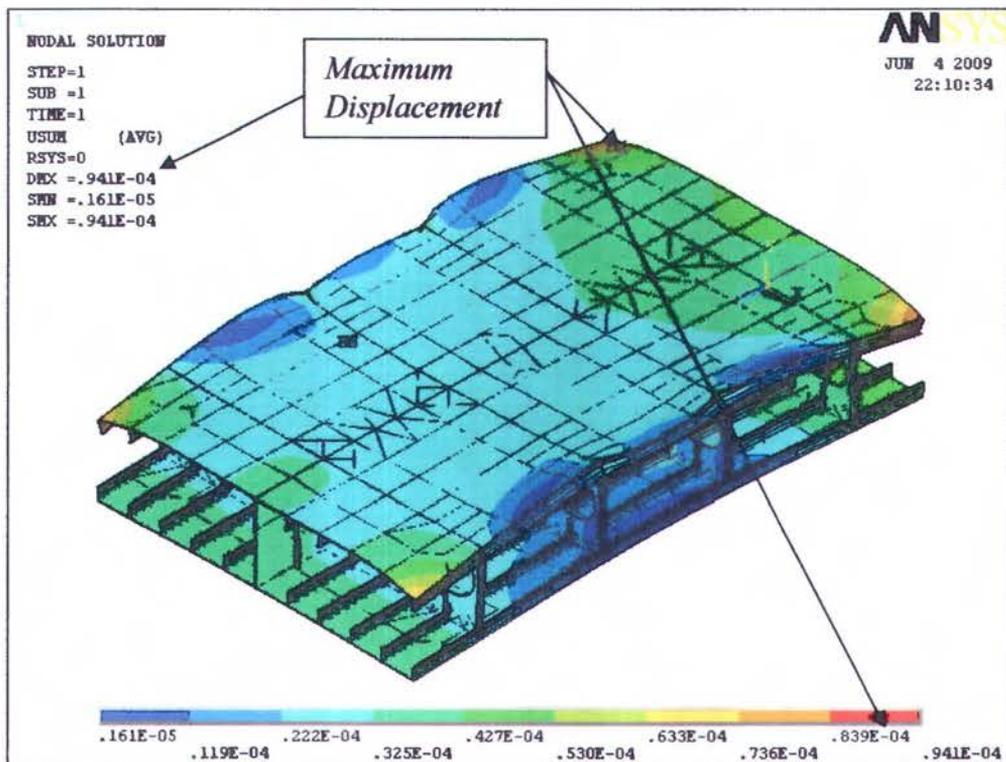


Gambar VI.15 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 2

Maximum displacement Variasi 2 :

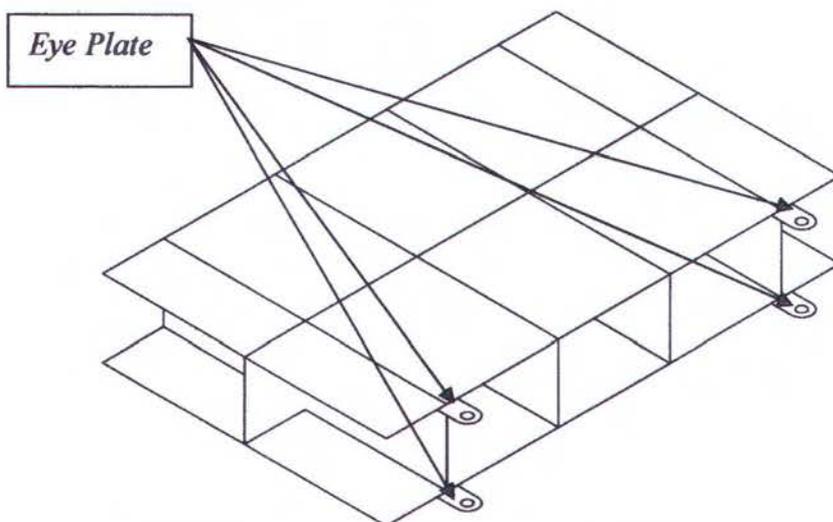
<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	555	0.0412
displacement arah sumbu Y	1807	0.0928
displacement arah sumbu Z	165	0.0149
displacement total	1807	0.0929

Dari hasil simulasi (Gambar IV.16) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 2 variasi *eye plate* 2 sebesar 0,0929 mm yang terletak di *Node* 1807 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

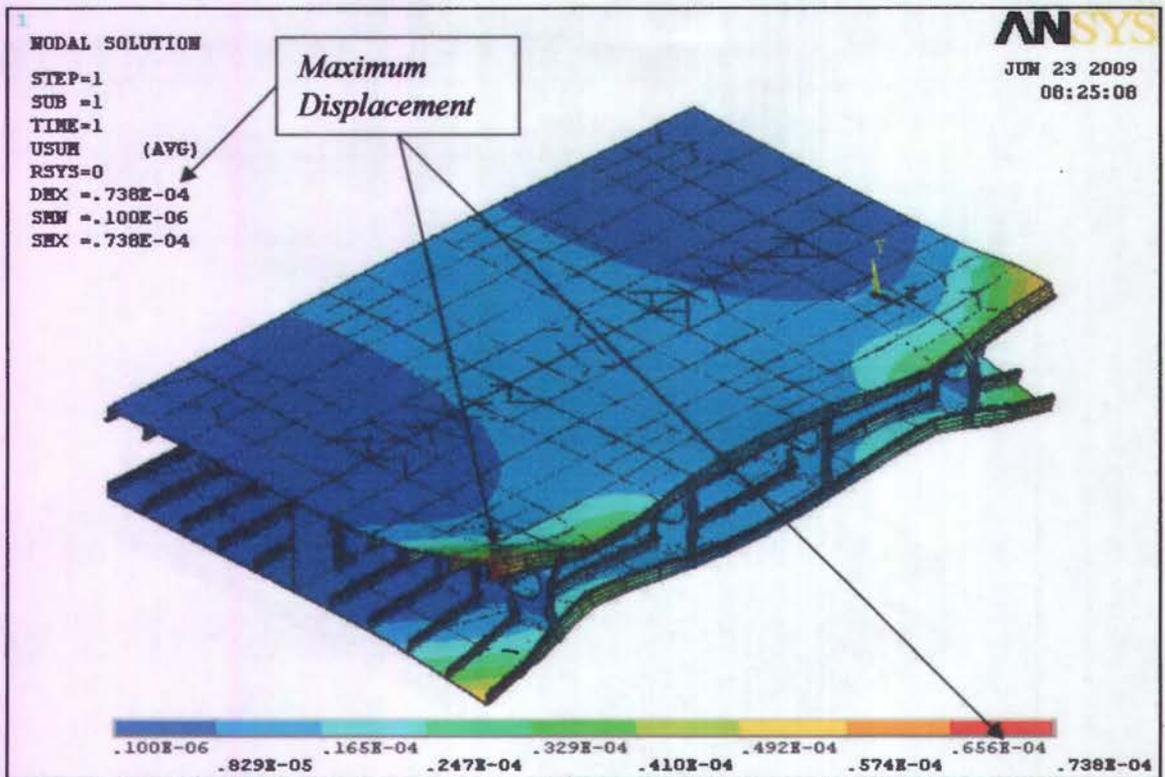


Gambar IV.16 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 2 - Variasi 2

4.2.9 Model Blok 2, Variasi *Eye Plate* 3



Gambar VI.17 Variasi letak pelat mata (*Eye plate*) 3



Gambar IV.18 Hasil *Running Nodal Solution* Blok 2 - Variasi 3

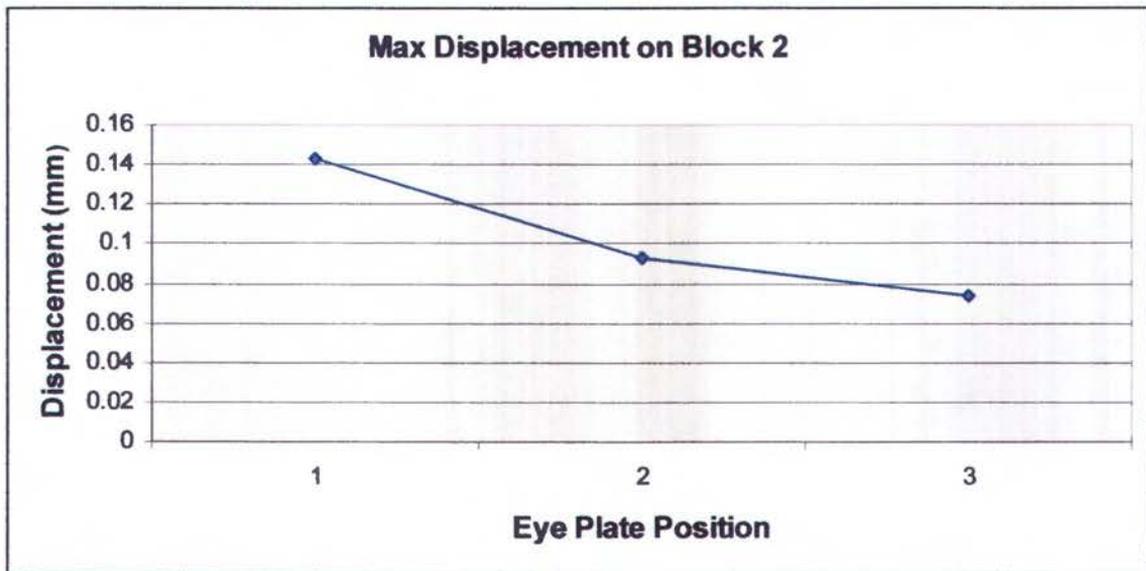
Maximum displacement Variasi 3 :

<i>Maximum Displacement</i>	<i>Node Number</i>	<i>Displacement Value (mm)</i>
displacement arah sumbu X	1870	0.0141
displacement arah sumbu Y	1856	0.0674
displacement arah sumbu Z	791	0.0382
displacement total	1856	0.0738

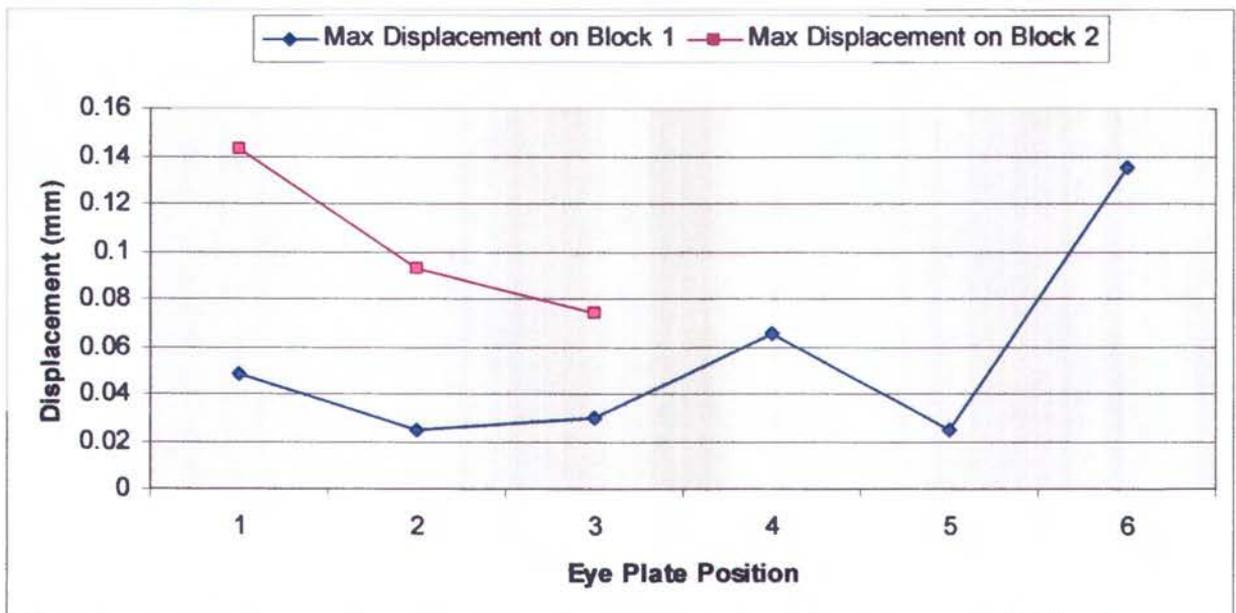
Dari hasil simulasi (Gambar IV.18) didapatkan nilai maksimum displasemen untuk blok 2 variasi *eye plate* 3 sebesar 0,0738 mm yang terletak di *Node* 1856 yang diwakilkan dengan warna merah sedangkan *minimum displacement* diwakilkan dengan warna biru tua.

Dari hasil simulasi pengangkatan blok di beberapa scenario pada kedua blok dapat dibuat sebuah grafik nilai maksimum displasemen pada simulasi blok DB 5P (Grafik IV.1) dan Grafik nilai maksimum displasemen pada blok DB 5C (Grafik IV.2) sehingga dapat dibandingkan dengan mudah scenario mana yang memiliki resiko perubahan bentuk paling kecil dan terbesar.

Kemudian dibuat juga sebuah Grafik yang merupakan hasil keseluruhan skenario simulasi pengangkatan blok DB 5P maupun blok DB 5C (Grafik IV.3). Dari grafik ini dapat dilihat secara langsung perbedaan nilai displasemen pada setiap scenario di kedua blok yang kami modelkan. Sehingga akan memudahkan proses pemilihan scenario pengangkatan yang terbaik yaitu yang terkecil nilai displasemennya di tiap blok-bloknya.



Grafik IV.2 Perbandingan Displasemen tiap posisi *Eye Plate* di Blok 2



Grafik IV.3 Perbandingan Displasemen seluruh Variasi *Block & Eye Plate*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai penutup pada bab ini akan diuraikan beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya untuk menghindari terjadinya deformasi yang terjadi pada saat blok diangkat. Cara pengangkatan blok yang benar akan cenderung mengurangi kemungkinan terjadinya perubahan bentuk pada saat blok diangkat. Dalam bab ini juga akan disampaikan beberapa saran yang bisa dibahas sebagai kelanjutan dari tugas akhir ini.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil simulasi pengangkatan model blok dan dari hasil analisa struktur yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi posisi pelat mata (*Eye Plate*) sangat berpengaruh terhadap besarnya perubahan bentuk yang akan terjadi pada saat blok tersebut diangkat.
2. Blok pertama (DB 5P) yang disimulasikan mendapatkan nilai perubahan bentuk yang terbesar pada posisi *eye plate* 6 (0,135 mm) dan nilai terkecil di posisi *eye plate* 2 & 5 (0,0247 mm). Pada model blok 2 (DB 5C), nilai perubahan bentuk terbesar di posisi *eye plate* 1 (0,1431 mm) dan nilai terkecil di posisi *eye plate* 3 (0,0738 mm). Sehingga untuk mengurangi resiko perubahan bentuk pada proses pengangkatan blok DB5P, *eye plate* diletakkan di posisi 2 atau 5. Sedangkan pada blok DB 5C, *eye plate* diletakkan di posisi 3.
3. Penambahan penguat-penguat bisa diberikan pada bidang (permukaan pelat) yang terdapat nilai maksimumnya (mx), namun dalam model simulasi kedua blok ini tidak diperlukan karena besar perubahan bentuk yang terjadi di simulasi ini masih dalam batas toleransi yang bisa diabaikan.

5.2. Saran

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan mampu menjadi salah satu acuan untuk studi mengenai *erection* khususnya pengangkatan atau pemindahan blok dari bengkel *assembly* ke *building berth* untuk dilakukan proses *erection*. Selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik di masa mendatang penulis memberikan beberapa saran supaya tugas akhir ini dapat dikembangkan nantinya, antara lain :

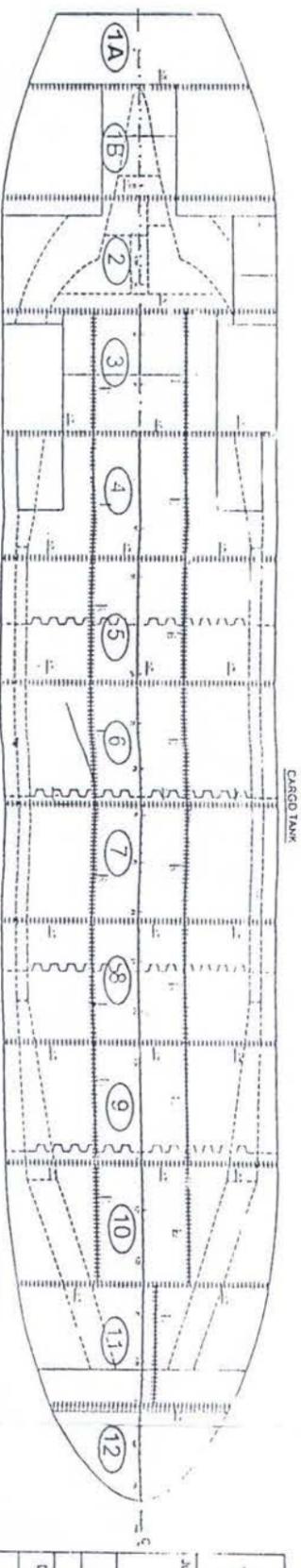
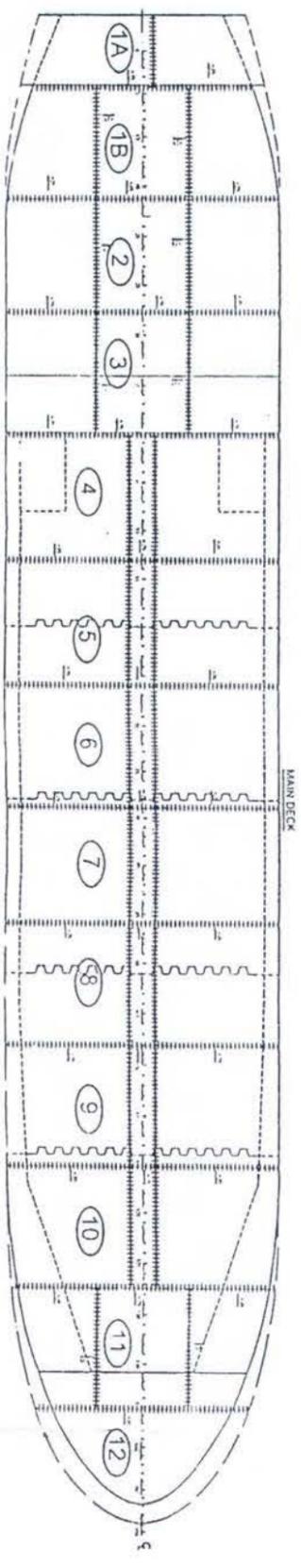
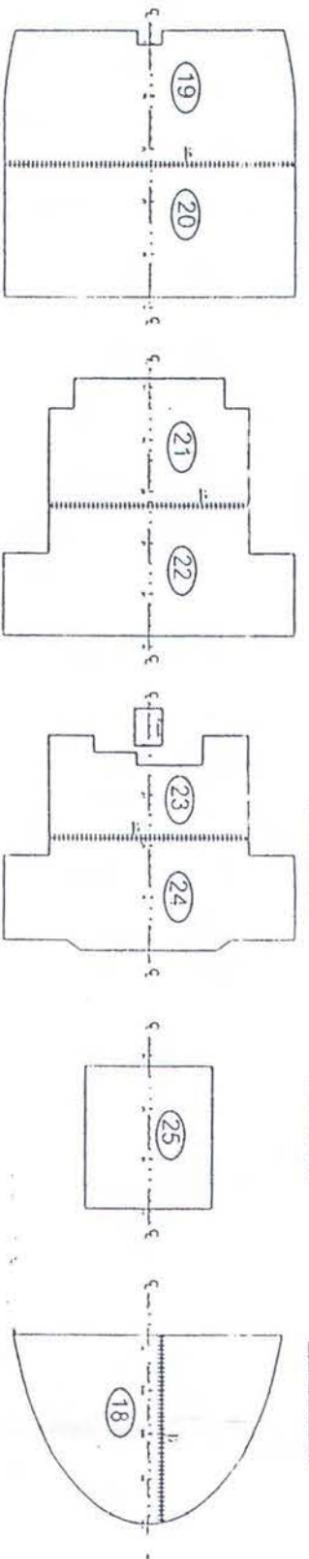
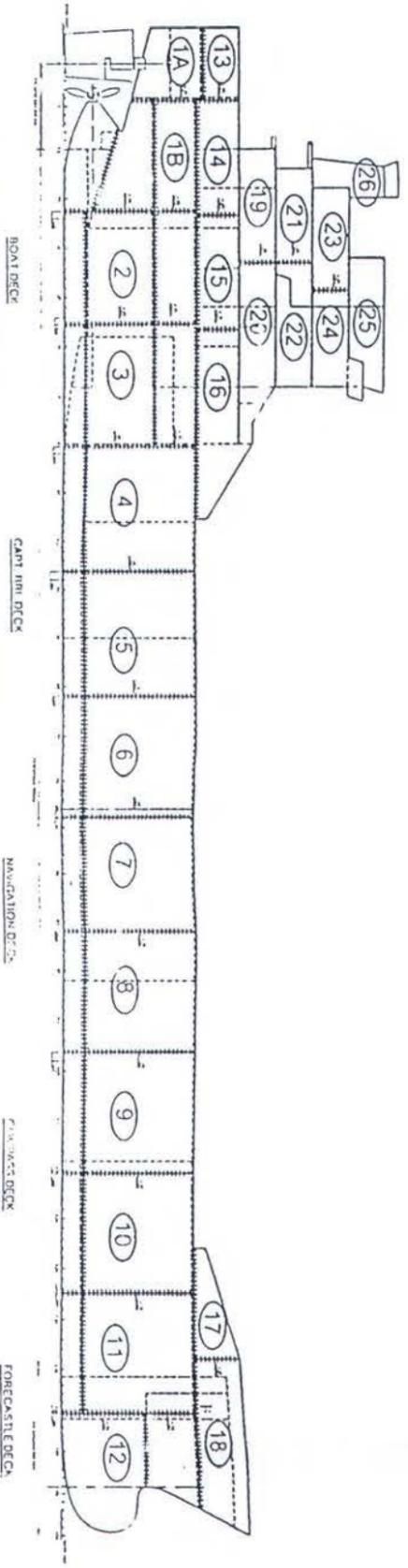
1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat hendaknya membandingkan dengan prosedur pengangkatan di galangan seperti apa (sesuai standar kerja yang berlaku) dan dimana posisi *eye plate* nya, berapa jarak pengangkatannya dan parameter lainnya yang berkaitan.
2. Lakukan simulasi dengan prosedur yang sama sehingga dapat di *Cross Check* antara hasil *Accuracy Check Sheet* dan hasil dari simulasi sehingga dapat diketahui error margin dari hasil simulasi ini.
3. Karena Ansys tidak mampu memberikan simulasi pengangkatan yang serupa dengan kondisi di lapangan yang mengharuskan sling (*Wire Rope*) membentuk sudut terhadap *hook*-nya, maka simulasi bisa dengan mengasumsikan blok diangkat dengan alat bantu pengangkatan berbentuk sedemikian rupa sehingga posisi sling di tiap-tiap posisi *eye plates* dapat vertikal keatas.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) V.K Dormidontov, T.V. Arefyev, N.A. Kiseleva, V.K. Kuzmenko, E.L. Nikitin, S.M. Turunov (1996), "Ship Building Technology". Mir Publisher, Moscow U.S.S.R
- 2) Richard Lee Storch, Colin P Hammon, Howard M Bunch & Richard C Moore (1993), "Ship Production". Cornell Maritime Press, Centreville Maryland
- 3) Logan, D.L. (1993), "A First Course in The Finite Element Method". PWS Publishing Company, Boston
- 4) Soejitno, Ir (1986), "Teknik Produksi & Reparasi Kapal", Surabaya.
- 5) Septia (2006), " Analisa Frekuensi Alami Kapal Bulk Carrier", Surabaya
- 6) Mochamad Sholeh (1994), "Analisa deformasi pada blok atau semi blok akibat pengaruh pengangkatan blok dengan crane", Surabaya
- 7) Ansys 9 Documentation, Ansys Theory Reference
- 8) Ansys User's Manual: Procedures, Vol. I, Swanson Analysis System, Inc.
- 9) Daniel L Schodek (1999), "Struktur – edisi kedua". Erlangga, Jakarta
- 10) William Weaver, Jr ,Paul R Johnson (1993), "Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur", PT.Eresco, Bandung
- 11) Wirjosoedirdjo, J S (1979), Dasar –Dasar Metode Elemen Hingga, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN A

BLOCK DIVISION 6500 LTDW MT. VANDA



PRINCIPAL DIMENSION

LENGTH OVER ALL	: 108.00 m
LENGTH WATER LINE	: 103.80 m
LENGTH PERPENDICULAR	: 102.00 m
BEAM	: 19.20 m
DEPTH	: 9.30 m
DRAUGHT DESIGN	: 6.00 m
SPEED MAX	: 12.00 KNOTS
COMPLEMENT	: 28 MEN

NOTE: ○ : CARGO BLOCK/MANIFEST



PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSER. 2)
 JAL. JAWANG PERAK BARU NO. 433-435
 TEL. 2517262 (7 SALINAN) TELEFAX 2517265, FAX 251655, 251772
 SURABAYA, INDONESIA

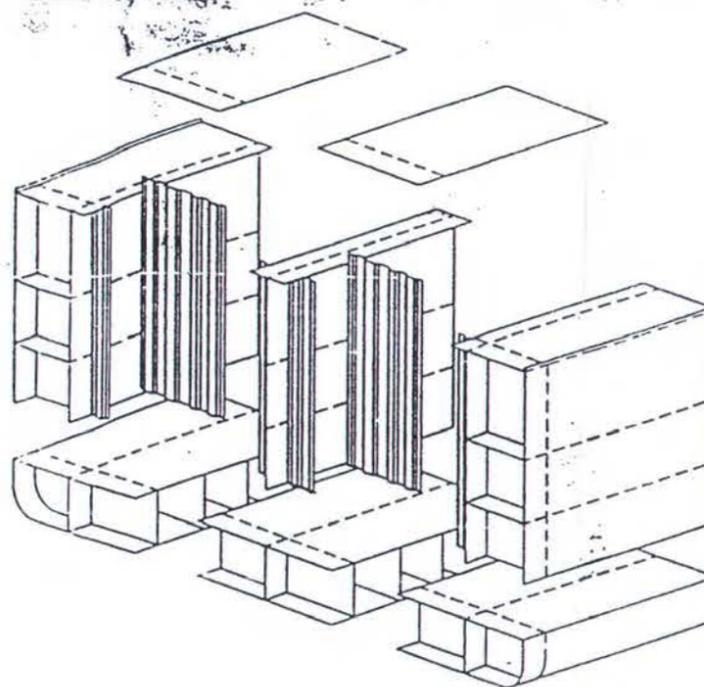
BLOCK DIVISION

APPROVAL / Date	BLOCK DIVISION		6500 L/TOW OIL PRODUCT TANKER	LEUBAR
DESIGNER	PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSER. 2)	NO. PEMBANGUNAN/PERMITAN		1/1
DRAWN		Building no./Order		
CHECKED		N06801 - N06802		
APPROVED		TANGGAL	SKALA	
		Date	Scale	
		JUNE 2008		
				NO. WORK ORDER
				Drawing no
				G0710

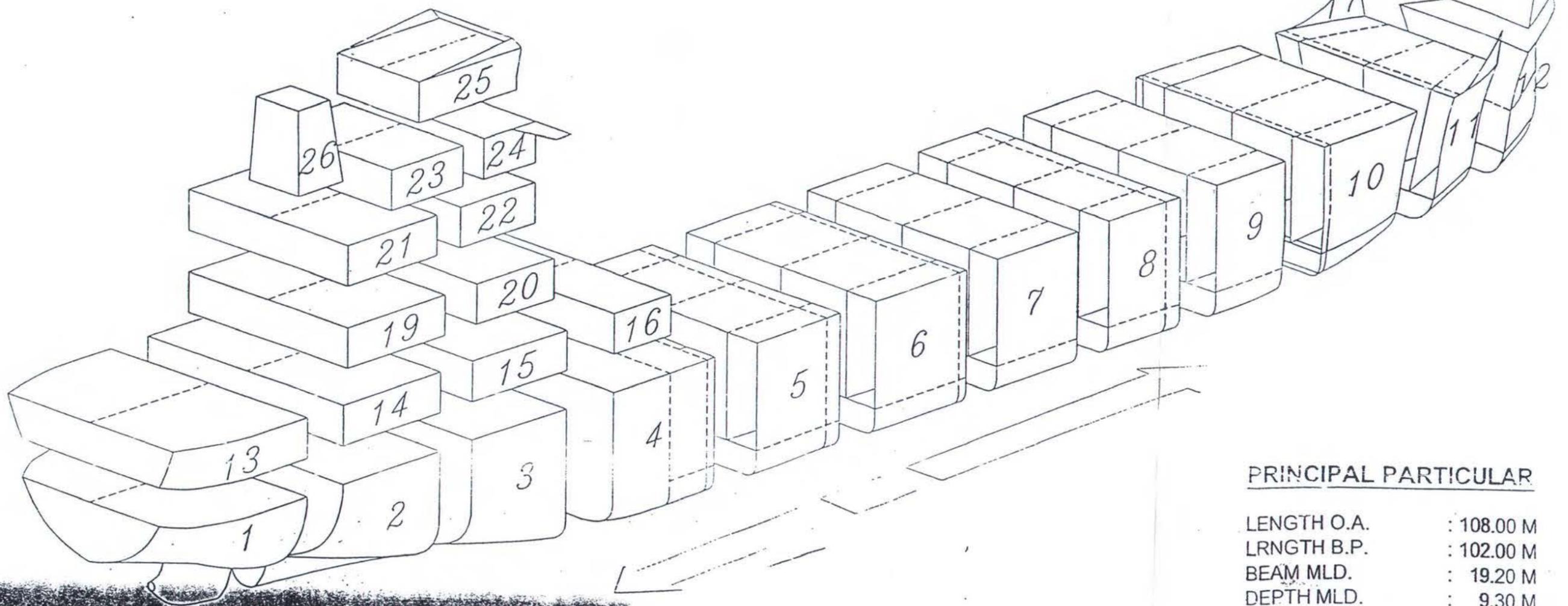
BLOCK DIVISION

6500 LTDW PRODUCT TANKER

N.08601 - N.08602



SUB-BLOCK 5
(TYPICAL PMB)



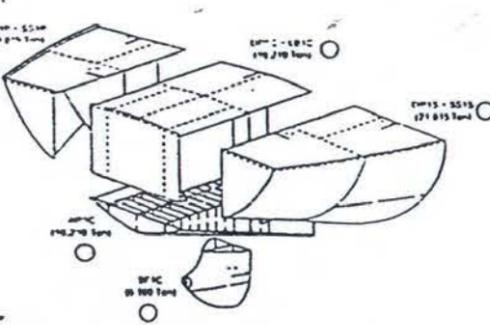
PRINCIPAL PARTICULAR

LENGTH O.A.	: 108.00 M
LRNGTH B.P.	: 102.00 M
BEAM MLD.	: 19.20 M
DEPTH MLD.	: 9.30 M
DRAFT DESIGNED	: 6.00 M
	19.20 M

GRAND BLOCK 1

Total Weight = 24.42 Ton, Length = 4750 mm
(5 Block)

3/18

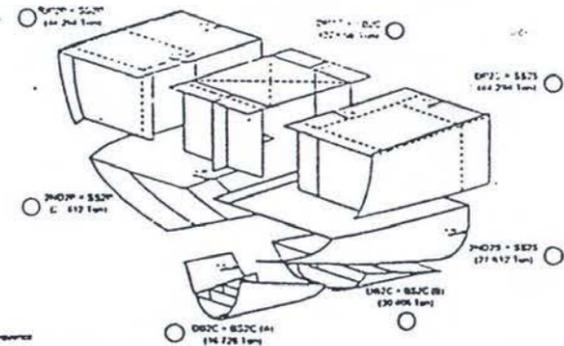


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 2

Total Weight = 219.602 Ton, Length = 10500 mm
(7 Block)

4/18

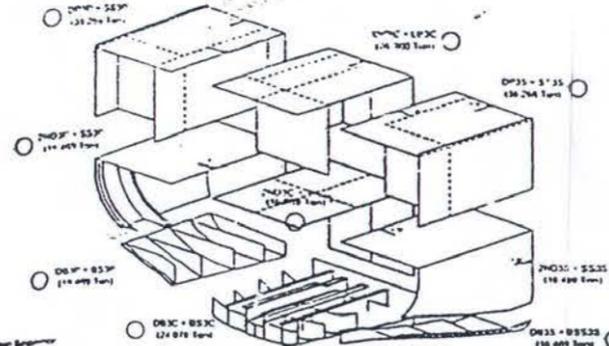


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 3

Total Weight = 140.07 Ton, Length = 11150 mm
(3 Block)

5/18

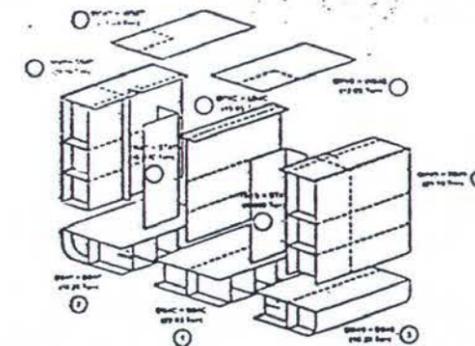


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 4

Total Weight = 153.46 Ton, Length = 8700 mm
(10 Block)

6/18

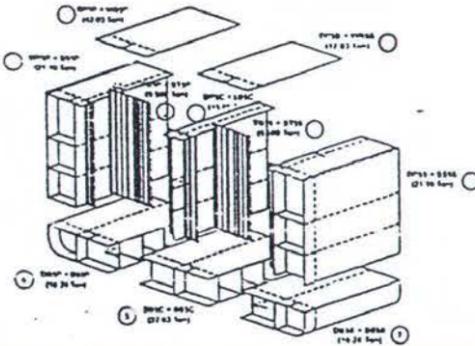


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 5

Total Weight = 152.46 Ton, Length = 8650 mm
(10 Block)

7/18

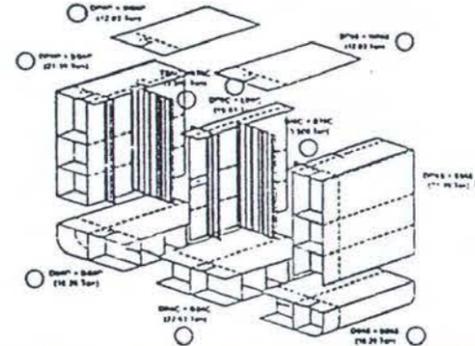


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 6

Total Weight = 152.46 Ton, Length = 8700 mm
(10 Block)

8/18

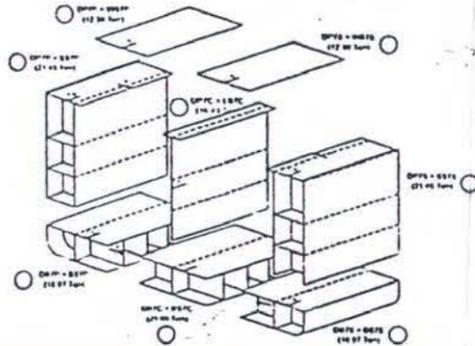


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 7

Total Weight = 144.04 Ton, Length = 8650 mm
(8 Block)

9/18

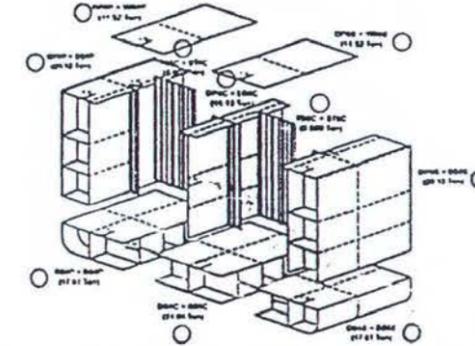


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 8

Total Weight = 147.04 Ton, Length = 8700 mm
(10 Block)

10/18

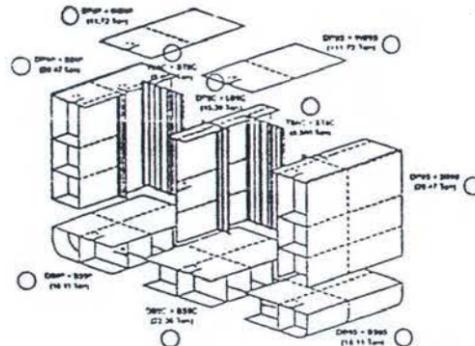


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 9

Total Weight = 146.15 Ton, Length = 8650 mm
(10 Block)

11/18

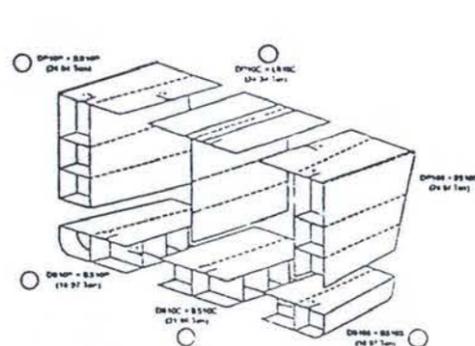


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 10

Total Weight = 133.95 Ton, Length = 8650 mm
(8 Block)

12/18

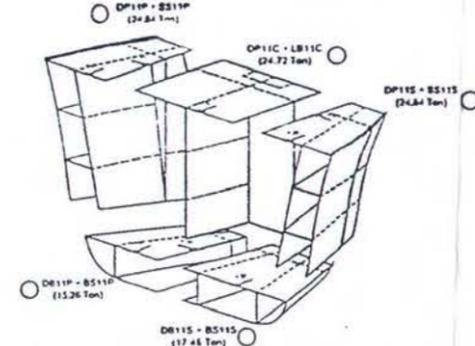


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 11

Total Weight = 107.14 Ton, Length = 8050 mm
(5 Block)

13/18

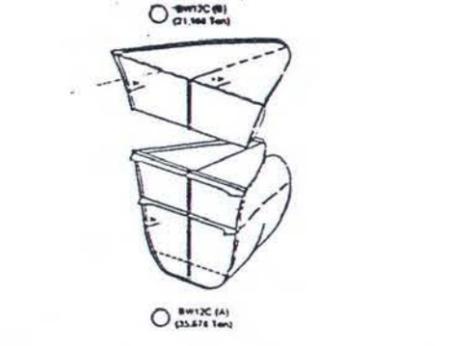


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 12

Total Weight = 56.866 Ton, Length = 9100 mm
(2 Block)

14/18

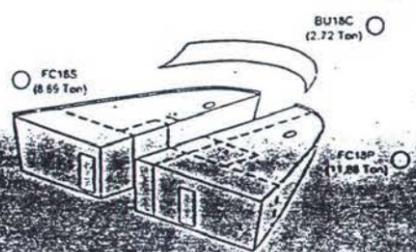


Note:
Erection Sequence

GRAND BLOCK 18

Total Weight = 23.49 Ton, Length = 11350 mm
(2 Block)

15/18

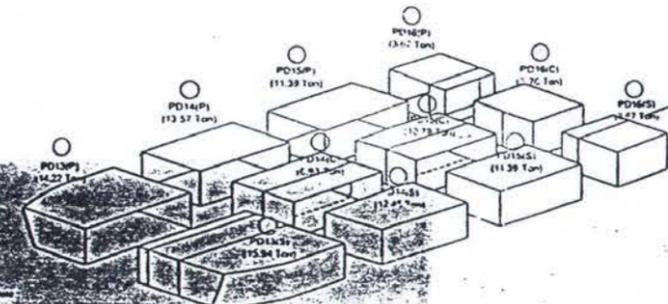


Note:
Erection Sequence

POOP DECK CONST.

Total Weight = 107.72 Ton
(BLOCK 13, 14, 15 & 16 [4 BLOCK])

16/18

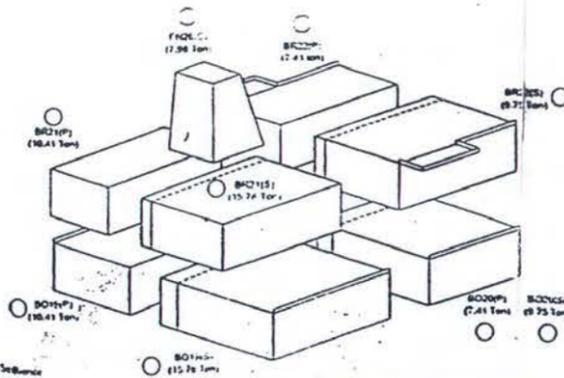


Note:
Erection Sequence

BOAT + BRIDGE DECK + FUNNEL

(9 BLOCK)

17/18

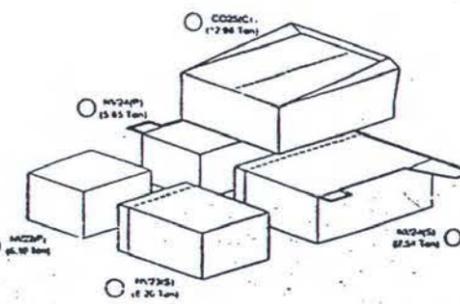


Note:
Erection Sequence

NAV + COMP. DECK

(5 BLOCK)

18/18



Note:
Erection Sequence

LAMPIRAN B
ACCURACY CHECKSHEET

BIBLIOGRAPHY

TANGGAL/ <i>Date</i>	KETERANGAN/ <i>Remarks</i>
17-Mar-2008	 ORIGINAL DESIGN

P. DIDIK < OC >



FOR WORKING

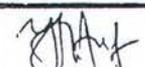
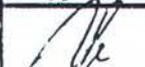
17 MAR 2008



PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSERO)
 JL. TANJUNG PERAK BARAT 433-435
 TELP. 3291286 (7 SALURAN) TELEX. 32639 DOK 1A FAX. 3291172, 3291659
 SURABAYA INDONESIA

JUDUL / Title :

ACCURACY CHECK SHEET DB5 (PCS)
CPP OIL TANKER 6300 DWT

PEMESAN <i>Owner</i>			No. PEMBANGUNAN / PERINTAH <i>Building No. / Order</i>			LEMBAR <i>Sheet</i>		
PRESTIGE MARINE SERVICES Pte. Ltd.			N. 07600			3 Sheets		
DIGAMBAR <i>Drawn</i>	DIPERIKSA <i>Checked</i>	DISETUIJUI <i>Approved</i>	TANGGAL <i>Date</i>	SKALA <i>Scale</i>	No. GAMBAR <i>Drawing No.</i>			
Oscar			17-Mar-'08	-	AC.05-1			

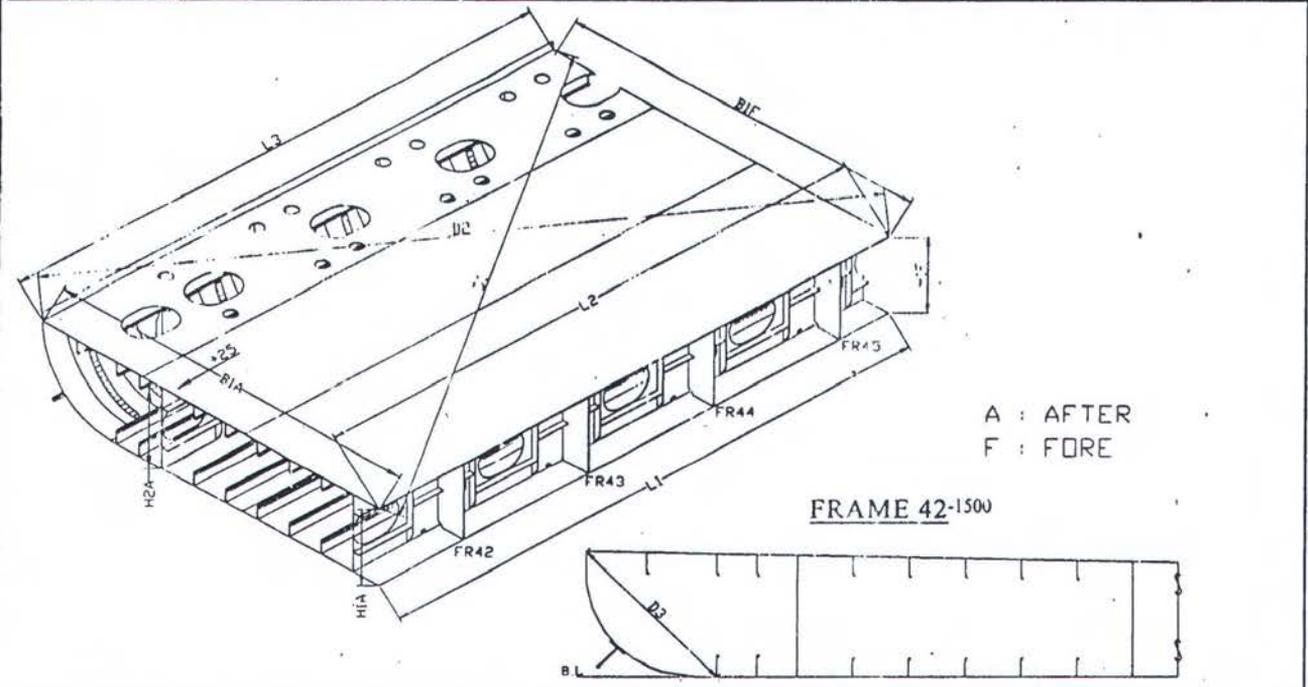


PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSERO)

JL. TANJUNG PERAK BARAT 433 - 435
 Telp. (031) 3291286 (Hunting), Telex. 32639 DOK IA, Fax. (031) 3291659, 3291172
 Web site : http://www.dok-sby.co.id, E-mail : dok-sby@indo.net.id
 Surabaya - Indonesia

ACCURACY CHECK SHEET

OP : GU/GS	BUILDING NO. : N.07600	BIRO RANCANG BANGUN	
PROCESS : ASSEMBLY	BLOCK : DB 5P	Prepared by	Checked by
DATE :	CODE NO. :	Oscar Didiaspora	



NO	ITEM	SIGN	DIMENSION (MM)				REMARKS	
			DESIGN	ACTUAL	DEVIATION	STANDART		TOLERANCE
	HEIGHT	H1A	1237	1235	-2	±4	±6	
		H1F	1237	1235	-2	±4	±6	
		H2A	1310	1307	-3	±4	±6	
		H2F	1310	1312	+2	±4	±6	
	BREADTH	B1A	5920	5918	-2	±4	±6	
		B1F	5920	5920	0	±4	±6	
	LENGTH	L1	8950	8950+213	-	±4	±6	
		L2	8950	8950+20		±4	±6	
		L3	8950	8950+210		±4	±6	
	DIAGONAL	D1	10732	10739+7		±4	±8	
		D2	10731	10740+9		±4	±8	
		D3A	1874	1877	+3	±4	±8	
		D3F	1874	1877	+3	±4	±8	

Measured by 2/4-08)	Checked by ()	Approved by ()
-----------------------------	-----------------------	------------------------

PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSERO)

JL. TANJUNG PERAK BARAT 433 - 435

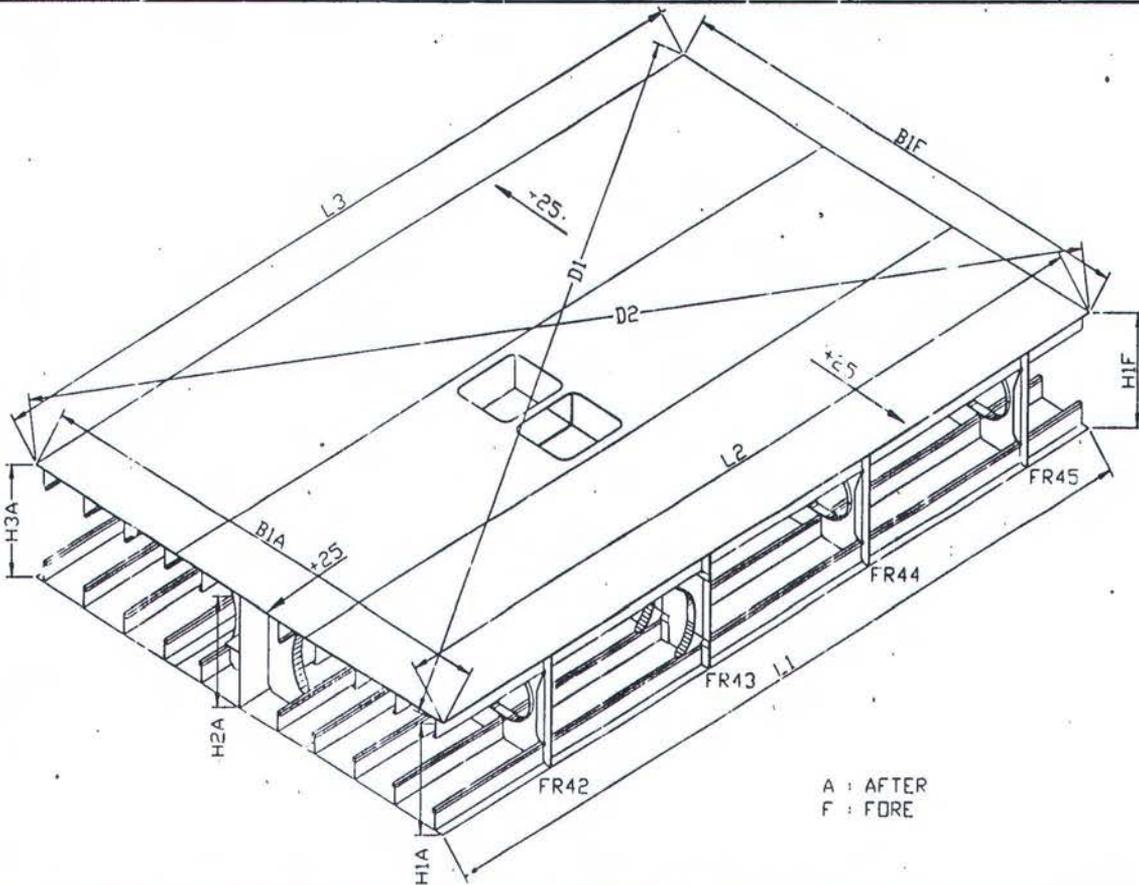
Telp. (031) 3291286 (Hunting), Telex. 32639 DOK IA, Fax. (031) 3291659, 3291172

Web site :http://www.dok-sby.co.id, E-mail : dok-sby@indo.net.id

Surabaya - Indonesia

ACCURACY CHECK SHEET

OP : GU/GS	BUILDING NO. : N.07600	BIRO RANCANG BANGUN	
CESS : ASSEMBLY	BLOCK : DB 5C	Prepared by	Checked by
TE :	CODE NO. :	Oscar Didiaspora	



A : AFTER
F : FORE

NO	ITEM	SIGN	DIMENSION (MM)				REMARKS
			DESIGN	ACTUAL	DEVIATION	STANDART	
1	HEIGHT	H1A	1237	1238	+1	±4	±6
		H1F	1237	1238	+1	±4	±6
		H2A	1200	1200		±4	±6
		H2F	1200	1197	-3	±4	±6
		H3A	1237	1240	+3	±4	±6
		H3F	1237	1240	+3	±4	±6
2	BREADTH	B1A	5660	5660+50		±4	±6
		B1F	5660	5660+50		±4	±6
3	LENGTH	L1	8950	8950+25		±4	±6
		L2	8950	8950+25		±4	±6
		L3	8950	8950+25		±4	±6
4	DIAGONAL	D1	10589	10589+25		±4	±8
		D2	10589	10589+25		±4	±8

Measured by 3/4-08	Checked by ()	Approved by ()
---------------------------	-----------------------	------------------------

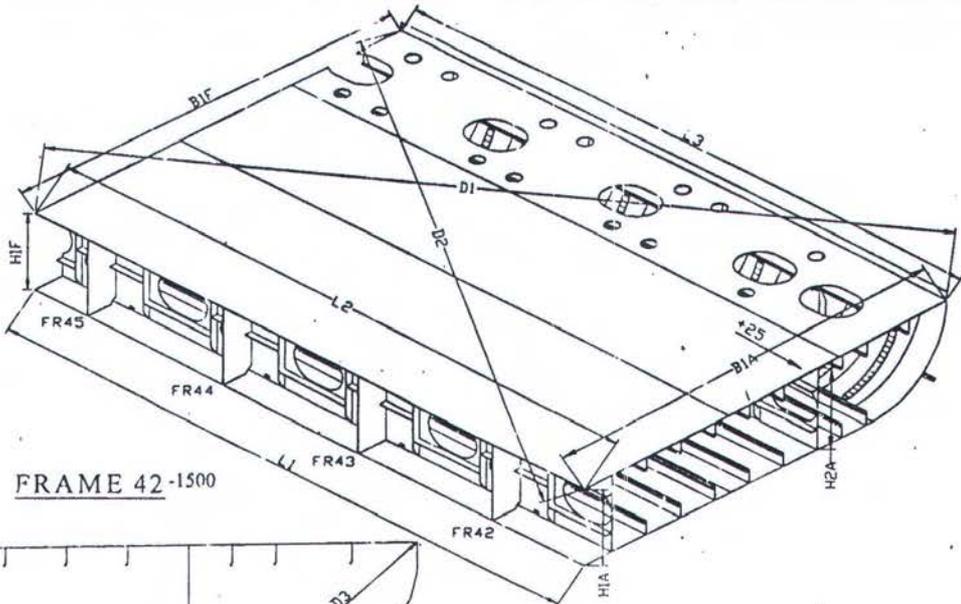


PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA (PERSERO)

JL. TANJUNG PERAK BARAT 433 - 435
 Telp. (031) 3291286 (Hunting), Telex. 32639 DOK IA, Fax. (031) 3291659, 3291172
 Web site :http://www.dok-sby.co.id, E-mail : dok-sby@indo.net.id
 Surabaya - Indonesia

ACCURACY CHECK SHEET

ORDER : GU / GS	BUILDING NO. : N.07600	BIRO RANCANG BANGUN	
PROCESS : ASSEMBLY	BLOCK : DB 5S	Prepared by	Checked by
DATE :	CODE NO. :	Oscar Didiaspora	



A : AFTER
 F : FORE

FRAME 42 -1500

ITEM	SIGN	DIMENSION (MM)					REMARKS
		DESIGN	ACTUAL	DEVIATION	STANDART	TOLERANCE	
HEIGHT	H1A	1237	1244	-7	±4	±6	
	H1F	1237	1244	+7	±4	±6	
	H2A	1310	1308	-2	±4	±6	
	H2F	1310	1311	+1	±4	±6	
BREADTH	B1A	5920	5921	+1	±4	±6	
	B1F	5920	5917	-3	±4	±6	
LENGTH	L1	8950	8965	+15	±4	±6	
	L2	8950	8950	+17	±4	±6	
	L3	8950	8950	+14	±4	±6	
DIAGONAL	D1	10732	10732	+8	±4	±8	
	D2	10731	10731	+14	±4	±8	
	D3A	1874	1878		±4	±8	
	D3F	1874	1870	-4	±4	±8	

Prepared by	Checked by	Approved by
3/4-08	()	()

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN DETAIL BEBAN

variasi 1
After Inside (sbg acuan) 0,5

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	4570	=	2285	mm
L	=	6600	=	3300	mm
diagonal datar	=		=	4013,879	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	6411,804	mm

sudut Fy (α)	=	0,780
sudut Fz (β)	=	0,822
sudut Fx (δ)	=	0,569

Fy	=	P .(α)	=	30971,574	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-32653,004	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-22609,732	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(α)	=	30971,574	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-32653,004	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-22609,732	N/m

After Outside

Fy	=	P .(α)	=	30971,574	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-32653,004	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	22609,732	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(α)	=	30971,574	N/m
Fz	=	P .(β)	=	32653,004	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-22609,732	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(α)	=	30971,574	N/m
Fz	=	P .(β)	=	32653,004	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	22609,732	N/m

maks.displ at	node	displ value (mm)
displ. X	722	0.0133
displ. Y	1599	0.0465
displ. Z	722	0.0287
displ. total	1836	0.0488

variasi 2
After Inside (sbg acuan)

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	4570	=	2285	mm
L	=	4400	=	2200	mm
diagonal datar	=		=	3171,943	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	5921,252	mm

sudut Fy (α)	=	0,844
sudut Fz (β)	=	0,694
sudut Fx (δ)	=	0,720

Fy	=	P .(α)	=	33537,443	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-27546,773	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-28611,080	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(α)	=	33537,443	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-27546,773	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-28611,080	N/m

After Outside

Fy	=	P .(α)	=	33537,443	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-27546,773	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	28611,080	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(α)	=	33537,443	N/m
Fz	=	P .(β)	=	27546,773	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-28611,080	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(α)	=	33537,443	N/m
Fz	=	P .(β)	=	27546,773	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	28611,080	N/m

maks.displ at	node	displ value (mm)
displ. X	398	0.0186
displ. Y	4497	0.0247
displ. Z	242	0.0134
displ. total	4497	0.0247

variasi 3

After Inside (sbg acuan)

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	2240	=	1120,00	mm
L	=	4550	=	2275	mm
diagonal datar	=		=	2535,749	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	5606,249	mm

sudut Fy (a)	=	0,892
sudut Fz (B)	=	0,897
sudut Fx (δ)	=	0,442

Fy	=	P .(a)	=	35421,841	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-35632,686	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-17542,245	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(a)	=	35421,841	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-35632,686	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-17542,245	N/m

After Outside

Fy	=	P .(a)	=	35421,841	N/m
Fz	=	P .(B)	=	35632,686	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	17542,245	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(a)	=	35421,841	N/m
Fz	=	P .(B)	=	35632,686	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-17542,245	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(a)	=	35421,841	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-35632,686	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	17542,245	N/m

maks.displ at	node	displ value (mm)
displ. X	2065	0.00706
displ. Y	2069	0.02975
displ. Z	1984	0.01654
displ. total	2069	0.02975

variasi 4

After Inside (sbg acuan)

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	3360	=	1680,00	mm
L	=	8950	=	4475	mm
diagonal datar	=		=	4779,961	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	6917,227	mm

sudut Fy (a)	=	0,723
sudut Fz (B)	=	0,936
sudut Fx (δ)	=	0,351

Fy	=	P .(a)	=	28708,565	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-37182,809	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-13959,133	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(a)	=	28708,565	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-37182,809	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-13959,133	N/m

After Outside

Fy	=	P .(a)	=	28708,565	N/m
Fz	=	P .(B)	=	37182,809	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	13959,133	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(a)	=	28708,565	N/m
Fz	=	P .(B)	=	37182,809	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-13959,133	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(a)	=	28708,565	N/m
Fz	=	P .(B)	=	-37182,809	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	13959,133	N/m

maks.displ at	node	displ value (mm)
displ. X	753	0.0213
displ. Y	1727	0.0654
displ. Z	693	0.0521
displ. total	1727	0.0654

variasi 5

After Inside (sbg acuan)

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	5920	=	2960,00	mm
L	=	2200	=	1100	mm
diagonal datar	=		=	3157,784	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	5913,679	mm
sudut Fy (α)	=	0,845			
sudut Fz (β)	=	0,348			
sudut Fx (δ)	=	0,937			

Fy	=	P .(α)	=	33580,390	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-13835,146	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-37229,120	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(α)	=	33580,390	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-13835,146	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-37229,120	N/m

After Outside

Fy	=	P .(α)	=	33580,390	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-13835,146	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-37229,120	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(α)	=	33580,390	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-13835,146	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-37229,120	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(α)	=	33580,390	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-13835,146	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-37229,120	N/m

maks. displ at	node	displ value (mm)
displ. X	398	0.0238
displ. Y	3038	0.0157
displ. Z	1698	0.0826
displ. total	242	0.0247

variasi 6

After Inside (sbg acuan)

P	=	16200	=	4050	N/m
			=	39716,73	N/m
B	=	5920	=	2960,00	mm
L	=	8950	=	4475	mm
diagonal datar	=		=	5365,373	mm
H	=	5000	=	5000	mm
diagonal atas	=		=	7333,977	mm
sudut Fy (α)	=	0,682			
sudut Fz (β)	=	0,834			
sudut Fx (δ)	=	0,552			

Fy	=	P .(α)	=	27077,210	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-33125,819	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-21911,156	N/m

Resume Beban

After Inside

Fy	=	P .(α)	=	27077,210	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-33125,819	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-21911,156	N/m

After Outside

Fy	=	P .(α)	=	27077,210	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-33125,819	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-21911,156	N/m

Forward Inside

Fy	=	P .(α)	=	27077,210	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-33125,819	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-21911,156	N/m

Forward Outside

Fy	=	P .(α)	=	27077,210	N/m
Fz	=	P .(β)	=	-33125,819	N/m
Fx	=	P .(δ)	=	-21911,156	N/m

maks. displ at	node	displ value (mm)
displ. X	2913	0.135
displ. Y	1520	0.114
displ. Z	1666	0.077
displ. total	2913	0.135

LAMPIRAN D

NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ANSYS

PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
115	0.14325E-05	-0.96865E-06	0.33343E-05	0.37561E-05
117	0.12732E-04	0.0000	-0.18954E-04	0.22834E-04
118	0.75723E-05	-0.44721E-06	-0.10562E-04	0.13004E-04
119	0.58266E-05	-0.59157E-06	-0.64173E-05	0.86879E-05
120	0.44952E-05	-0.67214E-06	-0.35852E-05	0.57890E-05
121	0.35258E-05	-0.82993E-06	-0.13632E-05	0.38702E-05
122	0.24998E-05	-0.92783E-06	0.94656E-06	0.28295E-05
163	0.16583E-05	-0.11933E-05	0.25143E-06	0.20585E-05
165	-0.93967E-05	0.0000	-0.28567E-04	0.30073E-04
166	-0.41145E-05	-0.64267E-06	-0.18802E-04	0.19257E-04
167	-0.23674E-05	-0.82802E-06	-0.13462E-04	0.13693E-04
168	-0.89365E-06	-0.92922E-06	-0.95625E-05	0.96490E-05
169	0.24043E-07	-0.11005E-05	-0.64115E-05	0.65053E-05
170	0.85929E-06	-0.11741E-05	-0.31280E-05	0.34498E-05
211	0.43599E-06	-0.99823E-05	0.11805E-06	0.99925E-05
212	0.10353E-05	-0.57182E-05	0.20926E-06	0.58146E-05
213	-0.27131E-05	-0.97307E-05	-0.17650E-04	0.20336E-04
214	-0.19823E-05	-0.10407E-04	-0.16254E-04	0.19402E-04
215	-0.45264E-06	-0.10268E-04	-0.13004E-04	0.16575E-04
216	0.11713E-06	-0.10094E-04	-0.96781E-05	0.13984E-04
217	0.36020E-06	-0.10057E-04	-0.60621E-05	0.11748E-04
218	0.45073E-06	-0.10009E-04	-0.28571E-05	0.10419E-04
219	-0.44074E-05	-0.64793E-05	-0.22528E-04	0.23852E-04
220	-0.14063E-06	-0.56600E-05	-0.61999E-05	0.83961E-05
221	-0.19102E-05	-0.62836E-05	-0.13507E-04	0.15019E-04
222	0.36428E-06	-0.71028E-05	0.31114E-05	0.77630E-05
223	0.94354E-06	-0.41277E-05	0.32462E-05	0.53354E-05
224	0.47244E-05	-0.71460E-05	-0.93851E-05	0.12707E-04
225	0.44578E-05	-0.76864E-05	-0.87895E-05	0.12498E-04
226	0.46606E-05	-0.74832E-05	-0.62347E-05	0.10798E-04
227	0.40787E-05	-0.73066E-05	-0.37711E-05	0.91784E-05
228	0.30466E-05	-0.72401E-05	-0.11828E-05	0.79436E-05
229	0.18129E-05	-0.71526E-05	0.10537E-05	0.74537E-05
230	0.68733E-05	-0.50227E-05	-0.13479E-04	0.15942E-04
231	0.36142E-05	-0.41140E-05	-0.12227E-05	0.56109E-05
232	0.56729E-05	-0.46806E-05	-0.66138E-05	0.98910E-05
233	-0.26734E-05	-0.22354E-04	-0.19587E-06	0.22515E-04

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
------	----	----	----	------

284	-0.12807E-05	-0.12713E-04	-0.26490E-05	0.13049E-04
285	-0.18910E-05	-0.12871E-04	-0.11838E-05	0.13063E-04
286	-0.22174E-05	-0.12983E-04	0.23888E-07	0.13171E-04
287	-0.23180E-05	-0.13079E-04	0.82991E-06	0.13309E-04
288	-0.22387E-05	-0.13151E-04	0.16254E-05	0.13439E-04
289	-0.25193E-05	-0.14013E-04	0.92116E-06	0.14267E-04
290	-0.19081E-05	-0.14061E-04	-0.81375E-06	0.14213E-04
389	-0.39628E-05	-0.22085E-04	0.42453E-06	0.22441E-04
390	-0.36576E-05	-0.19537E-04	0.60524E-06	0.19885E-04
391	-0.38302E-05	-0.20862E-04	0.51478E-06	0.21217E-04
392	-0.16288E-05	-0.18321E-04	0.97634E-05	0.20824E-04
393	-0.33754E-05	-0.18731E-04	0.78500E-05	0.20588E-04
394	-0.42459E-05	-0.18966E-04	0.56278E-05	0.20234E-04
395	-0.46846E-05	-0.19136E-04	0.39634E-05	0.20096E-04
396	-0.47133E-05	-0.19320E-04	0.29365E-05	0.20102E-04
397	-0.43020E-05	-0.19471E-04	0.18240E-05	0.20024E-04
398	-0.90027E-06	-0.21820E-04	0.63888E-05	0.22754E-04
399	-0.11976E-05	-0.20235E-04	0.79694E-05	0.21781E-04
400	-0.15517E-05	-0.21969E-04	0.54588E-05	0.22690E-04
401	-0.21932E-05	-0.22043E-04	0.44808E-05	0.22601E-04
402	-0.26812E-05	-0.22058E-04	0.34601E-05	0.22498E-04
403	-0.31284E-05	-0.22067E-04	0.24234E-05	0.22419E-04
404	-0.35431E-05	-0.22066E-04	0.14157E-05	0.22393E-04
405	-0.38999E-05	-0.20764E-04	0.26501E-05	0.21292E-04
406	-0.32929E-05	-0.20810E-04	0.50874E-05	0.21674E-04
407	-0.45277E-05	-0.14471E-04	0.10993E-05	0.15258E-04

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
408	-0.39990E-05	-0.12840E-04	0.16464E-05	0.13549E-04
409	-0.42817E-05	-0.13685E-04	0.16724E-05	0.14436E-04
410	-0.25848E-05	-0.14390E-04	0.59361E-05	0.15780E-04
411	-0.29415E-05	-0.14486E-04	0.52843E-05	0.15698E-04
412	-0.32861E-05	-0.14523E-04	0.45928E-05	0.15583E-04
413	-0.36157E-05	-0.14525E-04	0.38684E-05	0.15460E-04
414	-0.39372E-05	-0.14507E-04	0.31292E-05	0.15354E-04
415	-0.42384E-05	-0.14484E-04	0.24123E-05	0.15283E-04
416	-0.20709E-05	-0.12071E-04	0.80613E-05	0.14662E-04
417	-0.24069E-05	-0.13339E-04	0.69320E-05	0.15224E-04
418	-0.32878E-05	-0.12332E-04	0.68243E-05	0.14473E-04
419	-0.39429E-05	-0.12497E-04	0.53242E-05	0.14144E-04
420	-0.42858E-05	-0.12620E-04	0.41030E-05	0.13945E-04
421	-0.43665E-05	-0.12731E-04	0.32982E-05	0.13857E-04
422	-0.42241E-05	-0.12813E-04	0.24973E-05	0.13720E-04
423	-0.42093E-05	-0.13674E-04	0.32006E-05	0.14660E-04
424	-0.37614E-05	-0.13720E-04	0.49622E-05	0.15067E-04
443	-0.38779E-05	-0.24286E-04	0.20442E-06	0.24594E-04
444	-0.39411E-05	-0.23250E-04	0.32343E-06	0.23584E-04
445	-0.15709E-06	-0.23207E-04	0.32469E-05	0.23433E-04
446	-0.49145E-06	-0.22695E-04	0.48526E-05	0.23213E-04
447	-0.21106E-05	-0.23507E-04	0.33250E-05	0.23894E-04

```

647 -0.14031E-05-0.87105E-05 0.10155E-04 0.13452E-04
648 0.38869E-06-0.84651E-05 0.10392E-04 0.13409E-04
649 0.18957E-06-0.85793E-05 0.11175E-04 0.14090E-04
650 -0.48371E-06-0.86151E-05 0.10907E-04 0.13907E-04

```

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

```

LOAD STEP=      1  SUBSTEP=      1
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0

```

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
651	-0.27933E-05	-0.94617E-05	0.84579E-05	0.12995E-04
652	-0.19353E-05	-0.90543E-05	0.93076E-05	0.13122E-04
653	-0.32330E-05	-0.10246E-04	0.74115E-05	0.13052E-04
654	-0.36899E-05	-0.10952E-04	0.62865E-05	0.13156E-04
655	-0.40037E-05	-0.11506E-04	0.52498E-05	0.13266E-04
656	-0.33349E-05	-0.11613E-04	0.23162E-05	0.12302E-04
657	-0.39450E-05	-0.12479E-04	0.22281E-05	0.13276E-04
658	-0.22600E-05	-0.79737E-05	0.23771E-05	0.86220E-05
659	-0.27319E-05	-0.10166E-04	0.23794E-05	0.10792E-04
660	-0.41141E-05	-0.12366E-04	0.31041E-05	0.13397E-04
661	-0.14069E-05	-0.80021E-05	0.45283E-05	0.93015E-05
662	-0.22902E-05	-0.10707E-04	0.82220E-05	0.13693E-04
663	-0.27238E-05	-0.11522E-04	0.74582E-05	0.13993E-04
664	-0.37903E-05	-0.11814E-04	0.57458E-05	0.13673E-04
665	-0.40603E-05	-0.12172E-04	0.49052E-05	0.13737E-04
666	-0.42833E-05	-0.12352E-04	0.38135E-05	0.13619E-04
667	-0.42084E-05	-0.12289E-04	0.34950E-05	0.13452E-04
668	-0.38428E-05	-0.11999E-04	0.33635E-05	0.13040E-04
669	-0.34226E-05	-0.11729E-04	0.33472E-05	0.12668E-04
670	-0.20366E-05	-0.98726E-05	0.41541E-05	0.10905E-04
671	-0.15895E-05	-0.90816E-05	0.47944E-05	0.10392E-04
672	-0.91646E-06	-0.79577E-05	0.59060E-05	0.99522E-05
673	-0.20432E-06	-0.75374E-05	0.72710E-05	0.10475E-04
674	0.64054E-06	-0.75890E-05	0.98974E-05	0.12488E-04
675	0.70457E-06	-0.80022E-05	0.11032E-04	0.13647E-04
676	0.11010E-05	-0.76402E-05	0.12433E-04	0.14635E-04
677	0.32648E-06	-0.78743E-05	0.11841E-04	0.14224E-04
678	-0.30022E-05	-0.11216E-04	0.28159E-05	0.11948E-04
679	-0.27541E-05	-0.10759E-04	0.29074E-05	0.11481E-04
680	-0.12030E-05	-0.85483E-05	0.10235E-04	0.13390E-04
681	-0.15909E-05	-0.89661E-05	0.96427E-05	0.13263E-04
682	-0.19587E-05	-0.90982E-05	0.36181E-05	0.99852E-05
683	-0.36966E-05	-0.12060E-04	0.29048E-05	0.12944E-04
684	-0.32784E-05	0.10201E-04	0.22583E-04	0.24996E-04
685	-0.24627E-05	0.94582E-05	-0.16217E-06	0.97749E-05
686	-0.44135E-05	0.10278E-04	0.19701E-04	0.22655E-04
687	-0.51414E-05	0.99227E-05	0.15074E-04	0.18765E-04

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

```

LOAD STEP=      1  SUBSTEP=      1
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0

```

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

PRINT 0 NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
115	-0.47138E-06	0.88426E-05	0.59199E-06	0.88749E-05
117	0.15121E-05	0.88018E-05	-0.16478E-05	0.90815E-05
118	0.12041E-05	0.88020E-05	-0.13740E-05	0.89896E-05
119	0.87620E-06	0.88052E-05	-0.10664E-05	0.89128E-05
120	0.54171E-06	0.88037E-05	-0.69149E-06	0.88524E-05
121	0.20288E-06	0.88209E-05	-0.26996E-06	0.88274E-05
122	-0.13558E-06	0.88336E-05	0.15953E-06	0.88361E-05
163	-0.19949E-06	0.75849E-05	-0.77425E-06	0.76270E-05
165	0.13477E-05	0.75511E-05	-0.55709E-05	0.94861E-05
166	0.10572E-05	0.75687E-05	-0.48620E-05	0.90577E-05
167	0.79348E-06	0.75825E-05	-0.40998E-05	0.86563E-05
168	0.53330E-06	0.75881E-05	-0.32544E-05	0.82737E-05
169	0.28201E-06	0.75882E-05	-0.23791E-05	0.79574E-05
170	0.38616E-07	0.75858E-05	-0.15643E-05	0.77455E-05
211	-0.56789E-06	0.58874E-05	-0.77474E-06	0.59652E-05
212	-0.39527E-06	0.67189E-05	-0.77829E-06	0.67748E-05
213	0.60056E-07	0.57725E-05	-0.59135E-05	0.82640E-05
214	0.10474E-06	0.58245E-05	-0.51888E-05	0.78012E-05
215	0.14935E-07	0.58666E-05	-0.42637E-05	0.72524E-05
216	-0.16596E-06	0.58927E-05	-0.32273E-05	0.67206E-05
217	-0.35313E-06	0.58885E-05	-0.23019E-05	0.63323E-05
218	-0.47811E-06	0.58845E-05	-0.15119E-05	0.60944E-05
219	0.78093E-06	0.66723E-05	-0.57094E-05	0.98163E-05
220	0.11584E-07	0.67458E-05	-0.23681E-05	0.71494E-05
221	0.40098E-06	0.67727E-05	-0.41527E-05	0.79546E-05
222	-0.79499E-06	0.74916E-05	0.66077E-06	0.75631E-05
223	-0.63613E-06	0.81919E-05	0.63079E-06	0.82407E-05
224	0.15974E-05	0.73354E-05	0.20651E-05	0.77862E-05
225	0.11867E-05	0.74002E-05	-0.15935E-05	0.76623E-05
226	0.76363E-06	0.74187E-05	-0.10836E-05	0.75362E-05
227	0.41705E-06	0.74242E-05	-0.75254E-06	0.74738E-05
228	0.75377E-07	0.74620E-05	-0.42041E-06	0.74742E-05
229	-0.34944E-06	0.74927E-05	0.80905E-07	0.75013E-05
230	0.15227E-05	0.81136E-05	-0.18235E-05	0.84542E-05
231	0.23986E-06	0.81489E-05	-0.31910E-06	0.81584E-05
232	0.90957E-06	0.81458E-05	-0.10852E-05	0.82680E-05
233	-0.87290E-06	0.53538E-06	-0.81181E-07	0.10272E-05

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
------	----	----	----	------

284	0.22055E-05	0.35215E-05	-0.40831E-05	0.58256E-05
285	0.31603E-06	0.32542E-05	-0.27713E-05	0.42860E-05
286	-0.57588E-06	0.31339E-05	-0.20267E-05	0.37763E-05
287	-0.11757E-05	0.30471E-05	-0.11336E-05	0.34571E-05
288	-0.14221E-05	0.29356E-05	-0.16194E-06	0.32659E-05
289	-0.22043E-06	0.14393E-05	-0.98705E-06	0.17591E-05
290	0.19518E-05	0.19793E-05	-0.31030E-05	0.41660E-05
389	-0.10473E-05	-0.53723E-06	-0.53988E-06	0.12950E-05
390	-0.12839E-05	0.26959E-05	-0.25984E-06	0.29973E-05
391	-0.12247E-05	0.11556E-05	-0.41191E-06	0.17335E-05
392	-0.73585E-05	0.32512E-05	0.65827E-05	0.10395E-04
393	-0.72792E-05	0.35070E-05	0.63756E-05	0.10292E-04
394	-0.71474E-05	0.31689E-05	0.44444E-05	0.89933E-05
395	-0.62252E-05	0.30126E-05	0.30670E-05	0.75654E-05
396	-0.49027E-05	0.29133E-05	0.18049E-05	0.59817E-05
397	-0.32601E-05	0.27693E-05	0.71940E-06	0.43376E-05
398	-0.18448E-04	0.0000	0.12322E-04	0.22184E-04
399	-0.10627E-04	0.24373E-05	0.86808E-05	0.13936E-04
400	-0.11146E-04	-0.31319E-06	0.63141E-05	0.12814E-04
401	-0.82738E-05	-0.44097E-06	0.41105E-05	0.92491E-05
402	-0.58503E-05	-0.50506E-06	0.26747E-05	0.64525E-05
403	-0.41435E-05	-0.55159E-06	0.16203E-05	0.44831E-05
404	-0.25779E-05	-0.53740E-06	0.55106E-06	0.26904E-05
405	-0.46756E-05	0.12490E-05	0.16704E-05	0.51197E-05
406	-0.80658E-05	0.17763E-05	0.46104E-05	0.94587E-05
407	-0.22721E-05	-0.28739E-06	-0.74567E-06	0.24085E-05

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
408	-0.18347E-05	0.29217E-05	-0.82271E-06	0.35467E-05
409	-0.20084E-05	0.13577E-05	-0.80056E-06	0.25530E-05
410	0.11730E-04	0.0000	0.10161E-04	0.15519E-04
411	0.52244E-05	-0.13935E-06	0.46414E-05	0.69898E-05
412	0.30289E-05	-0.22414E-06	0.28092E-05	0.41372E-05
413	0.13709E-05	-0.24527E-06	0.17099E-05	0.22053E-05
414	0.18811E-06	-0.27751E-06	0.95520E-06	0.10125E-05
415	-0.10230E-05	-0.28806E-06	0.12779E-06	0.10704E-05
416	0.38804E-05	0.32224E-05	0.38450E-05	0.63424E-05
417	0.53258E-05	0.24422E-05	0.63958E-05	0.86738E-05
418	0.19503E-05	0.35199E-05	0.40629E-05	0.57184E-05
419	0.68422E-07	0.32546E-05	0.27496E-05	0.42612E-05
420	-0.82616E-06	0.31353E-05	0.20008E-05	0.38100E-05
421	-0.14361E-05	0.30501E-05	0.11037E-05	0.35474E-05
422	-0.16976E-05	0.29398E-05	0.13007E-06	0.33972E-05
423	-0.45850E-06	0.14404E-05	0.95762E-06	0.17894E-05
424	0.16825E-05	0.19798E-05	0.30783E-05	0.40282E-05
443	-0.14528E-05	-0.38254E-05	-0.54423E-06	0.41280E-05
444	-0.13094E-05	-0.22997E-05	-0.56304E-06	0.27056E-05
445	-0.94088E-05	-0.33784E-05	0.36707E-05	0.10650E-04
446	-0.11663E-04	-0.28716E-05	0.76647E-05	0.14248E-04
447	-0.80845E-05	-0.39719E-05	0.42136E-05	0.99444E-05

647	-0.10517E-05	0.55195E-05	0.17679E-05	0.58904E-05
648	-0.88432E-07	0.69398E-05	0.95818E-06	0.70062E-05
649	-0.31277E-06	0.65997E-05	0.11824E-05	0.67121E-05
650	-0.69129E-06	0.61166E-05	0.14831E-05	0.63317E-05

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USJM
651	-0.11624E-05	0.46602E-05	0.24333E-05	0.53842E-05
652	-0.98133E-06	0.50639E-05	0.20624E-05	0.55552E-05
653	-0.39204E-06	0.43852E-05	0.28374E-05	0.52378E-05
654	-0.30621E-06	0.42340E-05	0.30503E-05	0.52273E-05
655	-0.65654E-06	0.40097E-05	0.27467E-05	0.49044E-05
656	-0.15364E-05	0.49310E-05	-0.24338E-06	0.51706E-05
657	-0.18114E-05	0.35741E-05	-0.21606E-06	0.40127E-05
658	-0.10490E-05	0.71645E-05	-0.30689E-06	0.72474E-05
659	-0.12111E-05	0.62530E-05	-0.28338E-06	0.63755E-05
660	-0.18170E-05	0.35943E-05	0.75608E-06	0.40979E-05
661	-0.59425E-06	0.71567E-05	0.26653E-06	0.71863E-05
662	0.18802E-05	0.38958E-05	0.33182E-05	0.54519E-05
663	0.24005E-05	0.37200E-05	0.36631E-05	0.57462E-05
664	0.69749E-07	0.38385E-05	0.29957E-05	0.48696E-05
665	-0.45918E-06	0.35341E-05	0.25330E-05	0.43723E-05
666	-0.13657E-05	0.34290E-05	0.17226E-05	0.40732E-05
667	-0.17332E-05	0.35881E-05	0.12960E-05	0.41903E-05
668	-0.19228E-05	0.41487E-05	0.92653E-06	0.46656E-05
669	-0.17221E-05	0.46676E-05	0.69412E-06	0.50233E-05
670	-0.88110E-06	0.64587E-05	0.41315E-06	0.65316E-05
671	-0.64290E-06	0.68252E-05	0.43929E-06	0.58695E-05
672	-0.36362E-06	0.71585E-05	0.50660E-06	0.71857E-05
673	-0.15756E-06	0.72512E-05	0.61728E-06	0.72792E-05
674	0.18181E-06	0.72217E-05	0.89644E-06	0.72794E-05
675	0.24199E-06	0.70598E-05	0.10893E-05	0.71474E-05
676	0.75719E-06	0.69682E-05	0.17186E-05	0.72163E-05
677	0.61398E-06	0.65042E-05	0.19619E-05	0.68213E-05
678	-0.13763E-05	0.53984E-05	0.45485E-07	0.55713E-05
679	-0.12228E-05	0.58453E-05	0.98111E-08	0.59718E-05
680	0.37561E-06	0.51774E-05	0.23989E-05	0.57185E-05
681	0.29538E-06	0.47168E-05	0.26180E-05	0.54028E-05
682	-0.87907E-06	0.67997E-05	0.11736E-06	0.68573E-05
683	-0.18446E-05	0.41881E-05	0.37957E-06	0.45920E-05
684	0.17902E-05	0.94760E-05	0.47522E-05	0.10751E-04
685	-0.63840E-06	0.95019E-05	0.16143E-06	0.95247E-05
686	0.14160E-05	0.94885E-05	0.40470E-05	0.10412E-04
687	0.10215E-05	0.94964E-05	0.33055E-05	0.10107E-04

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES