

**PERHITUNGAN KEKUATAN KAPAL
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

deepublish | Publisher

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PERHITUNGAN KEKUATAN KAPAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D.

Muhammad Iqra Ramadhan, S.T.

 **deepublish**
glorify and develop the intellectual of human's life

**PERHITUNGAN KEKUATAN KAPAL
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Muhammad Zubair Muis Alie
Muhammad Iqra Ramadhan**

Editor :
Rahmi Djafar

Desain Cover :
Nama

Sumber :
Link

Tata Letak :
Emy Rizka Fadilah

Proofreader :
Emy Rizka Fadilah

Ukuran :
xii, 92 hlm, Uk: 20x29 cm

ISBN :
No ISBN

Cetakan Pertama :
Bulan 2019

Hak Cipta 2019, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2019 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah yang diberikan kepada Penulis sehingga buku ini dapat diselesaikan.

Buku ini memberi uraian singkat Metode Elemen Hingga dengan contoh struktur yang sederhana. Kemudian dilanjutkan dengan analisis kekuatan kapal dengan metode elemen hingga.

Penulis mencoba berbagi pengalaman terhadap analisis kekuatan kapal berbasis Elemen Hingga yang digunakan untuk mahasiswa atau bapak/ibu dosen yang bergelut di bidang struktur khususnya bidang teknik kelautan dan perkapalan. Dalam menganalisa berbagai macam struktur dalam ilmu keteknikan, terdapat begitu banyak software yang dapat digunakan.

Pada buku ini, dijelaskan prosedur analisis kekuatan kapal dengan mempertimbangkan penampang kapal menggunakan Metode Elemen Hingga. Penyajian materi dilakukan secara bertahap dimulai dari material, tahap pemodelan, penentuan sumbu netral, kondisi batas, proses *running* dan hasil analisis yang berupa tampilan deformasi, distribusi tegangan dan kurva momen-kelengkungan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan buku ini. Semoga buku ini memberi kontribusi dan bermanfaat dalam analisis struktur khususnya analisis kekuatan kapal berbasis numerik serta bernilai ibadah bagi Penulis. Aamiin

Makassar, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
GLOSARIUM.....	xii
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1. Umum	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
BAB 2 Konsep Dasar Elemen Hingga.....	4
2.1. Rumus Dasar	4
2.2. Penjelasan Metode.....	15
BAB 3 Material	16
3.1. Data Penampang	16
3.2. Input Data Material Penampang	17
3.3. Properti Material Penampang	20
BAB 4 Pemodelan	22
4.1. Model Struktur	22
4.2. Pembuatan Area	27
4.3. Refleksi Model.....	31
BAB 5 Pemberian Tebal Pelat pada Area Model.....	34
5.1. Tebal Pelat.....	34
5.2. Cara Menggabungkan Semua Element Pada Struktur.....	36
5.3. Pemberian Ukuran Mesh	37
5.4. Model yang sudah di-meshing.....	38
BAB 6 Penentuan Letak Sumbu Netral, Pembebanan, dan Kondisi Batas.....	41
6.1. Letak Sumbu Netral.....	41
6.2. Kondisi Batas (Boundary Condition).....	42
BAB 7 Pemusatan Beban Bekerja ke Sumbu Netral	54
7.1. Cara Rigid Region Untuk bagian depan (fore).....	54
7.2. Cara Rigid Region Untuk bagian belakang (aft).....	57
BAB 8 Running Program	61

BAB 9 Tampilan Deformasi Struktur	65
9.1. Cara menampilkan deformasi struktur hull girder saat Ultimate Strength kondisi Sagging.....	65
9.2. Cara menampilkan deformasi struktur hull girder saat Ultimate Strength kondisi Hogging	70
BAB 10 Tampilan Grafik Momen-Rotasi	71
9.3. Cara Mengambil Nilai Rotasi	75
9.4. Cara Memplot Grafik Momen dan Rotasi di Ansys.....	77
9.5. Cara Plot Grafik Hasil Analisis pada Ansys dengan Ms.Excel.....	81
BAB 11 Diskusi	84
BAB 12 Kesimpulan	86
REFERENSI.....	87
INDEKS	89
RIWAYAT PENULIS	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Batang dibebani beban aksial	5
Gambar 2.2.	Pembagian batang ke dalam nodes (titik) dan elemen	6
Gambar 2.3.	Elemen dengan luas penampang sama diberi gaya F	6
Gambar 2.4.	Diagram benda bebas dari nodes (titik)	8
Gambar 2.5.	Gaya transmisi internal melalui sebuah elemen yang berubah-ubah	10
Gambar 2.6.	Gaya-gaya internal	14
Gambar 3.1.	Penampang kapal tanker	17
Gambar 3.2.	Window preferences for GUI filtering	18
Gambar 3.3.	Window element types belum terisi jenis material	18
Gambar 3.4.	Library of element types	19
Gambar 3.5.	Window element type yang telah terisi material	19
Gambar 3.6.	Window define material properti linear.....	20
Gambar 3.7.	Window define material properti bilinear.....	20
Gambar 3.8.	Window create and modify shell section	21
Gambar 4.1.	Window create keypoint in active coordinate system	22
Gambar 4.2.	Desain 2D setengah lambung tanker di autocad	23
Gambar 4.3.	Keypoint 2D di ANSYS	24
Gambar 4.4.	Window create straight line	24
Gambar 4.5.	Model 2D setengah Body Hull Girder yang telah terhubung garis di ANSYS	25
Gambar 4.6.	Copy lines	25
Gambar 4.7.	Window copy lines	26
Gambar 4.8.	Hasil copy lines di ANSYS.....	26
Gambar 4.9.	Menghubungkan hasil Copy dengan Lines.....	27
Gambar 4.10.	Window Sweep Lines along Lines	28
Gambar 4.11.	Line yang terblok awal untuk proses Extrude	28
Gambar 4.12.	Line yang terblok kedua untuk proses Extrude	29
Gambar 4.13.	Hasil extrude area menggunakan garis	29
Gambar 4.14.	Setengah Body Hull Girder yang telah memiliki Area di ANSYS	30
Gambar 4.15.	Tampak depan (front view) setengah body hull girder	30
Gambar 4.16.	Window reflect area	31

Gambar 4.17.	Hasil blok area di ANSYS.....	32
Gambar 4.18.	Window reflect areas	32
Gambar 4.19.	Tampilan utuh Struktur Hull Girder setelah di-reflect.....	33
Gambar 5.1.	Window area attributes	34
Gambar 5.2.	Area terblok yang ingin dimasukan ketebalannya.....	35
Gambar 5.3.	Area attributes untuk pemilihan ketebalan pelat.....	35
Gambar 5.4.	Window merge coincident or equivalently defined items	36
Gambar 5.5.	Window glue area.....	37
Gambar 5.6.	Window element sizes on all selected areas.....	37
Gambar 5.7.	Window mesh tool.....	38
Gambar 5.8.	Window mesh area	39
Gambar 5.9.	Model yang sudah di-meshing.....	39
Gambar 6.1.	Window calc geom of areas	41
Gambar 6.2.	Window koordinat netral axis	41
Gambar 6.3.	Kondisi batas struktur.....	42
Gambar 6.4.	Window apply U, ROT on nodes	43
Gambar 6.5.	Window node distances.....	44
Gambar 6.6.	Posisi Awal Pengukuran Jarak Letak Sumbu Netral Berada	44
Gambar 6.7.	Window ndist letak node sumbu netral	45
Gambar 6.8.	Window apply U, Rot on nodes.....	45
Gambar 6.9.	Apply ROTY on nodes	46
Gambar 6.10.	Struktur hull girder yang telah apply ROTY dikekang	46
Gambar 6.11.	Pencarian letak node sumbu netral bagian belakang Hull Girder.....	47
Gambar 6.12.	Titik nodes letak sumbu netral bagian belakang	48
Gambar 6.13.	Window peletakan number node yang diberi tumpuan (ALL DOF)	48
Gambar 6.14.	Apply All DOF pada node sumbu netral bagian belakang	49
Gambar 6.15.	Struktur hull girder yang telah diberi tumpuan all dof pada sumbu netral axisnya	49
Gambar 6.16.	Window apply number F/M on nodes	50
Gambar 6.17.	Window apply moment x F/M on nodes	51
Gambar 6.18.	Tampilan Ansys Struktur yang telah diberi beban	51
Gambar 6.19.	Window apply number F/M on nodes	52
Gambar 6.20.	Window apply moment x F/M on nodes	52
Gambar 6.21.	Display ansys struktur yang telah diberi beban.....	53

Gambar 7.1.	Window apply number node constraint for rigid region	54
Gambar 7.2.	Window klik box untuk block struktur.....	55
Gambar 7.3.	Right view untuk daerah rigid region	55
Gambar 7.4.	Zooming-in struktur girder ketika rigid region	56
Gambar 7.5.	Window constrain equation for rigid region.....	56
Gambar 7.6.	Tampilan display ANSYS bagian depan struktur yang terigid	57
Gambar 7.7.	Window apply number node constraint for rigid region	58
Gambar 7.8.	Window klik box untuk block struktur.....	58
Gambar 7.9.	Right view untuk daerah rigid region	59
Gambar 7.10.	Zooming in struktur girder ketika rigid region.....	59
Gambar 7.11.	Window constrain equation for rigid region.....	60
Gambar 7.12.	Tampilan ANSYS bagian belakang struktur yang terigid	60
Gambar 8.1.	Window new analysis	61
Gambar 8.2.	Window basic setting untuk running	62
Gambar 8.3.	Window sol'n option setting untuk running	62
Gambar 8.4.	Window sol'n option setting untuk running	63
Gambar 8.5.	Window solve current load step	63
Gambar 8.6.	Window vierify sebelum running	64
Gambar 8.7.	Window note running done.....	64
Gambar 9.1.	Window time history variables	65
Gambar 9.2.	Window add time-history variable (reaction force).....	66
Gambar 9.3.	Window add time-history variable (x-component of moment)	66
Gambar 9.4.	Window node for data.....	67
Gambar 9.5.	Time history variables yang telah terisi nilai momen	67
Gambar 9.6.	Window list data momen	68
Gambar 9.7.	Window result file.....	68
Gambar 9.8.	Window contour nodal solution data	69
Gambar 9.9.	Deformasi Hull Girder kondisi sagging	69
Gambar 9.10.	Deformasi Hull Girder kondisi hogging.....	70
Gambar 10.1.	Window time history variables belum terisi nilai momen	71
Gambar 10.2.	Window add time-history variable (reaction force).....	72
Gambar 10.3.	Window add time-history variable (reaction force).....	72
Gambar 10.4.	Window node for data.....	73
Gambar 10.5.	Time history variables yang telah terisi nilai momen	73
Gambar 10.6.	Window list data nilai momen Hull Girder.....	74

Gambar 10.7.	Cara menyimpan data momen dari ANSYS ke data komputer.....	74
Gambar 10.8.	Window time history variables belum terisi nilai rotasi.....	75
Gambar 10.9.	Window add time-history variable (x-component of rotation)	75
Gambar 10.10.	Window node for data	76
Gambar 10.11.	Wime history variables yang telah terisi nilai rotasi.....	76
Gambar 10.12.	Cara menyimpan data rotasi dari ANSYS ke data komputer.....	77
Gambar 10.13.	Window times history variables.....	77
Gambar 10.14.	Window add times-history variables.....	78
Gambar 10.15.	Window times history variables dengan nilai cumulative itteration telah ditambahkan.....	78
Gambar 10.16.	Window X-Axis cumulative itteration yang telah tercentang	79
Gambar 10.17.	Window x-component of moment yang telah terklik.....	79
Gambar 10.18.	Display hasil plot grafik moment di ANSYS	80
Gambar 10.19.	Window X-Component of rotation yang telah terklik.....	80
Gambar 10.20.	Display hasil plot grafik rotation di ANSYS	81
Gambar 10.21.	Grafik momen curvature Hogging dan Sagging Hull Girder	82
Gambar 10.22.	Grafik permandingan ultimate strenght Metode Smith dengan NLFEA ANSYS.....	83

GLOSARIUM

ANSYS	: Software yang digunakan untuk menganalisis struktur
Deformasi	: Perubahan bentuk pada struktur yang disebabkan oleh pembebanan yang bekerja pada struktur
Mesh	: Membagi Struktur menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana
Modulus Elastisitas	: angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan yang mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu
Modulus Geser	: kecenderungan sebuah objek untuk bergeser (deformasi bentuk pada volume konstan) ketika diberi kekuatan yang berlawanan
L	: Panjang Kapal
B	: Lebar Kapal
D	: Tinggi Kapal
Densitas	: pengukuran massa setiap satuan volume benda
Rasio Poison	: konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material
Tensile Strength	: tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah
MPC	: Multi Point Constraint
DOF	: Degree of Freedom, Derajat Kebebasan
Hogging	: Kondisi dimana bagian atas dari sebuah struktur mengalami tarik dan bawah mengalami tekan
Sagging	: Kondisi dimana bagian atas dari sebuah struktur mengalami tekan dan bawah mengalami tarik
Ultimate Strength	: Kekuatan batas
Curvature	: Perbandingan antara rotasi dibagi dengan panjang

BAB 1

Pendahuluan

1.1. Umum

Kekuatan kapal adalah salah satu aspek terpenting dari perancangan strukturnya. Kekuatan kapal harus dianalisis dengan akurat bagaimana respons yang terjadi sebelum dan sesudah pembebanan. Beban-beban yang bekerja pada kapal harus dapat ditahan oleh konstruksi kapal itu sendiri.

Kapal dapat mengalami kerusakan yang disebabkan oleh tubrukan, kandas, korosi, dan sebagainya yang dapat mengancam keselamatan kapal dan lingkungan sekitarnya.

Kekuatan kapal selalu dijadikan acuan kelayakan atau tidaknya dia beroperasi pada kondisi normal, terlebih kondisi ekstrem. Komponen-komponen pendukung kekuatan kapal dalam arah membujur, merupakan parameter-parameter yang harus dianalisis. Selain itu juga, beban yang bekerja baik internal seperti muatan dan berat kapal itu sendiri maupun eksternal, seperti gelombang yang merupakan faktor utama dalam analisis kekuatan kapal. Oleh karena itu, harus dilakukan analisis terhadap kekuatan kapal pada kondisi *hogging* dan *sagging* baik saat kapal di kondisi air tenang maupun saat bergelombang.

Analisis kekuatan kapal sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Analisis keandalan dan sensitivitas dari penumpu lambung Kapal Tanker dan Bulk Carrier pada kondisi utuh dilakukan oleh Piscopo dan Scamardella (2019). Analisis numerik oleh (Xia et al., 2019) dilakukan terhadap kekuatan sisa kapal dalam pengaruh beban siklus uniaxial. Investigasi numerik juga dilakukan oleh Wang et al., (2018) terhadap model 3D kapal untuk kapal kontainer. Van et al (2018) fokus pada efek dari faktor-faktor ketidakpastian pada kapal dalam pengaruh momen lentur vertikal dari kapal Bulk Carrier. Muis Alie (2018a) menganalisis kekuatan kapal yang disebabkan oleh kerusakan tubrukan yang tidak simetris dengan mempertimbangkan efek dari translasi dan rotasi sumbu netral. Muis Alie (2018b) menginvestigasi kekuatan kapal yang disebabkan oleh kandas dan kerusakan dimodelkan pada bagian dasar kapal.

Kekuatan kapal dengan mempertimbangkan modulus penampang dalam pengaruh lentur membujur dianalisis oleh Muis Alie dan Latumahina (2018).

Kim dan Paik (2017) mengembangkan metodologi secara penuh untuk desain optimum untuk konstruksi lambung kapal-kapal niaga berdasarkan tahapan-tahapan batas dari fungsi objektif.

Studi pengaruh dari metode elemen hingga pada model terhadap momen lentur untuk kapal dipaparkan oleh Xu et al., (2017), kedua metode elemen hingga tersebut adalah *implicit static analysis* dan *explicit dynamic analysis*.

Campanile et al., (2017) menganalisis keandalan dari metode kombinasi beban pada kapal Tanker pada kondisi utuh. Analisis keandalan metode tersebut dilakukan pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Muis Alie et al., (2017) menganalisis kekuatan kapal Ro-Ro pasca-terjadinya kerusakan. Kerusakan dimodelkan pada daerah dasar ganda dari kapal Ro-Ro. Gaspar et al., (2016) mengevaluasi efek dari momen lentur gelombang vertikal secara nonlinear pada keandalan dari penumpu lambung kapal.

Kekuatan sisa kapal pascakerusakan tidak simetris dengan menggunakan metode balok elemen hingga dianalisis oleh Muis Alie (2016a). Selanjutnya pengaruh bangunan atas terhadap kekuatan membujur kapal Ro-Ro juga dianalisis oleh Muis Alie et al., (2016b). Pei et al., (2015) melakukan simulasi pada perilaku kehancuran progresif pada satu model kapal Bulk Carrier secara utuh dalam pengaruh gelombang ekstrem dengan menggunakan metode ISUM (Idealized Structural Unit Method).

Kukkanen dan Matusiak (2014) melakukan analisis numerik dan percobaan terhadap beban nonlinear yang bekerja pada kapal Ro-Ro. Metode nonlinear-time domain dikembangkan dan teori dipaparkan untuk analisis tersebut. Properti statistik dari kekuatan membujur kapal Bulk Carrier dilakukan oleh Campanile et al., (2014) dengan mempertimbangkan time-domain dalam pengaruh faktor korosi. Muis Alie (2014) melakukan analisis kekuatan kapal pascakerusakan pada daerah dasar ganda dari kapal bulk carrier dengan menggunakan metode elemen hingga. Kim et al., (2013) mempresentasikan hasil dari investigasi dari efek tekanan lateral pada perilaku kehancuran progresif lambung Kapal Tanker Suezmax-Class dalam pengaruh momen lentur vertikal. Serta, Metode analisis numerik dan sederhana untuk analisis kekuatan sisa kapal pada daerah dasar ganda dilakukan Liu dan Amdahl (2012).

1.2. Rumusan Masalah

Untuk menganalisis kekuatan kapal dengan presisi dibutuhkan perhitungan yang lebih akurat. Namun, saat ini masih kurangnya referensi menganalisis kekuatan kapal yang berbasis numerik, yang mampu menghitung jumlah elemen yang begitu banyak dan di sisi lain, juga membutuhkan komputer dengan kapasitas memori serta penyimpanan yang besar untuk memperoleh hasil sesuai kenyataan. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode elemen hingga ini, maka permasalahan analisis kekuatan struktur kapal bisa diselesaikan dan memperoleh hasil yang lebih presisi. Keuntungan lain dengan menggunakan metode adalah perilaku struktur seperti tegangan dan deformasi dapat ditampilkan secara grafik dan gambar dalam bentuk tiga dimensi sehingga memudahkan untuk mengetahui secara detail elemen-elemen dari struktur kapal yang mengalami perubahan bentuk akibat beban-beban internal dan eksternal yang bekerja.

Analisis kekuatan kapal dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode dan salah satu metode sudah disinggung pada paragraf sebelumnya diantaranya adalah:

- (1) Pendekatan persamaan dengan asumsi distribusi tegangan pada kondisi *collapse*
- (2) Pendekatan modulus penampang berdasarkan elemen kritis

- (3) Metode Smith
- (4) Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode yang pertama (1) sangat sederhana tetapi keakuratannya bergantung pada asumsi distribusi tegangan. *Progressive collapse behavior* yang diikuti oleh *post-ultimate capacity* dari elemen yang tertekuk tidak dapat direfleksikan dengan benar dalam estimasi.

Metode yang kedua (2) telah diterapkan dalam aturan klasifikasi yang ditemukan dalam *Single Step Ultimate Capacity Method* dalam IACS/CSR-T. Metode ini juga berguna untuk desain tetapi aplikasinya hanya untuk kapal pada kondisi *sagging*, yang mana *collapse* pada struktur geladak mudah untuk diidentifikasi.

Metode yang ketiga (3), adalah metode Smith, yaitu pembagian elemen-elemen dalam struktur lambung kapal menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana yang terdiri atas pelat, pelat berpenegar dan *hard corner* yang diasumsikan terpisah dan berdiri sendiri. Asumsi bahwa penampang tetap pada bidang dan mempertimbangkan sifat beban pendek nonlinear dari setiap elemen, maka hubungan momen lentur-kelengkungan dapat diperoleh. Kapasitas lentur dari struktur lambung didefinisikan sebagai nilai maksimum dari hubungan momen lentur-kelengkungan pada penampang. Metode ini telah digunakan untuk menganalisis *progressive bending collapse* dari sebuah penampang kapal. Metode ini juga diadopsi dalam IACS/CSR-T untuk oil tankers dan IACS/CSR-B untuk *bulk carriers* sebagai nama dari *Simplified Method* berdasarkan pendekatan *Incremental-iterative*.

Metode yang keempat (4), Metode Elemen Hingga atau FEM, adalah salah satu yang paling berguna untuk mengetahui *nonlinear collapse behavior* dari struktur kapal. Karena perkembangan kemampuan komputasi, banyak peneliti menggunakan *nonlinear Finite Element Analysis* untuk mengestimasi kekuatan kapal, kemudian dibandingkan dengan solusi analitis. Meskipun demikian, metode sederhana masih tetap diperlukan dan digunakan sebagai bahan komparasi.

BAB 2

Konsep Dasar Elemen Hingga

2.1. Rumus Dasar

Metode Elemen Hingga (FEM) telah berkembang pesat dalam analisis struktur mulai dari yang sederhana sampai yang lebih kompleks. Analisis kekuatan kapal dengan Metode Elemen Hingga memberi kontribusi yang sangat besar karena dapat memberi informasi yang lebih detail perihal perilaku struktur kapal sebelum dan sesudah mengalami pembebanan. Detail struktur ini berupa distribusi tegangan, deformasi dan sebagainya yang ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi sehingga memberi informasi apakah perilaku tersebut sesuai kondisi nyata.

Metode Elemen Hingga menggunakan formulasi integral untuk membentuk sebuah sistem dari persamaan aljabar. Lebih lanjut, sebuah pendekatan fungsi menerus diasumsikan untuk menggambarkan solusi untuk setiap elemen. Solusi lengkap ini kemudian diturunkan dengan menghubungkan atau membentuk solusi individu, kemudian diteruskan untuk menghasilkan kontinuitas dengan syarat inkremental.

Adapun langkah-langkah dasar dalam metode elemen hingga adalah:

A. Fase Preprocessing

1. Membuat dan mendiskritisasi domain solusi kedalam elemen hingga; yaitu membagi masalah kedalam titik (node) dan elemen.
2. Mengasumsikan sebuah fungsi bentuk untuk merepresentasikan perilaku fisik dari sebuah elemen; yaitu sebuah pendekatan fungsi kontinu diasumsikan untuk merepresentasikan solusi dari sebuah elemen.
3. Membentuk persamaan untuk elemen.
4. Membentuk elemen untuk merepresentasikan seluruh masalah. Membentuk matriks kekakuan global.
5. Menerapkan kondisi syarat batas, kondisi awal dan pembebanan.

B. Fase Solusi

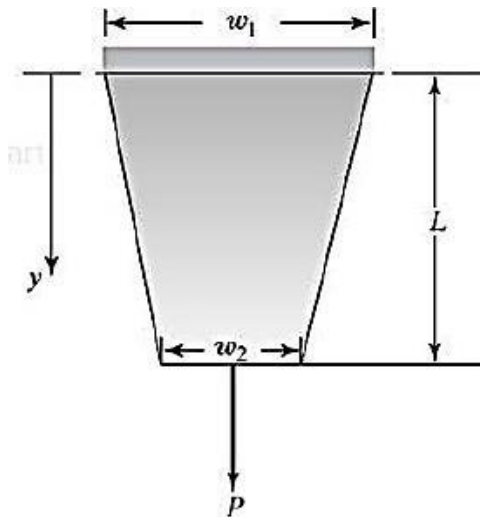
1. Menyelesaikan sebuah persamaan aljabar linear atau nonlinear secara simultan untuk memperoleh hasil nodal titik (node) seperti nilai perpindahan pada titik-titik yang berbeda atau nilai temperatur pada titik-titik yang berbeda di dalam permasalahan perpindahan panas.

C. Fase Postprocessing

1. Memperoleh informasi penting lainnya. Pada tahap ini, merupakan opsi yang mana lebih ditekankan pada nilai-nilai tegangan utama, aliran panas dan lain sebagainya.

Berikut diberikan salah satu ilustrasi formulasi langsung pada elemen hingga yang diuraikan sebagai berikut (Moaveni, 1999).

Sebuah batang dengan variabel penampang yang memikul beban P seperti pada gambar 2.1. Batang tersebut dikekang pada salah satu ujungnya dan ujung yang lain memikul beban P . Lebar batang bagian atas adalah w_1 dan bagian bawah w_2 , ketebalan t dan panjang L . Batang memiliki modulus elastisitas E . Tentukan besar lendutan pada setiap titik sepanjang balok yang diberi beban P . Berat batang diabaikan dalam analisis, asumsi beban yang bekerja lebih besar daripada berat batang.

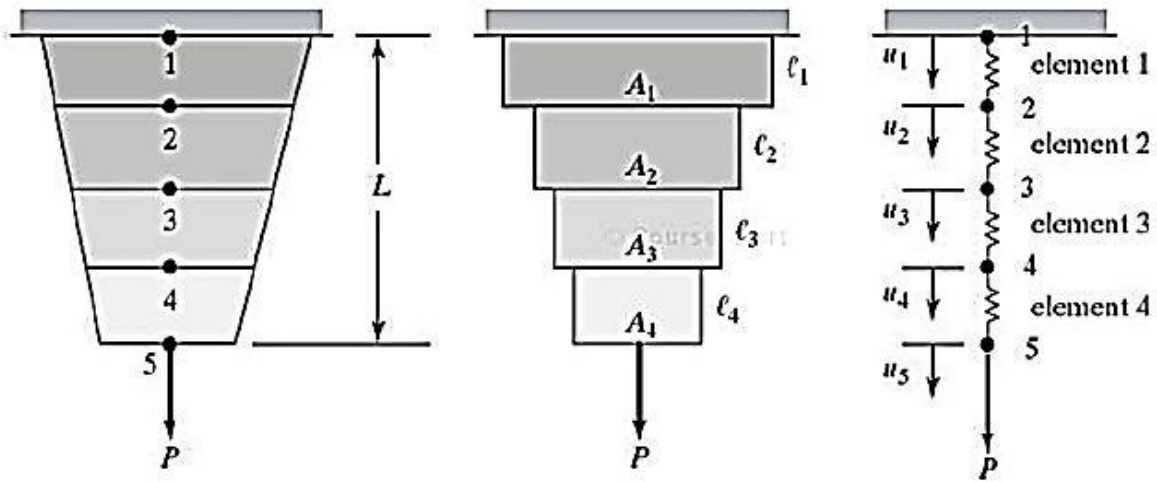


Gambar 2.1. Batang dibebani beban aksial

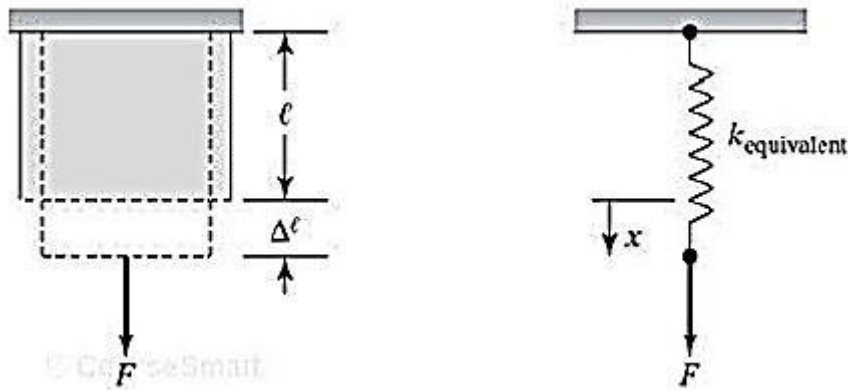
Penjelasan dari ke-tiga fase di atas, diuraikan sebagai berikut:

A. Fase Preprocessing

1. Diskritisasi domain solusi kedalam elemen-elemen hingga yang dimulai dengan membagi masalah ke dalam nodes (titik) dan elemen-elemen. Untuk memperjelas langkah-langkahnya di dalam analisis Elemen Hingga, diberi contoh masalah yang lebih sederhana, kemudian menggambarannya dengan sebuah model yang memiliki lima nodes (titik) dan empat elemen sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Meski demikian, dipertimbangkan hasilnya dapat lebih akurat dengan menambahkan nodes (titik) dan elemen. Batang yang diberikan dimodelkan dengan menggunakan empat segmen individu, dimana setiap segmen memiliki penampang yang sama. Luas penampang setiap elemen direpresentasikan dengan luas rata-rata pada nodes (titik) yang membentuk elemen. Model ini ditunjukkan pada gambar 2.3.
2. Mengasumsikan sebuah solusi yang mendekati perilaku dari sebuah elemen. Untuk mempelajari perilaku dari sebuah elemen, kita pertimbangkan lendutan dari sebuah elemen solid dengan luas penampang A yang sama



Gambar 2.2. Pembagian batang ke dalam nodes (titik) dan elemen



Gambar 2.3. Elemen dengan luas penampang sama diberi gaya F

Tegangan rata-rata σ di dalam batang diberikan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

regangan normal rata-rata ε dari elemen didefinisikan sebagai pengganti panjang Δl per satuan panjang mula-mula dari elemen;

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.2)$$

Melewati daerah elastik, tegangan dan regangan dihubungkan dengan hukum Hooke berdasarkan persamaan,

$$\sigma = E \varepsilon \quad (2.3)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas dari material. Dengan menggabungkan persamaan (2.1) dan (2.2) dan (2.3) serta menyederhanakannya, diperoleh

$$F = \left(\frac{AE}{l} \right) \Delta l \quad (2.4)$$

Perlu dicatat bahwa, persamaan (2.4) sama dengan persamaan untuk pegas, $F = k x$. Oleh karena itu, beban titik pusat elemen dari penampang yang sama dapat dimodelkan sebagai pegas dengan kekakuan yang ekuivalen dari

$$k_{eq} = \frac{AE}{l} \quad (2.5)$$

Perlu dicatat sekali lagi bahwa penampang batang bervariasi pada arah y . Sebagai pendekatan pertama, dimodelkan batang sebagai deretan dari beban pusat elemen dengan penampang berbeda, sebagaimana yang ditampilkan pada gambar 2.2. Sehingga, batang digambarkan sebagai model yang terdiri dari empat elemen pegas elastik secara tersusun, dan perilaku elastik dari sebuah elemen dimodelkan dengan sebuah pegas linear berdasarkan persamaan

$$f = k_{eq}(u_{i+1} - u_i) = \frac{A_{avg} E}{l} (u_{i+1} - u_i) = \frac{(A_{i+1} + A_i)}{2l} (u_{i+1} - u_i) \quad (2.6)$$

Dimana kekakuan elemen ekuivalen diberikan dengan

$$k_{eq} = \frac{(A_{i+1} + A_i) E}{2l} \quad (2.7)$$

A_i dan A_{i+1} adalah luas penampang dari elemen pada titik i dan $i+1$, secara berturut-turut, dan l adalah panjang elemen. Dengan menggunakan model di atas, kita pertimbangkan gaya yang bekerja pada setiap node (titik). Diagram gaya bebas dari node (titik), yang menunjukkan gaya yang bekerja pada titik 1 melalui titik 5 dari model ini, digambarkan pada gambar 2.4. Kestimbangan statis mensyaratkan bahwa jumlah gaya-gaya yang bekerja pada setiap node (titik) sama dengan nol. Persyaratan membentuk lima persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{node 1} \quad R_1 - k_1(u_2 - u_1) &= 0 \\ \text{node 2} \quad k_1(u_2 - u_1) - k_2(u_3 - u_2) &= 0 \\ \text{node 3} \quad k_2(u_3 - u_2) - k_3(u_4 - u_3) &= 0 \\ \text{node 4} \quad k_3(u_4 - u_3) - k_4(u_5 - u_4) &= 0 \\ \text{node 5} \quad k_4(u_5 - u_4) - P &= 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dengan mengatur ulang persamaan kestimbangan yang diberikan pada persamaan (2.8) dengan memisahkan gaya reaksi R_1 dan gaya eksternal P dari gaya internal, diperoleh

$$\begin{aligned} k_1 u_1 - k_1 u_2 & & -R_1 \\ -k_1 u_1 + k_1 u_2 + k_2 u_2 - k_2 u_3 & & 0 \\ & -k_2 u_2 + k_2 u_3 + k_3 u_3 - k_3 u_4 & = 0 \\ & & -k_3 u_3 + k_3 u_4 + k_4 u_4 - k_4 u_5 & 0 \\ & & & -k_4 u_4 + k_4 u_5 & P \end{aligned} \quad (2.9)$$

Menampilkan persamaan kestimbangan dari persamaan (2.9) dalam bentuk matriks, diperoleh

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.10)$$

Juga sangat penting untuk membedakan antara gaya reaksi dan beban yang bekerja di dalam matriks beban. Oleh karena itu, hubungan matriks dari persamaan (2.10) dapat ditulis sebagai

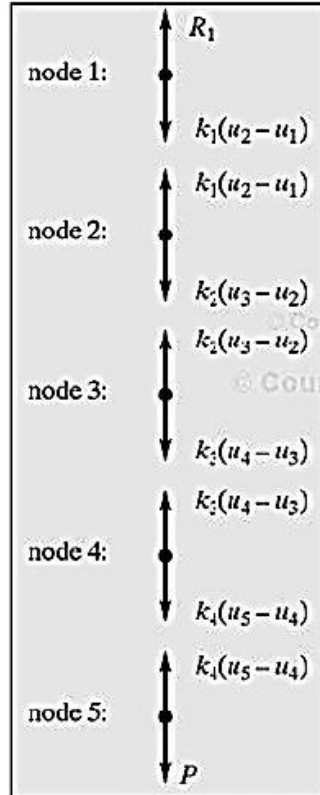
$$\begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

Sekarang dapat ditunjukkan bahwa, dari tambahan beban titik dan kondisi syarat batas lain, hubungan diberikan dalam persamaan (2.11) dapat diletakkan kedalam bentuk umum

$$\{R\} = [K]\{u\} - \{F\} \quad (2.12)$$

Yang berarti

$$\{\text{matrik reaksi}\} = [\text{matrik kekakuan}]\{\text{matrik perpindahan}\} - \{\text{matrik beban}\}$$



Gambar 2.4. Diagram benda bebas dari nodes (titik)

Dapat dilihat bahwa karena batang dijepit pada bagian atas, maka perpindahan titik 1 sama dengan 0. Sehingga, baris pertama dari sistem persamaan diberikan dengan persamaan (2.10) harus $u_1=0$. Sehingga, penerapan kondisi batas mengarah ke persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

Solusi dari matriks di atas menghasilkan nilai perpindahan titik.

3. Mengembangkan persamaan untuk elemen. Karena setiap elemen memiliki dua nodes (titik) dan setiap node (titik) selaras dengan sebuah perpindahan, sehingga perlu membentuk dua persamaan untuk setiap elemen. Persamaan-persamaan ini harus melibatkan perpindahan titik dan kekakuan elemen. Pertimbangkan gaya transmisi internal f_i dan f_{i+1} dan perpindahan ujung u_i dan f_{i+1} dari sebuah elemen, yang ditunjukkan pada gambar 2.5.

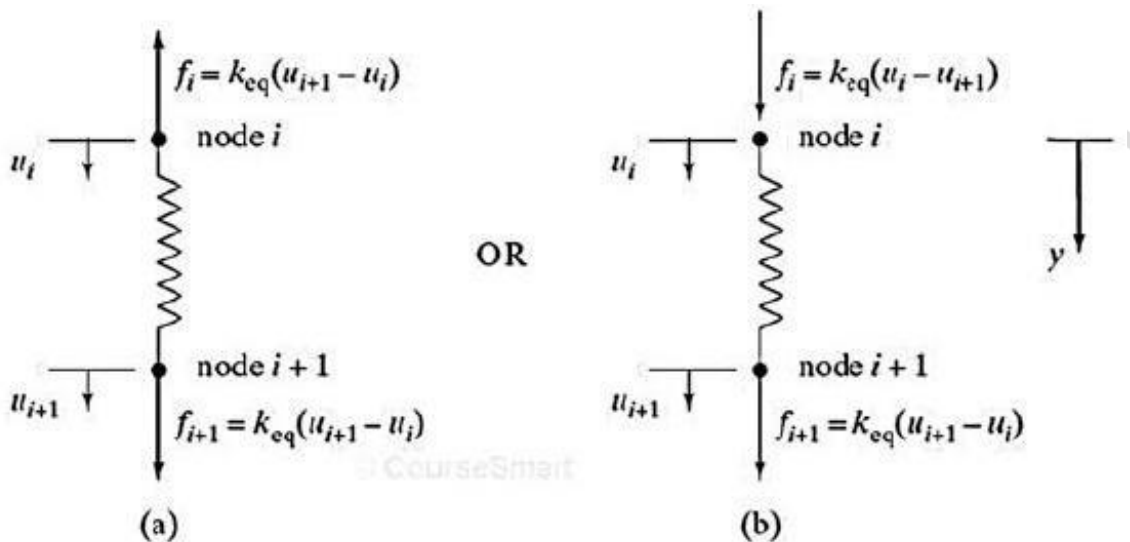
Kondisi persamaan statik mensyaratkan bahwa jumlah dari f_i dan f_{i+1} adalah nol terlepas yang terdapat pada gambar 2.5. Meskipun demikian, demi konsistensi dalam derivasi selanjutnya, digunakan representasi yang diberikan oleh gambar 2.5b, maka f_i dan f_{i+1} diberikan di dalam arah y positif. Sehingga, kita tulis gaya-gaya transmisi pada titik i dan $i+1$ ditulis berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} f_i &= k_{eq}(u_i - u_{i+1}) \\ f_{i+1} &= k_{eq}(u_{i+1} - u_i) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) dapat diekspresikan di dalam bentuk matriks

$$\begin{Bmatrix} f_i \\ f_{i+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{eq} & -k_{eq} \\ -k_{eq} & k_{eq} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_{i+1} \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

4. Membentuk elemen untuk merepresentasikan seluruh masalah. Dengan menerapkan prinsip elemental yang diberikan pada persamaan (2.15) ke seluruh elemen dan membentuknya (meletakkannya secara bersamaan) terlepas dari bentuk dari matriks kekakuan global. Matriks kekakuan global untuk elemen 1 diberikan dengan langkah berikut:



Gambar 2.5. Gaya transmisi internal melalui sebuah elemen yang berubah-ubah

$$[K]^{(1)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix}$$

Dan posisinya di dalam matriks kekakuan global diberikan dengan

$$[K]^{(1G)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix}$$

Matriks perpindahan titik ditunjukkan sepanjang posisi dari elemen 1 di dalam matriks kekakuan global untuk membantu mengamati kontribusi dari sebuah titik terhadap elemen sebelahnya. Dengan cara yang sama, untuk elemen (2), (3) dan (4), kita peroleh sebagai berikut:

$$[K]^{(2)} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

$$[K]^{(2G)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix}$$

$$[K]^{(3)} = \begin{bmatrix} k_3 & -k_3 \\ -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

Dan posisinya di dalam matriks global

$$[K]^{(3G)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix}$$

dan

$$[K]^{(4)} = \begin{bmatrix} k_4 & -k_4 \\ -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

Dan posisinya di dalam matriks global

$$[K]^{(4G)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix}$$

Matriks kekakuan global akhir diperoleh dengan membentuk, atau menambah, secara bersamaan setiap posisi elemen di dalam matriks kekakuan global;

$$[K]^{(G)} = [K]^{(1G)} + [K]^{(2G)} + [K]^{(3G)} + [K]^{(4G)}$$

$$[K]^{(G)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Catatan: bahwa matriks kekakuan global diperoleh dengan menggunakan deskripsi elemen, sebagaimana yang diberikan di persamaan (2.16), adalah identik dengan matriks kekakuan global yang diperoleh sebelumnya dari analisis dari diagram benda bebas dari node (titik), sebagaimana yang diberikan pada bagian sisi kiri dari persamaan (2.10).

5. Menerapkan kondisi syarat batas dan beban. Batang dijepit pada bagian atas, yang mengarah pada kondisi syarat batas $u_1=0$. Beban eksternal P bekerja pada titik 5. Gunakan hasil kondisi syarat batas ini di dalam persamaan linear berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

Sekali lagi, dicatat bahwa baris pertama dari matriks di dalam persamaan (2.17) harus terisi 1 diikuti dengan 0 untuk membaca $u_1=0$, untuk kondisi syarat batas yang diberikan. Juga harus dicatat bahwa dalam persoalan mekanika, formulasi Elemen Hingga akan selalu mengarah pada bentuk umum sebagai berikut:

$$\{\text{matrik kekakuan}\} = [\text{matrik perpindahan}] = \{\text{matrik beban}\}$$

B. Fase solusi

1. Menyelesaikan sistem persamaan aljabar secara simultan. Untuk memperoleh nilai numerik dari perpindahan titik, diasumsikan bahwa $E=10.4 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$

(aluminium), $w_1=2$ in, $w_2=1$ in, $t=0.125$ in, $L=10$ in dan $P=1000$ lb. Properti dari elemen ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut

Tabel 2.1. Properti dari elemen

Element	Nodes	Average Cross-Sectional Area (in ²)	Length (in)	Modulus of Elasticity (lb/in ²)	Element's Stiffness Coefficient (lb/in)
1	1 2	0.234375	2.5	10.4×10^6	975×10^3
2	2 3	0.203125	2.5	10.4×10^6	845×10^3
3	3 4	0.171875	2.5	10.4×10^6	715×10^3
4	4 5	0.140625	2.5	10.4×10^6	585×10^3

Variasi dari luas penampang dari batang dalam y dapat diekspresikan dengan

$$A(y) = \left(w_1 + \left(\frac{w_2 - w_1}{2} \right) y \right) t = \left(2 + \left(\frac{1-2}{10} \right) y \right) 0.125 = 0.25 - 0.0125y \quad (2.18)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.18), dapat dihitung luas penampang pada setiap titik;

$$A_1 = 0.25 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 0.25 - 0.0125 (2.5) = 0.21875 \text{ in}^2$$

$$A_3 = 0.25 - 0.0125 (5.0) = 0.1875 \text{ in}^2$$

$$A_4 = 0.25 - 0.0125 (7.5) = 0.15625 \text{ in}^2$$

$$A_5 = 0.125 \text{ in}^2$$

Selanjutnya, koefisien kekakuan ekuivalen untuk setiap elemen dihitung dari persamaan

$$k_{eq} = \frac{(A_{i+1} + A_i) E}{2l}$$

$$k_1 = \frac{(0.21875 + 0.25) 10.4 \times 10^6}{2(2.5)} = 975 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$k_2 = \frac{(0.1875 + 0.21875) 10.4 \times 10^6}{2(2.5)} = 845 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$k_3 = \frac{(0.15625 + 0.1875) 10.4 \times 10^6}{2(2.5)} = 715 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$k_4 = \frac{(0.125 + 0.15625) 10.4 \times 10^6}{2(2.5)} = 585 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Dan matriks elemennya adalah

$$[K]^{(1)} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 975 & -975 \\ -975 & 975 \end{bmatrix}$$

$$[K]^{(2)} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 845 & -845 \\ -845 & 845 \end{bmatrix}$$

$$[K]^{(3)} = \begin{bmatrix} k_3 & -k_3 \\ -k_3 & k_3 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 715 & -715 \\ -715 & 715 \end{bmatrix}$$

$$[K]^{(4)} = \begin{bmatrix} k_4 & -k_4 \\ -k_4 & k_4 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 585 & -585 \\ -585 & 585 \end{bmatrix}$$

Bentuk matriks elemen yang mengarah ke hasil dari matriks kekakuan global:

$$[K]^{(G)} = 10^3 \begin{bmatrix} 975 & -975 & 0 & 0 & 0 \\ -975 & 975 + 845 & -845 & 0 & 0 \\ 0 & -845 & 845 + 715 & -715 & 0 \\ 0 & 0 & -715 & 715 + 585 & -585 \\ 0 & 0 & 0 & -585 & 585 \end{bmatrix}$$

Dengan menerapkan kondisi syarat batas $u_2=0$ dan beban $P=1000$ lb, kita peroleh

$$10^3 \begin{bmatrix} 975 & -975 & 0 & 0 & 0 \\ -975 & 975 + 845 & -845 & 0 & 0 \\ 0 & -845 & 845 + 715 & -715 & 0 \\ 0 & 0 & -715 & 715 + 585 & -585 \\ 0 & 0 & 0 & -585 & 585 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 10^3 \end{bmatrix}$$

Solusi perpindahannya adalah:

$$u_1=0$$

$$u_2=0.001026 \text{ in}$$

$$u_3=0.002210 \text{ in}$$

$$u_4=0.003608 \text{ in}$$

$$u_5=0.005317 \text{ in}$$

C. Fase postprocessing

1. Memperoleh informasi lain. Informasi lain yang bisa diperoleh seperti tegangan normal rata-rata setiap elemen. Nilai ini dapat ditentukan dari persamaan:

$$\sigma = \frac{f}{A_{avg}} = \frac{k_{eq}(u_{i+1}-u_i)}{A_{avg}} = \frac{\frac{A_{avg}}{l}(u_{i+1}-u_i)}{A_{avg}} = E \left(\frac{u_{i+1}-u_i}{l} \right) \quad (2.19)$$

Jika perpindahan dari titik yang berbeda tidak diketahui, persamaan (2.19) dapat diperoleh secara langsung dari hubungan antara tegangan dan regangan,

$$\sigma = E \varepsilon = E \left(\frac{u_{i+1}-u_i}{l} \right) \quad (2.20)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.20), dapat dihitung tegangan normal rata-rata untuk setiap elemen sebagai berikut

$$\sigma^{(1)} = E \left(\frac{u_2-u_1}{l} \right) = \frac{10.4 \times 10^6 (0.001026-0)}{2.5} = 4268 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(2)} = E \left(\frac{u_3-u_2}{l} \right) = \frac{10.4 \times 10^6 (0.002210-0.001026)}{2.5} = 4925 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(3)} = E \left(\frac{u_4-u_3}{l} \right) = \frac{10.4 \times 10^6 (0.003608-0.002210)}{2.5} = 5816 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(4)} = E \left(\frac{u_5-u_4}{l} \right) = \frac{10.4 \times 10^6 (0.005317-0.003608)}{2.5} = 7109 \frac{lb}{in^2}$$

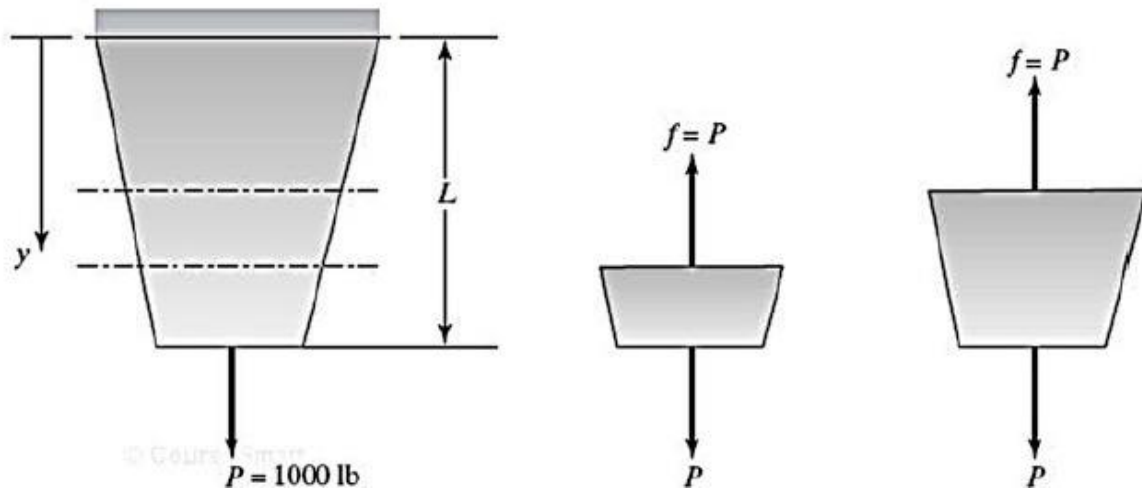
Pada gambar 2.6, perlu dicatat bahwa untuk masalah yang diberikan, tanpa memperhatikan dimana penampang batang tersebut dipotong, gaya internal pada penampang sama dengan 1000 lb, maka dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma^{(1)} = \frac{f}{A_{avg}} = \frac{1000}{0.234375} = 4267 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(2)} = \frac{f}{A_{avg}} = \frac{1000}{0.203125} = 4923 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(3)} = \frac{f}{A_{avg}} = \frac{1000}{0.171875} = 5818 \frac{lb}{in^2}$$

$$\sigma^{(4)} = \frac{f}{A_{avg}} = \frac{1000}{0.140625} = 7111 \frac{lb}{in^2}$$



Gambar 2.6. Gaya-gaya internal

Gaya-gaya reaksi dapat dihitung dalam berbagai cara. Yang pertama, berdasarkan gambar 2.4, diingat bahwa keseimbangan statik pada titik 1 memenuhi $R_1 = k_1(u_2 - u_1) = 975 \times 10^3(0.001026 - 0) = 1000 \text{ lb}$

Keseimbangan statik untuk seluruh batang memenuhi bahwa $R_1 = P = 1000 \text{ lb}$

Selanjutnya dihitung gaya-gaya reaksi dari persamaan reaksi umum

$$\{R\} = [K] \{u\} - \{F\}$$

$$\{\text{matrik reaksi}\} = [\text{matrik kekakuan}] \{\text{matrik perpindahan}\} - \{\text{matrik beban}\}$$

Dari persamaan umum kita peroleh

$$\begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{pmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 975 & -975 & 0 & 0 & 0 \\ -975 & 1820 & -845 & 0 & 0 \\ 0 & -845 & 1560 & -715 & 0 \\ 0 & 0 & -715 & 1300 & -585 \\ 0 & 0 & 0 & -585 & 585 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0.001026 \\ 0.002210 \\ 0.003608 \\ 0.005317 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 10^3 \end{pmatrix}$$

Dimana $R_1, R_2, R_3, R_4,$ dan R_5 merepresentasikan gaya-gaya pada titik 1 sampai 5 secara berturut-turut. Sehingga dengan operasi matriks, maka diperoleh

$$\begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1000 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Nilai negatif dari R_1 berarti bahwa arah dari gaya reaksi ke atas (asumsi awal adalah positif arah y ke bawah).

2.2. Penjelasan Metode

Secara umum, masalah teknik adalah model matematis dari situasi fisik. Model matematis adalah persamaan diferensial yang terhubung dengan kondisi awal dan syarat batas.

Persamaan diferensial diturunkan dengan menerapkan hukum dasar dan prinsip alamiah terhadap sebuah sistem atau volume kontrol. Persamaan ini menggambarkan keseimbangan massa, gaya atau energi. Jika mungkin, solusi eksak dari persamaan ini memberikan perilaku yang detail dari sebuah sistem yang diberikan dalam suatu kondisi.

Solusi analitis terdiri dari dua bagian yaitu: (1) bagian yang homogen dan (2) bagian khusus. Dalam masalah keteknikan apa saja, ada dua parameter yang memengaruhi kedua solusi tersebut dalam sebuah perilaku sistem. Pertama, ada parameter yang menyediakan informasi berkenaan dengan perilaku alamiah dari sebuah sistem yang diberikan. Parameter ini termasuk propertis seperti modulus elastisitas, konduktivitas termal, dan viskositas. Di sisi lain, ada parameter yang menghasilkan gangguan di dalam sistem. Contoh dari parameter ini termasuk gaya eksternal, momen, perbedaan temperatur yang melewati medium, dan perbedaan tekanan di dalam aliran fluida.

Banyak masalah keteknikan yang mana tidak diperoleh solusi yang pasti. Ketidakmampuan untuk memperoleh solusi pasti mungkin disebabkan pada kesulitan dari membentuk persamaan diferensial atau kesulitan yang muncul dari kesesuaian kondisi awal dan syarat batas. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, digunakan pendekatan metode numerik.

Berbeda dengan solusi analitis, yang menunjukkan perilaku eksak dari sebuah sistem pada titik mana pun dari sebuah sistem, solusi numerik mendekati penyelesaian eksak hanya pada titik diskrit yang disebut "node". Langkah pertama dari prosedur numerik adalah diskritisasi. Proses ini membagi medium/objek kedalam sebuah jumlah subregion yang kecil dan node. Ada dua klasifikasi dari metode numerik; (1) Metode Beda Hingga dan (2) Metode Elemen Hingga.

Metode Beda Hingga, persamaan diferensial ditulis untuk setiap titik, dan turunannya diganti dengan persamaan pembeda. Pendekatan ini menghasilkan suatu bentuk persamaan linear simultan. Meskipun Metode Beda Hingga mudah untuk dipahami dan diterapkan di dalam masalah sederhana, akan menjadi sulit untuk diterapkan kedalam masalah dengan bentuk yang kompleks atau kondisi batas yang kompleks. Situasi tersebut juga sulit untuk diterapkan pada masalah material non-isotropik.

BAB 3

Material

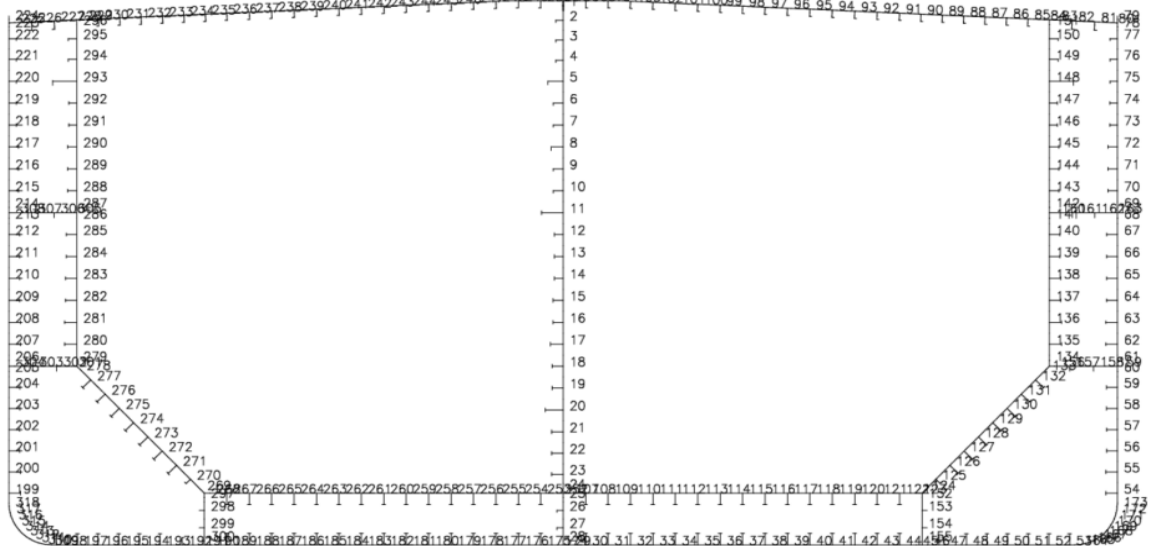
3.1. Data Penampang

Data kapal berupa material yang digunakan adalah tipe material, modulus elastisitas, densitas, poisson rasio disertai dengan ukuran pelat, dan pelat berpenegar (*stiffener*) yang mendukung kekuatan membujur kapal. Adapun pada contoh material berikut adalah data kapal Double Hull Tanker dengan ukuran L=234 m, B= 44m, D= 21.2m dan coefficient block = 0.78. Jenis material struktur yang digunakan adalah tipe AH37 dan AH29 dengan modulus elastisitas = 210000 N/mm², densitas = 7.8 x 10⁻⁵ N/mm³, poisson ratio = 0.3. Spesifikasi material yang terdapat pada stiffener ditampilkan pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1. Spesifikasi Material Stiffner

Nomor Stiffener	Dimensi Stiffener	Tipe	Yield Stress
1	L300/12 x 90/ 17	Angle-bar	370
2	L619/13 x 150/19	Angle-bar	370
3	L400/11.5 x 100/16	Angle-bar	370
4	L489/11 x 150/19	Angle-bar	370
5	L400/13 x 100/18	Tee-Bar	370
6	L872/14 x 150/22	Tee-Bar	370
7	L367/11 x 150/22	Tee-Bar	370
8	L412/11 x 150/22	Tee-Bar	370
9	L522/11 x 150/22	Tee-Bar	370
10	L452/11 x 150/22	Tee-Bar	370
11	L722/14 x 150/22	Tee-Bar	370
12	L472/11 x 150/22	Tee-Bar	370
13	L250/12 x 90/16	Angle-bar	370
14	L485/11 x 150/30	Tee-Bar	370
15	L300/11 x 90/16	Angle-bar	370
16	L475/11 x 150/30	Tee-Bar	370
17	L473/11 x 150/28	Tee-Bar	370
18	L480/11 x 150/25	Tee-Bar	370
19	L445/11 x 150/25	Tee-Bar	370
20	L452/11 x 150/22	Tee-Bar	370
21	L474/11 x 125/19	Tee-Bar	370
22	L439/11 x 125/16	Tee-Bar	370
23	L386/11 x 125/16	Angle-bar	370
24	L306/11 x 125/16	Angle-bar	370
25	L300/11 x 90/16	Angle-bar	370

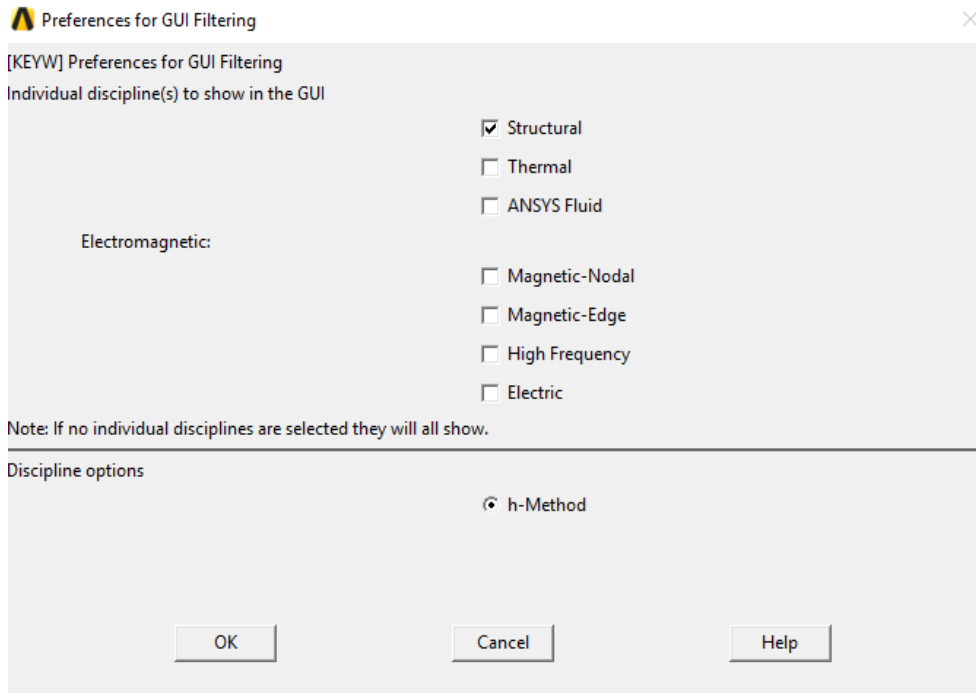
Nomor Stiffener	Dimensi Stiffener	Tipe	Yield Stress
26	L350/12 x 100/17	Angle-bar	370
27	L300/11 x 90/16	Angle-bar	370
28	L487/11 x 150/32	Tee-Bar	370
29	L250/12 x 90/16	Angle-bar	370
30	L474/11 x 150/19	Tee-Bar	370
31	L469/11 x 150/19	Tee-Bar	370
32	L454/11 x 150/19	Tee-Bar	370
33	L489/11 x 125/19	Tee-Bar	370
34	L459/11 x 125/19	Tee-Bar	370
35	L429/11 x 125/19	Tee-Bar	370
36	L379/11 x 125/19	Tee-Bar	370
37	L324/11 x 125/19	Angle-bar	370
38	L966/16 x 200/16	Angle-bar	370
39	L350/12 x 100/17	Angle-bar	370
40	L200/12	Flat Bar	290



Gambar 3.1. Penampang kapal tanker

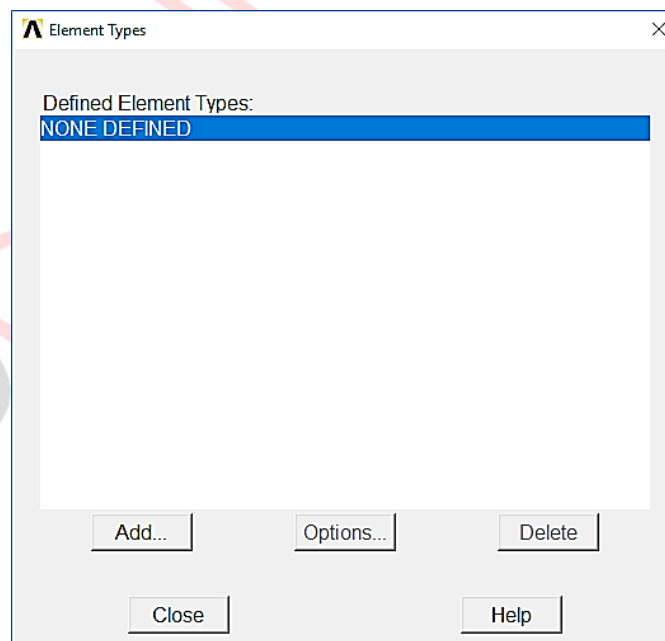
3.2. Input Data Material Penampang

Objek yang dianalisis diberikan sebagai berikut: Klik file – change title (muncul kotak dialog Change title). Pada [/TITLE] Enter New Title isikan “Analisis Uitimate Strenght” lalu klik **OK**. Karena persoalan yang dianalisis adalah tentang struktur, maka dipilih jenis *structural* dengan cara Pilih **Preferences** (muncul kotak dialog Preference for GUI Filtering) – pilih **Structural** – pilih **h-Method** – **OK**. Pilih Preference pada main dan akan muncul kotak dialog seperti gambar 3.2.



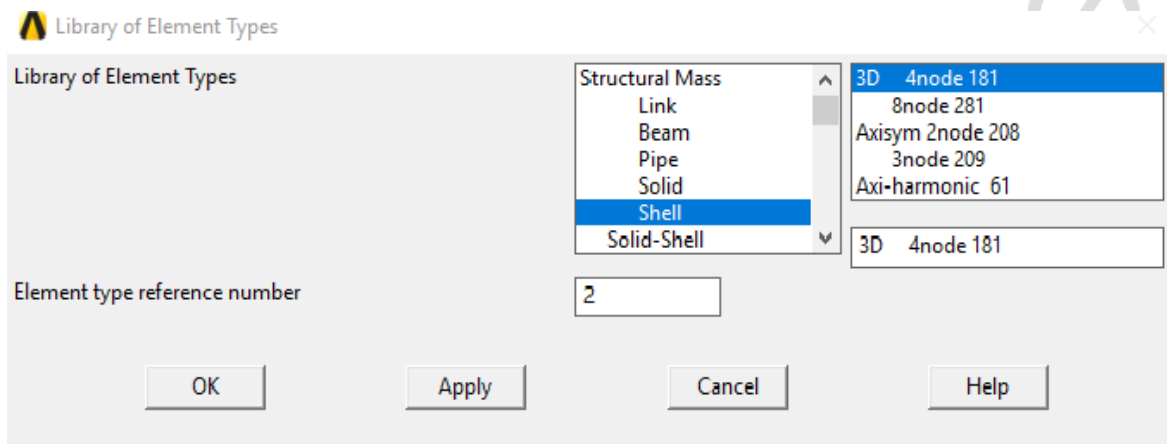
Gambar 3.2. Window preferences for GUI filtering

Pemilihan jenis tipe elemen yang digunakan adalah dengan cara pilih **Preprocessor** -> **Element Type** -> **Add/Edit/Delete** -> **Add** -> **Pilih Material** -> **Ok** -> **Close**. Pilih Preprocessor pada main menu kemudian akan muncul beberapa pilihan sub menu. Pilih element type untuk menentukan jenis material yang digunakan struktur. Setelah itu akan muncul beberapa pilihan menu. Pilih **Add/Edit/Delete** akan muncul kotak dialog seperti gambar 3.3.



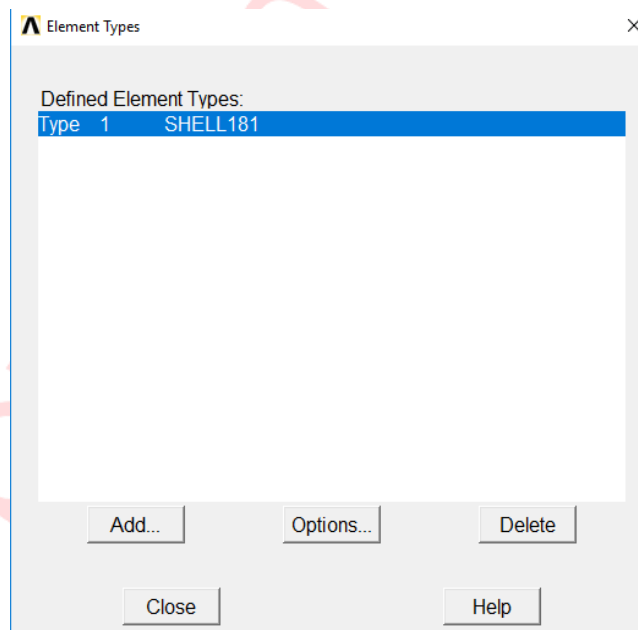
Gambar 3.3. Window element types belum terisi jenis material

Setelah tampilan dialog muncul, pilih Add untuk menambahkan Jenis material yang akan digunakan, selanjutnya akan muncul kotak dialog Library of Element seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4. Library of element types

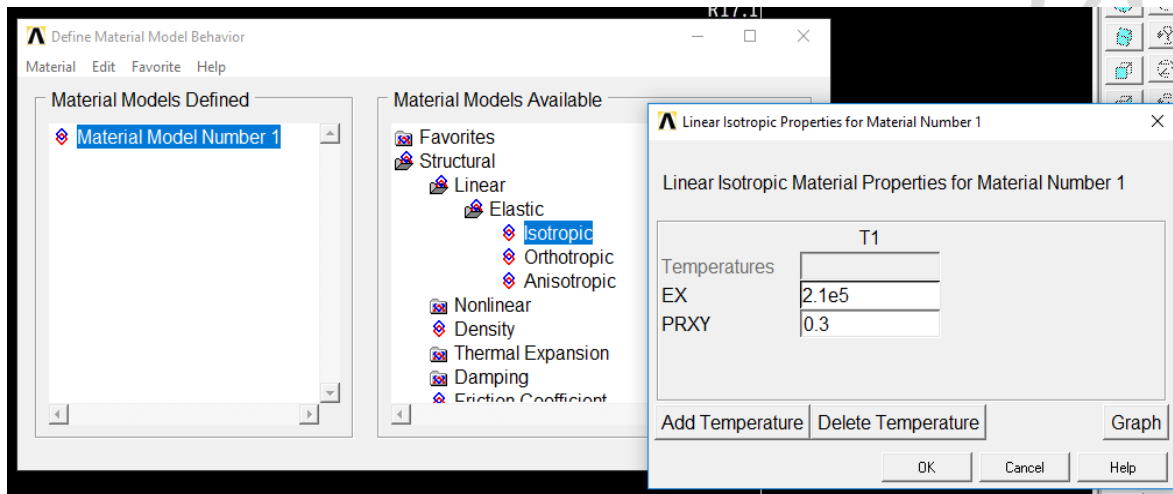
Setelah itu, akan muncul jenis material yang disediakan oleh ANSYS, pilih material shell dengan type 3D 4Node 181 lalu tekan OK. Kemudian dialog elemen type akan menambahkan material tersebut untuk digunakan sebagai material struktur seperti gambar 3.5 berikut dan close kotak dialog.



Gambar 3.5. Window element type yang telah terisi material

Berikut langkah untuk menentukan atau memberikan nilai properties material shell. Material properties disesuaikan dengan material yang digunakan, karena setiap material memiliki properties masing-masing.

Berikut ini langkah yang digunakan untuk memberikan nilai properti dari sebuah material. **Material Props -> Material Models -> Structural -> Linear -> Elastic -> Isotropic.** (ditunjukkan seperti gambar 3.6).

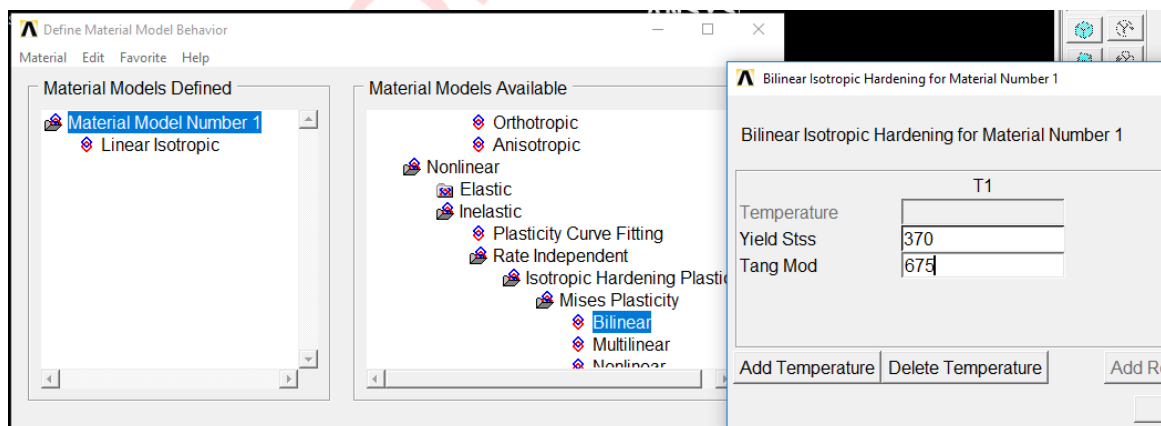


Gambar 3.6. Window define material properti linear

3.3. Properti Material Penampang

Pada baris **EX** berikan nilai 2.1×10^5 sebagai nilai modulus elastisitas dan pada baris **PRXY** berikan 0.3 sebagai Poisson's Ratio kemudian Klik **OK**.

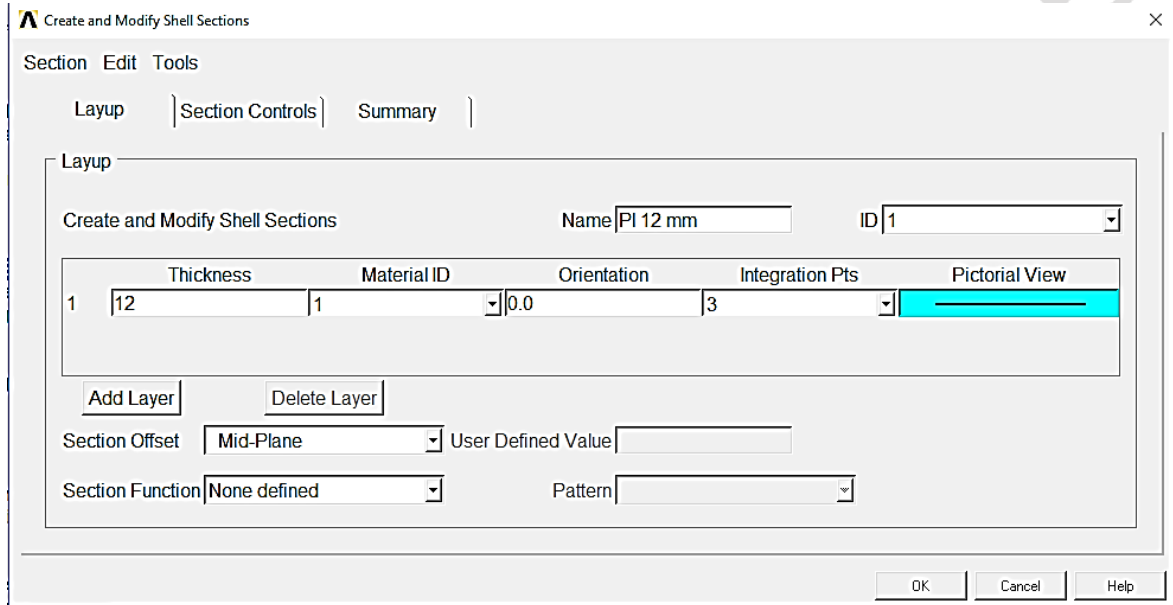
Karena analisis yang dilakukan adalah analisis Nonlinear, maka dalam Material Properties perlu diinput properties Non linear dengan langkah sebagai berikut: **Material Props -> Material Models -> Structural -> NonLinear -> Inelastic -> Rate Independent -> Isotropic Hardening Plastic -> Mises Plasticity -> Bilinear** (ditunjukkan seperti gambar 3.7).



Gambar 3.7. Window define material properti bilinear

Pada baris **Yield Stss** berikan nilai 370 sebagai nilai tegangan luluh dan pada baris **Tang Mod** berikan 675 sebagai Tangen Modulus kemudian Klik **OK**.

Ketebalan area elemen akan diberikan ketika melakukan mesh atribut. Adapun langkah memberi ketebalan matrial adalah sebagai berikut (sebagai contoh menggunakan Elemen Shell). **Preprocessor -> Section -> Shell -> Lay Up -> Add/Edit**. Adapun tampilan kotak dialog setelah proses tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Window create and modify shell section

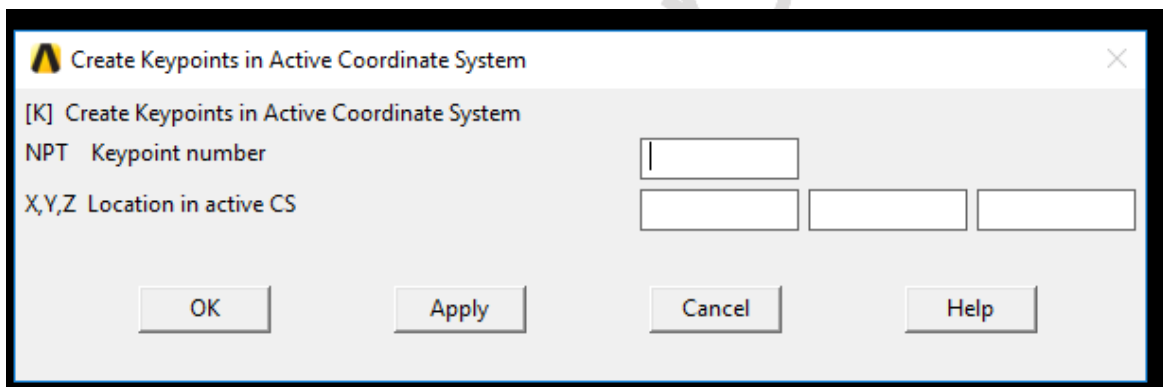
Pada Baris **name** isi nama pelat sesuai ketebalannya, baris **id** isi untuk nomor id ketebalan pelat sesuai dengan urutan pelat, **Thickness** isi ketebalan pelat yang diinginkan, baris material Id di gunakan sesuai dengan material models yang telah di isi sebelumnya dan **orientation integrationpts pictorial view** dan lain-lain tidak perlu diubah.

BAB 4

Pemodelan

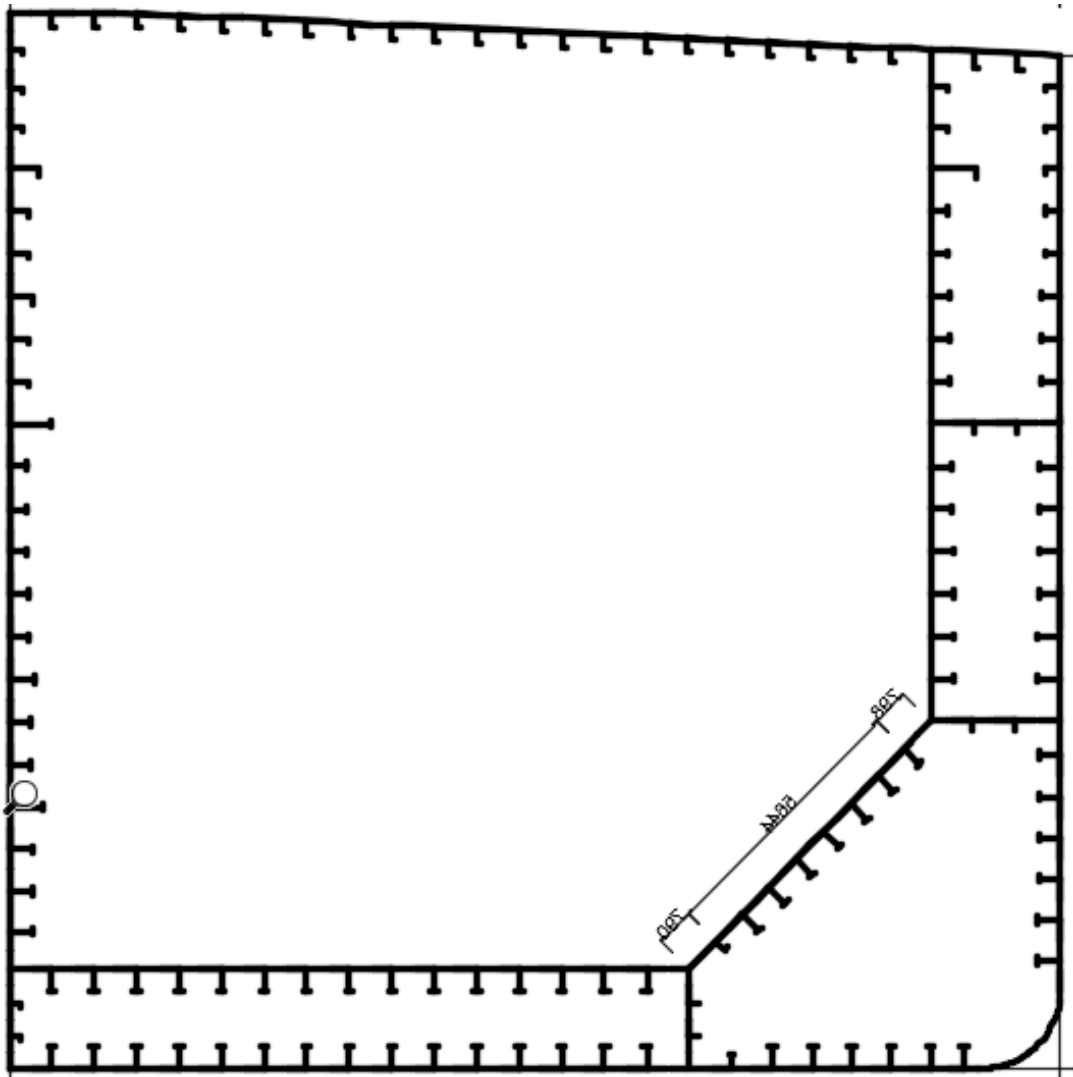
4.1. Model Struktur

Dalam *software* pemodelan di ANSYS, penggambaran rangka Hull Girder, dengan langkah awal adalah dengan menentukan titik-titik pembentuknya yang terdiri dari beberapa keypoints. Berikut langkah yang akan dilakukan: **Preprocessor > modelling > create > keypoint > in active cs** (muncul window create keypoint..) pada window tersebut isikan nomor keypoint dan koordinatnya seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Window create keypoint in active coordinate system

Perlu diingat setiap selesai pemberian koordinat keypoint selalu klik **apply**. Adapun koordinat Struktur Hull Girder dapat diperoleh pada data perencanaan yang telah diberikan sebelumnya dengan menggunakan teks editor **MARUO** dan kemudian didesain dalam AutoCad sebagai titik acuan koordinat pembentuk model Struktur Hull Girder dalam bentuk 2 dimensi di ANSYS. Adapun gambar 2 dimensi Hull Girder yang dibuat pada AutoCAD dapat dilihat pada gambar 4.2.

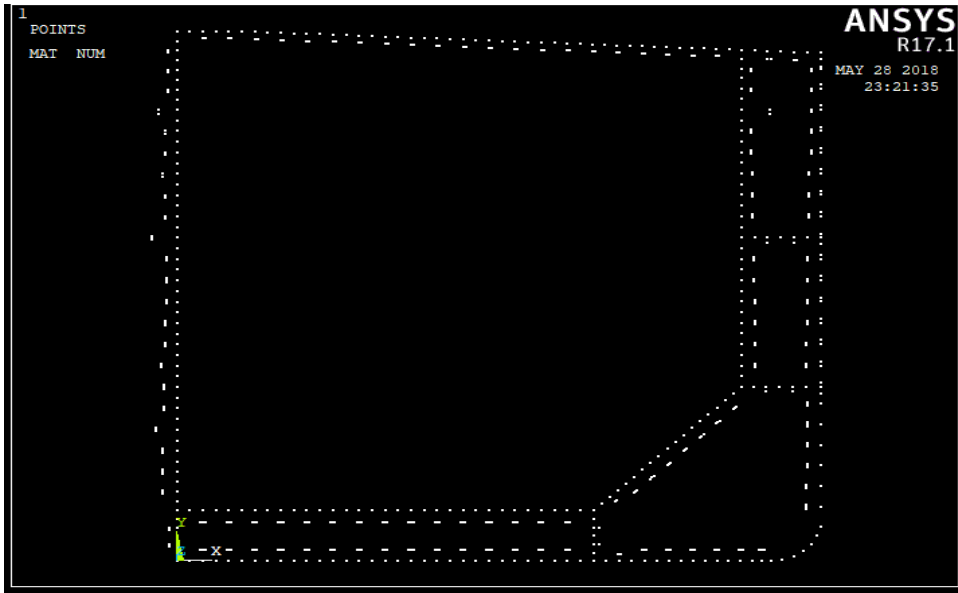


Gambar 4.2. Desain 2D setengah lambung tanker di AutoCAD

Adapun tata cara penentuan koordinat penyusunan titik keypoint di ANSYS teratur, maka langkah awal yang dilakukan yaitu membuat titik xyz di isi (0,0,0) Pada *create keypoint in active coordinate system* yang menjadi sumbu global acuan. Kemudian masukkan koordinat yang telah diukur di AutoCAD berurutan mulai dari nomor 1 sampai seterusnya sesuai dengan nomor pada gambar penampang kapal tanker karena pada AutoCAD harus mengikuti pola gambar tersebut.

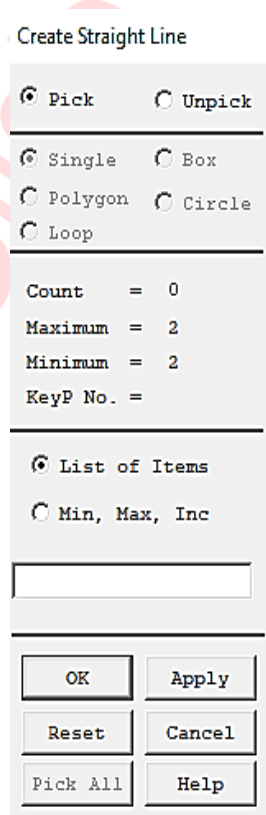
Perlu diketahui pada ANSYS, gambar dapat di-reflek, sehingga tidak perlu menggambar struktur tersebut secara keseluruhan. Penjelasan mengenai **reflect** akan dibahas pada poin selanjutnya.

Setelah semua koordinat telah diinput pada ANSYS maka gambar yang akan diperoleh sama dengan gambar yang dibuat pada AutoCAD jika koordinat yang dimasukkan sesuai dengan data yang ada. Adapun hasil gambar 2 dimensi yang telah dibuat di ANSYS dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini.



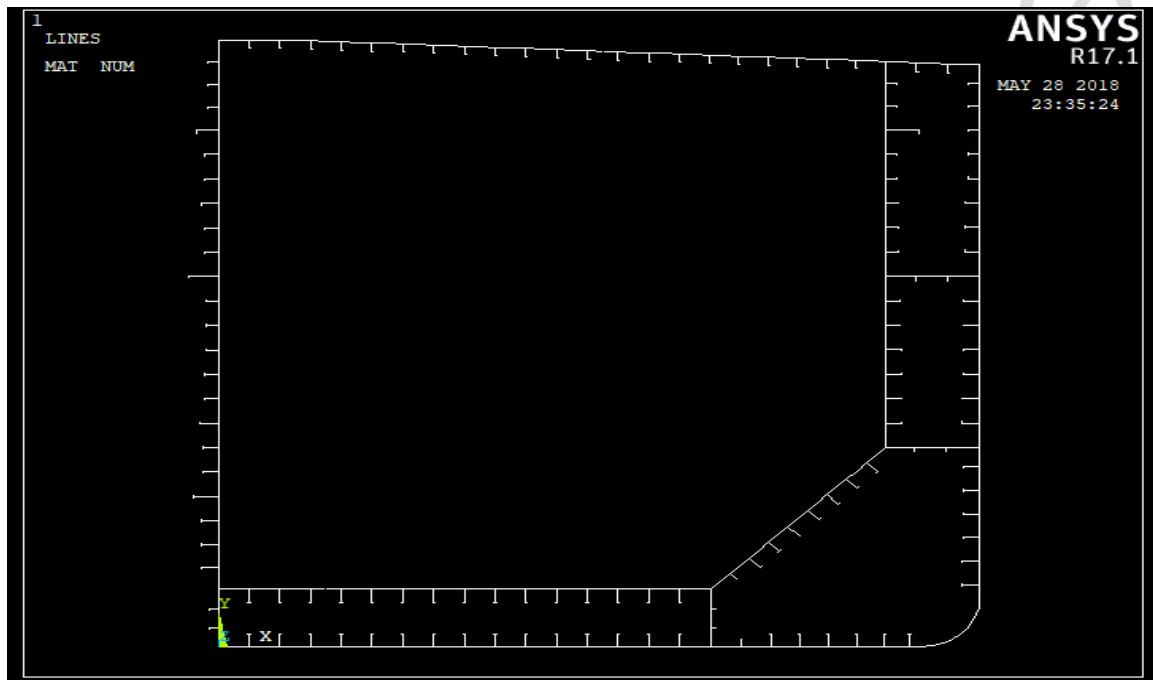
Gambar 4.3. Keypoint 2D di ANSYS

Apabila koordinat telah diinput dalam bentuk keypoint di ANSYS langkah selanjutnya adalah menghubungkan keypoint tersebut menjadi garis-garis (line) dengan cara: **Preprocessor > modelling > create > line > lines > straight line** (muncul window create straight line..)

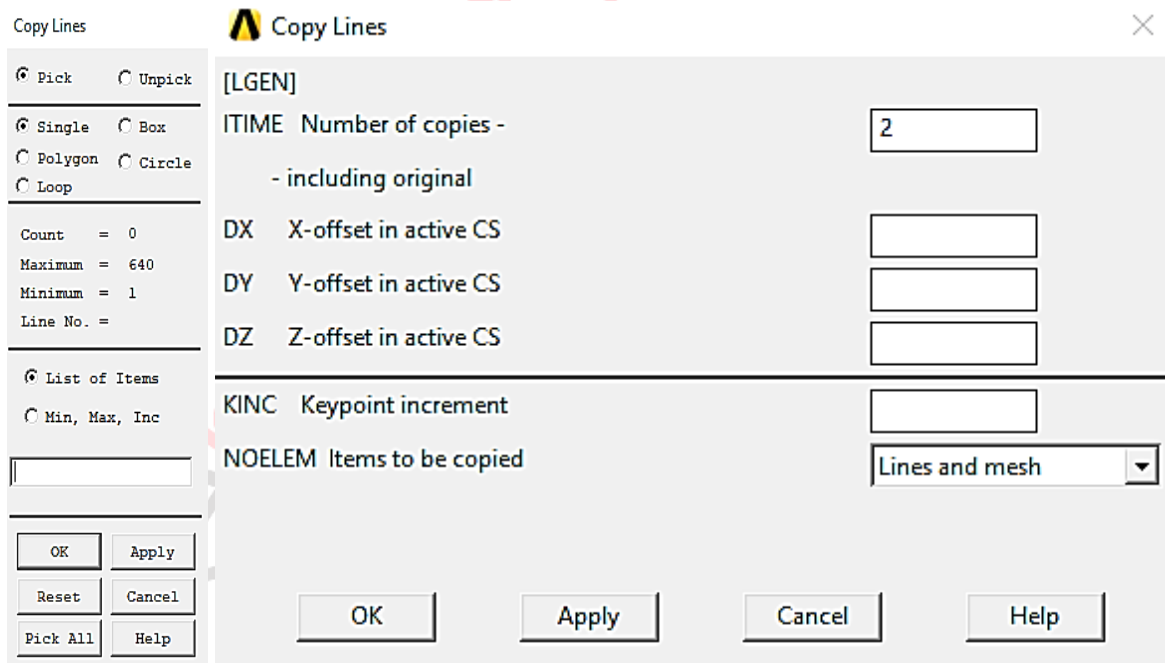


Gambar 4.4. Window create straight line

Setelah muncul window seperti gambar 4.4, maka klik **keypoint** sesuai dengan nomor urutan pada gambar 4.3 untuk menghubungkan garis satu dengan yang lainnya, sehingga akan terbentuk sebagian *body hull girder* seperti pada gambar 4.5 berikut ini:



Gambar 4.5. Model 2D setengah Body Hull Girder yang telah terhubung garis di ANSYS

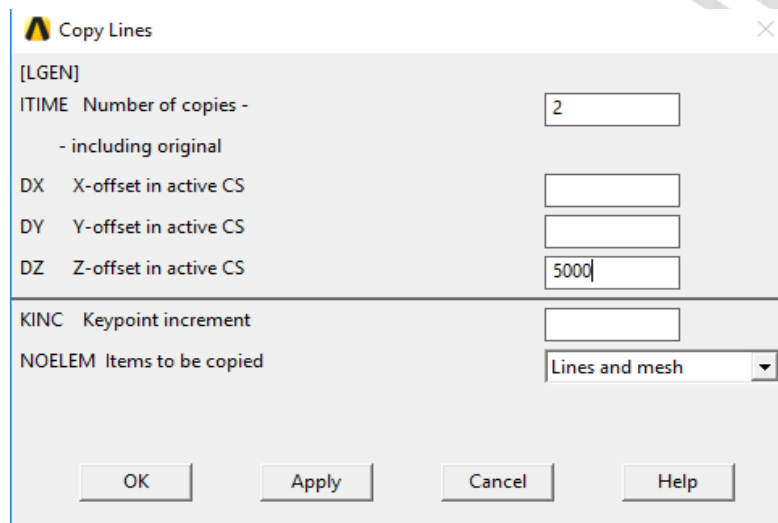


(b)

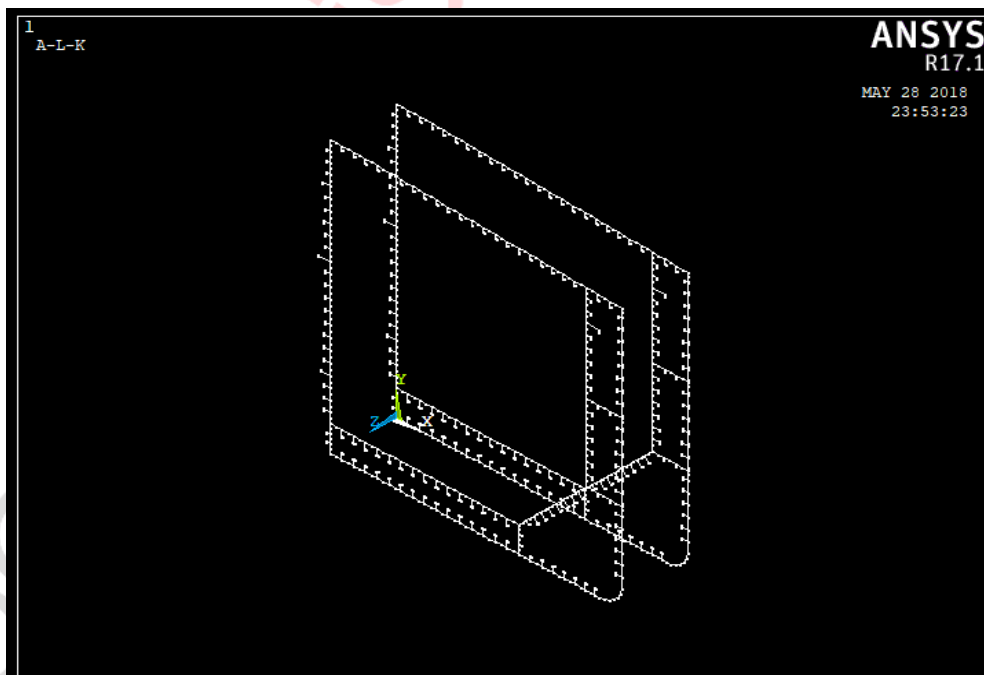
Gambar 4.6. Copy lines

Setelah seluruh keypoint sudah dihubungkan menjadi garis langkah selanjutnya adalah garis-garis (line) tersebut di-copy agar body kapal membentuk struktur sebagian Body Hull Girder menjadi dalam bentuk 3 dimensi dengan cara: **Preprocessor > modelling > copy > line > lines** muncul window copy lines seperti gambar 4.6.

Seperti gambar 4.6a kemudian klik **pick all** akan muncul **window** seperti gambar 4.6b. Pada kolom **DZ Z-offset in active CS** isi dengan panjang jarak antar gading 5000 mm kemudian klik **Ok**. Secara otomatis garis (line) yang di-copy tadi akan tergandakan menjadi dua sesuai jarak yang diberikan (5000 mm) seperti pada gambar 4.7 berikut ini. Dan hasilnya terdapat pada gambar 4.8.



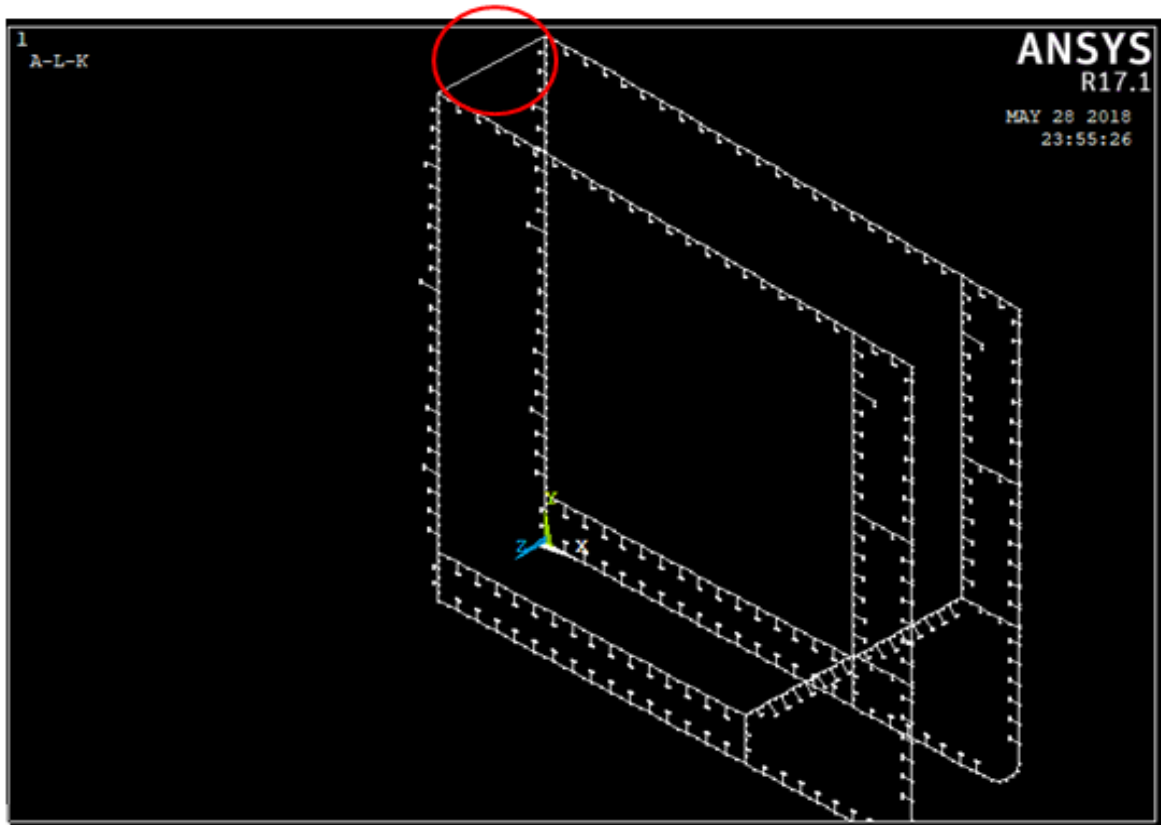
Gambar 4.7. Window copy lines



Gambar 4.8. Hasil copy lines di ANSYS

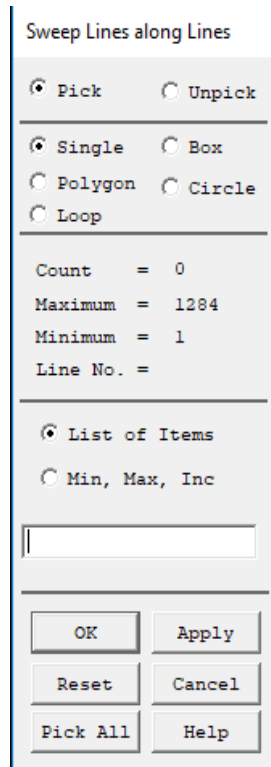
4.2. Pembuatan Area

Langkah selanjutnya adalah membuat area Hull Girder tersebut dengan cara membuat garis panjang jarak antar gading dengan cara klik **Preprocessor > modelling > create > line > lines > straight line** muncul window create straight line seperti gambar 4.9 berikut ini:



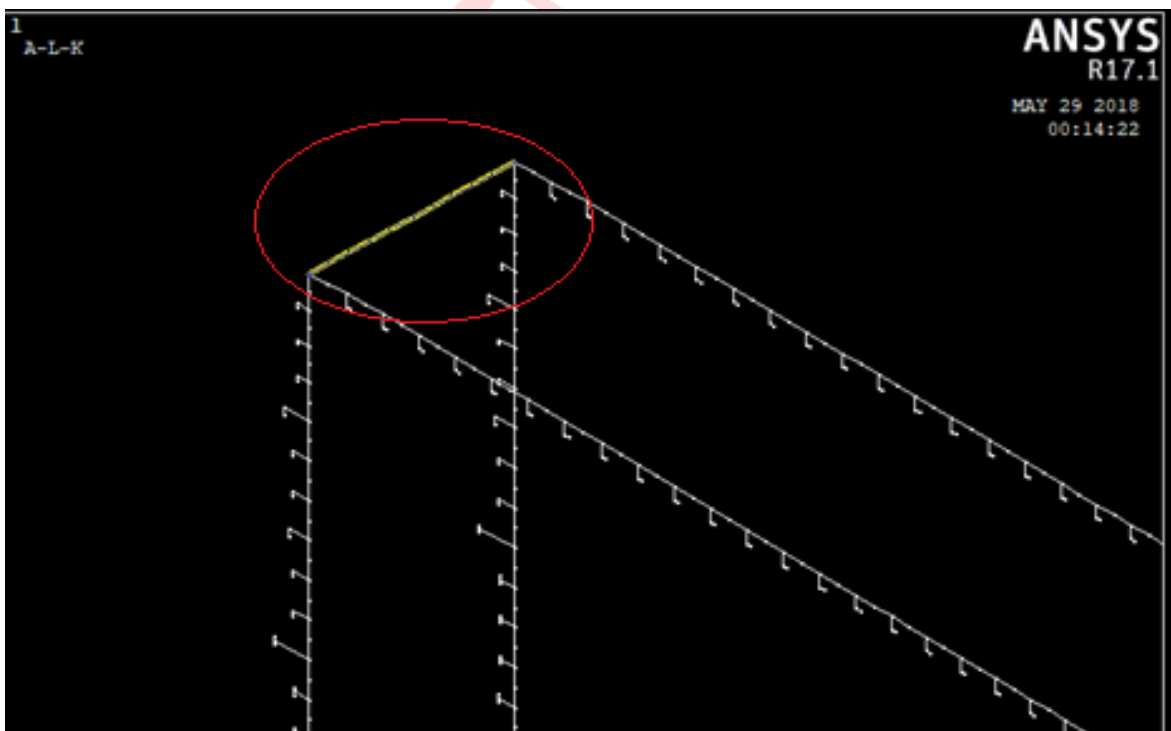
Gambar 4.9. Menghubungkan hasil Copy dengan Lines

Setelah garis tersebut dibuat maka langkah selanjutnya adalah meng-**extrude** garis tersebut agar menjadi area. Adapun langkah **extrude** dengan cara klik **Preprocessor > modelling > operate > extrude > lines > Along lines** muncul window sweep lines along lines seperti gambar 4.10.



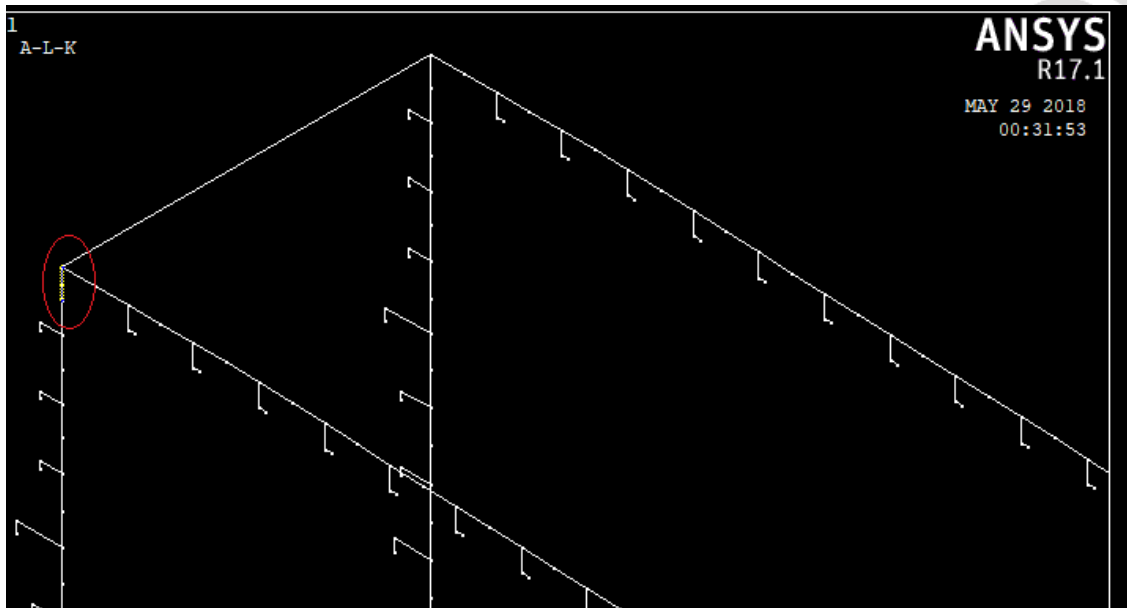
Gambar 4.10. Window Sweep Lines along Lines

Setelah muncul window seperti gambar 4.11, klik garis 1 yang telah dibuat tadi kemudian klik **ok**, adapun langkah-langkahnya dapat dilihat seperti gambar 4.11.



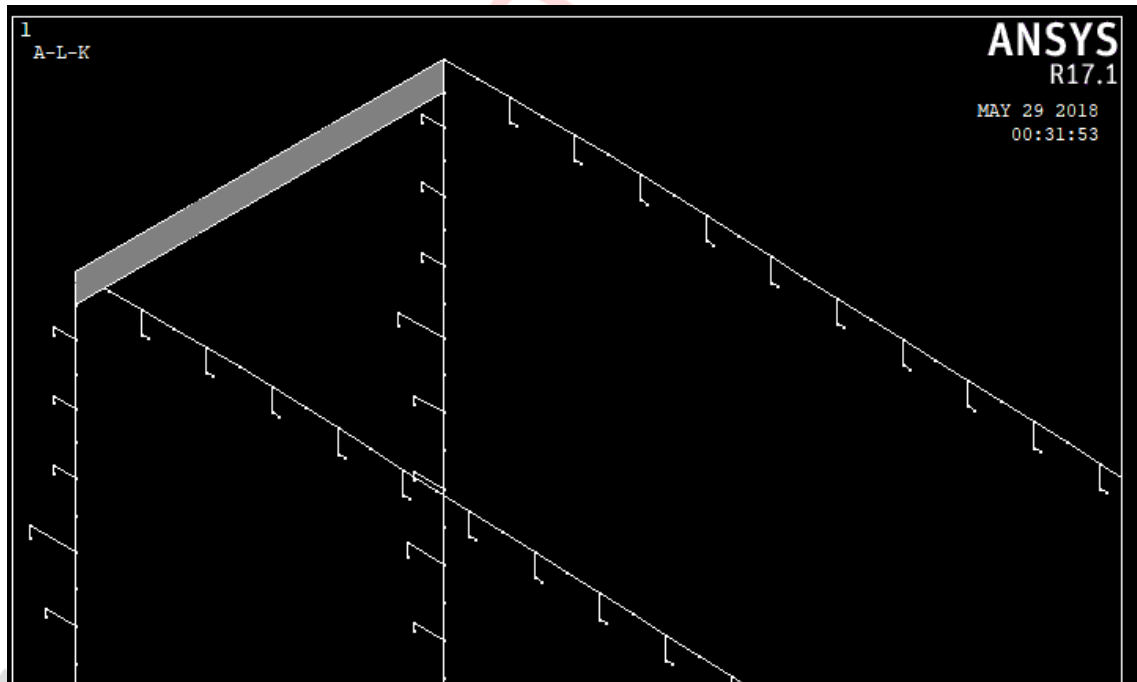
Gambar 4.11. Line yang terblok awal untuk proses Extrude

Lalu klik garis 2 yang ingin dijadikan area lalu klik **Apply**, dan hasilnya terdapat di gambar 4.12.



Gambar 4.12. Line yang terblok kedua untuk proses Extrude

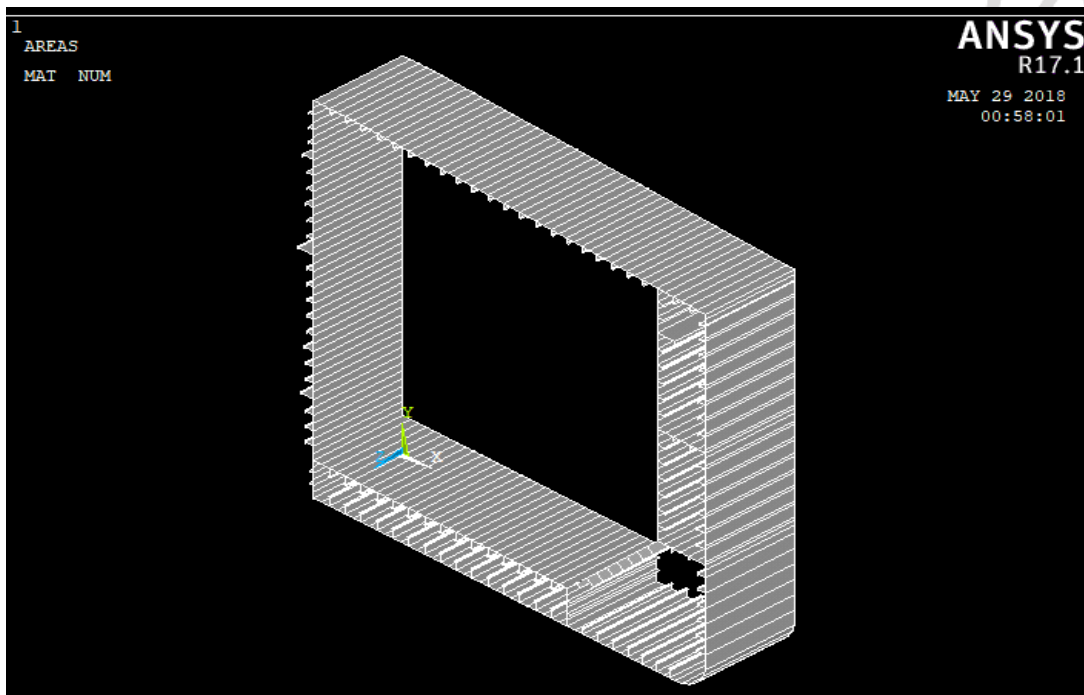
Maka area yang diinginkan muncul seperti gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil extrude area menggunakan garis

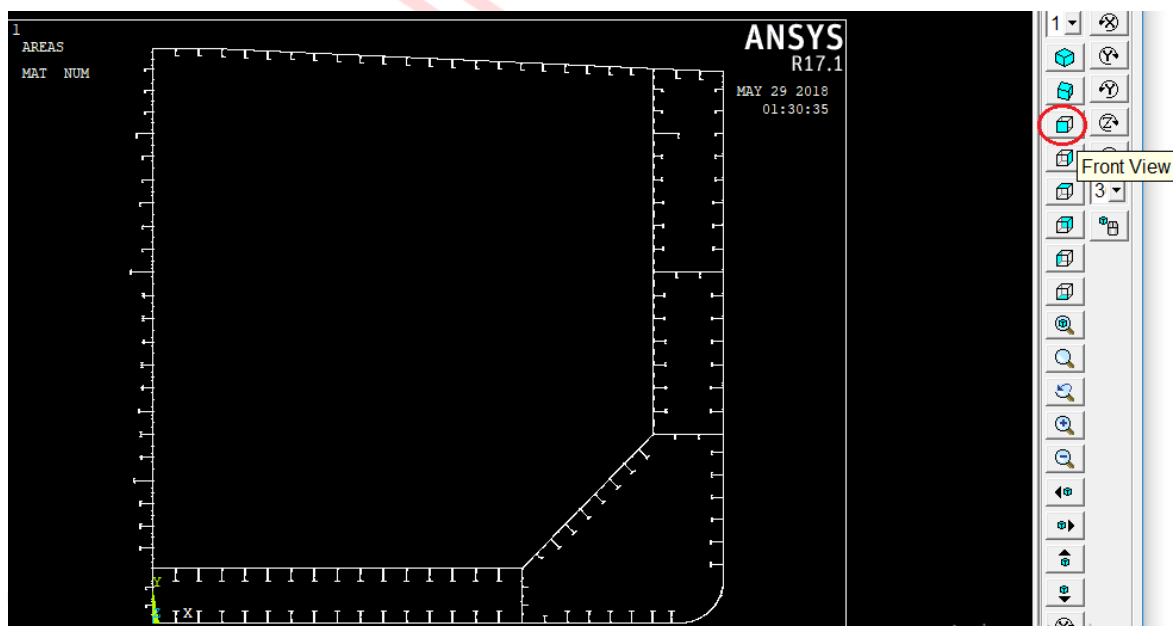
Perlu diketahui bahwa garis pertama yang ditandai selalu tegak lurus terhadap garis kedua yang ingin di-extrude menjadi area. Total garis kedua yang *pick* bisa lebih dari satu

dengan syarat garis-garis yang dipick tersebut harus berurutan dan tegak lurus terhadap garis pertama. Ulangi tahap tersebut sampai seluruh area hull girder terbentuk. Adapun gambar area yang telah di-*extrude* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Setengah Body Hull Girder yang telah memiliki Area di ANSYS

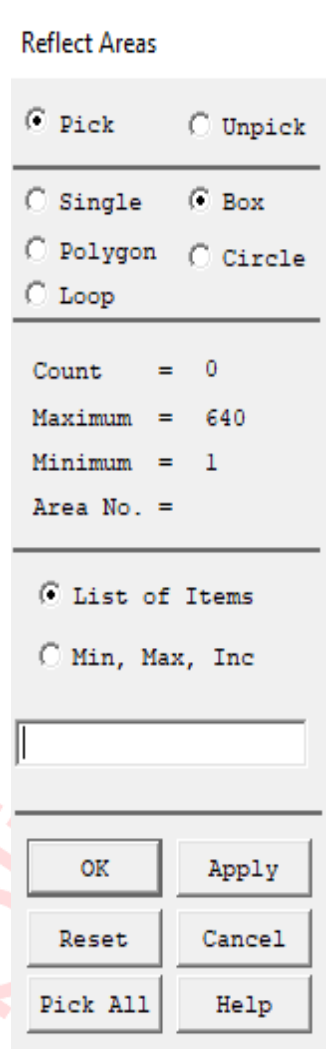
Selanjutnya klik **Front View** pada menu bar sebelah kanan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15.



Gambar 4.15. Tampak depan (front view) setengah body hull girder

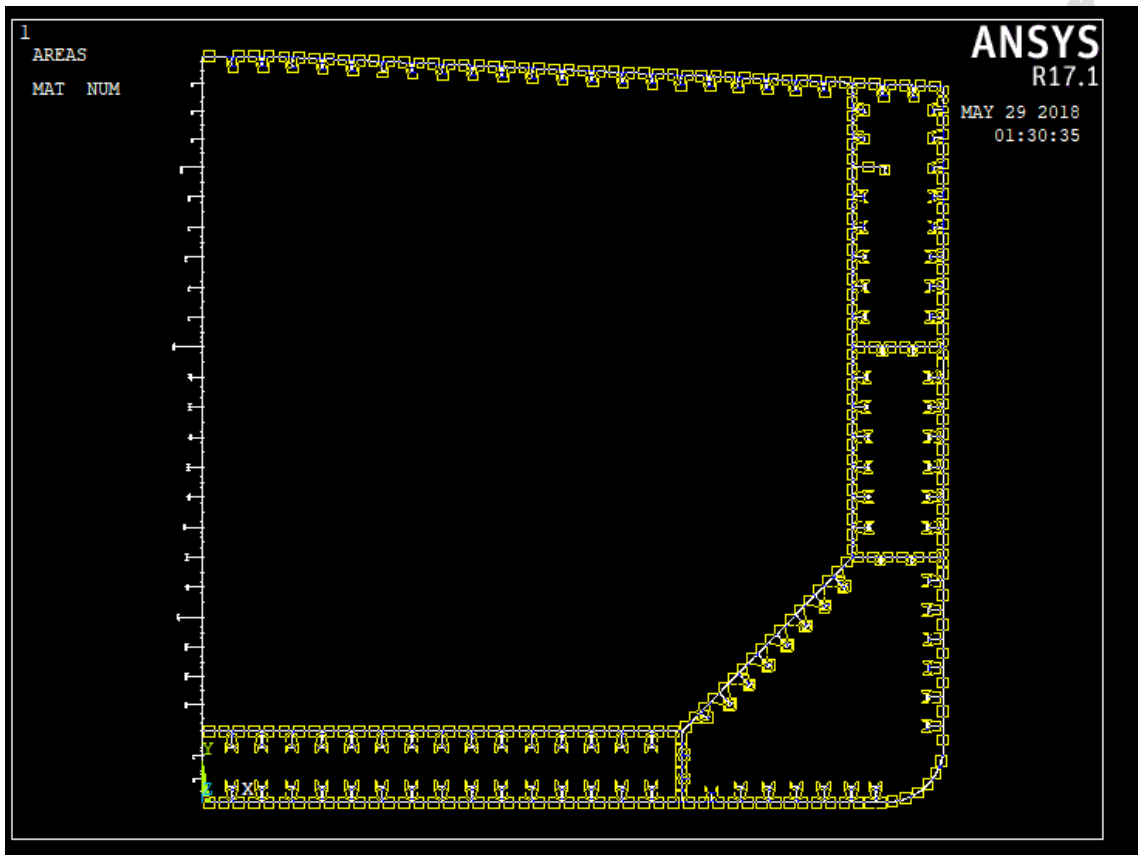
4.3. Refleksi Model

Setelah gambar area sebagian Body Hull Girder terbentuk dan gambar menghadap ke depan langkah selanjutnya adalah me-**reflect** Hull Girder seutuhnya dengan cara klik **Preprocessor > modelling > reflect > Area** (muncul window reflect area ..) seperti gambar 4.16.



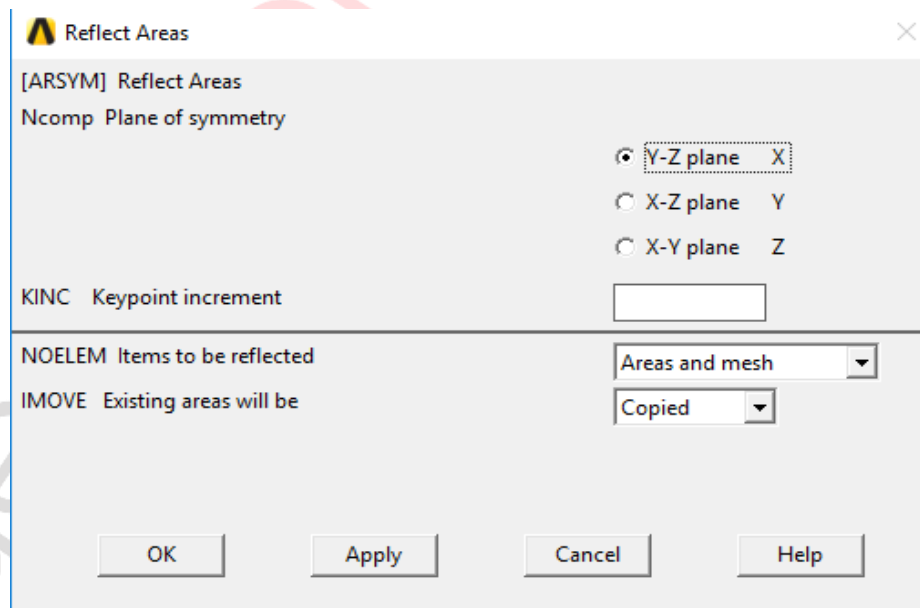
Gambar 4.16. Window reflect area

Selanjutnya blok area yang ingin di-reflect seperti gambar 4.17:



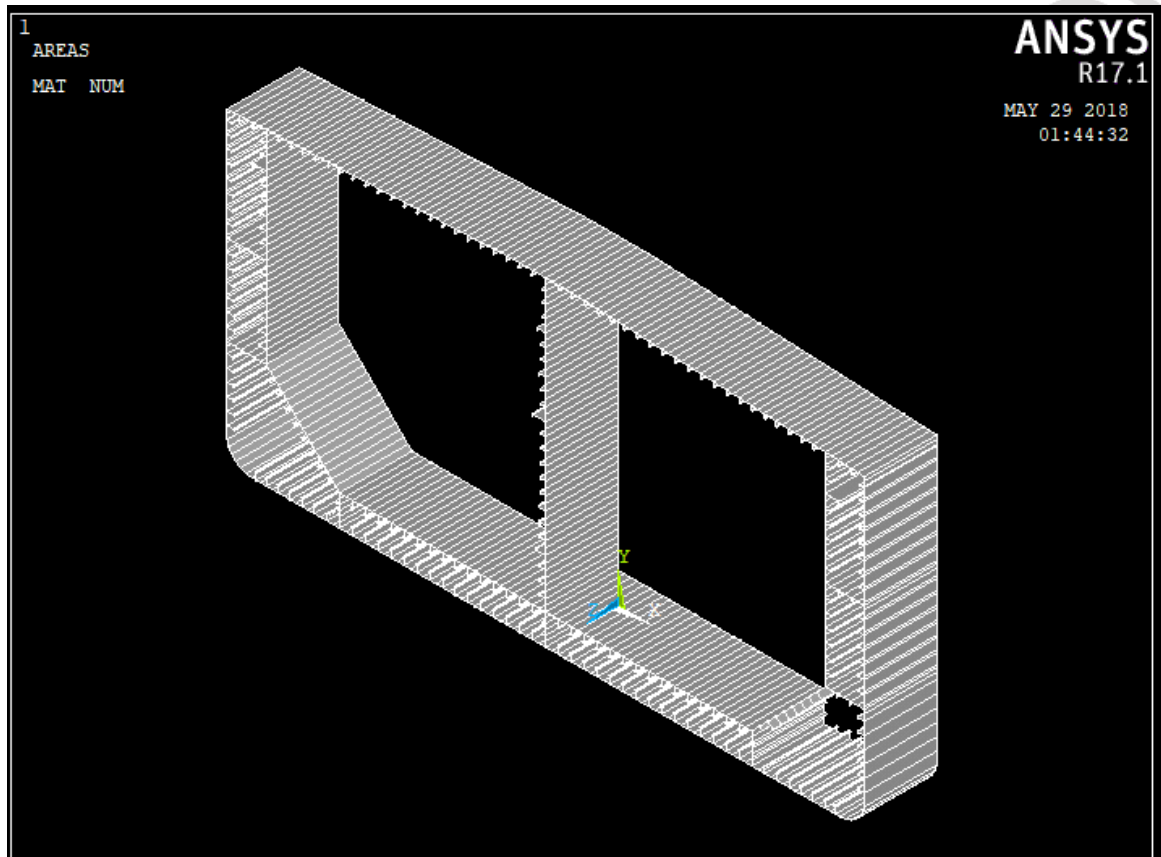
Gambar 4.17. Hasil blok area di ANSYS

Lalu klik **apply** dan kemudian akan muncul windows **Reflect Areas** seperti gambar 4.18.



Gambar 4.18. Window reflect areas

Lalu klik **ok** dan gambar penampang tengah Hull Girder akan muncul seutuhnya seperti gambar 4.19.



Gambar 4.19. Tampilan utuh Struktur Hull Girder setelah di-reflect

Demikianlah langkah pemodelan penampang tengah Hull Girder di ANSYS.

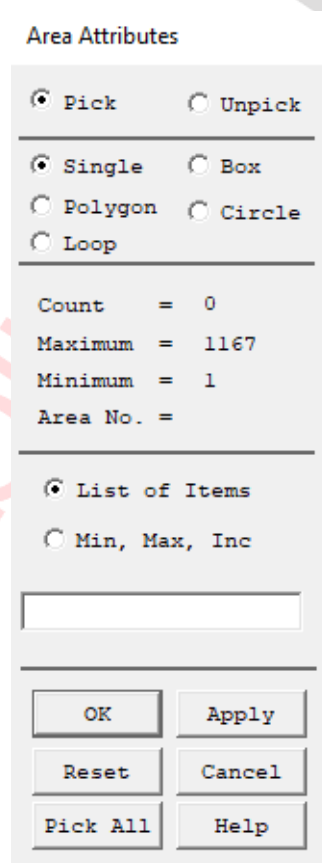
BAB 5

Pemberian Tebal Pelat pada Area Model

5.1. Tebal Pelat

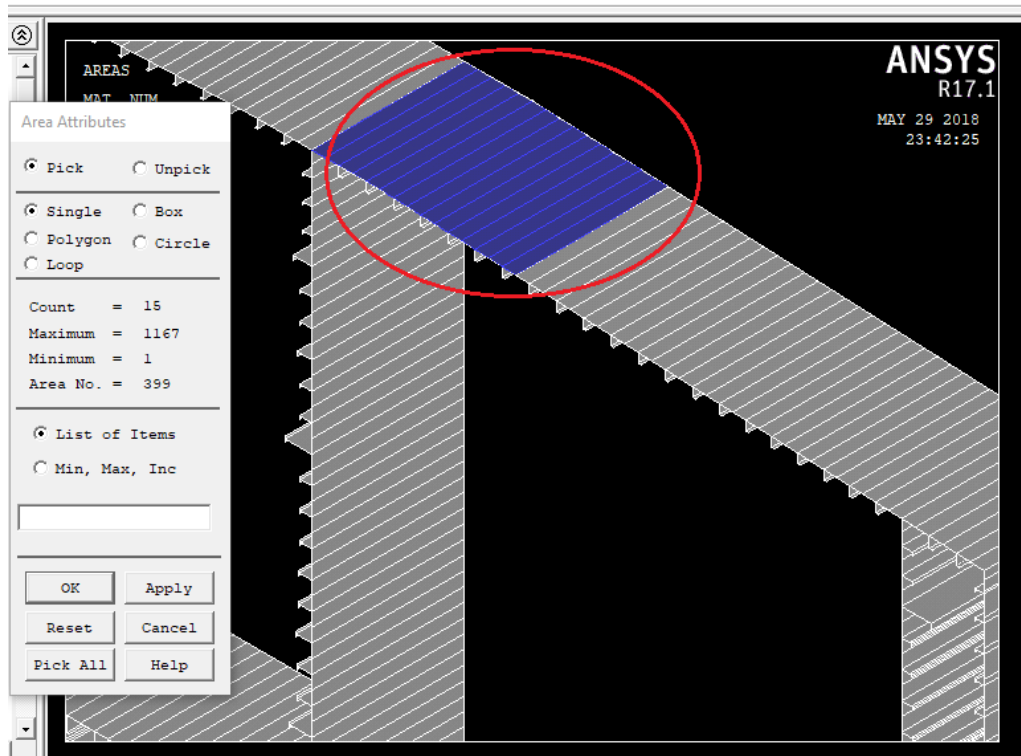
Dalam hal ini ketebalan pelat yang dimiliki oleh Struktur Hull Girder tidak sama, sehingga perlu menginput ketebalan pelat secara satu per satu, sesuai dengan ketebalan pelat yang ada pada data struktur.

Adapun cara memasukkan ketebalan pelat di ANSYS adalah sebagai berikut. **Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Pick Area** (muncul window Area Attributes ..) seperti gambar 5.1.



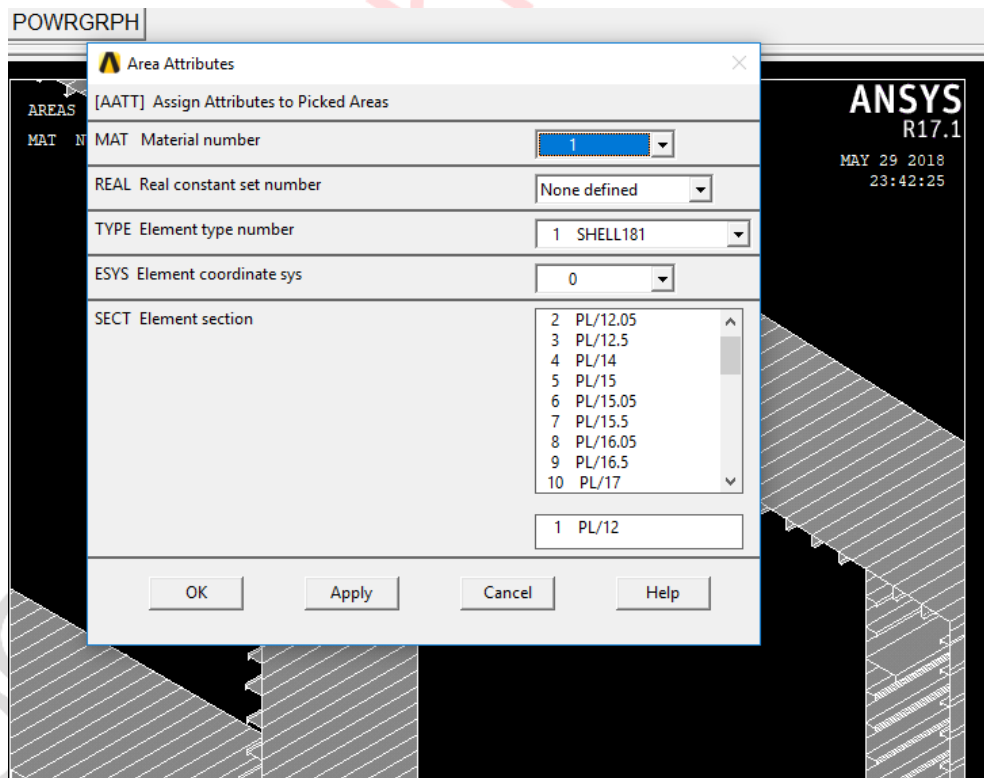
Gambar 5.1. Window area attributes

Setelah muncul tampilan seperti gambar 5.1, arahkan cursor pada area yang ingin dimasukkan ketebalannya seperti gambar 5.2.



Gambar 5.2. Area terblok yang ingin dimasukan ketebalannya

Lalu klik **ok** maka akan muncul windows seperti gambar 5.3.



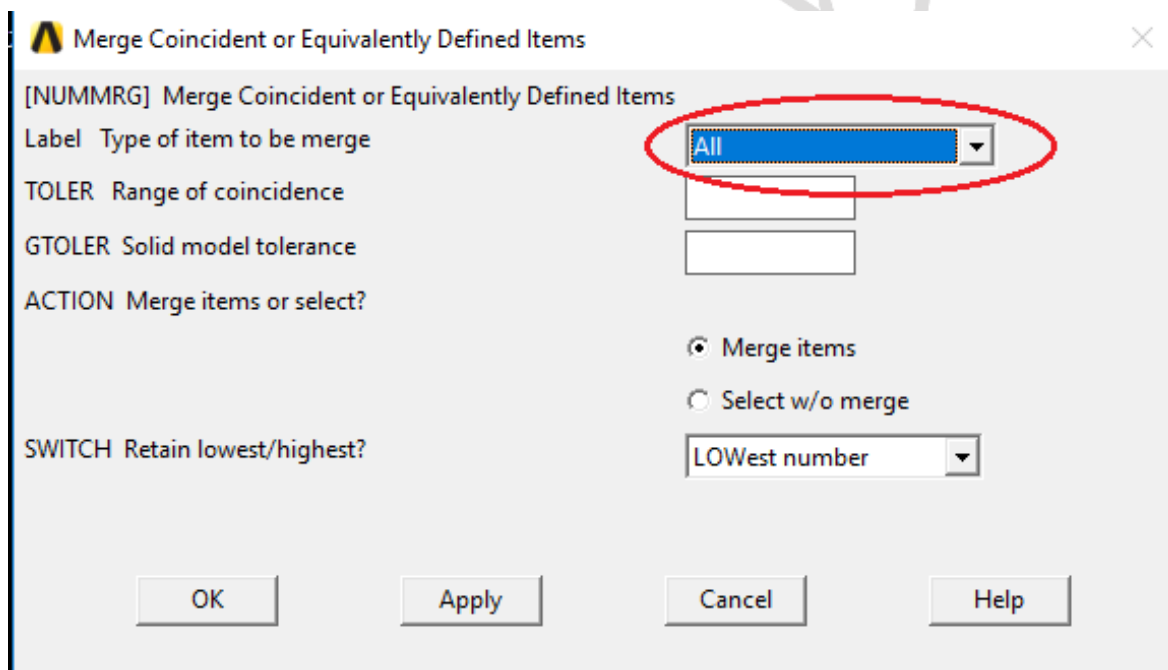
Gambar 5.3. Area attributes untuk pemilihan ketebalan pelat

Berdasarkan gambar 5.3, dapat dilihat pada kolom **SECT Element section** terdapat tebal pelat yang telah diinput sebelumnya dan kemudian pilih ketebalan yang sesuai dengan data hull girder tersebut.

Lakukan hal yang sama di atas untuk memasukkan tebal pelat yang lainnya sesuai dengan data yang ada.

5.2. Cara Menggabungkan Semua Element Pada Struktur

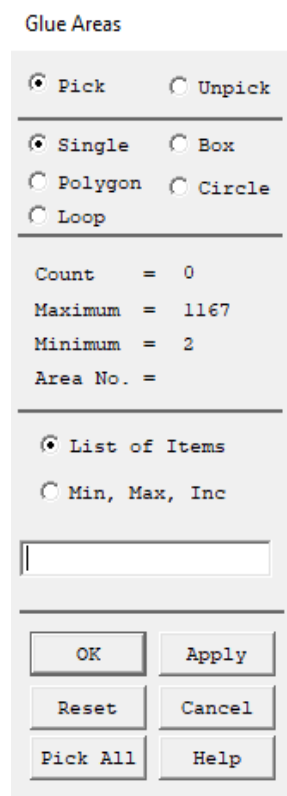
Setelah memasukkan ketebalan pelat pada struktur, selanjutnya perlu dipastikan elemen-elemen pada Struktur Hull Girder saling berkaitan satu sama yang lainnya dengan cara klik **Preprocessor > Numbering Control > Marge item** (muncul window Merge Coincident..) seperti gambar 5.4.



Gambar 5.4. Window merge coincident or equivalently defined items

Perlu diingat, pada kolom **Label Type of item to be merge** option yang harus dipilih adalah **All**.

Setelah itu kita harus meng-**glue** struktur tersebut dengan cara **Preprocessor > modelling > operate > Booleans > Glue > Areas** (muncul window Glue Areas ..) seperti gambar 5.5.



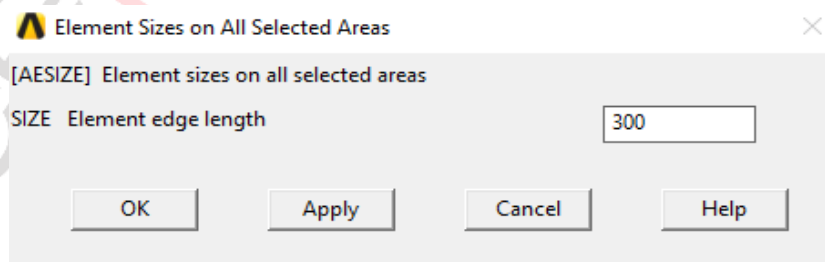
Gambar 5.5. Window glue area

Setelah muncul tampilan seperti gambar 5.5, klik **Pick All**. Perlu diketahui apabila terjadi masalah pada saat **Glue** hal tersebut mengisyaratkan bahwa model yang dibuat ada masalah, sehingga perlu dipastikan terlebih dahulu apakah ada garis atau keypoint yang tidak saling berhubungan satu sama dengan lainnya.

Glue juga sangat berpengaruh pada saat melakukan proses **running**, sehingga perlu dipastikan apakah struktur sudah ter-**glue** dengan baik atau tidak.

5.3. Pemberian Ukuran Mesh

Berikut ini ukuran mesh yang diberikan 300 (jika jarak mesh terlalu kecil, maka dapat diperbesar dengan memasukkan nilai mesh lebih besar lagi) dan cara klik **Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Area > All Area** (muncul window **Element Size**) lalu pada baris **size** berikan 300 lalu klik **Ok** seperti gambar 5.6.

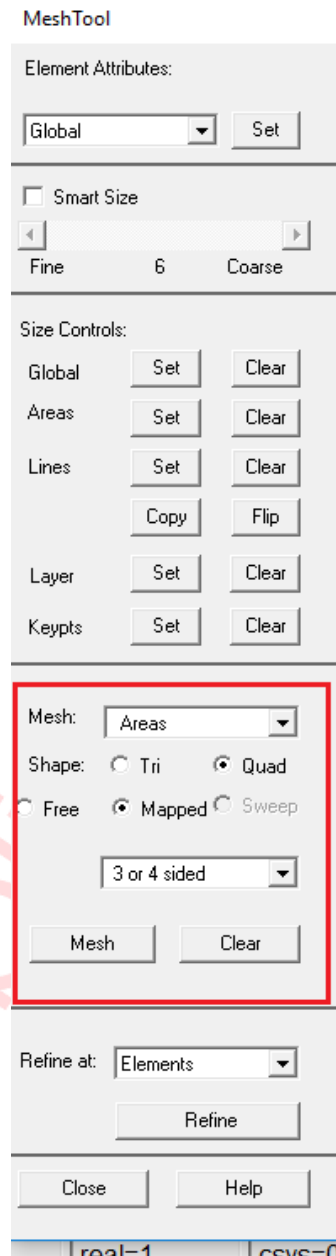


Gambar 5.6. Window element sizes on all selected areas

5.4. Model yang sudah di-meshing

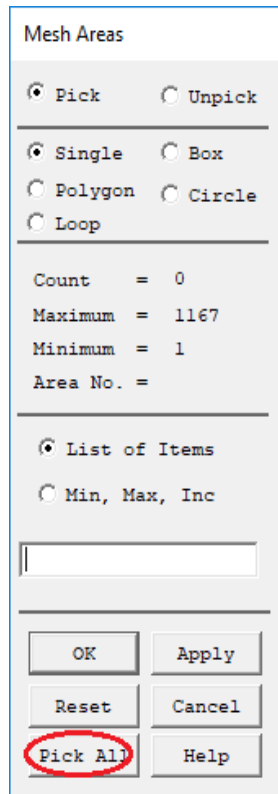
Mesh yang telah diberikan jarak 300 akan ditampilkan dengan klik **Preprocessor > Mesh Tool** (muncul window **Mesh Tools**) lalu klik **Mesh**.

Perlu diperhatikan pada kolom **mesh** option, yang dipilih adalah **Quad** dan **Mapped** seperti gambar 5.7.



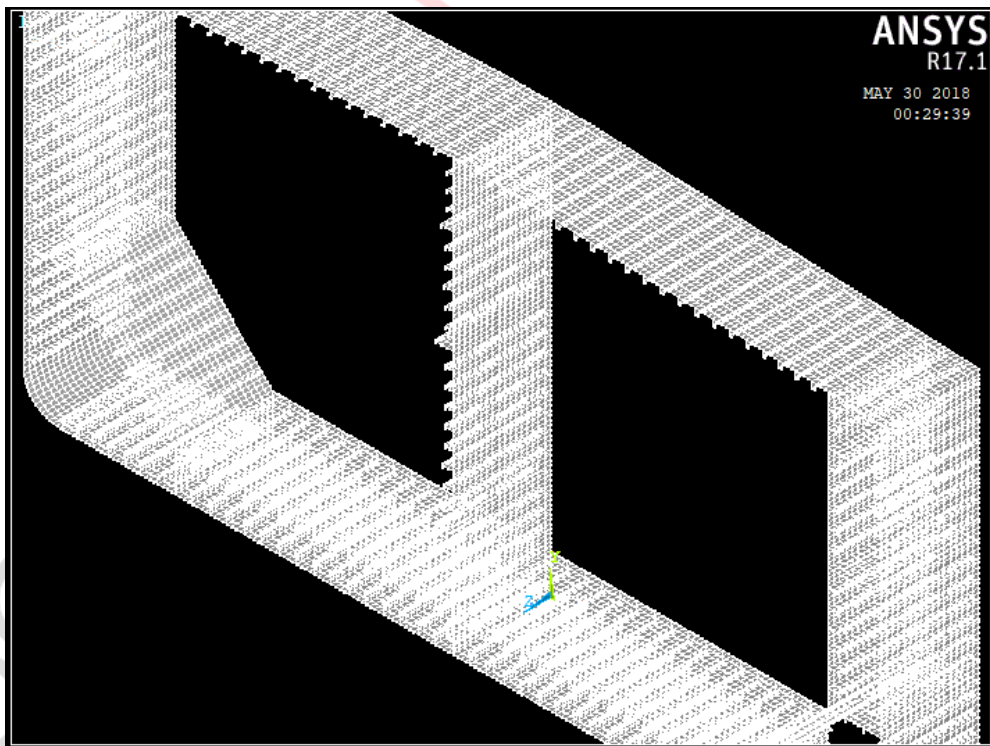
Gambar 5.7. Window mesh tool

Setelah itu akan muncul window **Mesh Area** lalu klik **Pick All** seperti gambar 5.8.



Gambar 5.8. Window mesh area

Setelah itu yang sudah di-mesh pada ANSYS akan terlihat seperti gambar 5.9.



Gambar 5.9. Model yang sudah di-meshing

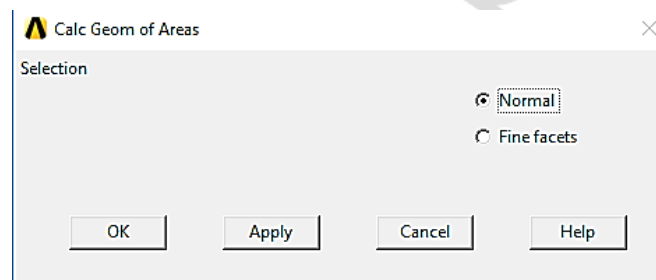
Demikianlah cara meshing area struktur. Perlu diingat ketika melakukan meshing, sesuaikan dengan kapasitas komputer. Semakin jarang meshing yang diberi semakin banyak pula elemen yang akan dihitung oleh ANSYS sehingga komputer bisa menghasilkan kesalahan (Error).

BAB 6

Penentuan Letak Sumbu Netral, Pembebanan, dan Kondisi Batas

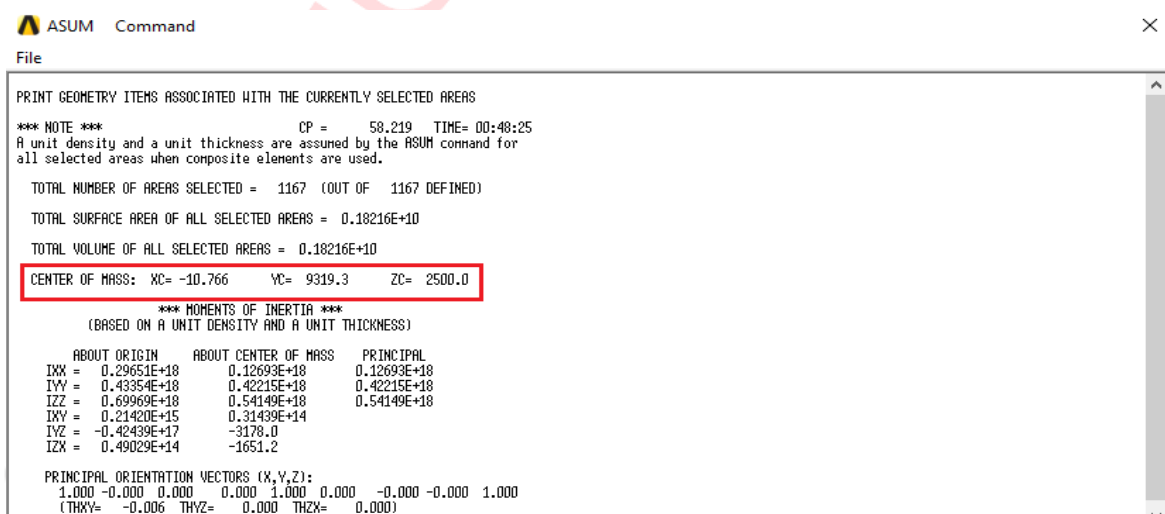
6.1. Letak Sumbu Netral

Penentuan titik pusat massa/ sumbu netral parameter yang harus diketahui terlebih dahulu. Adapun langkah untuk mendapatkan **Sumbu Netral** di ANSYS dengan cara **Preprocessor > modelling > operate > Calc Geom Items > Of Areas** (muncul window Calc Geom Areas ..) seperti gambar 6.1.



Gambar 6.1. Window calc geom of areas

Lalu klik **Ok** maka akan muncul window **ASUM Command** seperti gambar 6.2.

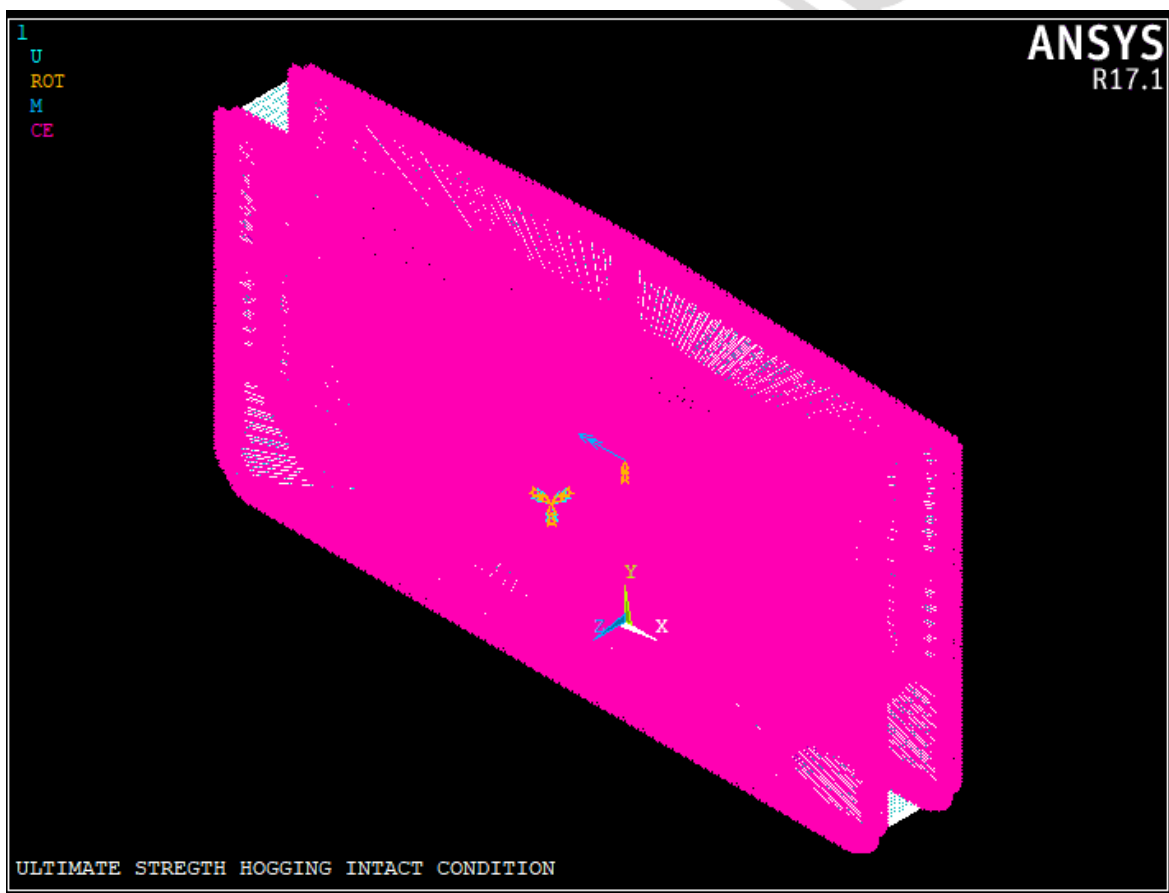


Gambar 6.2. Window koordinat netral axis

Berdasarkan gambar 6.2 yang diberi *kotak* tersebut merupakan **titik pusat massa/ Sumbu Netral** pada struktur hull girder sehingga koordinat tersebut nanti digunakan sebagai letak tumpuan dan pusat pembebanan terhadap struktur (**Multi-Point Constraints/MPC**)

6.2. Kondisi Batas (Boundary Condition)

Setelah mengetahui posisi sumbu netral, maka selanjutnya hal yang dilakukan adalah memberikan tumpuan pada struktur sesuai dengan letak sumbu netral yang telah diperoleh sebelumnya dalam hal ini pembebanan dan kondisi batas yang diaplikasikan pada model dan sangat tergantung pada jenis proses peningkatan beban yang digunakan. Kontrol kelengkungan menggunakan kondisi batas dimana kedua ujung model diberikan *rigid link* dengan pembebanan seperti gambar 6.3.

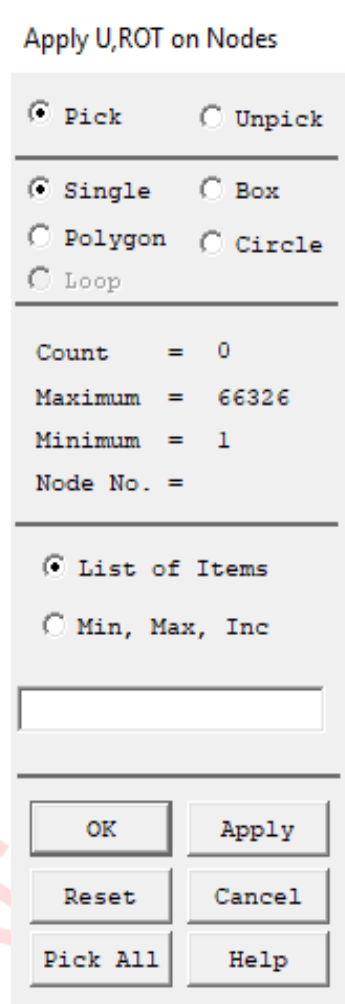


Gambar 6.3. Kondisi batas struktur

Sebelum melakukan **Rigid link** hal pertama yang dilakukan meletakkan kondisi tumpuan pada ujung depan (**fore**) struktur dengan kondisi tumpuan hanya arah **rotasi y = 0** dan sebagai tempat pemberian **beban** sedangkan pada bagian belakang (**aft**) kondisi tumpuan diikat full atau **all dof** sehingga bagian belakang terkunci full seperti di tunjukkan pada gambar 6.3.

Adapun cara pemberian tumpuan dan pembebanan pada ANSYS adalah sebagai berikut:

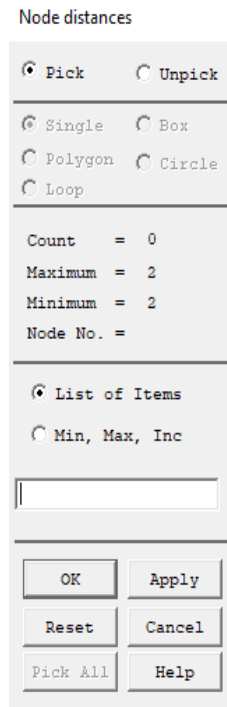
Pemberian tumpuan bagian depan (fore) dengan cara **Solution > Define loads > Apply > Structural > Displacement > On nodes** (muncul window Apply U, ROT on Nodes..) seperti gambar 6.4.



Gambar 6.4. Window apply U, ROT on nodes

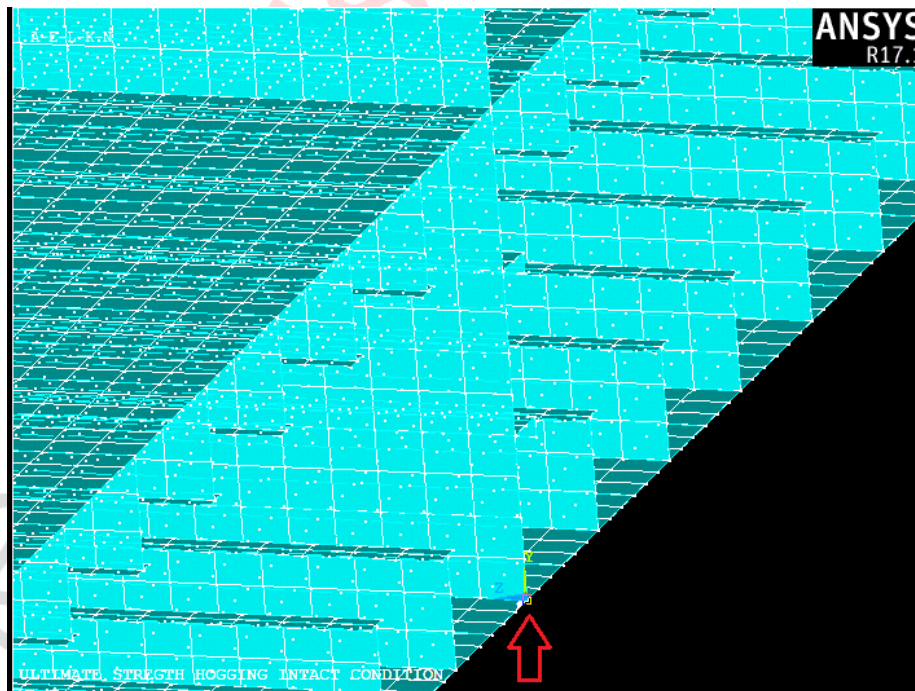
Setelah muncul window seperti gambar 6.4, arahkan kursor pada bagian nodes sesuai dengan koordinat sumbu netral yang telah diperoleh. Adapun posisi sumbu netral yang diukur untuk contoh ini (kapal Double Hull Tanker) adalah **Xc = -10.766, Yc = 9319.3, Zc = 2500.**

Adapun cara mengukur posisi nodes untuk bagian depan (**fore**) langkah-langkahnya adalah **Preprocessor > Modelling > Check Geom > Nodes Distance.** (muncul window Nodes Distance) seperti gambar 6.5.



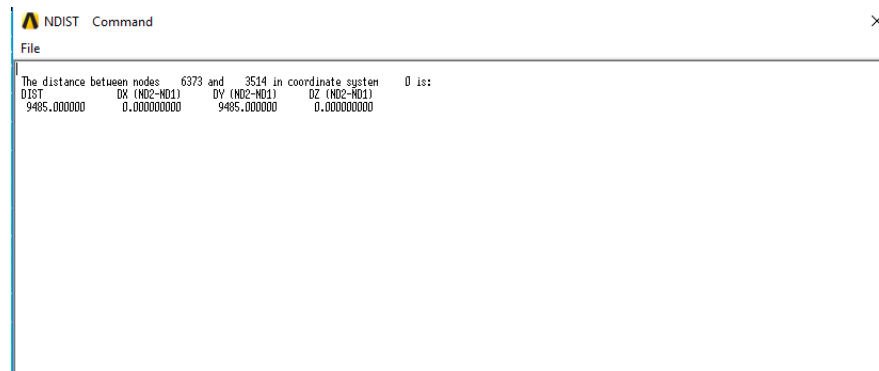
Gambar 6.5. Window node distances

Kemudian arahkan kursor sesuai dengan sumbu netral arah **yc** dari bottom ke arah **y** sebesar **9319.3**. atau mendekati nilai tersebut. Setelah itu diperoleh **number nodes** tersebut yang akan dijadikan acuan peletakan titik tumpuan bagian depan struktur seperti ditunjukkan gambar 6.6.



Gambar 6.6. Posisi Awal Pengukuran Jarak Letak Sumbu Netral Berada

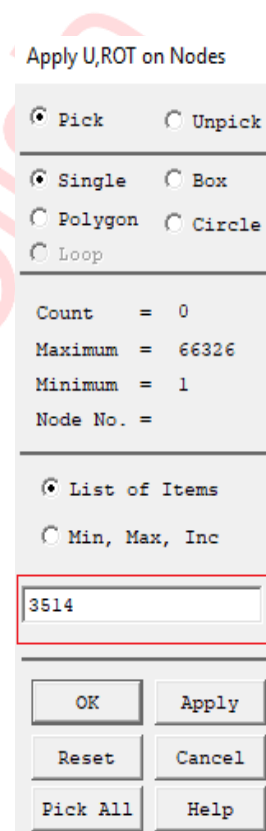
Setelah mencari titik setinggi arah y yang telah ditentukan akan muncul window seperti gambar 6.7.



Gambar 6.7. Window ndist letak node sumbu netral

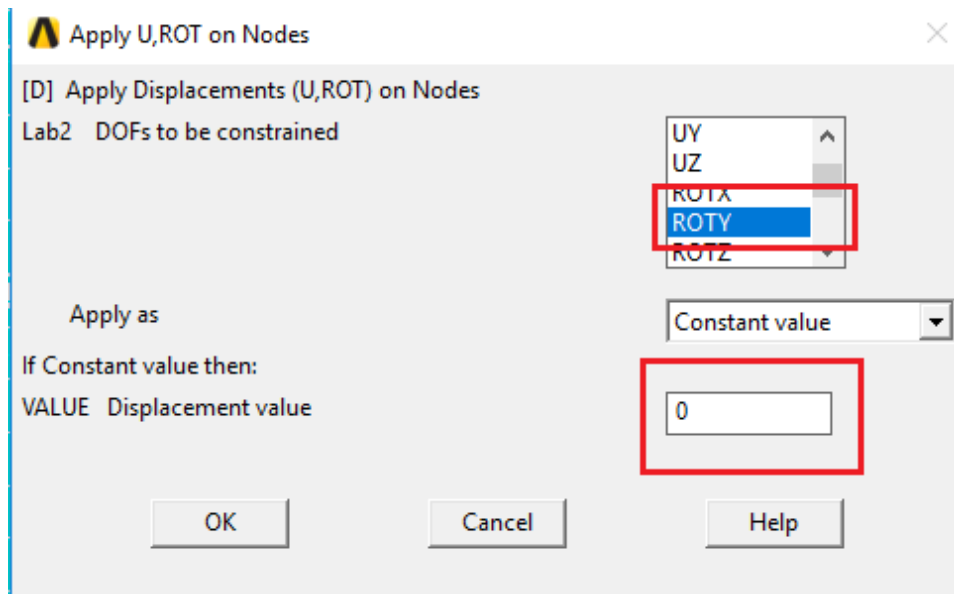
Gambar 6.7 menjelaskan bahwa arah ukuran dimulai dari nodes 6373 ke nodes 3514 dari bawah ke atas dengan jarak 9485 yang lebih tinggi sedikit daripada titik sumbu netral arah yc. Hal tersebut tidak terlalu mempengaruhi kondisi batas sehingga titik yang dijadikan acuan adalah nodes 3154 sebagai letak tumpuan bagian depan (**fore**).

Setelah mendapatkan number nodes tersebut, selanjutnya diberi tumpuan pada bagian depan dengan cara seperti yang dijelaskan pada **point a**. Pada window **Apply U, ROT on Nodes** masukkan Number nodes yang telah diperoleh seperti gambar 6.8.



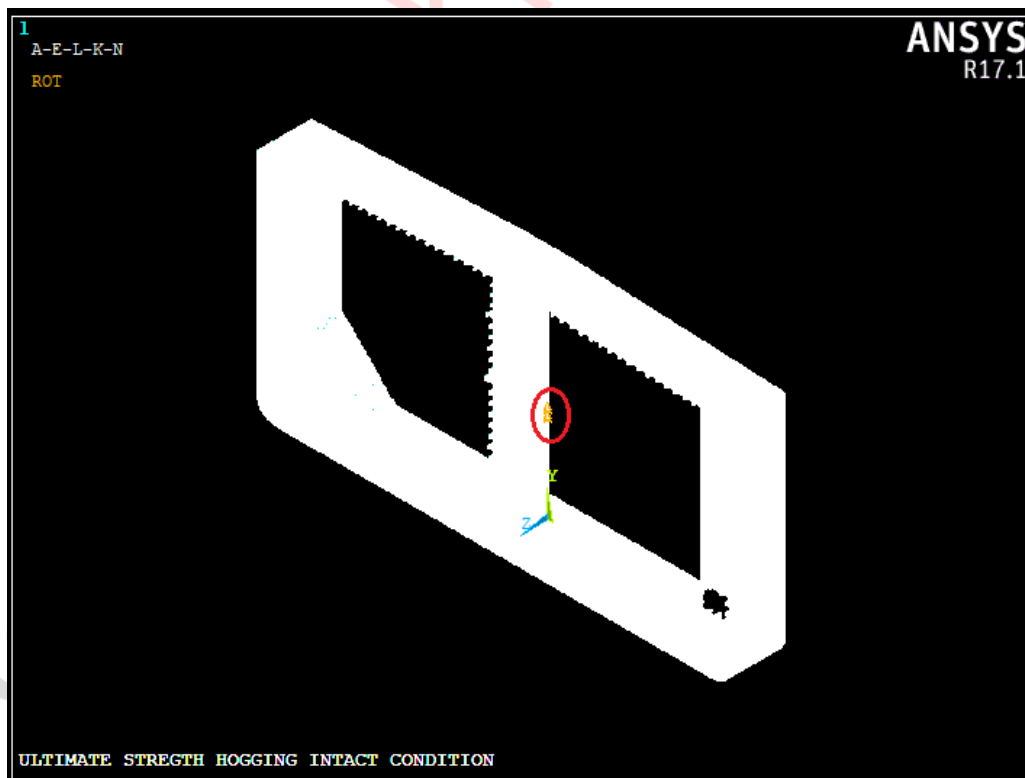
Gambar 6.8. Window apply U,ROT on nodes

Lalu klik **Ok** maka akan muncul window seperti gambar 6.9 berikut



Gambar 6.9. Apply ROTY on nodes

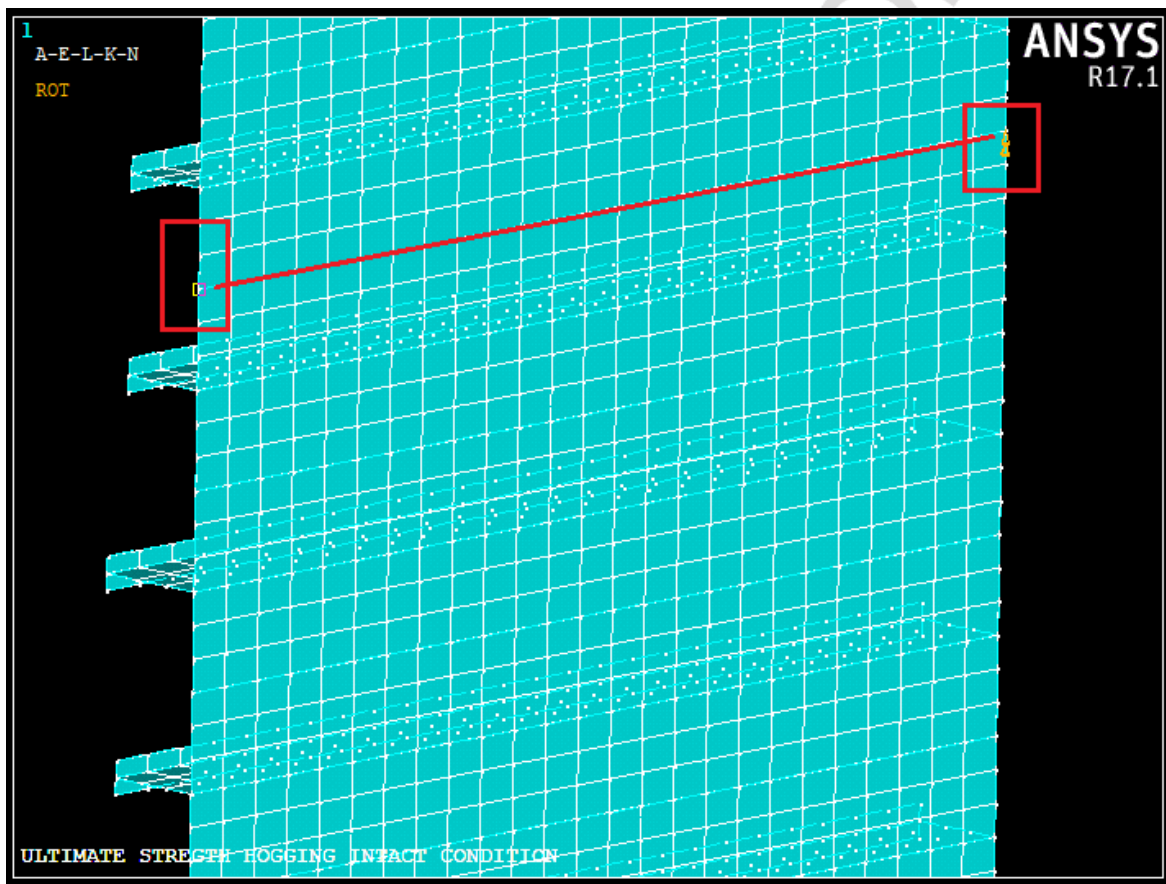
Pada gambar 6.9 dapat dilihat pada kolom **Lab2 DOFs to be constrained** pilih **ROTY** dan pada kolom **VALUE Displacement value** isi dengan angka **0** lalu klik **Ok** maka tumpuan pada bagian depan akan muncul seperti gambar 6.10.



Gambar 6.10. Struktur hull girder yang telah apply ROTY dikekang

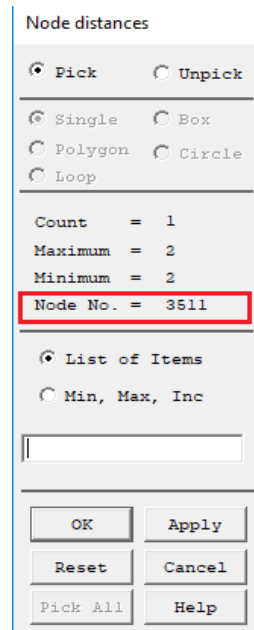
Pemberian tumpuan bagian belakang (aft) dengan cara **Solution > Define loads > Apply > Structural > Displacement > On nodes** (muncul window Apply U, ROT on Nodes..)

Sama halnya seperti memberi tumpuan pada bagian depan. Langkah awalnya adalah, mencari number nodes yang akan diletakkan tumpuan pada bagian belakang (**aft**), yang membedakan hanyalah posisi titik pengukurannya. Oleh karena itu, langkah-langkahnya mengikuti cara pada **point a**. Adapun titik yang diperoleh pada bagian belakang (**aft**) harus sejajar dengan nodes bagian depan (**fore**). Langkah-langkahnya adalah **Preprocessor > Modelling > Check Geom > Nodes Distance** (muncul window Nodes Distance) seperti gambar 6.11.



Gambar 6.11. Pencarian letak node sumbu netral bagian belakang Hull Girder

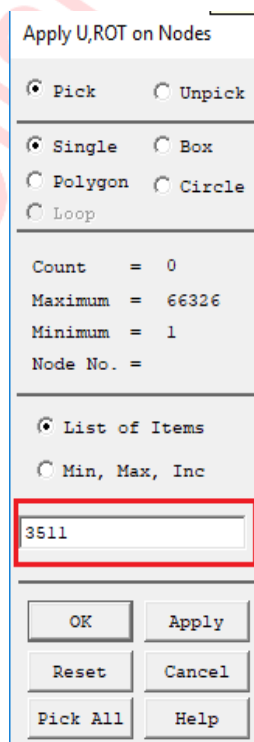
Berdasarkan gambar 6.11, tidak perlu lagi mengukur dari bottom ke sumbu netral karena sudah memiliki titik acuan pada saat menentukan number nodes bagian depan, sehingga hanya perlu menandai number node yang ditunjukkan pada window **node distances** sebagai number node yang digunakan meletakkan tumpuan pada bagian belakang (**aft**) seperti yang ditunjukkan gambar 6.12.



Gambar 6.12. Titik nodes letak sumbu netral bagian belakang

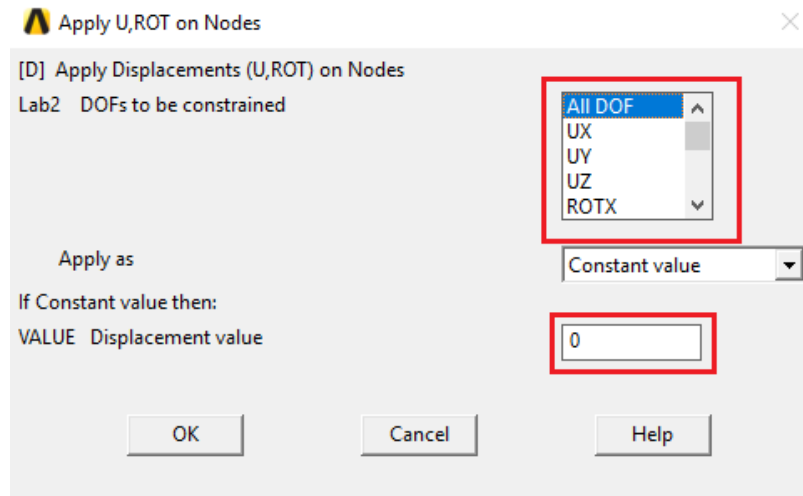
Berdasarkan gambar di atas number node yang diperoleh untuk meletakkan tumpuan bagian belakang adalah **3511**.

Setelah mendapatkan number nodes tersebut selanjutnya menentukan tumpuan pada bagian depan dengan cara seperti yang dijelaskan pada **point a**. Pada window **Apply U, ROT on Nodes** masukkan Number nodes yang telah diperoleh seperti gambar 6.13.



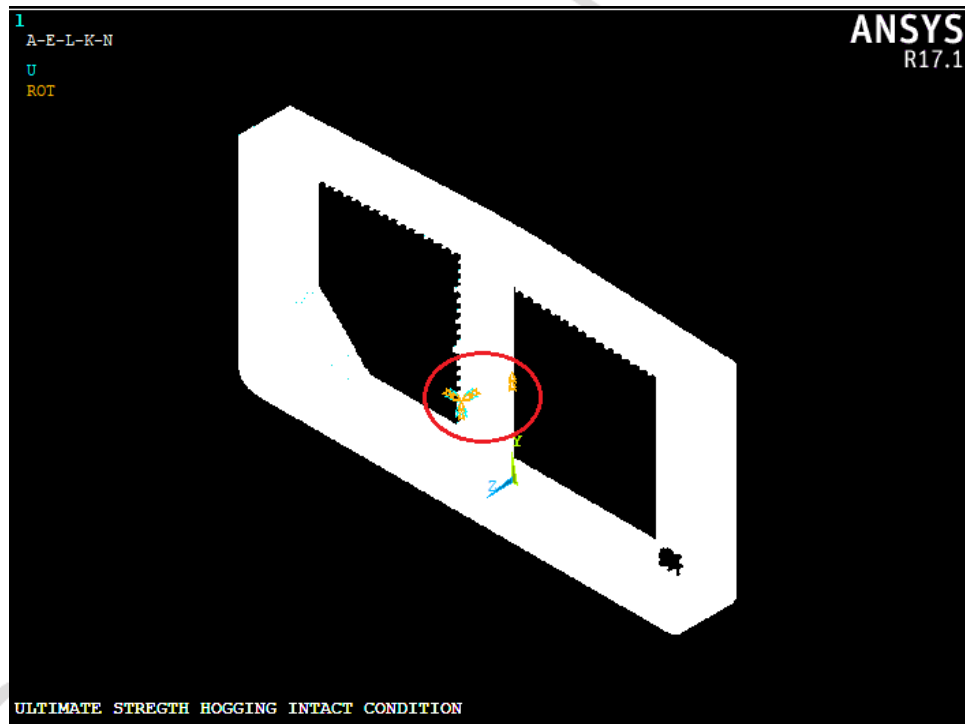
Gambar 6.13. Window peletakan number node yang diberi tumpuan (**ALL DOF**)

Lalu klik **Ok** maka akan muncul window seperti gambar 6.14 berikut:



Gambar 6.14. Apply All DOF pada node sumbu netral bagian belakang

Pada gambar 6.14 dapat dilihat pada kolom **Lab2 DOFs to be constrained** pilih **ALL DOF** dan pada kolom **VALUE Displacement value** isi dengan angka **0** lalu klik **Ok** maka tumpuan pada bagian depan akan muncul seperti gambar 6.15.



Gambar 6.15. Struktur hull girder yang telah diberi tumpuan all dof pada sumbu netral axisnya

Perlu diingat check kembali untuk memastikan kondisi **ROTY** tidak ter-**block biru** karena hal tersebut memengaruhi kondisi tumpuan.

Berdasarkan gambar 6.15 dapat dilihat kondisi batas untuk Struktur Hull Girder telah dibuat, langkah selanjutnya adalah memasukkan beban dan **rigid link** sebagai pelengkap kondisi batas.

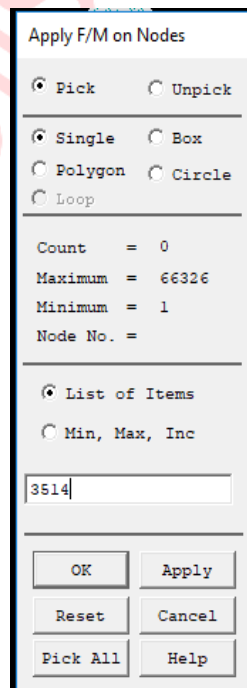
A. Pemberian beban pada node bagian depan (fore)

Berikut ini adalah memberikan beban pada Struktur Hull Girder 3 dimensi di node bagian depan yang diikat yang dimana tumpuannya hanya rotasi **arah y (ROTY)** yang diikat. Dalam kasus ini, ada 2 kasus yang akan diperhitungkan yaitu kondisi Hull Girder pada saat **sagging** dan **hogging**, dimana beban yang dimasukkan adalah momen arah x dengan nilai beban yang sama sebesar 1×10^{14} Nmm pada saat sagging dan -1×10^{14} Nmm pada saat hogging (**perhatikan arah momen bekerja**). Adapun langkah yang dilakukan dengan cara **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > on Nodes** (muncul window **Apply F/M on Nodes**). Node yang dipilih adalah number node bagian depan kapal atau node yang hanya diikat pada arah lokasi rotasi arah y (**Node 3514**) sesuai dengan titik node sebelumnya.

Perlu diketahui dalam menganalisis struktur hull girder dengan menggunakan metode NLFEA di ANSYS harus menggandakan folder kerja dan dibagi menjadi beberapa bagian tergantung banyak kasus yang mau dihitung atau jangan menggunakan satu model saja.

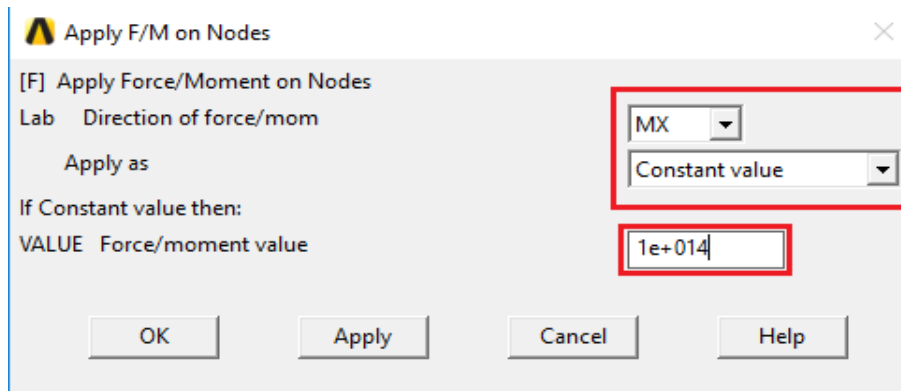
B. Cara memasukkan beban pada saat hull girder mengalami sagging

Adapun langkah yang dilakukan dengan cara **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > on Nodes** (muncul window **Apply F/M on Nodes**) seperti gambar 6.16.



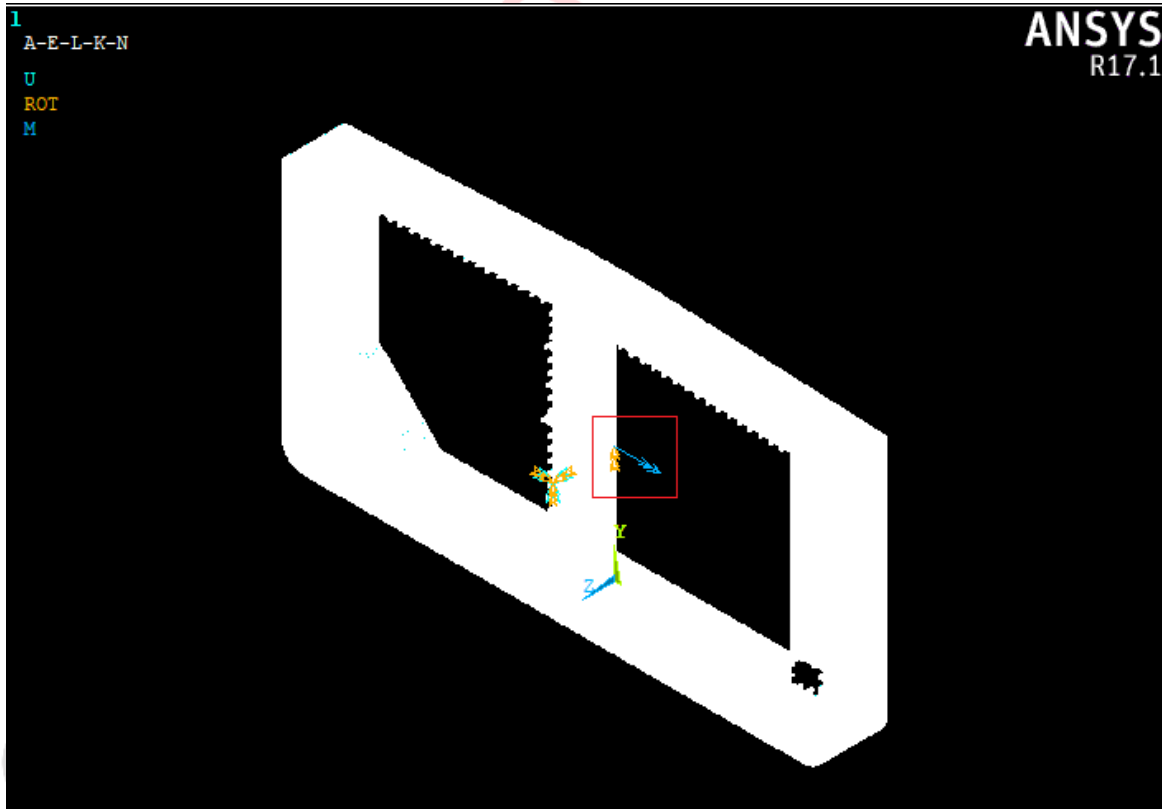
Gambar 6.16. Window apply **number** F/M on nodes

Sesuai gambar 6.16, masukkan number nodes yang ingin diberi beban lalu klik **OK** kemudian akan muncul window seperti gambar 6.17.



Gambar 6.17. Window apply **moment x** F/M on nodes

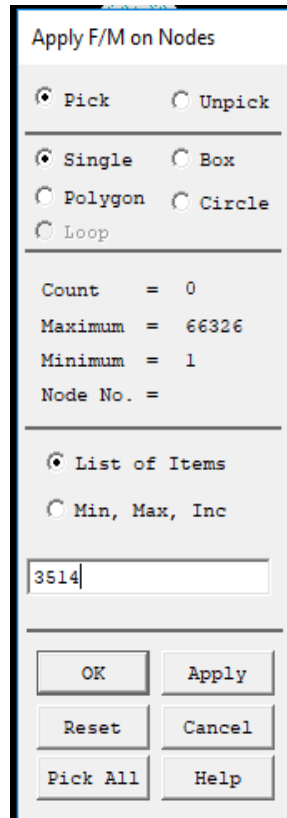
Berdasarkan gambar 6.17, pada kolom **Lab Direction of force/mom** pilih jenis beban yang ingin dimasukkan yaitu momen arah x (**MX**), pada kolom **Apply as** pilih **Constan Value** dan pada kolom **Value Force/moment value** masukkan besar momen yang ingin dimasukkan. Karena kondisi yang dihitung adalah kondisi struktur pada saat **sagging** maka arah momen yang bekerja adalah **positif**. Lalu klik **OK** maka akan muncul arah momen bekerja berwarna **biru** pada struktur hull girder seperti gambar 6.18.



Gambar 6.18. Tampilan Ansys Struktur yang telah diberi beban

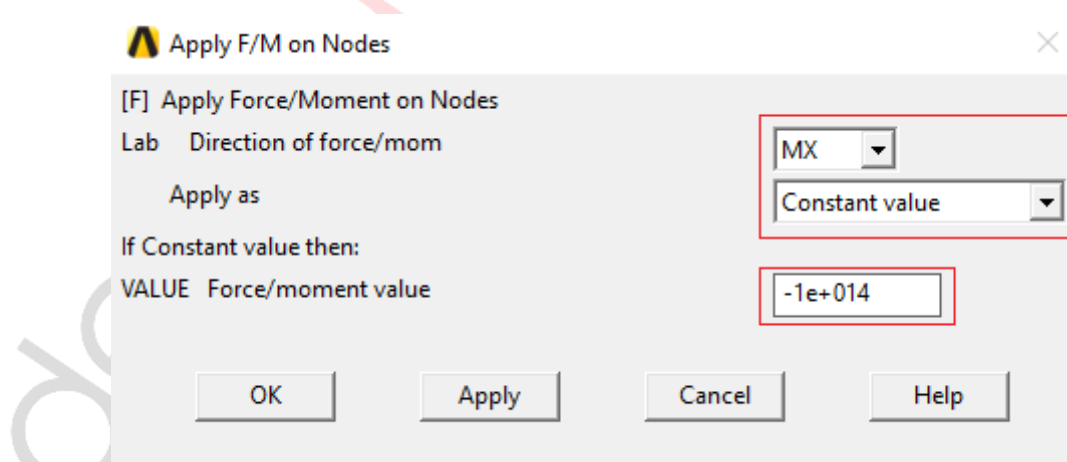
C. Cara memasukkan beban pada saat hull girder mengalami hogging

Adapun langkah yang dilakukan dengan cara **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > on Nodes** (muncul window **Apply F/M on Nodes**) seperti gambar 6.19.



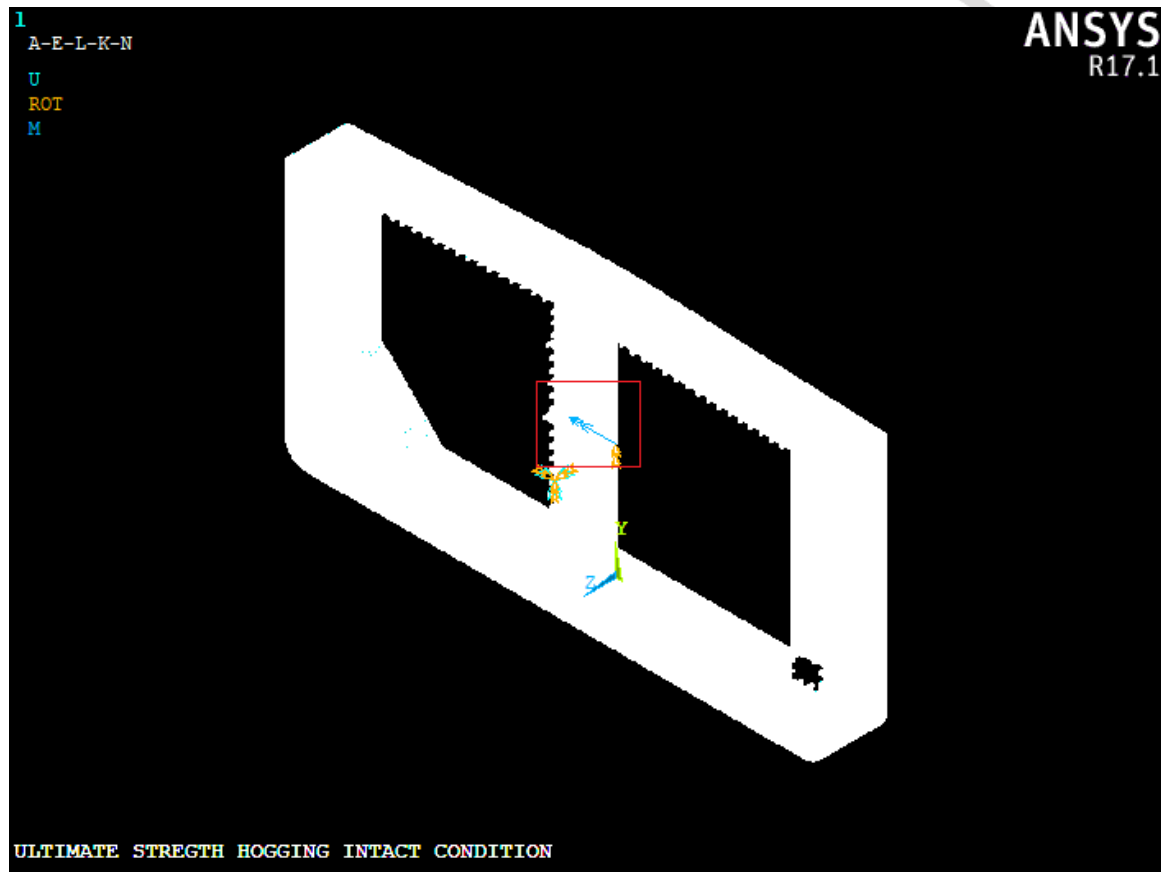
Gambar 6.19. Window apply **number** F/M on nodes

Sesuai gambar 6.19 masukkan number nodes yang ingin diberi beban lalu klik **OK** kemudian akan muncul window seperti gambar 6.20 berikut:



Gambar 6.20. Window apply **moment x** F/M on nodes

Berdasarkan gambar 6.20, pada kolom **Lab Direction of force/mom** pilih jenis beban yang ingin dimasukkan yaitu momen arah x (**MX**), pada kolom **Apply as** pilih **Constan Value** dan pada kolom **Value Force/moment value** masukkan besar momen yang ingin dimasukkan. Karena kondisi yang dihitung adalah kondisi struktur pada saat **hogging** maka arah momen yang bekerja adalah **negatif**. Lalu klik **OK** maka akan muncul arah momen bekerja berwarna **biru** pada struktur hull girder seperti gambar 6.21.



Gambar 6.21. Display ansys struktur yang telah diberi beban

Demikianlah langkah-langkah menginput kondisi batas dan pembebanan pada struktur Hull Girder.

BAB 7

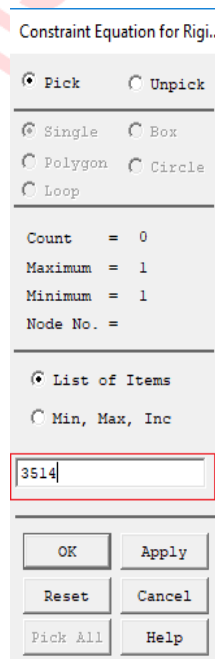
Pemusatan Beban Bekerja ke Sumbu Netral

Hal ini sangat menentukan keberhasilan proses running di ANSYS atau sebagai pelengkap dari kondisi batas pada saat menghitung kekuatan dengan menggunakan metode NLFEA di ANSYS. Adapun cara **Rigid Region** beban bekerja ke titik massa/ sumbu netral adalah **Preprocessor > Coupling/Ceqn > Rigid Region**

Dalam hal ini constrain/tumpuan pada struktur yang dibuat di ANSYS terdapat 2 sisi, yaitu bagian depan dan belakang, sehingga perlu dilakukan **Rigid Region** sebanyak 2 kali yaitu untuk arah depan (**fore**) dan belakang (**aft**) sesuai dengan titik pusat sumbu netral yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun number nodes yang dimasukkan adalah number node pada bagian depan dan *number node* pada bagian belakang dan beban yang telah diberi tumpuan.

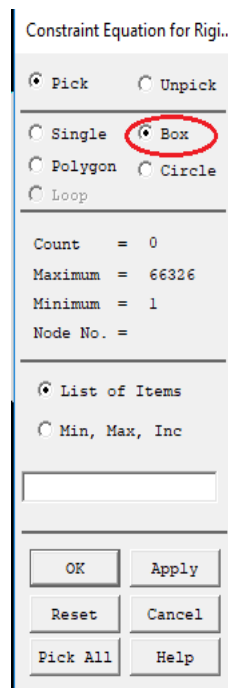
7.1. Cara Rigid Region Untuk bagian depan (fore)

Adapun cara **Rigid Region** beban bekerja ke titik massa/ sumbu netral adalah **Preprocessor > Coupling/Ceqn > Rigid Region** (muncul window **Constrain Equation for...**) seperti gambar 7.1.



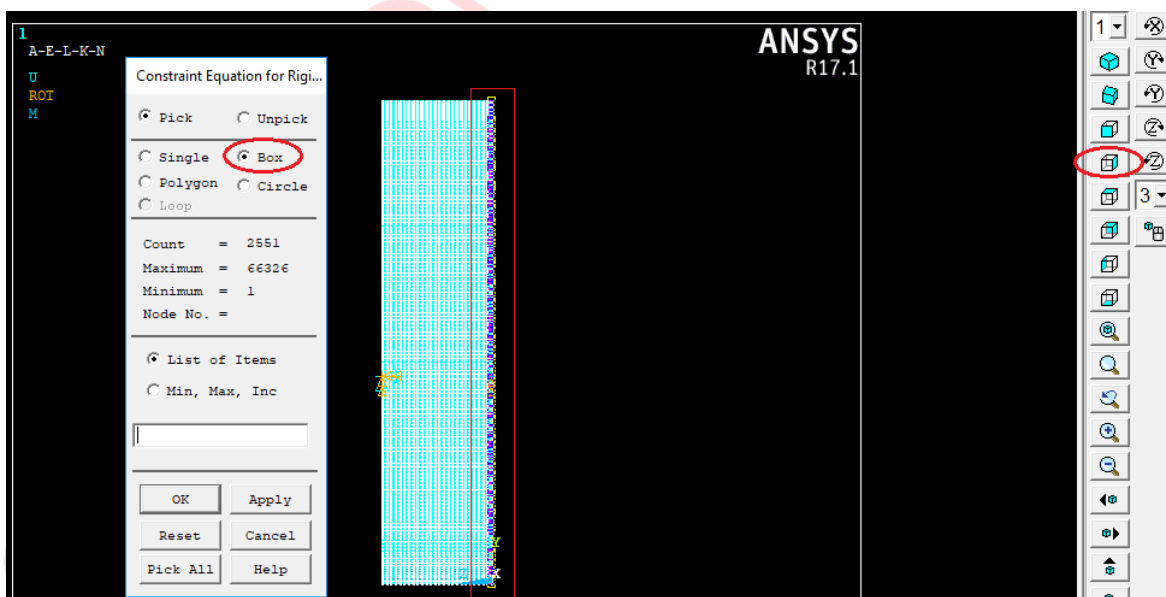
Gambar 7.1. Window apply number node constraint for rigid region

Pada gambar 7.1, masukkan **number node** yang telah menjadi titik pusat/ sumbu netral pada bagian depan struktur hull girder dengan number node (**3514**), setelah itu klik **OK** maka akan muncul window seperti gambar 7.2.



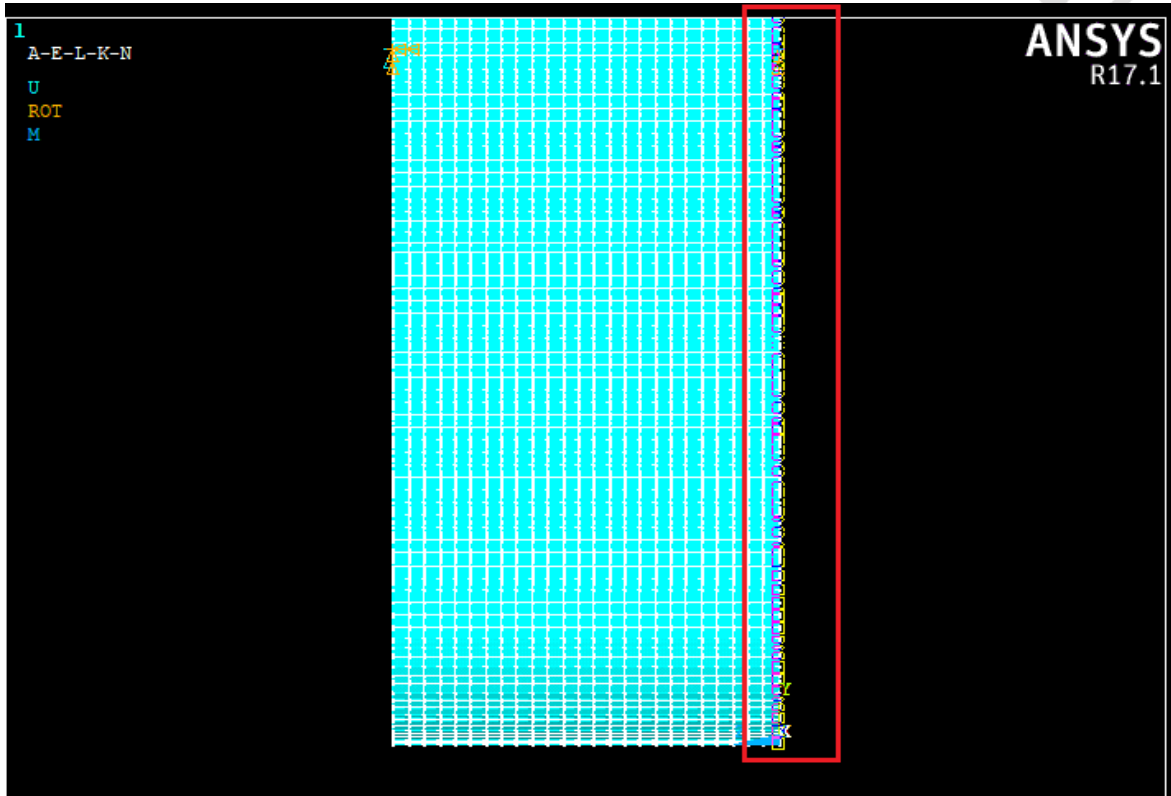
Gambar 7.2. Window klik box untuk block struktur

Berdasarkan gambar 7.2, klik **box** seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran, kemudian arahkan gambar pada mode **right view** dan **blok** bagian sisi depan kapal seperti yang ditunjukkan gambar 7.3.



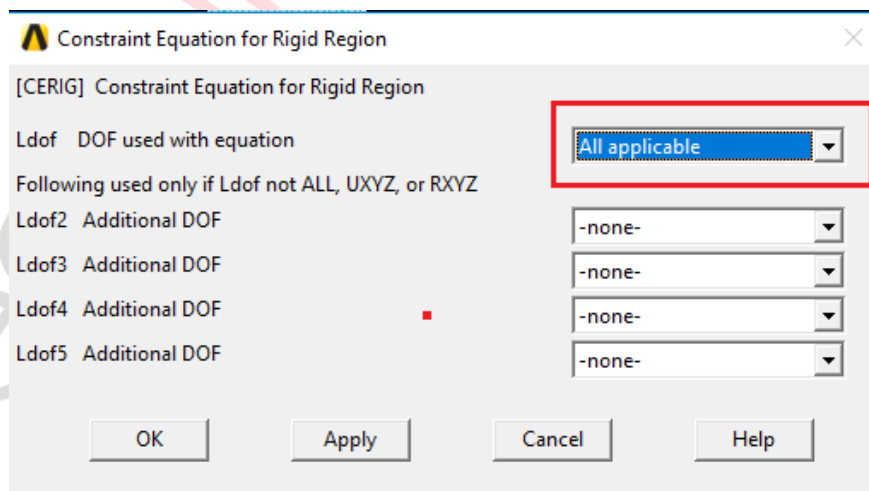
Gambar 7.3. Right view untuk daerah rigid region

Perlu diingat hanya bagian yang sejajar dengan titik sumbu netral bagian **depan** saja yang diblok selebihnya diabaikan, apabila jarak **mesh** terlalu kecil perlu dilakukan **zooming** agar tidak salah mem-**block** sisi bagian **depan** yang akan di **Rigid Region** seperti yang ditunjukkan gambar 7.4.



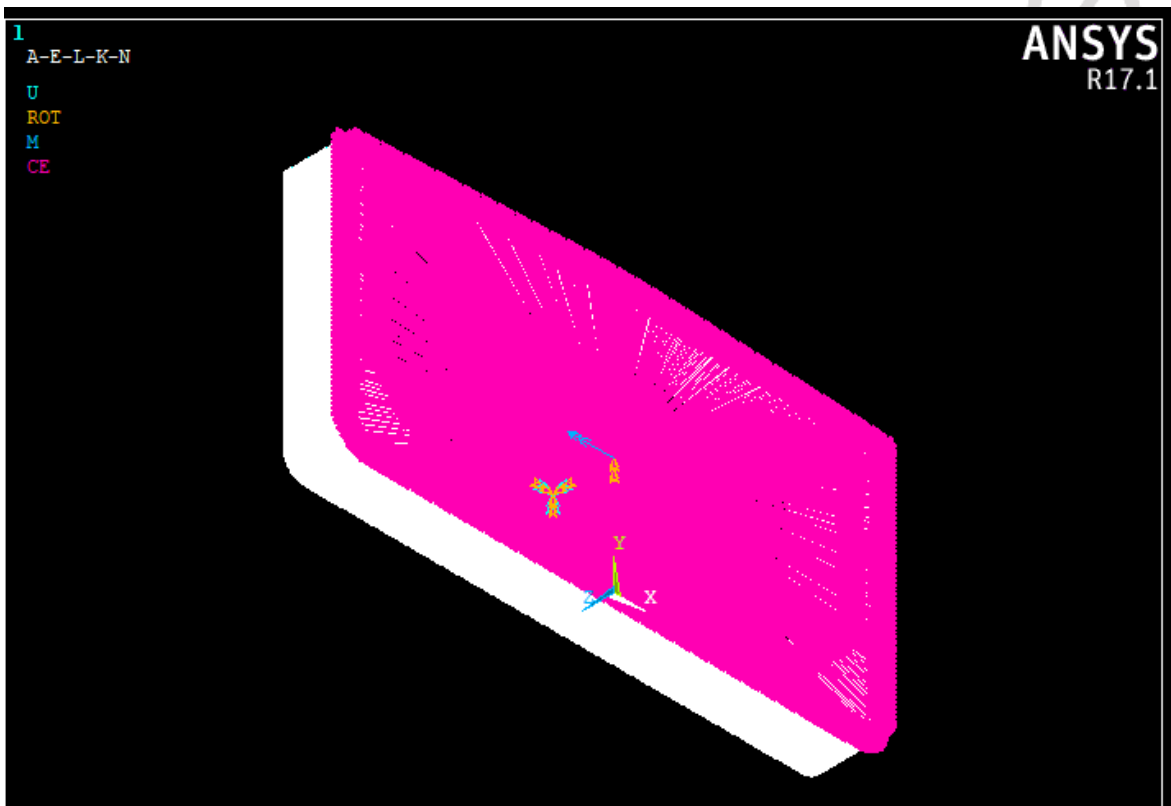
Gambar 7.4. Zooming-in struktur girder ketika rigid region

Setelah itu klik **OK** (muncul window **Constrain Equation for Rigid Region**) seperti yang ditunjukkan gambar 7.5.



Gambar 7.5. Window constrain equation for rigid region

Berdasarkan gambar 7.5, perlu diperhatikan pada kolom **Ldof DOF used with equation** pilih **All applicable** lalu klik **OK**, maka **Rigid Region** pada bagian depan struktur telah selesai seperti yang ditunjukkan gambar 7.6.

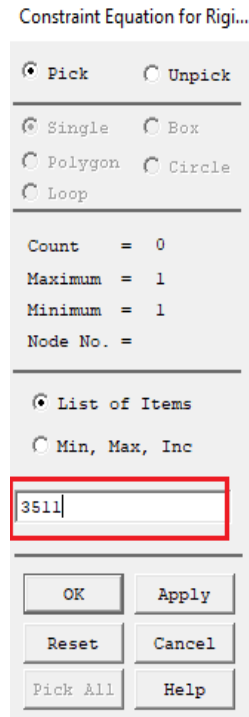


Gambar 7.6. Tampilan display ANSYS bagian depan struktur yang terigid

Demikianlah langkah-langkah **Rigid Region** bagian depan (**fore**) Hull Girder.

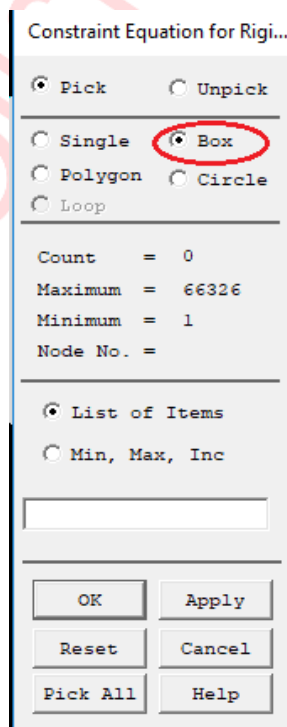
7.2. Cara Rigid Region Untuk bagian belakang (**aft**)

Adapun cara **Rigid Region** beban bekerja ke titik massa/ sumbu netral adalah **Preprocessor > Coupling/Ceqn > Rigid Region** (muncul window **Constrain Equation for...**) seperti gambar 7.7.



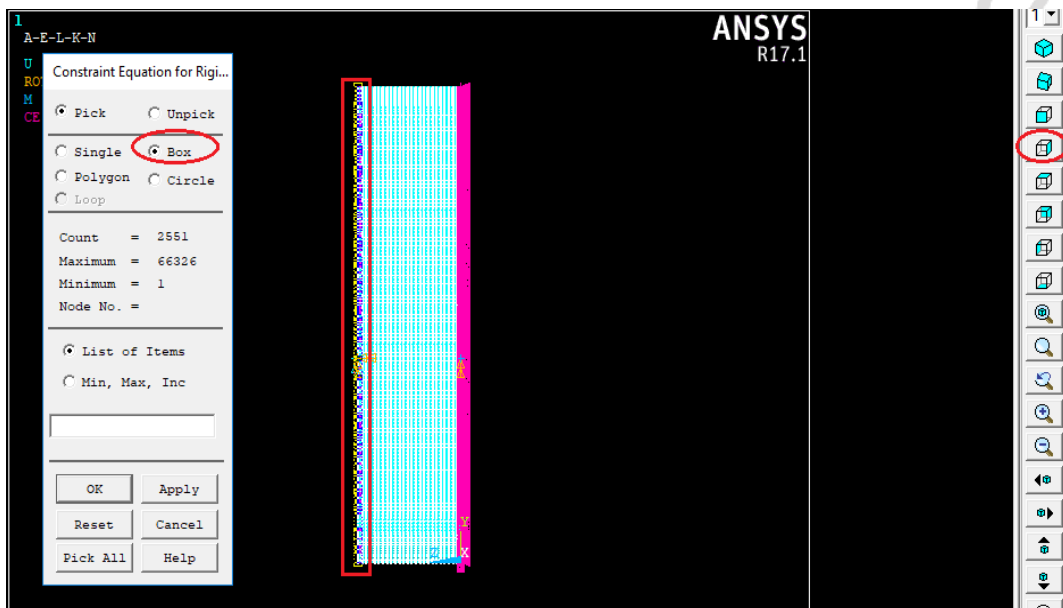
Gambar 7.7. Window apply number node constraint for rigid region

Pada gambar 7.7, masukkan number node yang telah menjadi titik pusat/ sumbu netral pada bagian belakang struktur Hull Girder dengan number node (3511), setelah itu klik **OK** maka akan muncul window seperti gambar 7.8.



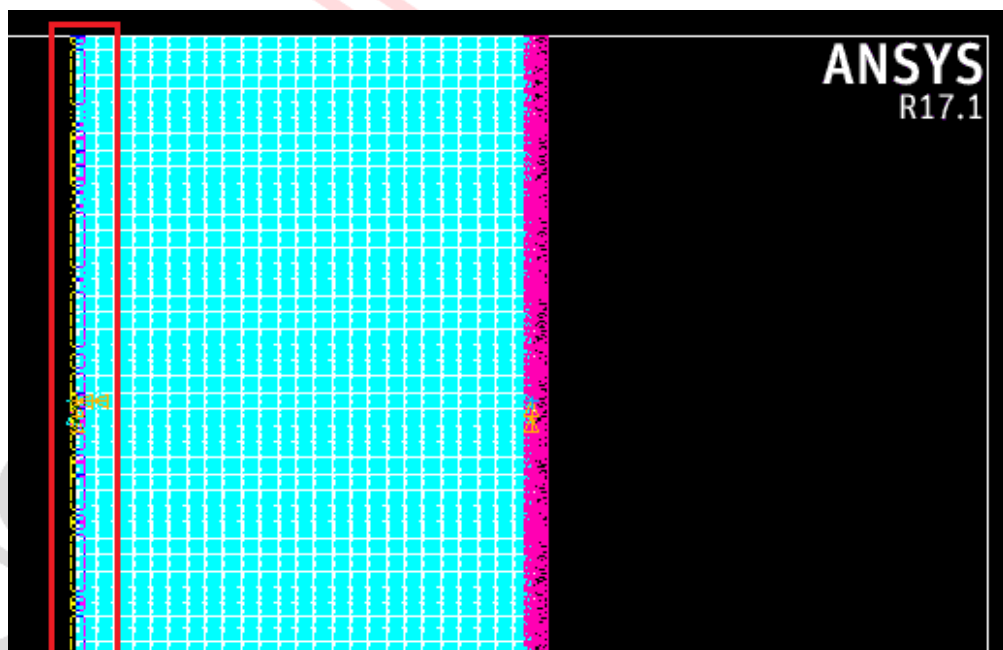
Gambar 7.8. Window klik box untuk block struktur

Berdasarkan gambar 7.8, klik box seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran, kemudian arahkan gambar pada mode **right view** dan **blok** bagian sisi belakang kapal seperti yang ditunjukkan gambar 7.9 berikut.



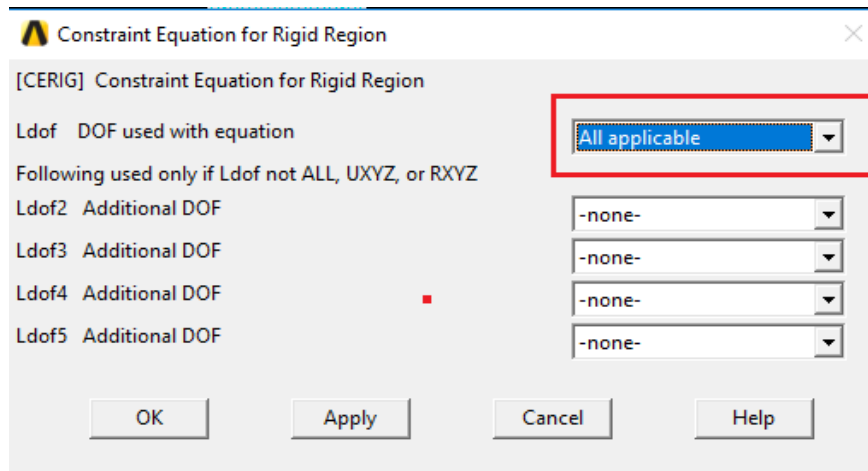
Gambar 7.9. Right view untuk daerah rigid region

Perlu diingat hanya bagian yang sejajar dengan titik sumbu netral axis bagian **belakang** saja yang di-**blok** selebihnya diabaikan, apabila jarak **mesh** terlalu kecil perlu dilakukan **zooming** agar tidak salah mem-**blok** sisi bagian **belakang** yang akan di **Rigid Region** seperti yang ditunjukkan gambar 7.10.



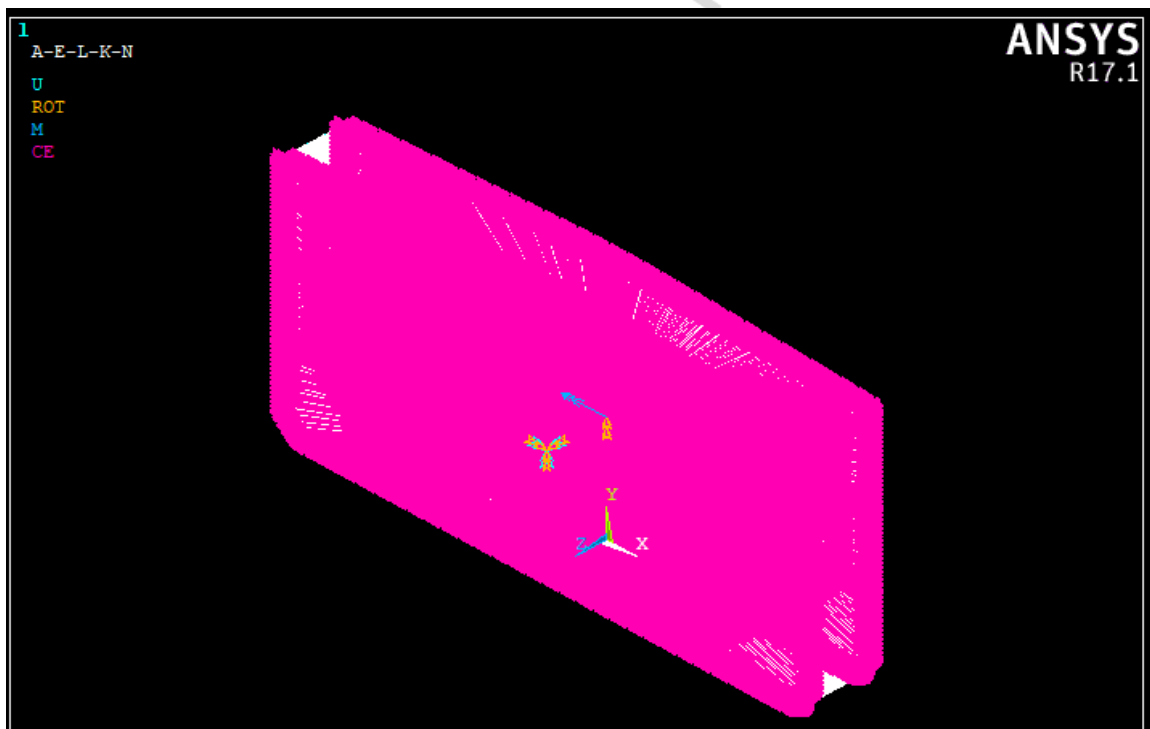
Gambar 7.10. Zooming in struktur girder ketika rigid region

Setelah itu klik **OK** (muncul window **Constrain Equation for Rigid Region**) seperti yang ditunjukkan gambar 7.11.



Gambar 7.11. Window constrain equation for rigid region

Berdasarkan gambar 7.11, perlu diperhatikan pada kolom **Ldof DOF used with equation** pilih **All applicable** lalu klik **OK**, maka **Rigid Region** pada bagian belakang struktur telah selesai seperti yang ditunjukkan gambar 7.12.



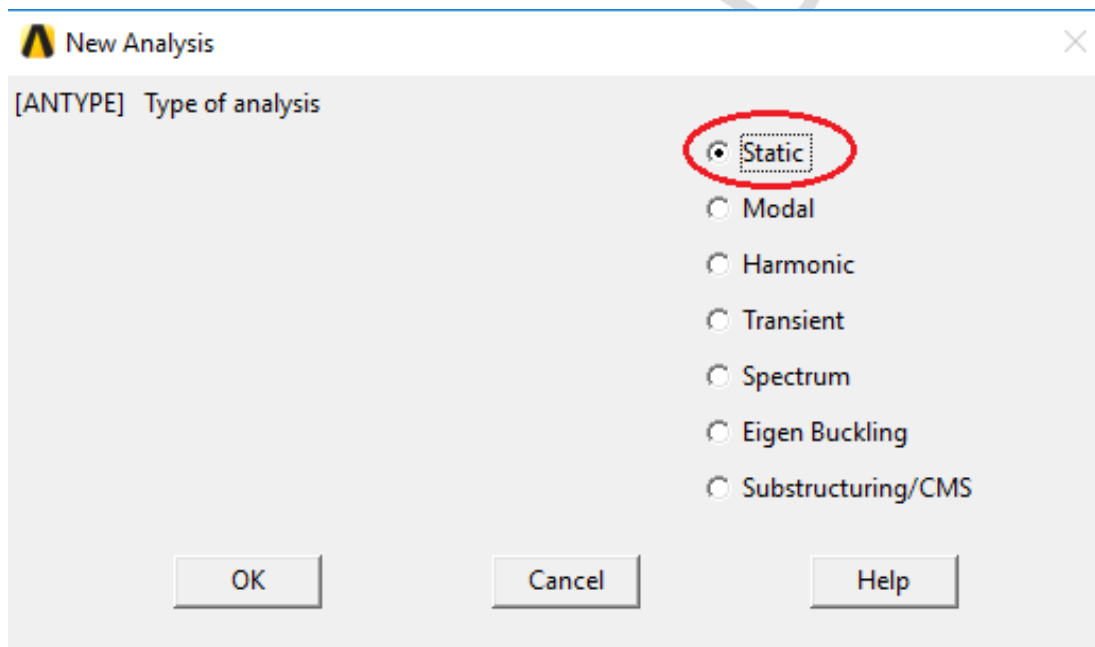
Gambar 7.12. Tampilan ansys bagian belakang struktur yang terigid

Demikianlah langkah-langkah **Rigid Region** bagian depan (**fore**) belakang (**aft**) Hull Girder.

BAB 8

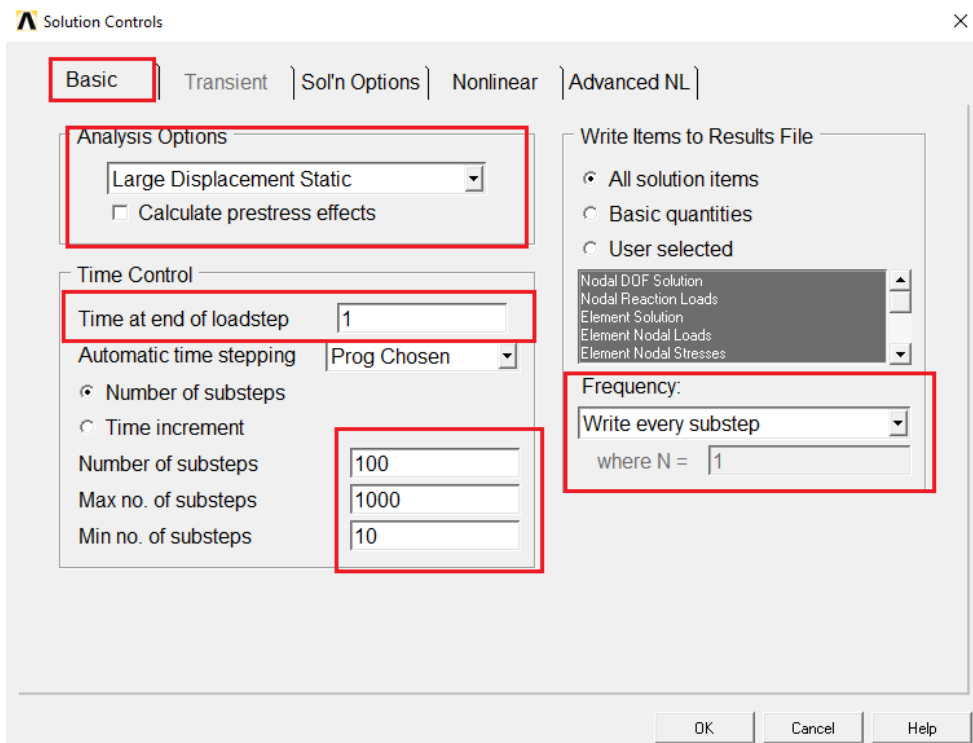
Running Program

Sebelum melakukan proses running, perlu mengatur (setting) proses analisis yang akan dilakukan. Adapun caranya adalah klik **Solution** > **Analysis Type** > **New Analysis** (muncul window **New Analysis**), klik **Static** kemudian klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 8.1.



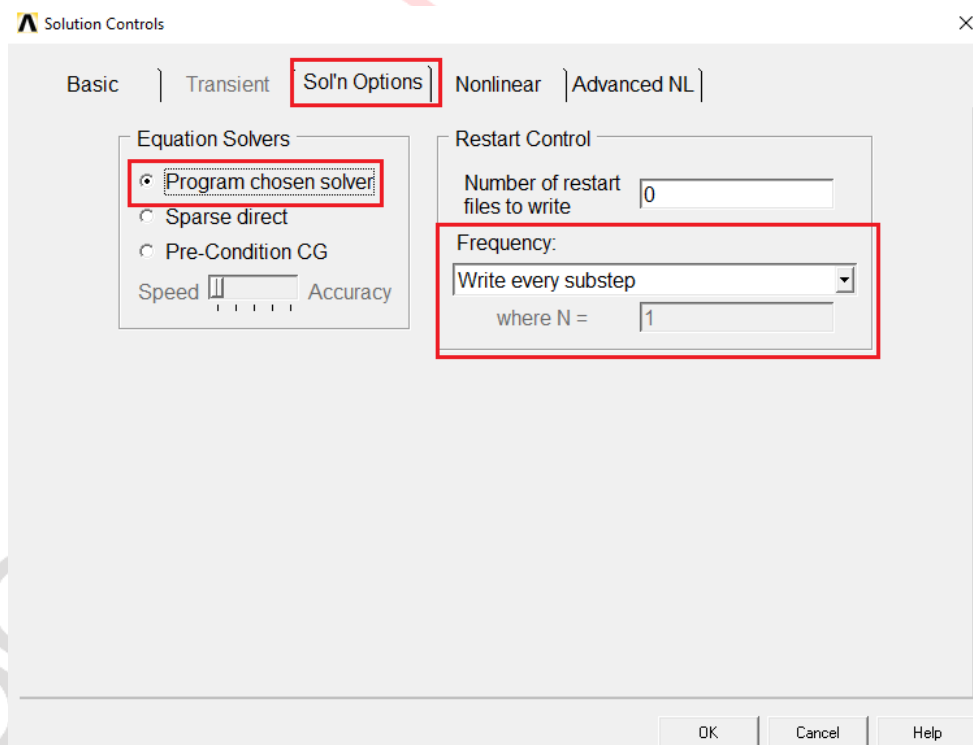
Gambar 8.1. Window new analysis

Setelah men-*setting* **New Analysis**, selanjutnya adalah klik **Solution** > **Analysis Type** > **Sol'n Control** (muncul window **Solution Controls**) seperti gambar 8.2.



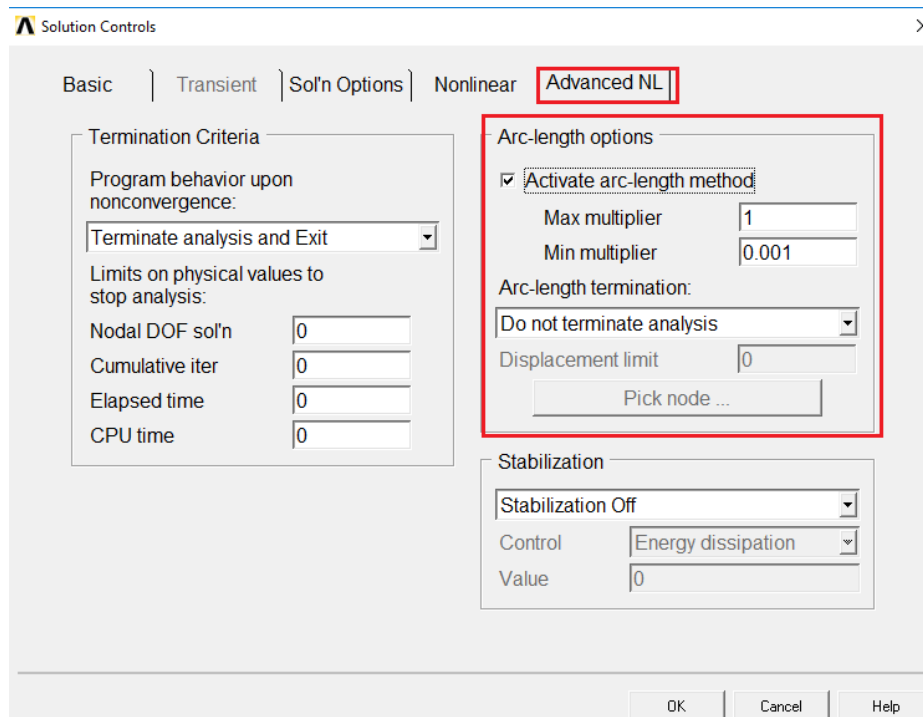
Gambar 8.2. Window basic setting untuk running

Gambar 8.2 menunjukkan settingan untuk **Basic control**. Settingan selanjutnya adalah **Sol'n Options** seperti yang ditunjukkan gambar 8.3.



Gambar 8.3. Window sol'n option setting untuk running

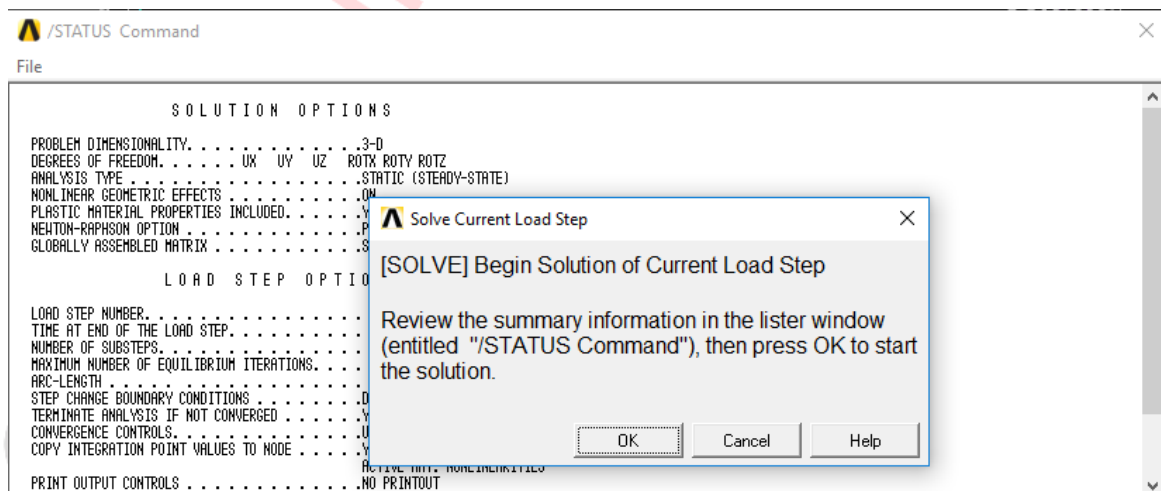
Setelah **Sol'n Options** disetting, selanjutnya menuju ke settingan **Advanced NL** Seperti yang ditunjukkan gambar 8.4.



Gambar 8.4. Window sol'n option setting untuk running

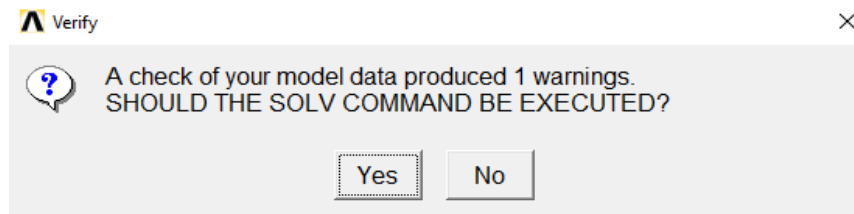
Setelah langkah-langkah settingan diatas telah dilakukan kemudian klik **Ok**

Langkah-langkah yang sudah dilakukan di atas, akan dicek apakah sudah berhasil dilakukan dengan cara mengeksekusinya. Dengan cara **Solution > Solve > Current LS** (muncul window **Status**) lalu klik **OK** (muncul window **Solve Current Load Step**) seperti yang ditunjukkan gambar 8.5.



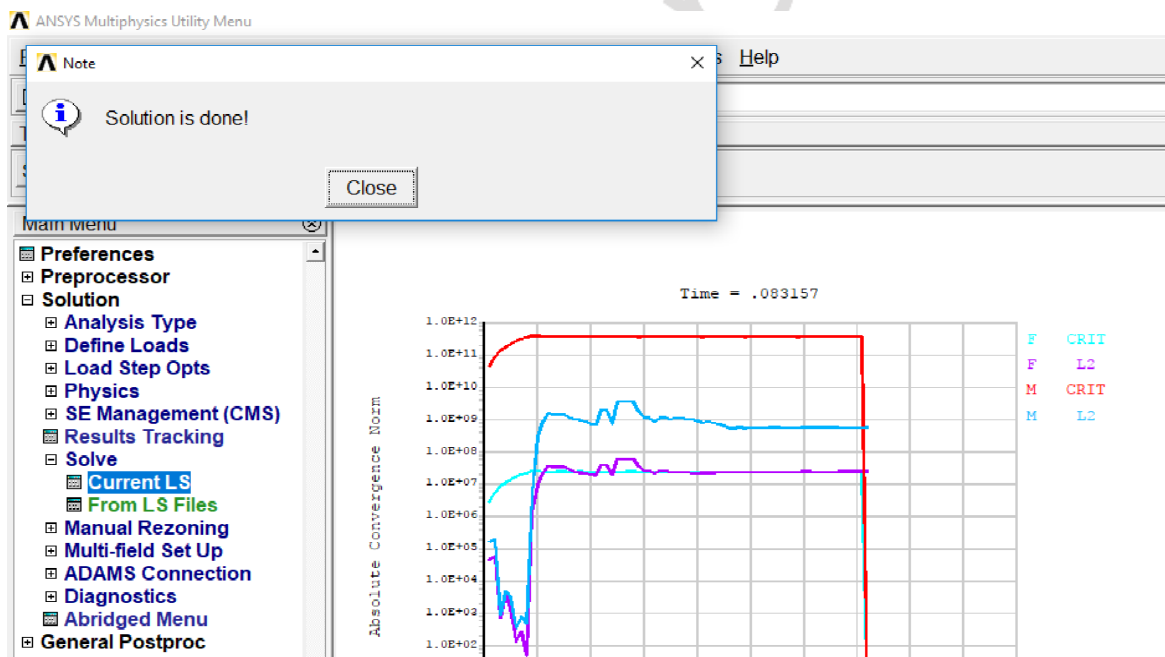
Gambar 8.5. Window solve current load step

Dari gambar 8.5, window **/STATUS Command** bisa di-close saja agar tidak menghalangi display running, kemudian klik **Ok** akan muncul window **Verify**, lalu klik **Yes**. Seperti yang ditunjukkan gambar 8.6.



Gambar 8.6. Window vierify sebelum running

Setelah proses running selesai ANSYS akan mengeluarkan pemberitahuan **SOLUTION DONE**. Apabila proses running bermasalah, maka muncul pemberitahuan pada layar monitor, adapun proses running yang berhasil dapat dilihat pada gambar 8.7 berikut:



Gambar 8.7. Window note running done

Pada gambar 8.7 menunjukkan bahwa kekuatan batas Hull Girder telah mencapai/ melampaui kekuatannya yang ditunjukkan pada grafik yang turun secara drastis. Apabila grafik **analysis** belum mencapai kekuatannya, maka perlu dikoreksi kembali pemberian beban pada Struktur Hull Girder yang di-*analysis*.

Demikianlah tata cara analisis kekuatan batas Hull Girder dengan menggunakan metode Non Linear Finite Element Analysis (**NLFEA**) di ANSYS.

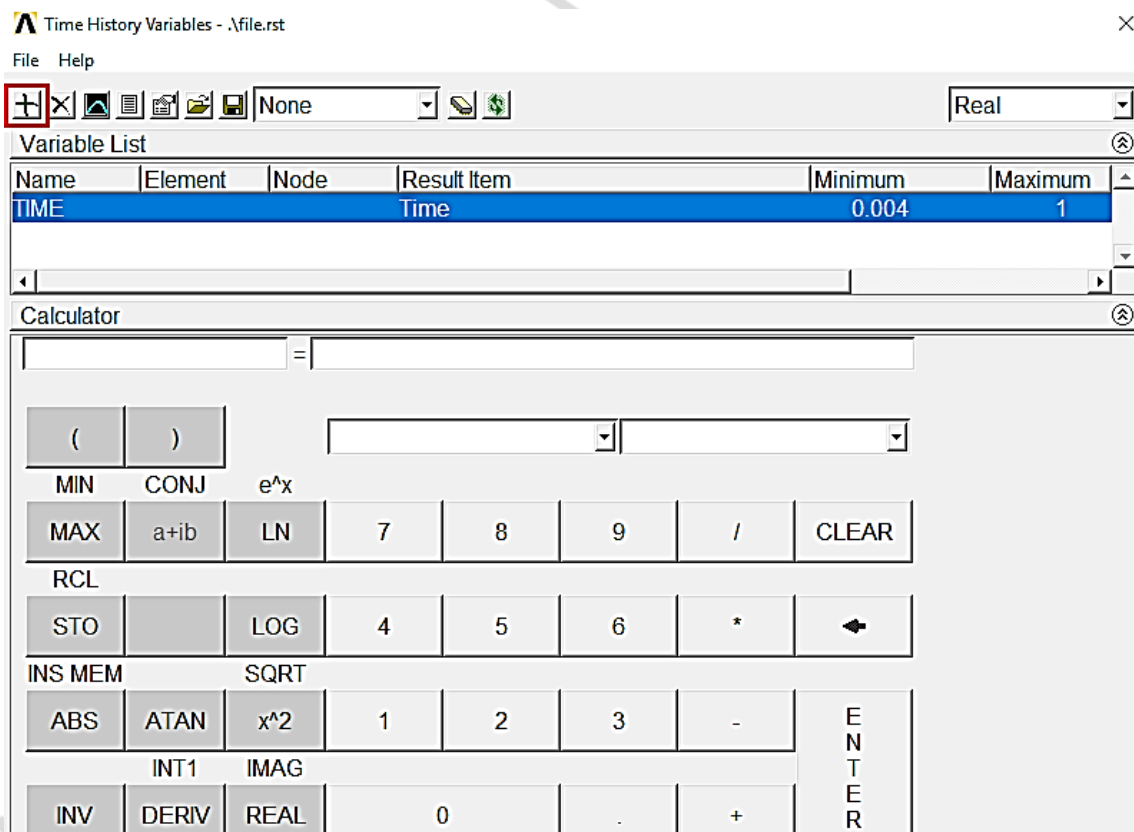
BAB 9

Tampilan Deformasi Struktur

Pada kasus ini analisis yang dilakukan adalah mencari nilai kekuatan batas Hull Girder ketika struktur mengalami kondisi **Hogging** dan **Sagging**.

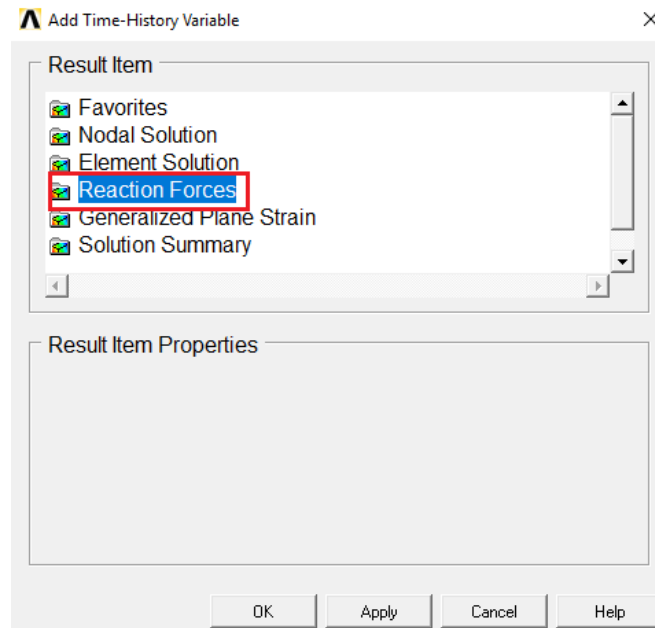
9.1. Cara menampilkan deformasi struktur hull girder saat Ultimate Strength kondisi Sagging

Adapun langkah-langkah melihat bentuk deformasi yang diakibatkan Ultimate Strength di ANSYS yaitu: klik **TimeHist Prospoc** (muncul window **Time History Variabels**) seperti pada gambar 9.1.



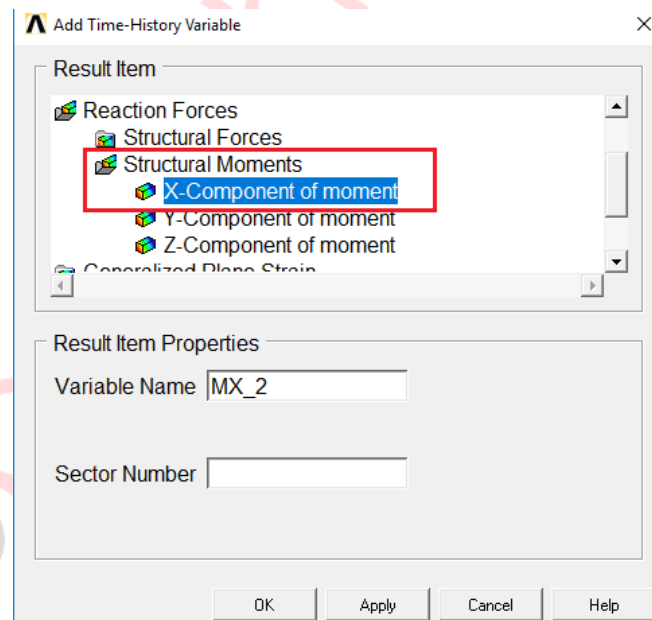
Gambar 9.1. Window time history variables

Lalu klik **Add** yang diberi kotak pada gambar 9.1 (muncul window **Add Time History Variabels**)



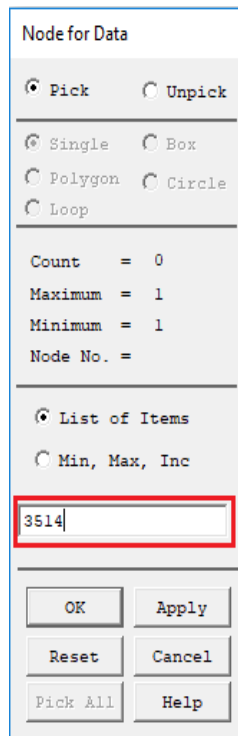
Gambar 9.2. Window add time-history variable (reaction force)

Pada gambar 9.2, pada kolom **Result Item** klik **Reaction Forces** kemudian akan muncul 2 option yaitu **Struktural Forces** dan **Struktural Moments** lalu klik **Struktural Moments** kemudian pilih **X-Component of moment** lalu klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 9.3.



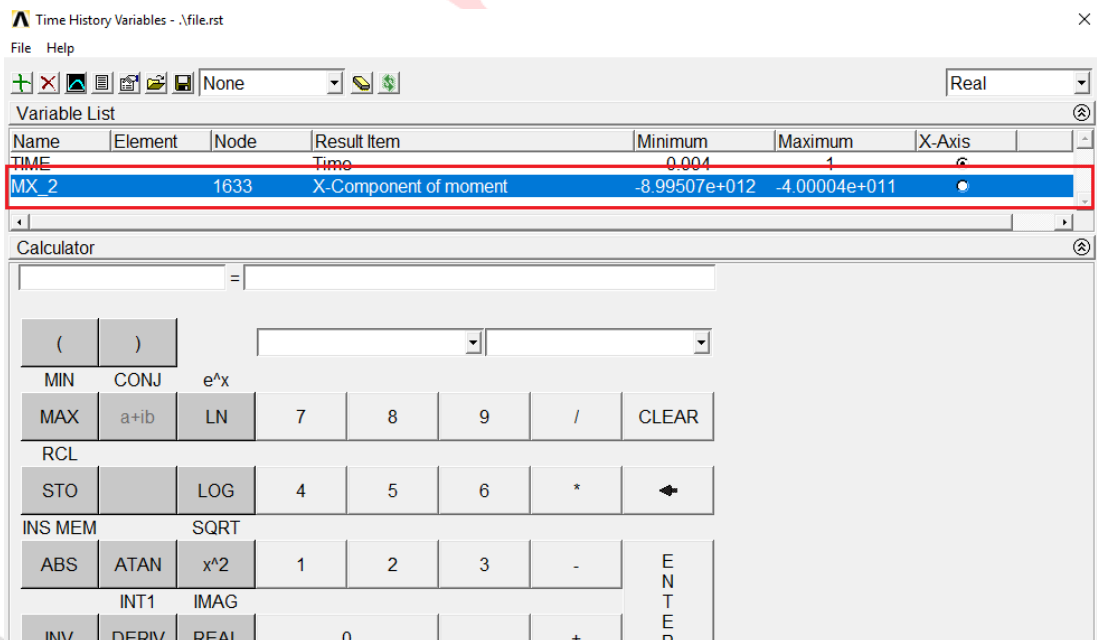
Gambar 9.3. Window add time-history variable (x-component of moment)

Setelah langkah di atas selesai akan muncul window **Node For Data** kemudian masukkan **Number Node** yang diikat full/**All DOF** lalu klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 9.4.



Gambar 9.4. Window node for data

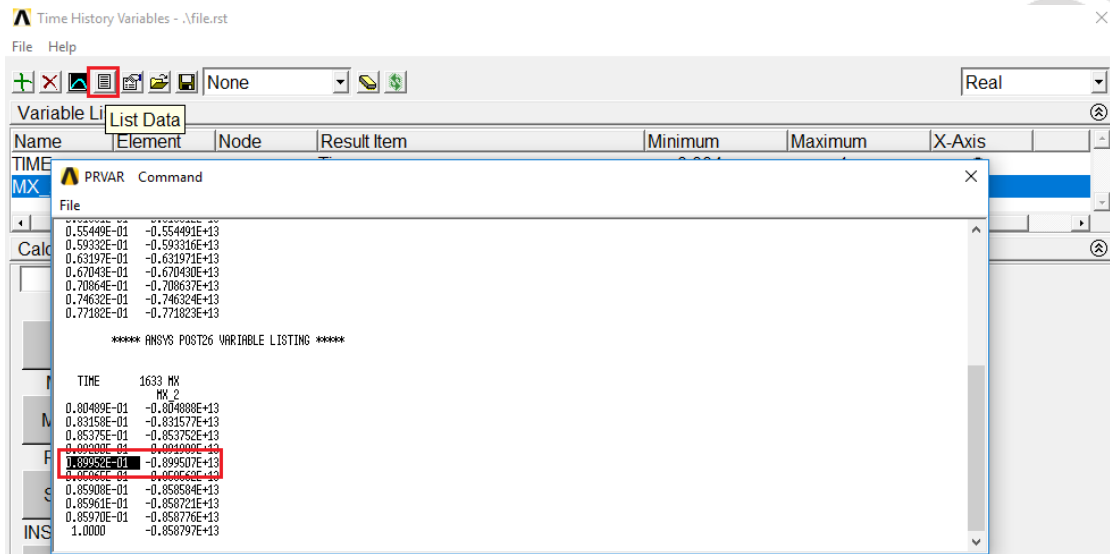
Setelah itu akan muncul nilai-nilai momen yang bekerja pada Hull Girder pada window **Time History Variabels** seperti yang ditunjukkan gambar 9.5.



Gambar 9.5. Time history variables yang telah terisi nilai momen

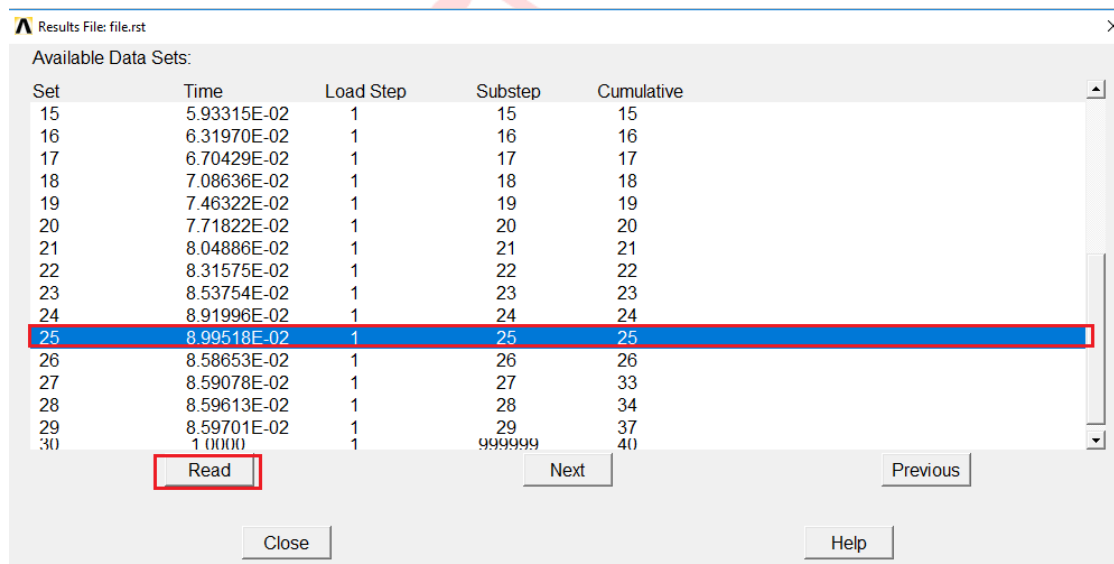
Gambar 9.5 merupakan hasil running struktur Hull Girder pada saat sagging yang mengakibatkan Ultimate Strenght. Kemudian langkah selanjutnya klik **List Data** kemudian

akan muncul Window **PRIVAR Command** yang merupakan nilai-nilai momen bekerja dan cari nilai momen terbesar dan waktunya. Seperti yang ditunjukkan gambar 9.6.



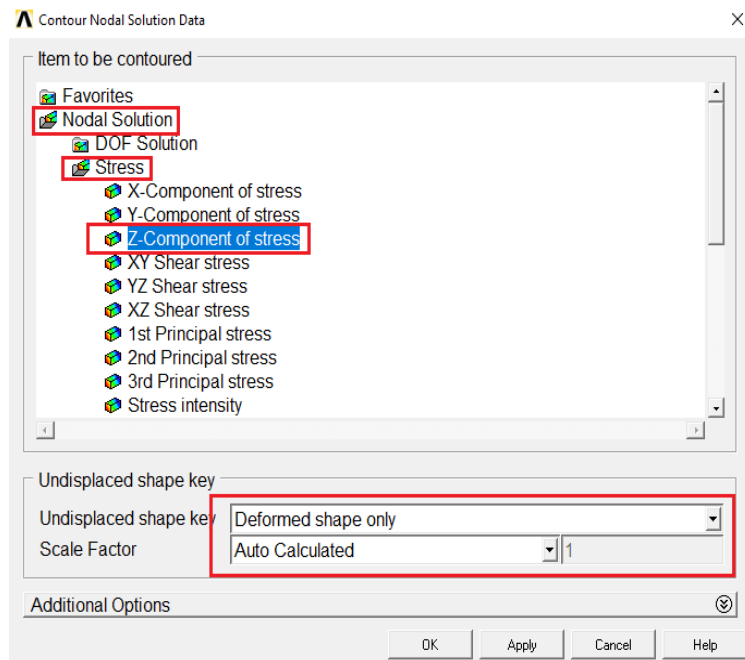
Gambar 9.6. Window list data momen

Setelah mengetahui besar nilai Ultimate Strength dan waktunya langkah selanjutnya klik **General PostProc > Read Result > By Pick** (muncul window **Result File**) lalu cari detik terjadinya Ultimate Strength yang diketahui sebelumnya lalu klik **Read** lalu **Close** seperti ditunjukkan gambar 9.7 berikut:



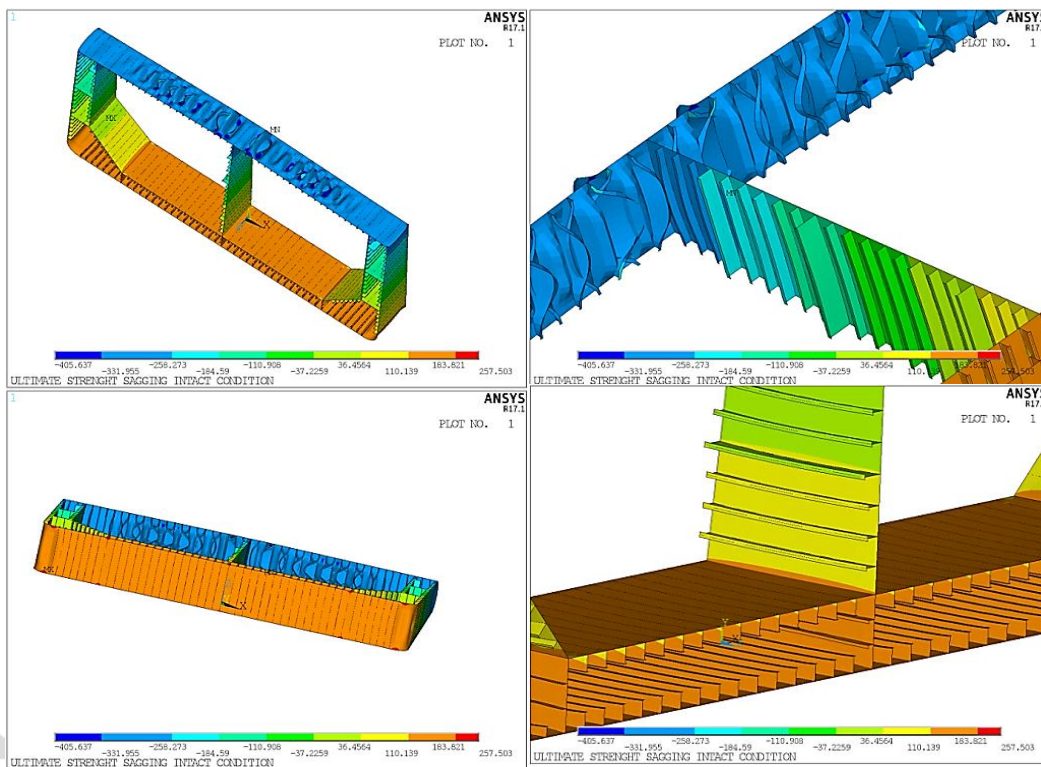
Gambar 9.7. Window result file

Setelah itu klik **General PostProc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu** (muncul window **Nodal Solution Data**) kemudian klik **Nodal Solution > Stress > Z-Component of Stress** lalu klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 9.8.



Gambar 9.8. Window contour nodal solution data

Setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan benar, maka deformasi yang diakibatkan Ultimate Strength ketika **Sagging** akan muncul seperti gambar 9.9.



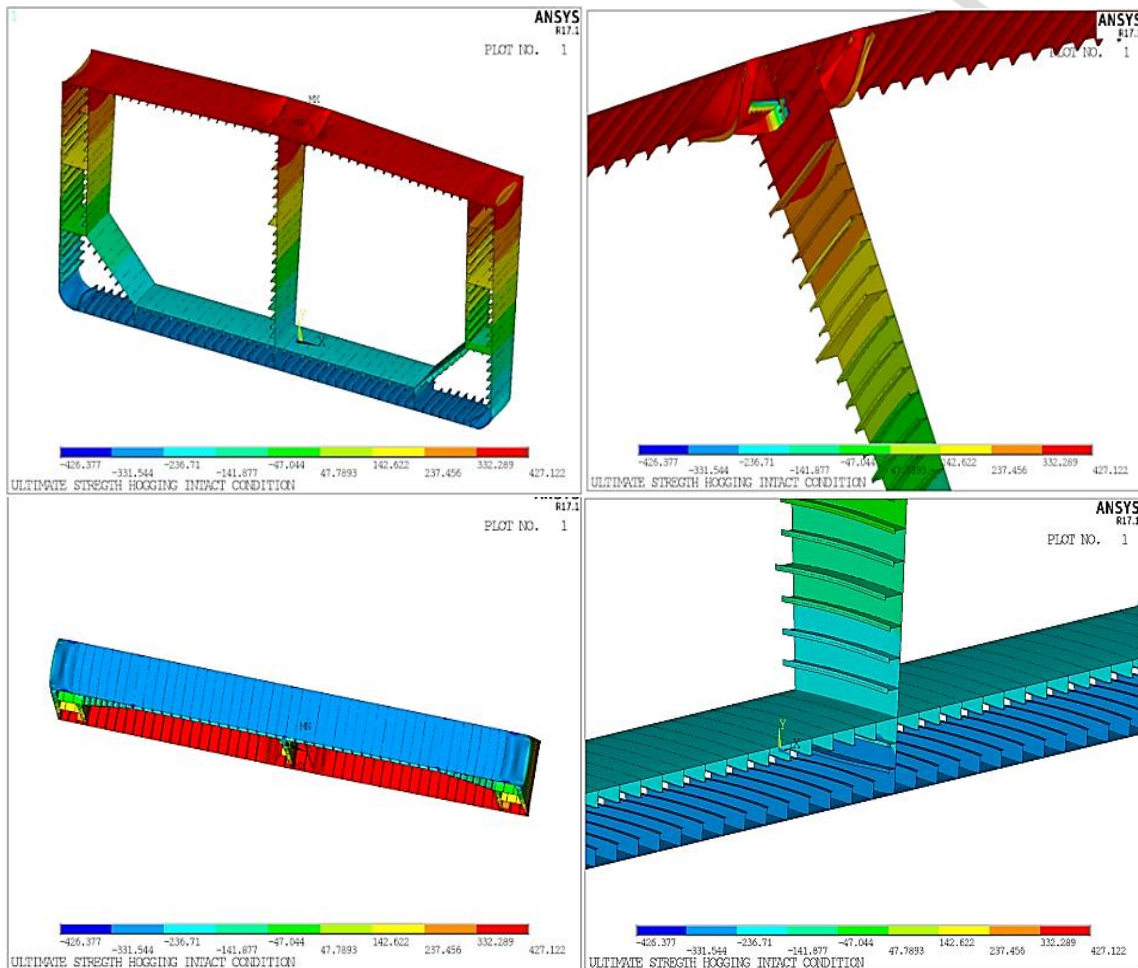
Gambar 9.9. Deformasi Hull Girder kondisi sagging

Demikianlah cara menampilkan bentuk Deformasi yang dialami struktur Hull Girder.

9.2. Cara menampilkan deformasi struktur hull girder saat Ultimate Strength kondisi Hogging

Lakukan hal yang sama untuk mencari bentuk deformasi akibat Ultimate Strength pada saat **Hogging**.

Adapun bentuk deformasi struktur hull girder akibat ultimate Strength pada saat **Hogging** dapat dilihat pada gambar 9.10 berikut:

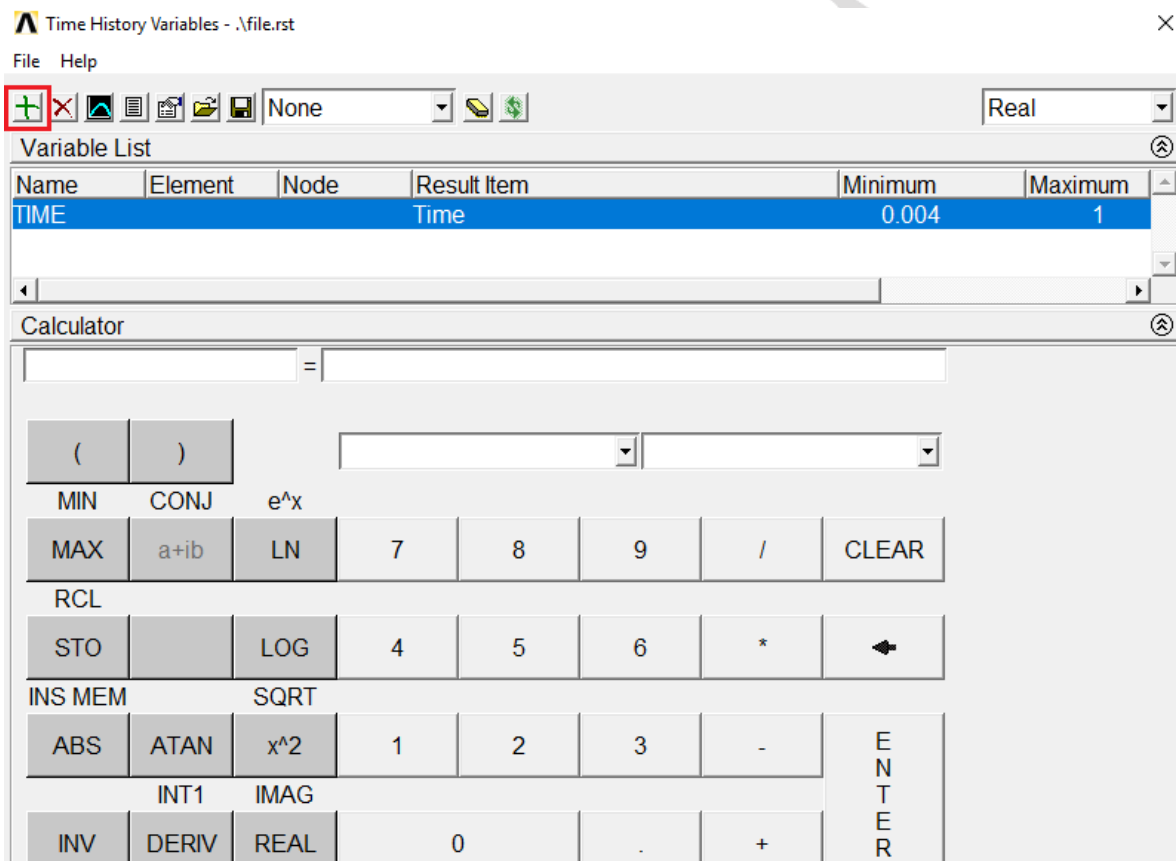


Gambar 9.10. Deformasi Hull Girder kondisi hogging

BAB 10

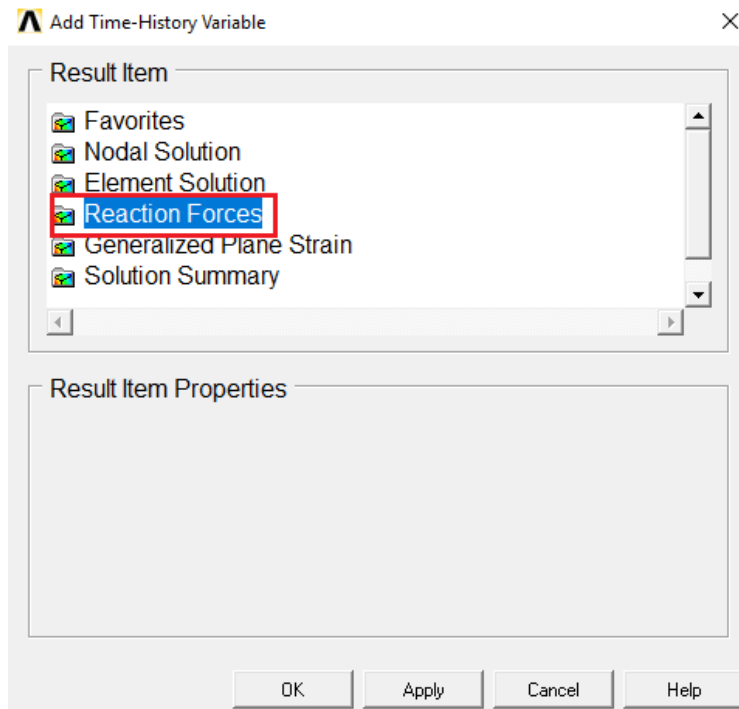
Tampilan Grafik Momen-Rotasi

Adapun langkah-langkahnya, yakni mengambil nilai Momen di ANSYS adalah mengklik TimeHist Prospoc muncul window Time History Variabels. Seperti pada gambar 10.1.



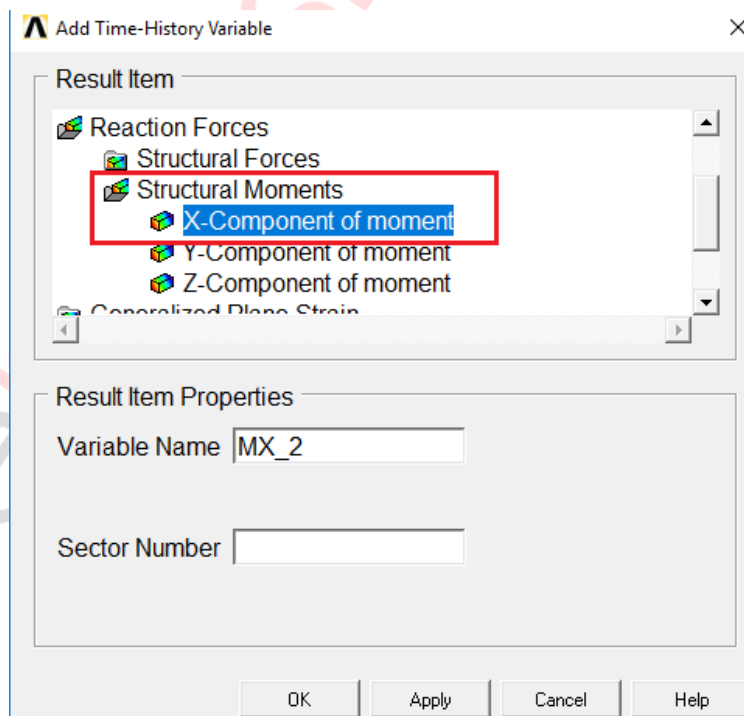
Gambar 10.1. Window time history variables belum terisi nilai momen

Lalu klik **Add** yang ditunjukkan kotak merah pada gambar 10.1 muncul window Add Time History Variabels seperti gambar 10.2.



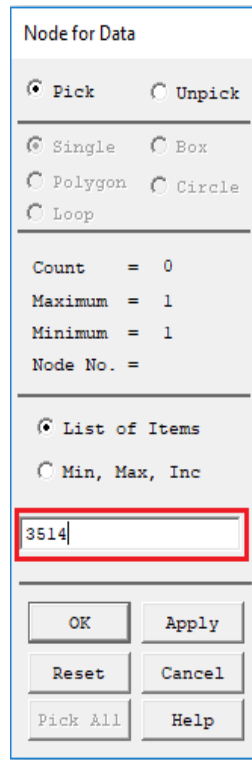
Gambar 10.2. Window add time-history variable (reaction force)

Pada gambar 10.2, pada kolom Result Item klik Reaction Forces kemudian akan muncul 2 option yaitu **Structural Forces** dan **Structural Moments** lalu klik **Structural Moments** kemudian pilih **X-Component of moment** lalu klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 10.3.



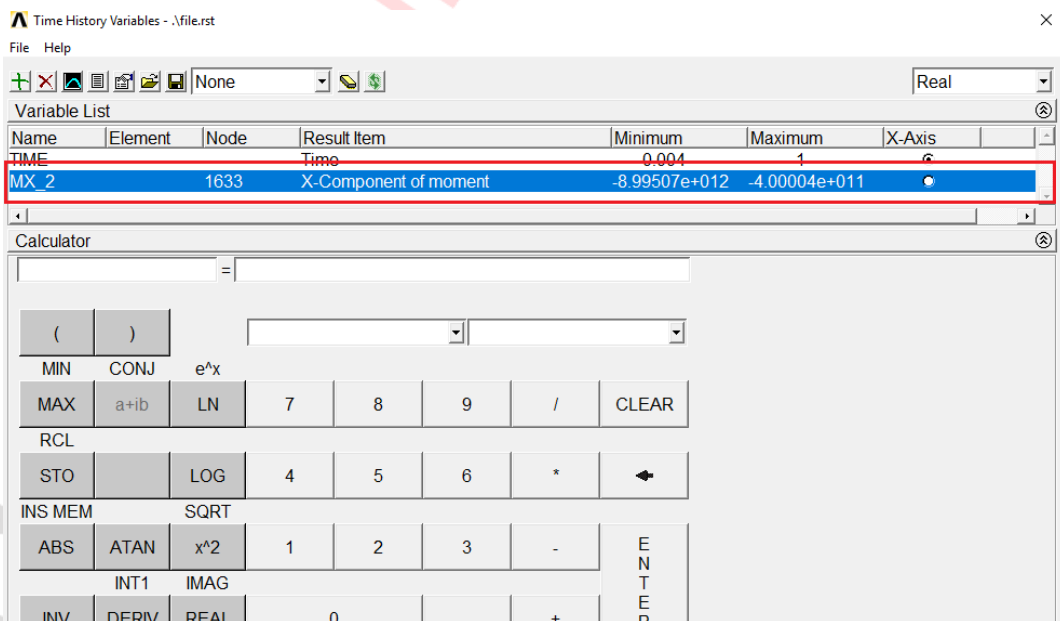
Gambar 10.3. Window add time-history variable (reaction force)

Setelah langkah tersebut selesai akan muncul **window Node For Data** kemudian masukkan **Number Node** yang diikat **full/All DOF** lalu klik **Ok** seperti yang ditunjukkan gambar 10.4.



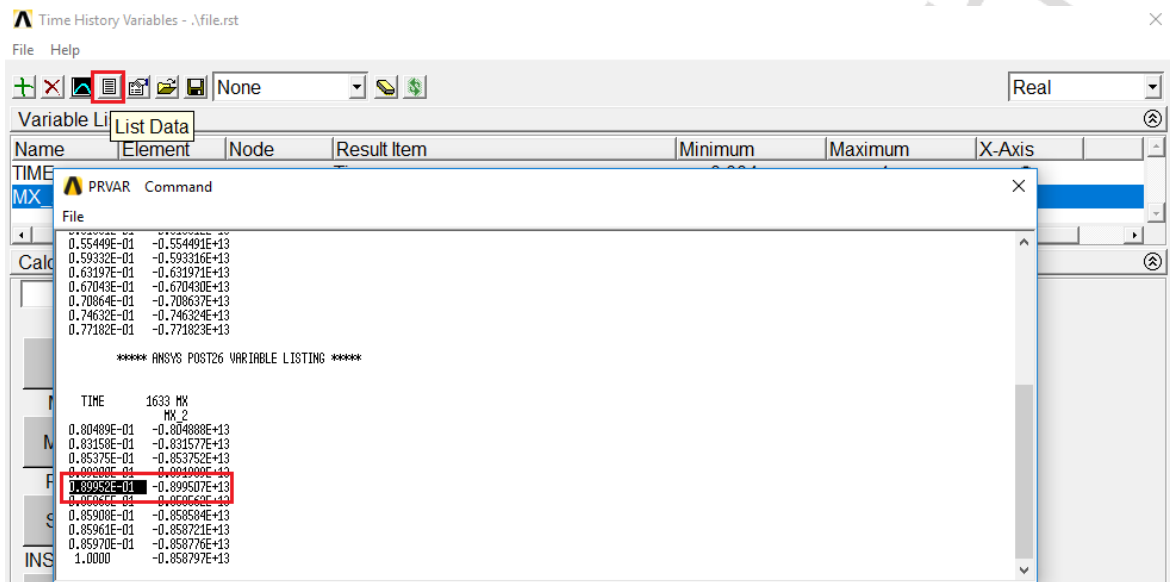
Gambar 10.4. Window node for data

Setelah itu akan muncul nilai-nilai momen yang bekerja pada Hull Girder pada window **Time History Variables** seperti yang ditunjukkan gambar 10.5.



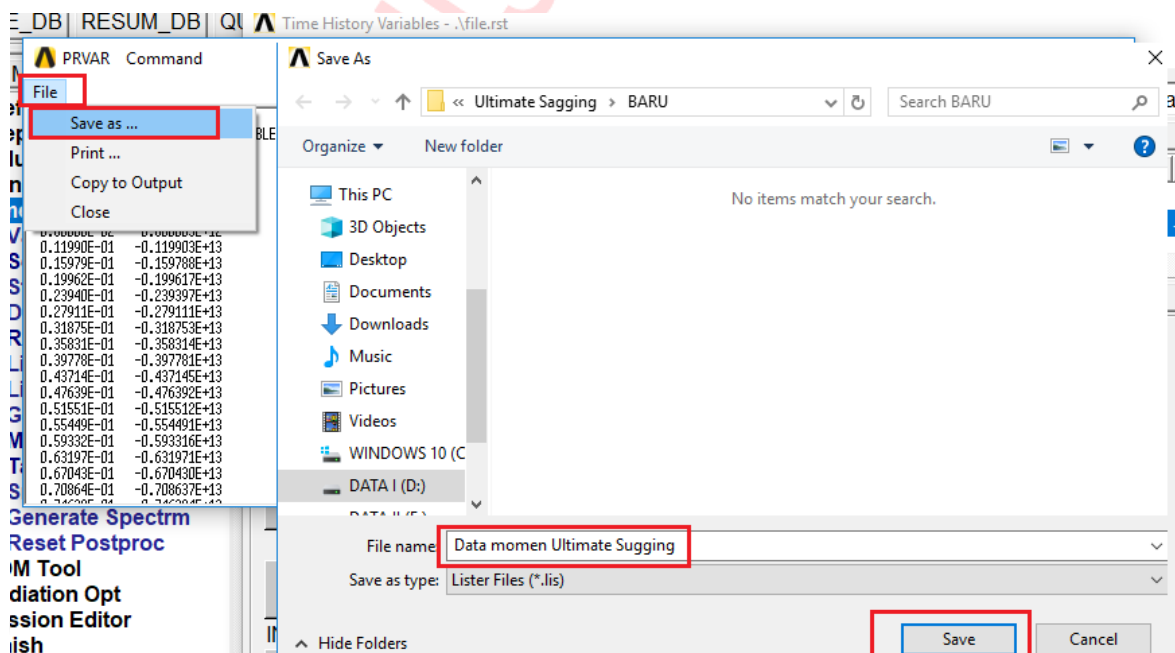
Gambar 10.5. Time history variables yang telah terisi nilai momen

Gambar 10.5 merupakan hasil running struktur Hull Girder pada saat **sagging** yang mengakibatkan **Ultimate Strenght**. Kemudian langkah selanjutnya klik **List Data** kemudian akan muncul **Window PRIVAR Command** yang merupakan nilai-nilai momen bekerja dan cari nilai momen terbesar dan waktunya. Seperti yang ditunjukkan gambar 10.6.



Gambar 10.6. Window list data nilai momen Hull Girder

Setelah list data klik File > Save as (muncul window Save As) ganti nama dan lokasi file sesuai yang diinginkan lalu klik Save Seperti gambar 10.7.

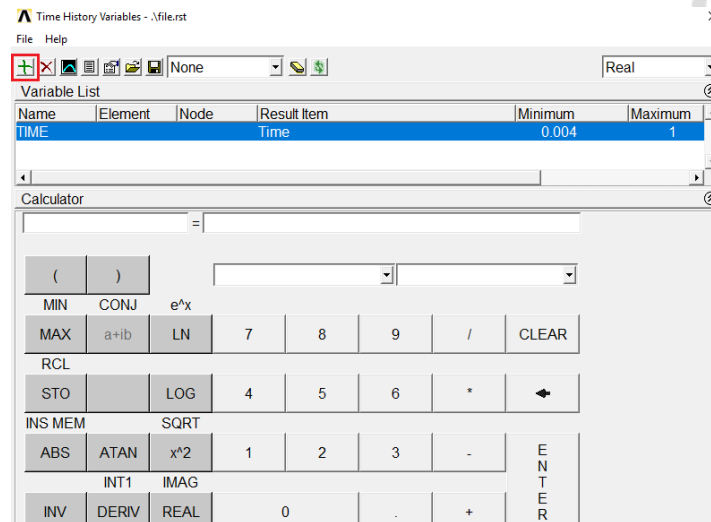


Gambar 10.7. Cara menyimpan data momen dari ANSYS ke data komputer

Demikianlah langkah mengambil nilai momen di ANSYS.

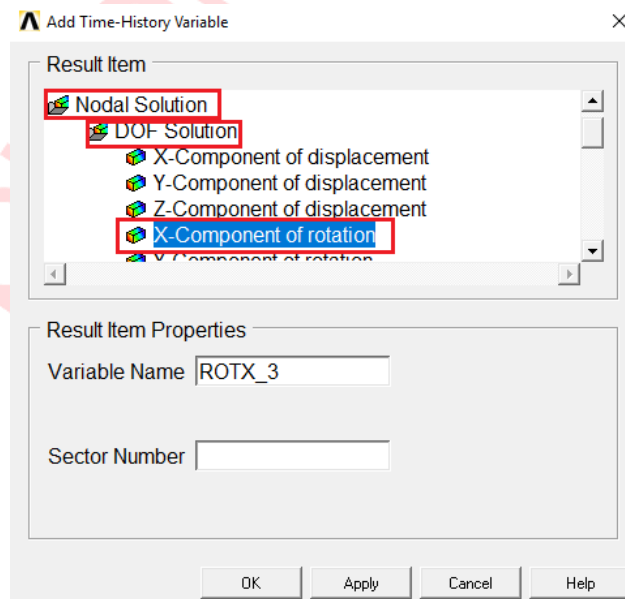
9.3. Cara Mengambil Nilai Rotasi

Rotasi dibutuhkan sebagai data untuk mengetahui kelengkungan atau Curvature dengan rumus Data rotasi dibagi jarak gading. Adapun langkah-langkah Mengambil nilai rotasi di ANSYS adalah klik **TimeHist Prospoc** muncul window Time History Variabels. Seperti pada gambar 10.8.



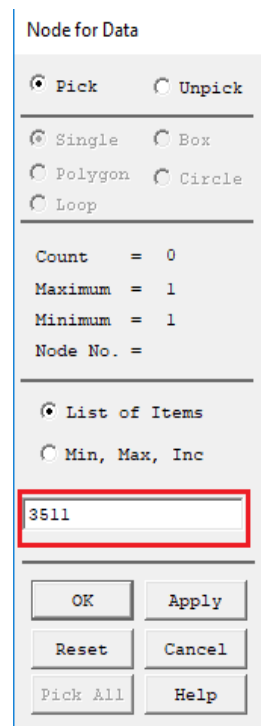
Gambar 10.8. Window time history variables belum terisi nilai rotasi

Lalu klik Add yang ditunjukkan kotak pada gambar 10.8 (muncul window Add Time History Variabels) lalu klik Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of rotation lalu klik Ok seperti yang ditunjukkan gambar 10.9.



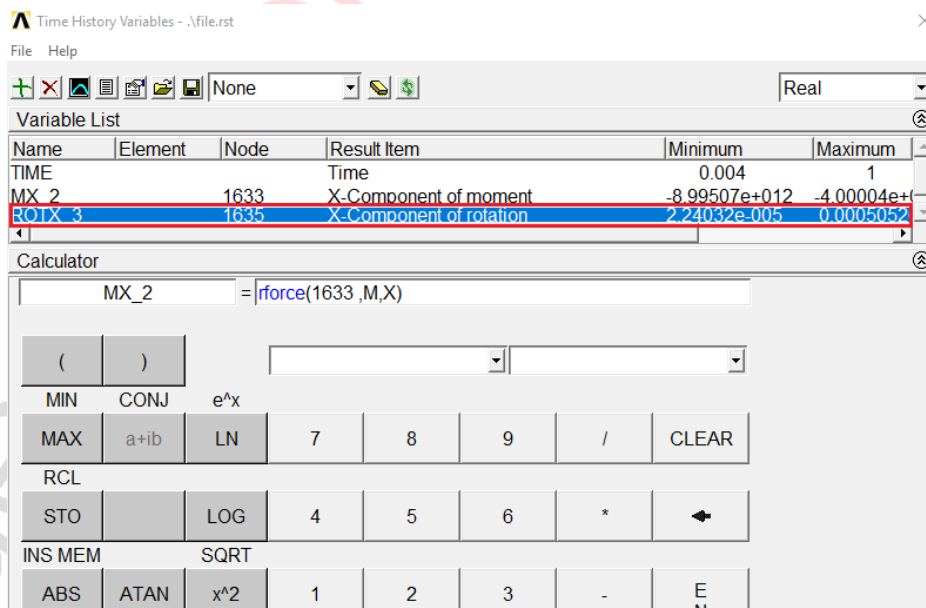
Gambar 10.9. Window add time-history variable (x-component of rotation)

Setelah itu akan muncul **windows Node For Data**. Pada kolom **Node For Data** masukkan **number node rotasi arah y/ROTY (3511)** seperti yang ditunjukkan gambar 10.10.



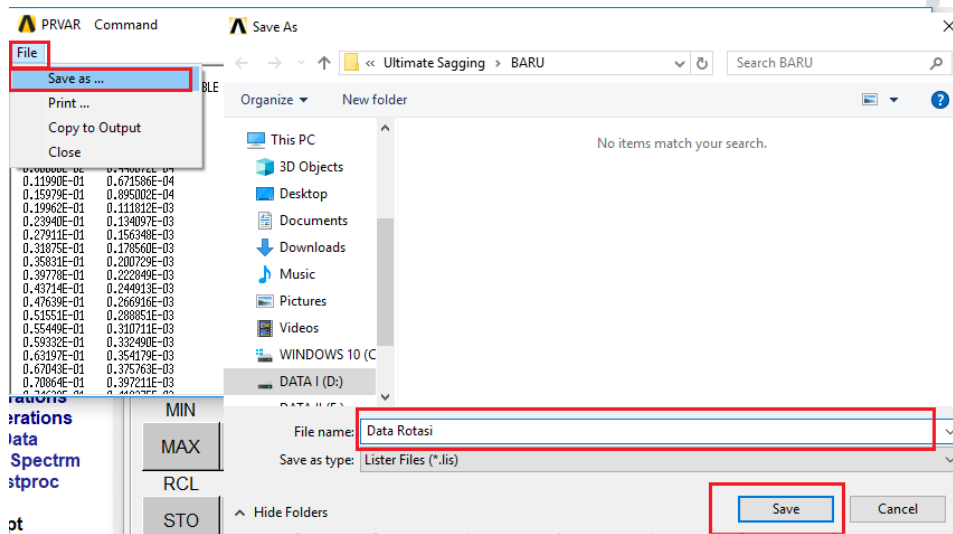
Gambar 10.10. Window node for data

Lalu klik Ok akan muncul Nilai Rotasi pada Window Time History Variabels seperti yang ditunjukkan gambar 10.11.



Gambar 10.11. Wime history variables yang telah terisi nilai rotasi

Setelah itu klik ROTX 3 yang ditunjukkan kotak merah pada gambar 10.11 lalu klik **List data** akan muncul **window PRIVAR Command** kemudian klik File > Save as lalu ganti nama **file** lalu **Save**. Seperti gambar 10.12.

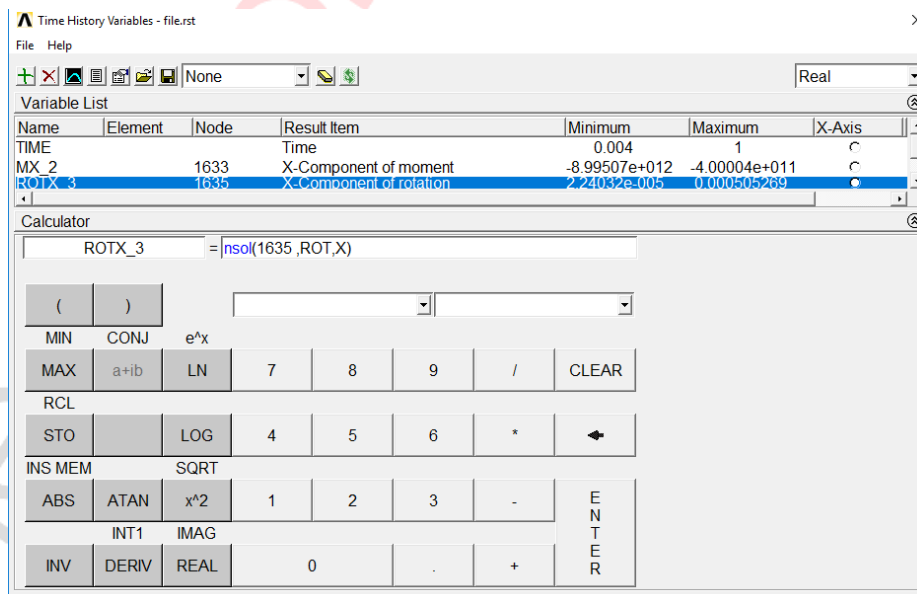


Gambar 10.12. Cara menyimpan data rotasi dari ANSYS ke data komputer

Demikianlah langkah mengambil nilai rotasi di ANSYS

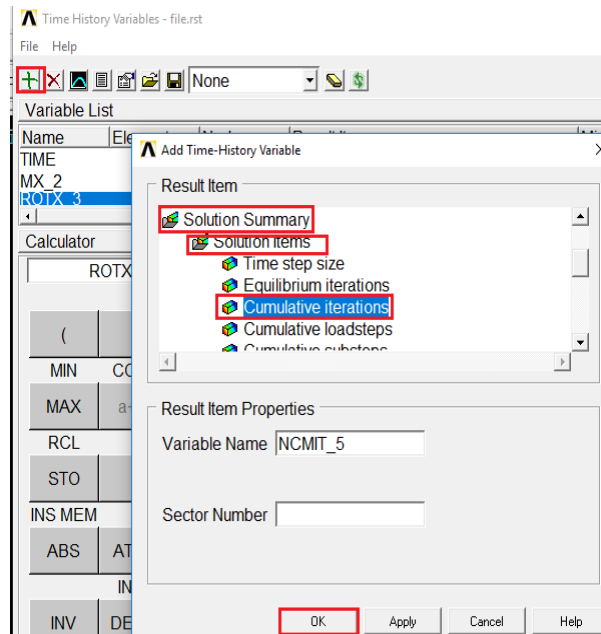
9.4. Cara Memplot Grafik Momen dan Rotasi di Ansys

Sebelum memplot grafik hasil analisis di MS.Excel software ANSYS dapat mengeluarkan bentuk grafik hasil analisis. Adapun langkah-langkah memplot grafik di ANSYS adalah dengan cara klik TimeHist Postpro (muncul window Times History Variables) seperti yang ditunjukkan gambar 10.13.



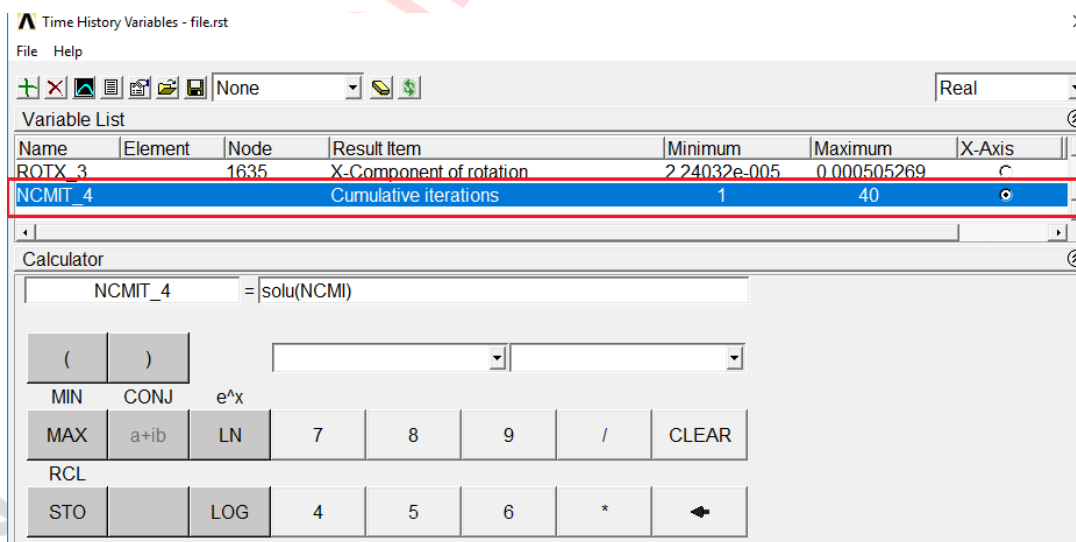
Gambar 10.13. Window times history variables

Berdasarkan gambar 10.13 bisa dilihat bahwa momen x dan rotasi x telah dikeluarkan oleh ANSYS. Sebelum memplot nilai momen dan rotasi terlebih dahulu harus menambahkan Cumulative Iteration dengan cara klik Add (muncul window Add Time-History Variable) lalu klik Solution Summary > Cumulative Iteration > Ok seperti yang ditunjukkan gambar 10.14.



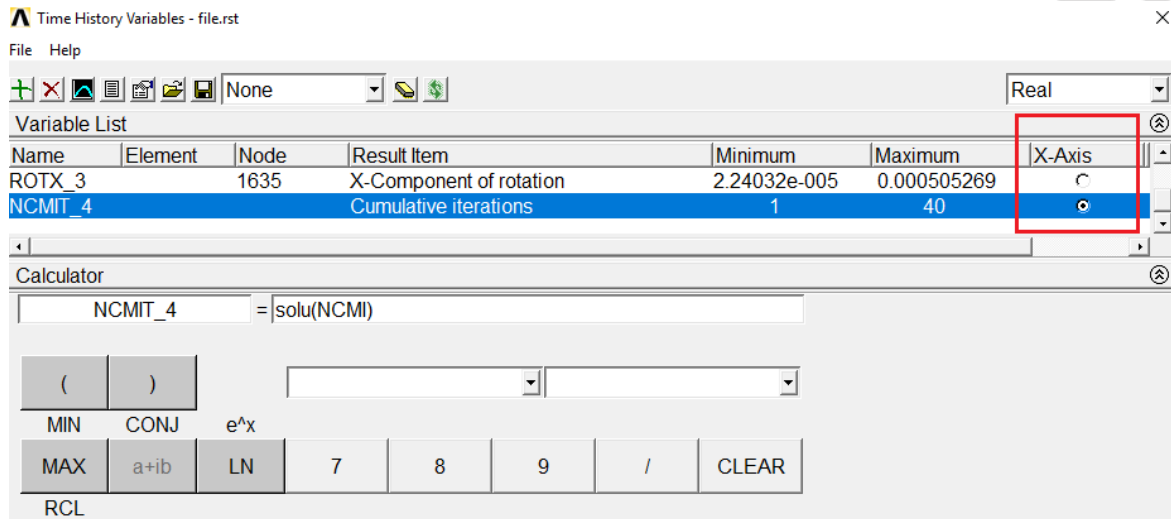
Gambar 10.14. Window add times-history variables

Setelah melakukan langkah-langkah di atas pada tampilan window Time-History Variable, maka Cumulative Iteration akan ditambahkan seperti gambar 10.15.



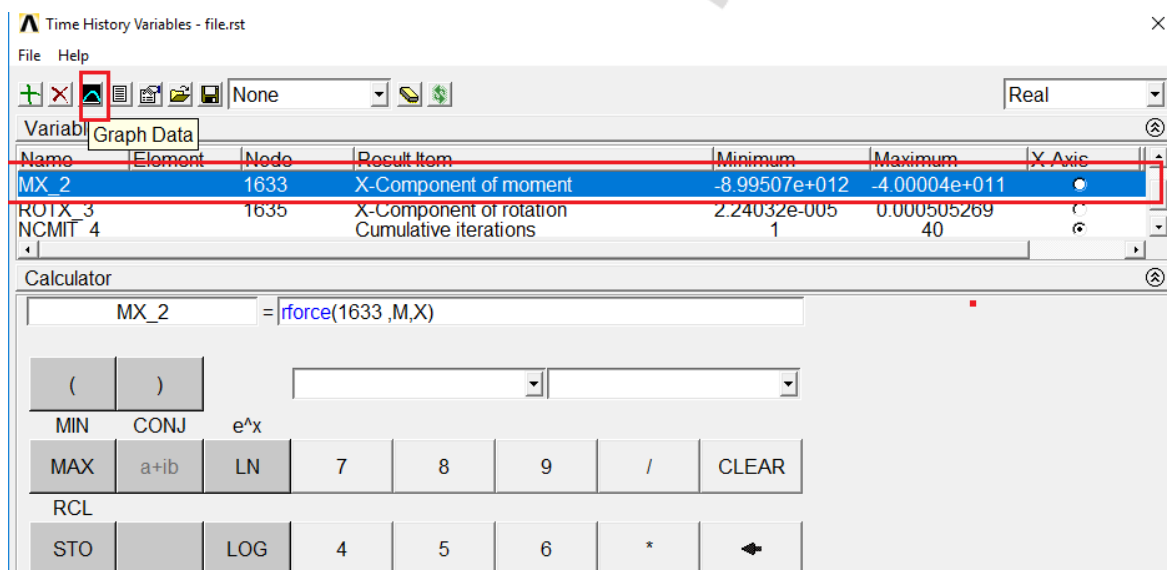
Gambar 10.15. Window times history variables dengan nilai cumulative iteration telah ditambahkan

Setelah **cumulative iteration** ditambahkan pada kolom **X-Axis** centang **Cumulative Iteration** seperti gambar 10.16 berikut:



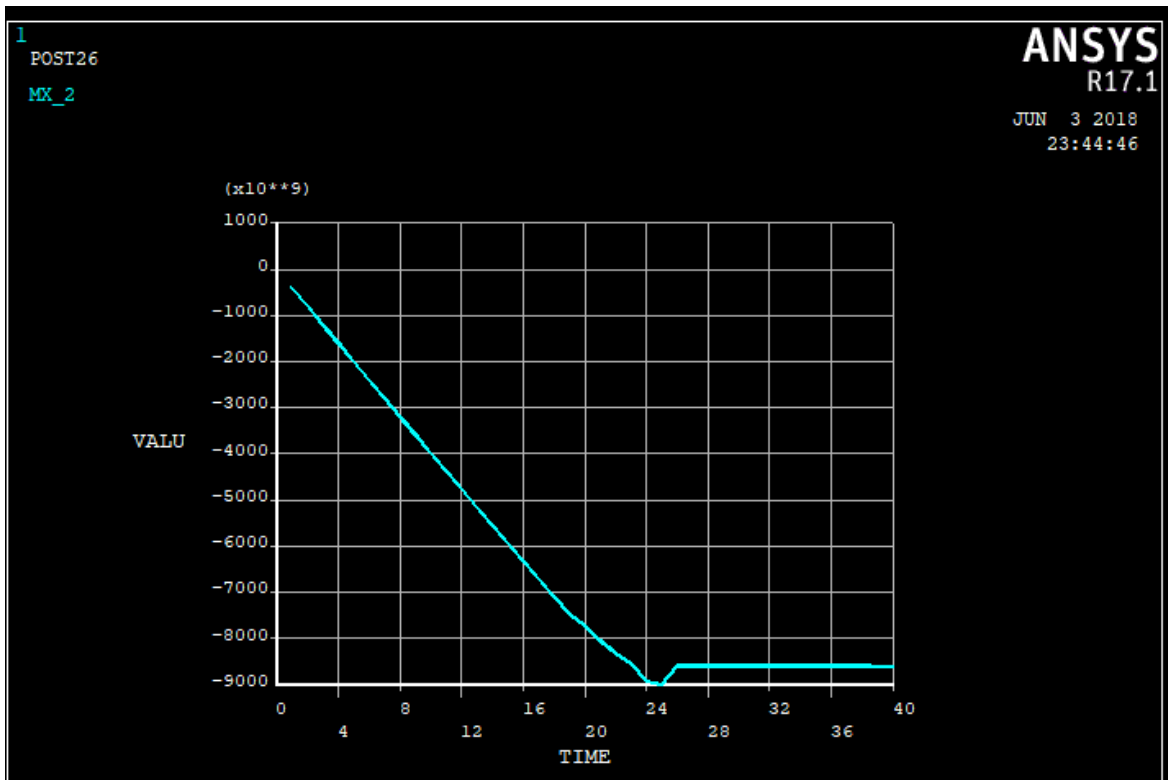
Gambar 10.16. Window X-Axis cumulative iteration yang telah tercentang

Setelah mencentang X-axis pada Cummulative Iteration selanjutnya klik X Component of moment lalu klik Graph Data seperti gambar 10.17.



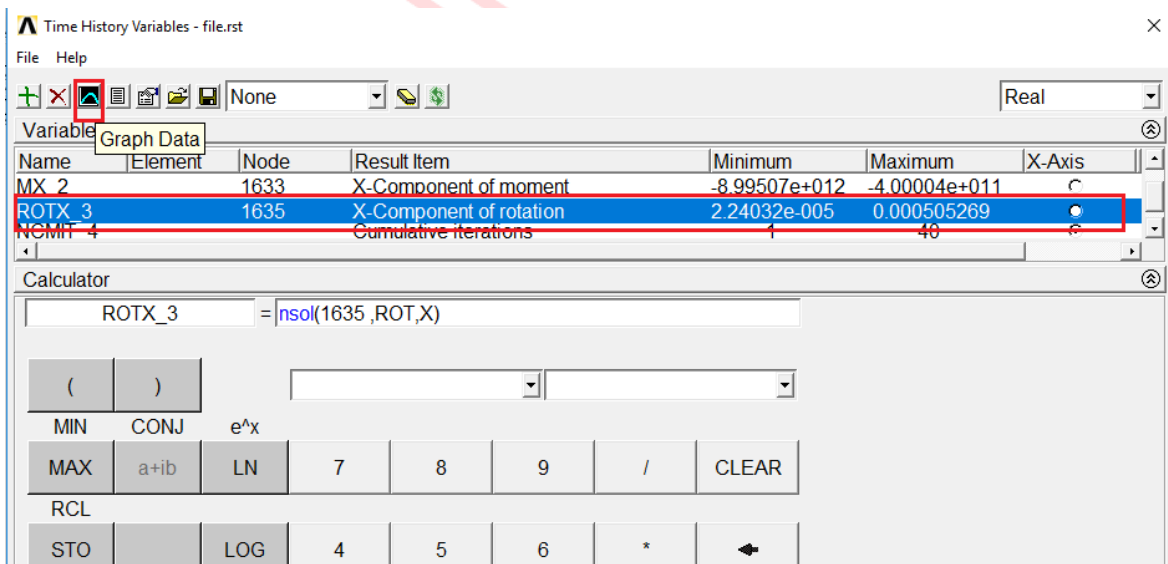
Gambar 10.17. Window X-Component of moment yang telah terklik

Setelah mengerjakan gambar tersebut, maka grafik momen telah ter-plot pada display ANSYS seperti yang ditunjukkan gambar 10.18.



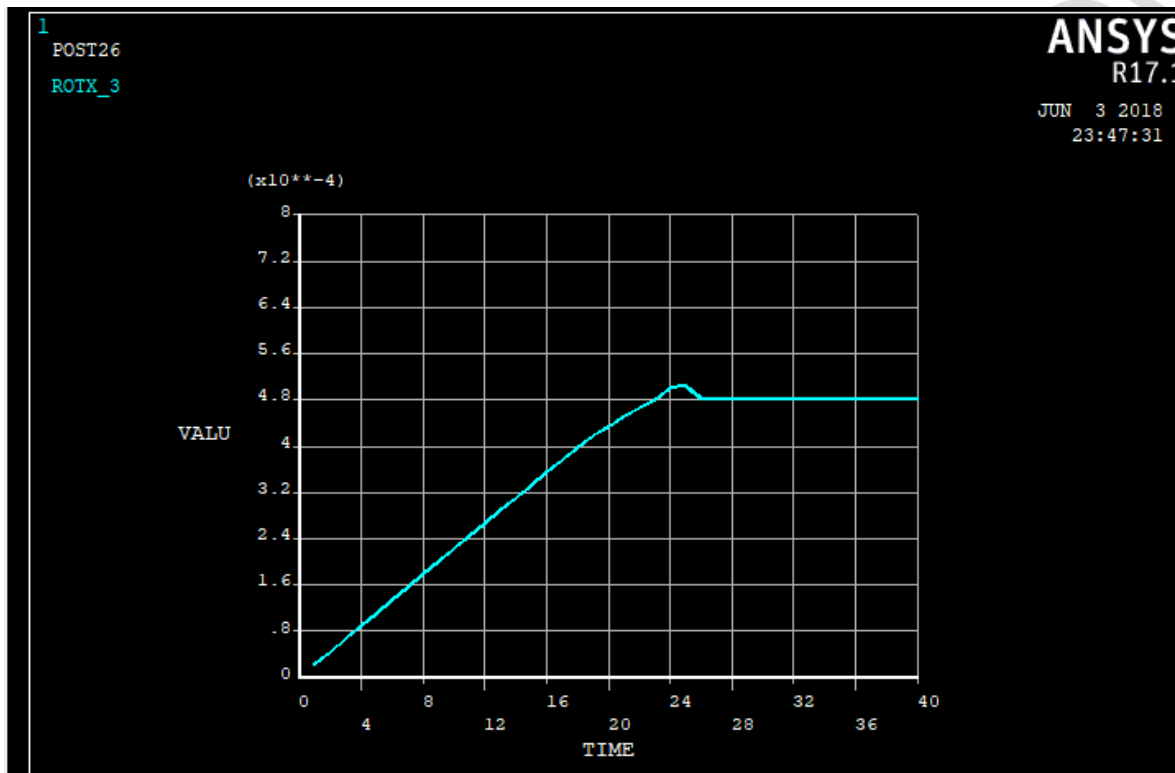
Gambar 10.18. Display hasil plot grafik moment di ANSYS

Sedangkan untuk memplot rotasi sama halnya memplot grafik momen hanya objek yang diklik pada window Time-History Variable adalah nilai-nilai rotasi yang telah dikeluarkan sebelumnya lalu klik Graph Data seperti yang ditunjukkan gambar 10.19 berikut:



Gambar 10.19. Window x-component of rotation yang telah terklik

Setelah melakukan gambar tersebut maka grafik rotasi telah terplot pada display ANSYS seperti yang ditunjukkan gambar 10.20 berikut:



Gambar 10.20. Display hasil plot grafik rotation di ANSYS

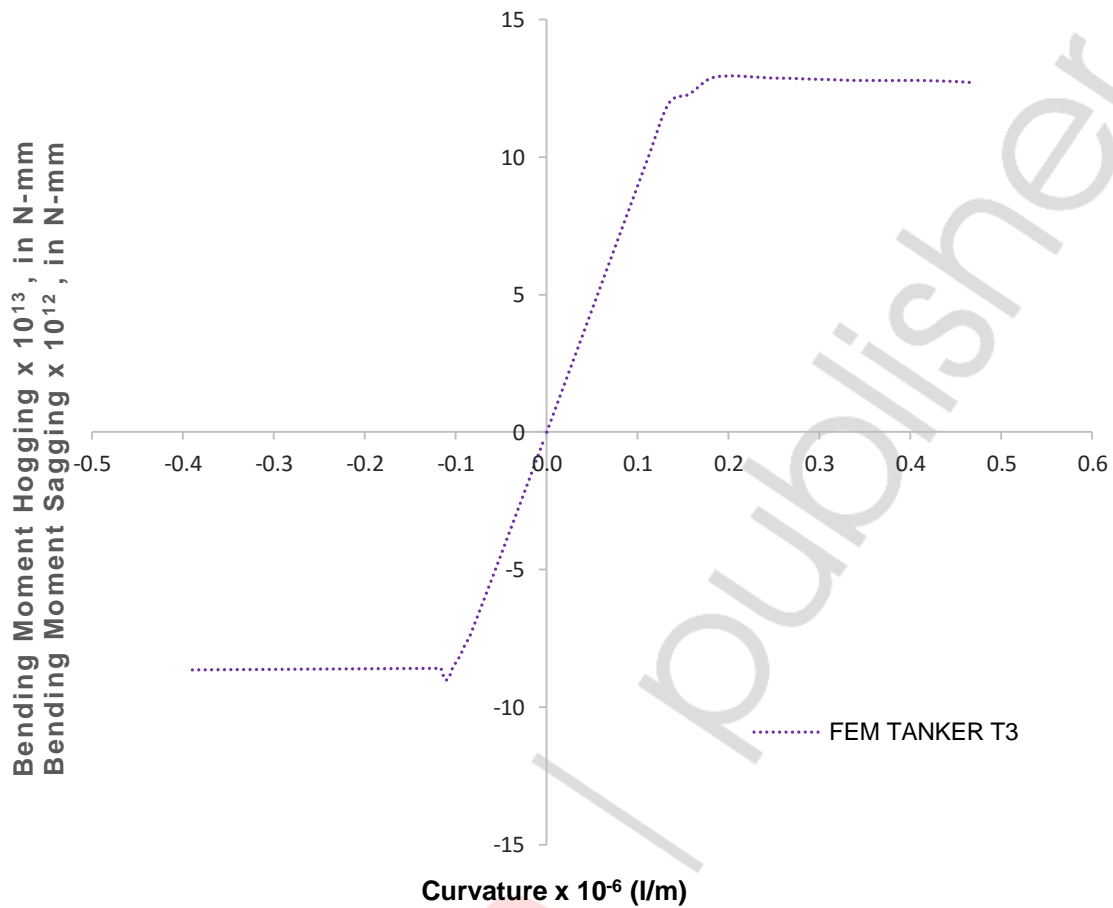
Demikianlah langkah-langkah memplot grafik di ANSYS.

9.5. Cara Plot Grafik Hasil Analisis pada Ansys dengan Ms.Excel

Setelah mendapatkan nilai momen dan rotasi langkah selanjutnya adalah plot data tersebut menjadi sebuah grafik hubungan antara momen dan Curvature. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

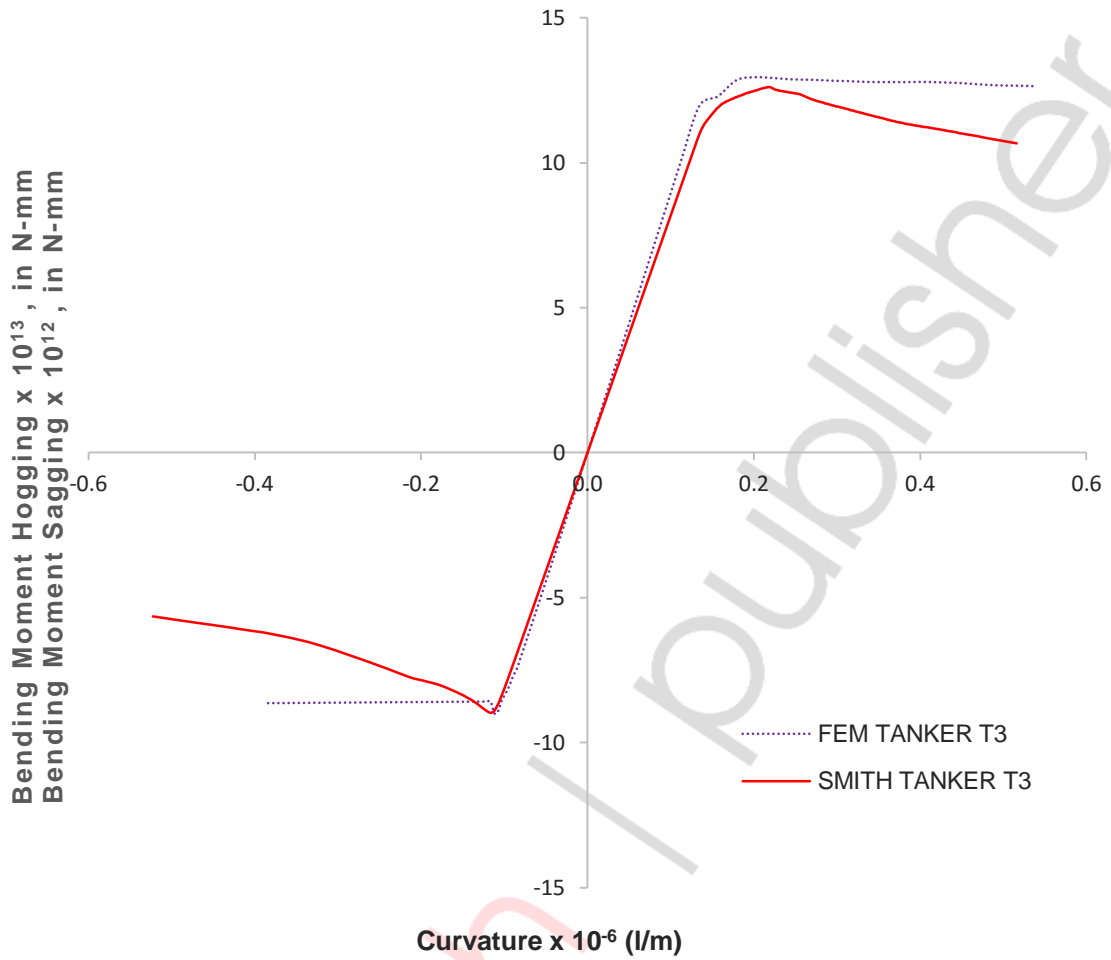
1. Export Data dari ANSYS menggunakan teks editor MARUO
2. Setelah data dari ANSY terbuka di MARUO, copy data tersebut ke MS.Excel baik data momen maupun data rotasi
3. Untuk mendapatkan nilai curvature maka data rotasi yang telah di-export sebelumnya dibagi terlebih dahulu dengan jarak gading Hull Girder
4. Plot data tersebut menjadi grafik di MS.Excel dengan sumbu y adalah data momen dan sumbu x adalah data *curvature*
5. Selesai

Adapun hasil yang telah diperoleh setelah melakukan analisis di ANSYS dan hasil Plot menggunakan MS.Excel dapat dilihat pada gambar 10.21.



Gambar 10.21. Grafik Moment-curvature Hogging dan Sagging Hull Girder

Setelah mendapatkan hasil di atas maka hasil analisis metode NLFEA di ANSYS dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan metode Smith. Dan hasilnya relatif sama adapun hasil perbandingan kekuatan batas kapal Double Hull Tanker T3 menggunakan metode NLFEA di ANSYS dan metode smith dapat dilihat pada gambar 10.22.



Gambar 10.22. Grafik perbandingan ultimate strenght Metode Smith dengan NLFEA ANSYS

BAB 11

Diskusi

Analisis kekuatan kapal merupakan kriteria yang sangat penting dalam desain kapal. Beberapa penelitian yang terkait dengan analisis kekuatan kapal telah diuraikan dengan menggunakan cara atau metode untuk memperoleh hasil yang berupa respons elemen-elemen pendukung dari struktur kapal sebelum dan setelah adanya pembebanan.

Berbagai masalah yang dihadapi serta tujuan yang ingin dicapai dengan mempertimbangkan berbagai aspek, menjadikan kekuatan kapal merupakan analisis yang sangat kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan metode untuk mendapatkan informasi yang lebih detail dari perilaku struktur kapal sebelum dan setelah adanya pembebanan.

Kajian analisis dan sintesis telah diuraikan dengan menyajikan prosedur analisis yang menggunakan formula matematis, dan menerapkan metode matriks kekakuan untuk menemukan solusi dari persamaan integral. Hubungannya diuraikan dalam bentuk persamaan dimana matriks beban diperoleh dari interaksi antara matriks kekakuan dan matriks perpindahan.

Matriks kekakuan harus dicari untuk setiap elemen kemudian digabung untuk mendapatkan matriks kekakuan global struktur. Sehingga matriks perpindahan dan beban juga diperoleh dengan menerapkan hubungan sebelumnya. Selanjutnya, kondisi awal dan syarat batas juga merupakan parameter yang penting untuk memperoleh hasil yang sesuai kenyataan perihal perilaku struktur dalam bentuk distribusi tegangan, deformasi dan sebagainya.

Material, pemodelan, tebal pelat dan stiffener, penentuan sumbu netral, pembebanan, kondisi batas (syarat batas), pemusatan beban yang bekerja ke titik sumbu netral (MPC), running program, deformasi struktur serta plot grafik momen versus kelengkungan juga disajikan dalam bentuk prosedur kerja dengan menggunakan ANSYS.

Material yang digunakan pada struktur kapal adalah baja dengan spesifikasi modulus elastisitas, rasio poisson, tangen modulus, densitas dan tegangan luluh. Semua spesifikasi dari material ini dimasukkan kedalam input data sesuai kotak dialog yang tersedia di ANSYS.

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggambarkan model penampang kapal lengkap dengan pembujur yang mendukung kekuatan membujur kapal. Pada kasus ini diambil contoh kapal double hull oil tanker dengan dimensi lebar, tinggi dan panjang kapal yang sudah ada. Untuk ukuran panjang kapal, maka dipertimbangkan satu jarak gading untuk memudahkan analisis dan sebagai contoh dari kasus yang diteliti. Secara umum, elemen-elemen yang digunakan adalah tipe shell dengan empat titik yang dimodelkan ke

seluruh penampang kapal termasuk stiffener (penegar) yang mendukung kekuatan membujur kapal.

Selanjutnya dimensi pelat dan penegar yang berupa tebal pelat ikutan, tinggi, tebal web, lebar, dan tebal flange yang terdapat pada penegar (stiffener) juga dimasukkan pada **input data**.

Setelah semua dimasukkan kedalam input data, maka langkah selanjutnya adalah perhitungan modulus penampang kapal yang digunakan untuk menentukan posisi sumbu netral. Posisi sumbu netral ini sangat penting untuk menentukan letak dari Multi Point Constraint (MPC) dimana MPC ini akan mengontrol gaya putar yang ditempatkan pada sisi kiri dan kanan dari penampang kapal. MPC ini juga sebagai *master node* karena dihubungkan dengan jaring-jaring ke seluruh sisi permukaan penampang yang berfungsi juga untuk menggambarkan perilaku struktur kapal pada kondisi tarik dan tekan (hogging dan sagging).

Proses running program merupakan tahapan akhir dari prosedur analisis untuk memperoleh hasil berupa distribusi tegangan, deformasi, lendutan elemen-elemen, gaya-gaya batang dan pelat dalam bentuk tiga dimensi. Hasil dari proses running ini juga dapat berupa teks editor yang bisa diexport ke bentuk notepad, wordpad dan sejenisnya. Teks editor ini sangat berguna untuk mengekspor data output dari ANSYS untuk dibawa ke MS.Excel kemudian dibuat grafik hubungan momen versus kelengkungan.

Output yang dihasilkan dari ANSYS adalah momen versus time dan rotasi versus time, tergantung pada pilihan output yang diinginkan oleh user.

BAB 12

Kesimpulan

Elemen Hingga merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan analisis struktur secara kompleks dan detail serta penggunaannya sudah berkembang. Di sisi lain, penggunaan Metode Elemen Hingga dalam menganalisis kekuatan struktur kapal masih sangat terbatas, terlebih yang bersifat referensi atau buku. Oleh karena itu, pengenalan Metode Elemen Hingga untuk menganalisis struktur kapal melalui referensi atau buku sangat dibutuhkan.

Analisis kekuatan kapal dengan Metode Elemen Hingga memberi kontribusi yang sangat besar karena dapat memberi informasi yang lebih detail perihal perilaku struktur kapal sebelum dan sesudah mengalami pembebanan. Informasi detail struktur berupa distribusi tegangan, deformasi dan sebagainya ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi sehingga memberi gambaran kepada user apakah perilaku tersebut sesuai kondisi nyata.

Metode Elemen Hingga ini menggunakan prinsip diskritisasi yang dirangkum dalam tiga fase yaitu **Fase Preprocessing**, **Fase Solusi** dan **Fase Postprocessing** yang saling terintegrasi antara satu dengan yang lain.

Analisis kekuatan kapal dengan Metode Elemen Hingga menggunakan *master node* yang selanjutnya disebut Multi Point Constraint (MPC) yang ditempatkan pada sisi kiri dan kanan dari penampang kapal. Gaya putar yang ditempatkan di MPC ini untuk memutar penampang kapal pada kondisi hogging dan sagging. Selain itu juga MPC ini berfungsi untuk menggambarkan secara visual tampilan tiga dimensi perilaku struktur kapal yang berupa distribusi tegangan, deformasi serta elemen-elemen yang mengalami konsentrasi tegangan pada daerah tertentu dari struktur kapal.

Output dari ANSYS berupa momen versus time dan rotasi versus time diekspor dengan menggunakan teks editor dan ditransfer ke MS. Excel untuk diolah guna mendapatkan grafik hubungan momen kelengkungan untuk kondisi kapal hogging dan sagging.

REFERENSI

- Campanile, A, Piscopo, V and Scamardella, A, (2014). "Statistical properties of bulk carrier longitudinal strength," *Marine Structures*, 39, 438-462.
- _____, (2017). "Incidence of load combination methods on time-variant oil tanker reliability in intact conditions," *Ocean Engineering*, 130, 371-384.
- Gaspar, B, Teixeira, A.P, and Soares, C.G, (2016). "Effect of the nonlinear vertical wave-induced bending moments on the ship hull girder reliability," *Ocean Engineering*, 119, 193-207.
- Kim, D.H and Paik, J.K, (2017). "Ultimate limit state-based multi-objective optimum design technology for hull structural scantlings of merchant cargo ships," *Ocean Engineering*, 129, 318-334.
- Kim, D.H, Park, D.H, Kim, H.B, Kim, B.J, Seo, J.K, and Paik, J.K, (2013). "Lateral pressure effects on the progressive hull collapse behaviour of a Suezmax-class tanker under vertical bending moments," *Ocean Engineering*, 63, 112-121.
- Kukkanen, T and Matusiak, J, (2014). "Nonlinear hull girder loads of a RoPaxship," *Ocean Engineering*, 75, 1-144.
- Liu, Z and Amdahl, J, (2012). "Numerical and simplified analytical methods for analysis of the residual strength of ship double bottom," *Ocean Engineering*, 52, 22-34.
- Muis Alie, M.Z and Latumahina, S.I, (2018). "The Ultimate Hull Girder Strength Analysis Considering Section Modulus under Longitudinal Bending," *Proc 28th Int Offshore and Polar Eng Conf*, Japan, ISOPE, 4, 581-587.
- Muis Alie, M.Z, (2014). "Finite Element Analysis on the Ship Hull Girder under Longitudinal Bending with Bottom Damage," *Proc 3rd Int Conf on Ship and Offshore Technology*, Indonesia, ICSOT, 1-4.
- _____, (2016a). "Residual Strength Analysis of Asymmetrically Damaged Ship Hull Girder using Beam Finite Element Method," *Makara Journal of Technology*, 20, 7-12.
- _____, (2018a). "Simplified Approach on the Ultimate Hull Girder Strength of Asymmetrically Damaged Ships," *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 28, 200-205.
- _____, (2018b). "Investigation of Ship Hull Girder Strength with Grounding Damage," *Makara Journal of Technology*, 22, 88-93.
- Muis Alie, M.Z, Sitepu, G and Latumahina, S.I (2017). "The Assesment of the Ultimate Hull Girder Strength of Ro-Ro Ship after Damages," *Proc 27th Int Offshore and Polar Eng Conf*, USA, ISOPE, 4, 913-919.

- Muis Alie, M.Z, Sitepu, G, Juswan, Wahyuddin, Nugraha, A.M and Alamsyah (2016b). "The Influence of Superstructure on the Longitudinal Ultimate Strength of a RO-RO Ship," *Proc 26th Int Offshore and Polar Eng Conf*, Greece, ISOPE, 4, 1022–1029.
- Pei, Z, Iijima, K, Fujikubo, M, Tanaka, S, Okazawa, S and Yao, T, (2015). "Simulation on progressive collapse behaviour of whole ship model under extreme waves using idealized structural unit method," *Marine Structures*, 40, 104-133.
- Piscopo, P and Scamardella, A (2019). "Sensitivity analysis of hull girder reliability in intact condition based on different load combination methods," *Marine Structures*, 64, 18-34.
- Saeed Moaveni, 1999, *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS*, Third Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Van, T.V, yang, P and Van, T.D, (2018). "Effect of uncertain factors on the hull girder ultimate vertical bending moment of bulk carriers," *Ocean Engineering*, 148, 161-168.
- Wang, C, Wu, J and Wang, D, (2018). "Numerical investigation of three-dimensional hull girder ultimate strength envelope for an ultra large containership," *Ocean Engineering*, 149, 23-37.
- Xia, T, Yang, P, Li, C and Hu, K, (2019). "Numerical research on residual ultimate strength of ship hull plates under uniaxial cyclic loads," *Ocean Engineering*, 172, 385-395.
- Xu, M.C, Song, Z.J and Pan, J, (2017). "Study on influence of nonlinear finite element method models on ultimate bending moment for hull girder," *Thin-Walled Structures*, 119, 282-295.

INDEKS

- A**
- aft, 42, 47, 54, 57, 60
 - Analysis, 3, 61, 64, 87, 88, 92
 - ANSYS, viii, ix, x, xii, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 33, 34, 39, 40, 41, 43, 50, 54, 57, 64, 65, 71, 75, 77, 78, 79, 81, 82, 84, 85, 86, 88
 - apply, ix, x, 22, 32, 43, 45, 46, 50, 51, 52, 54, 58
 - Area, viii, ix, 27, 30, 31, 34, 35, 37, 38
 - Attributes, 34
 - Axis, xi, 79
- B**
- Basic, 62
 - batang, viii, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 85
 - batas, v, ix, xii, 1, 4, 8, 9, 11, 13, 15, 42, 45, 50, 53, 54, 64, 65, 82, 84
 - Beban, 1, 11, 54
 - behavior, 3
 - Bilinear, 20
 - block, x, 16, 49, 55, 56, 58, 59
 - body, viii, 25, 26, 30
 - Booleans, 36
 - Boundary, 42
- C**
- capacity, 3
 - collapse, 2, 3, 87, 88
 - Command, 41, 64, 68, 74, 77
 - Component, 66, 68, 72, 79
 - Condition, 42
 - Constan, 51, 53
 - Control, 36, 61
 - coordinate, viii, 22, 23
 - Coupling, 54, 57
 - create, viii, 21, 22, 23, 24, 27
 - Cummulative, 79
 - Current, 63
 - curvature, xi, 82
- D**
- Data, 16, 17, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81
 - Define, 43, 47, 50, 52
 - deformasi, v, xii, 2, 4, 65, 69, 70, 84, 85, 86
 - Displacement, 43, 46, 47, 49
 - Distance, 43, 47
 - distribusi, v, 2, 4, 84, 85, 86
 - DOF, ix, xii, 48, 49, 57, 60, 66, 73, 75
 - DONE, 64
 - dynamic, 2
- E**
- eksternal, 1, 2, 7, 11, 15
 - elastisitas, xii, 5, 6, 15, 16, 20, 84
 - elemen, v, viii, xii, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 21, 36, 84, 85, 86
 - Element, 3, 18, 19, 36, 37, 64, 87, 88
 - Equation, 54, 56, 57, 60
 - explicit, 2
 - extrude, viii, 27, 29
- F**
- FEM, 3, 4
 - File, 68, 74, 77
 - fisik, 4, 15
 - Force, 50, 51, 52, 53
 - Forces, 66, 72
 - fore, 42, 43, 45, 47, 50, 54, 57, 60
 - Front, 30
- G**
- gaya, viii, xii, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 85
 - General, 68

girder, viii, ix, x, 25, 30, 36, 42, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 59, 65, 70, 87, 88
global, 4, 9, 10, 11, 13, 23, 84
Glue, 36, 37

H

Hardening, 20
History, 65, 67, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 80
hogging, x, xi, xii, 1, 2, 50, 52, 53, 70, 82, 85, 86
hull, viii, ix, 25, 30, 36, 42, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 65, 70, 84, 87, 88

I

IACS/CSR-B, 3
IACS/CSR-T, 3
implicit, 2
Incremental-iterative, 3
Independent, 20
Inelastic, 20
internal, viii, 1, 2, 7, 9, 10, 13, 14
Isotropic, 20
Item, 66, 72
Iteration, 78, 79

K

kandas, 1
kapal, v, viii, 1, 2, 3, 4, 16, 17, 23, 26, 43, 50, 55, 59, 82, 84, 85, 86
kekakuan, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 84
Kekuatan, xii, 1, 2, 92
keypoint, viii, 22, 23, 24, 25, 26, 37
konduktivitas, 15
korosi, 1, 2

L

Label, 36
Library, viii, 19
linear, viii, 4, 7, 11, 15, 20
lines, viii, 24, 25, 26, 27
link, 42, 50
List, 67, 74, 77
loads, 43, 47, 87, 88

luas, viii, 5, 6, 7, 12

M

Mapped, 38
matematis, 15, 84
material, v, viii, xii, 6, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 84
Matriks, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 84
Mesh, xii, 34, 37, 38
Meshing, 34, 37
Mises, 20
Model, viii, ix, 5, 15, 22, 25, 31, 34, 38, 39
modelling, 22, 24, 26, 27, 31, 36, 41
modulus, 1, 2, 5, 6, 15, 16, 20, 84, 85
momen, v, x, xi, 1, 2, 3, 15, 50, 51, 53, 67, 68, 71, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86
Moment, 50, 52

N

Netral, ix, 41, 42, 44, 54
New, 17, 61, 88
NLFEA, xi, 50, 54, 64, 82, 83
node, ix, x, xi, 4, 7, 9, 11, 15, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 58, 67, 73, 76, 85, 86
nodes, viii, ix, 5, 6, 8, 9, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 54
non-isotropik, 15
Nonlinear, 20, 87
number, ix, x, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 76
numerik, v, 1, 2, 15

O

operate, 27, 36, 41
Options, 62, 63

P

pelat, ix, 3, 16, 21, 34, 35, 36, 84, 85
penampang, v, viii, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 12, 13, 23, 33, 84, 85, 86
perpindahan, 4, 9, 10, 11, 13, 84

Pick, 34, 37, 38, 68
Plastic, 20
Plasticity, 20
posisi, 10, 11, 42, 43, 47, 85
post-ultimate, 3
Preprocessor, 18, 21, 22, 24, 26, 27, 31, 34,
36, 37, 38, 41, 43, 47, 54, 57
PRIVAR, 68, 74, 77
Progressive, 3

Q

Quad, 38

R

Reaction, 66, 72
Read, 68
reflect, viii, ix, 23, 31, 32, 33
regangan, 6, 13
Region, 54, 56, 57, 59, 60
respons, 1, 84
Resul, 66, 72
Result, 68
right, 55, 59
Rigid, 42, 54, 56, 57, 59, 60
Ro-Ro, 2, 87
rotasi, xi, xii, 1, 42, 50, 75, 76, 77, 78, 80,
81, 85, 86

S

sagging, x, xi, 1, 2, 3, 50, 51, 67, 69, 74, 82,
85, 86
section, viii, 21, 36
Section, 21, 87
shell, viii, 19, 21, 84
Size, 37
smith, 82
Solusi, 4, 9, 13, 15, 86
Solution, 43, 47, 50, 52, 61, 63, 68, 75, 78
SOLUTION, 64
Solve, 63
static, 2, 14
Static, 61

STATUS, 64

Step, 3, 63

stiffener, 16, 84, 85

Strenght, 17, 67, 68, 69, 70, 74

Stress, 16, 68

struktur, v, ix, x, xii, 2, 3, 4, 16, 17, 18, 19,
23, 26, 34, 36, 37, 40, 42, 44, 50, 51,
53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 65, 67,
69, 70, 74, 84, 85, 86

Sumbu, ix, 41, 42, 44, 54

syarat, 4, 8, 11, 13, 15, 30, 84

T

tanker, viii, 17, 23, 84, 87

tegangan, v, xii, 2, 3, 4, 6, 13, 20, 84, 85, 86
termal, 15

Thickness, 21

Time, x, 65, 67, 71, 73, 75, 76, 78, 80

titik, viii, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
15, 22, 23, 41, 42, 44, 45, 47, 50, 54,
55, 56, 57, 58, 59, 84

Tool, 38

tubrukan, 1

types, viii, 18, 19

U

Ultimate, 17

V

Value, 51, 53

Variabels, 65, 67, 71, 73, 75, 76

Verify, 64

view, viii, x, 21, 30, 55, 59

View, 30

viskositas, 15

volume, xii, 15

Y

Yield, 16, 20

Z

zooming, 56, 59

RIWAYAT PENULIS



Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D.

Dilahirkan di Ujung Pandang Sulawesi Selatan, Juni 1975. Penulis menyelesaikan S1 dan S2 di Universitas Hasanuddin dan menyelesaikan program Doktor (S3) di Ship and Offshore structural integrity subarea Laboratory, Osaka University, Japan dengan bidang keahlian *Ship and Offshore Structures*. Saat ini penulis bertugas sebagai Dosen S1 Teknik Kelautan, Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) dan Dosen S2 Teknik Perkapalan, Universitas Hasanuddin. Mata Kuliah yang diajarkan adalah Mekanika Teknik 1&2, Analisa Struktur, Konstruksi Baja, Dinamika Struktur, Metode Elemen Hingga, Mekanika Kelelahan, Analisa Keandalan Struktur, Perencanaan Bangunan Lepas Pantai, Konstruksi Bangunan Lepas Pantai, serta Kekuatan dan Struktur Kapal



Muhammad Iqra Ramadhan, S.T.

Dilahirkan di Kendari Sulawesi Tenggara, Februari 1994. Penulis menyelesaikan S1 Teknik Kelautan, Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) di Universitas Hasanuddin dengan judul skripsi Analisa Perbandingan Kekuatan Batas Kapal Double Hull Tanker Akibat Perbedaan Konfigurasi Material. Saat ini penulis bertugas di Hull Construction Department, PT PAL INDONESIA (PERSERO) dengan bidang keahlian Strength Analysis of Construction.