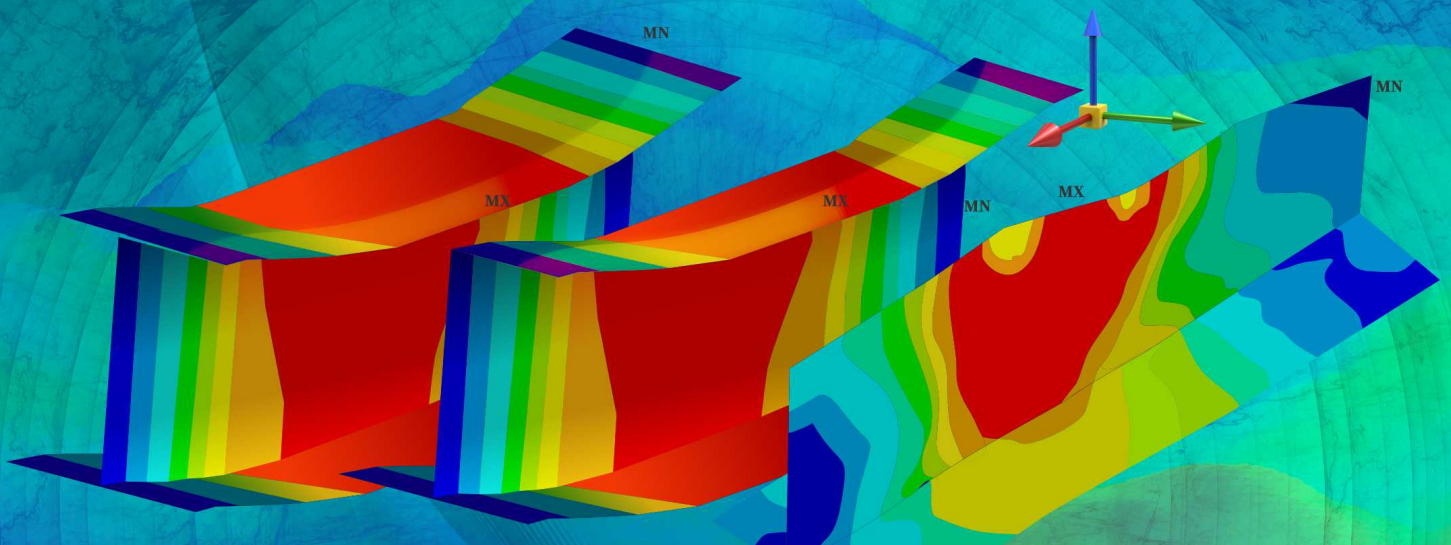




ANALISIS KEKUATAN PELAT BERPENEGAR

DENGAN

METODE ELEMEN HINGGA



**Muhammad Zubair Muis Alie, Ph.D.
Indah Melati Suci, S.T.**

**Editor :
Muhammad Arpan Rachman**

**ANALISIS
KEKUATAN PELAT BERPENEGAR
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

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).

ANALISIS KEKUATAN PELAT BERPENEGAR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Zubair Muis Alie, Ph.D.
Indah Melati Suci, S.T.

Editor :
Muhammad Arpan Rachman



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

ANALISIS KEKUATAN PELAT BERPENEGAR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Zubair Muis Alie & Indah Melati Suci

Editor :
Muhammad Arpan Rachman

Desain Cover :
Dwi Novidiantoko

Sumber :
Dwi Novidiantoko

Tata Letak :
G.D. Ayu

Proofreader :
Mira Muarifah

Ukuran :
xii, 97 hlm hlm, Uk: 20x29 cm

ISBN :
978-623-02-5254-9

Cetakan Pertama :
Oktober 2022

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2022 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-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan. Selawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad *shallallahu alaihi wasallam*, segenap keluarga, sahabat, dan para pengikutnya.

Dalam buku ini, penulis memaparkan uraian singkat penerapan Metode Elemen Hingga untuk menganalisis pelat berpenegar. Analisis kekuatan pelat berpenegar dengan Metode Elemen Hingga memberi kontribusi yang sangat besar di bidang struktur karena dapat memberi informasi bagaimana perilaku struktur sebelum dan setelah memperoleh pembebanan. Pelat berpenegar yang dijadikan contoh dalam buku ini adalah *Angle-bar*, *Flat-bar*, dan *Tee-bar*. Ketiga jenis pelat berpenegar tersebut dianalisis dengan menggunakan *software* ANSYS. Tahapan analisis diawali dengan pemodelan, kemudian proses analisis, dan terakhir adalah luaran dari hasil analisis.

Pada tahapan pemodelan meliputi input data dimensi berupa panjang, lebar, dan tebal dari penampang pelat berpenegar. Kemudian pembentukan *meshing* (jaring), input beban, dan kondisi batas. Tahapan proses dilakukan dengan *running* dari model dan input yang telah dimasukkan. Tahapan luaran atau *output* adalah berupa teks dan gambar. Adapun luaran yang berupa teks misalnya jumlah elemen, jumlah titik, inersia penampang. Sedangkan luaran yang tidak hanya menghasilkan teks namun juga menghasilkan gambar di antaranya adalah tegangan, momen, dan deformasi.

Penyusunan buku ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam buku ini. Penulis berharap pembaca buku ini memberikan saran atau masukan untuk pengembangan selanjutnya.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas bantuannya dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bernilai ibadah bagi penulis dan bermanfaat bagi para pembaca.

Makassar, April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
GLOSARIUM.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Umum.....	1
1.2. Inti Permasalahan.....	3
BAB 2 KONSEP DASAR ELEMEN HINGGA	4
2.1. Pengertian	4
2.2. Rumus Dasar.....	5
BAB 3 <i>ANGLE-BAR</i>	11
BAB 4 <i>FLAT-BAR</i>	35
BAB 5 <i>TEE-BAR</i>	59
BAB 6 PERBANDINGAN HASIL UJI LAB DAN FEM.....	82
BAB 7 DISKUSI	88
BAB 8 KESIMPULAN.....	90
REFERENSI	91
INDEKS	94
BIOGRAFI PENULIS	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Nilai Batas Kelangsingan Penampang untuk Berbagai Tipe Penampang	8
Gambar 3.1	Ukuran <i>Angle-bar</i> pada Tumpuan Jepit-Jepit.....	11
Gambar 3.2	Title	12
Gambar 3.3	Window Preferences for GUI Filtering	12
Gambar 3.4	Window Element Types belum Terisi Jenis Material	13
Gambar 3.5	Library of Element Types.....	13
Gambar 3.6	Window Element Types yang telah Terisi Material	14
Gambar 3.7	Window Defined Material Property Linear	14
Gambar 3.8	Window Defined Material Property Bilinear	15
Gambar 3.9	Window Create and Modify Shell Sections.....	16
Gambar 3.10	Window Create Keypoints in Activite Coordinate System.....	16
Gambar 3.11	Keypoint 2D di ANSYS	17
Gambar 3.12	Window Create Straight Line	17
Gambar 3.13	Model 2D yang telah Terhubung Garis.....	18
Gambar 3.14	Window Copy Lines.....	18
Gambar 3.15	Model yang Telah Memiliki Area di ANSYS	19
Gambar 3.16	Window Area Attributes.....	19
Gambar 3.17	Area Terblok yang Ingin Dimasukkan Ketebalannya	20
Gambar 3.18	Area Attributes Pemilihan Ketebalan.....	20
Gambar 3.19	Window Merge Coincident or Equivalently Defined Items.....	21
Gambar 3.20	Window Glue Areas	22
Gambar 3.21	Window Element Sizes on All Selected Areas	22
Gambar 3.22	Window Mesh Tool.....	23
Gambar 3.23	Window Mesh Areas.....	23
Gambar 3.24	Pemberian Tumpuan pada Pelat <i>Angle-bar</i>	24
Gambar 3.25	Window Apply U,ROT on Nodes	24
Gambar 3.26	Setelah Pelat Ditumpu	25

Gambar 3.27	Pemberian Beban pada Pelat	25
Gambar 3.28	Pemberian Jumlah Beban	26
Gambar 3.29	Setelah Diberikan Beban pada Pelat	26
Gambar 3.30	Window New Analysis	27
Gambar 3.31	Window Solution Controls.....	27
Gambar 3.32	Window Solution Controls.....	28
Gambar 3.33	Window Sol'n Options Setting untuk <i>Running</i>	28
Gambar 3.34	Window Solve Current Load Step	29
Gambar 3.35	Window Verify Sebelum <i>Running</i>	29
Gambar 3.36	Window Note <i>Running</i> Down	30
Gambar 3.37	Window Results File	30
Gambar 3.38	Window Contour Nodal Solution Data.....	31
Gambar 3.39	Deformasi <i>Angle-bar</i>	32
Gambar 3.40	Window List Nodal Solution	32
Gambar 3.41	Save File ANSYS	33
Gambar 3.42	Grafik Tegangan Regangan <i>Angle-bar</i>	34
Gambar 4.1	Penampang <i>Flat-bar</i>	35
Gambar 4.2	Change Title	36
Gambar 4.3	Preferences for GUI Filtering.....	36
Gambar 4.4	Defined Element Types: NONE DEFINED	37
Gambar 4.5	Library of Element Types.....	37
Gambar 4.6	Defined Element Types: Type 1 SHELL181	38
Gambar 4.7	Define Material Model Behavior.....	38
Gambar 4.8	Material Models Defined	39
Gambar 4.9	Create and Modify Shell Sections	40
Gambar 4.10	Create Keypoint in Active Coordinate System	40
Gambar 4.11	Nodes Flat-bar	41
Gambar 4.12	Create Straight Line	41
Gambar 4.13	Gambar 2D <i>Flat-bar</i>	42
Gambar 4.14	Copy Lines.....	42
Gambar 4.15	<i>3D Flat-bar</i>	43
Gambar 4.16	Area Attributes (a)	43

Gambar 4.17	Input Ketebalan <i>Flat-bar</i>	44
Gambar 4.18	Area Attributes (b).....	44
Gambar 4.19	Merge Coincident or Equivalently Defined Items	45
Gambar 4.20	Glue Areas.....	45
Gambar 4.21	Element Sizes on All Selected Areas	46
Gambar 4.22	Mesh Tool	47
Gambar 4.23	Mesh Areas.....	47
Gambar 4.24	Pemberian Tumpuan	48
Gambar 4.25	Window Apply U,ROT on Nodes	48
Gambar 4.26	Setelah Diberikan Tumpuan.....	49
Gambar 4.27	Pemberian Beban.....	49
Gambar 4.28	Window Apply F/M on Nodes	50
Gambar 4.29	<i>Flat-bar</i> Setelah Diberikan Beban	50
Gambar 4.30	New Analysis	51
Gambar 4.31	Solution Controls.....	51
Gambar 4.32	Sol'n Options Solution Controls	52
Gambar 4.33	Arc-length Options	52
Gambar 4.34	Window /STATUS Command.....	53
Gambar 4.35	Window Verify	53
Gambar 4.36	<i>Running Model</i>	54
Gambar 4.37	Results File.....	54
Gambar 4.38	Contour Nodal Solution Data.....	55
Gambar 4.39	Deformasi <i>Flat-bar</i>	56
Gambar 4.40	Window Nodal Solution	56
Gambar 4.41	Window PRNSOL Command.....	57
Gambar 4.42	Grafik Tegangan Regangan <i>Flat-bar</i>	58
Gambar 5.1	Penampang <i>Tee-bar</i>	59
Gambar 5.2	Change Title	60
Gambar 5.3	Preferences for GUI Filtering.....	60
Gambar 5.4	Window Defined Element Types: NONE DEFINED	61
Gambar 5.5	Library of Element Types.....	61
Gambar 5.6	Window Defined Element Types: Type 1 SHELL181.....	62

Gambar 5.7	Materials Models Available	62
Gambar 5.8	Define Material Model Behavior.....	63
Gambar 5.9	Create and Modify Shell Sections	64
Gambar 5.10	Create Keypoints in Active Coordinate System	64
Gambar 5.11	Node Tee-bar	65
Gambar 5.12	Create Straight Line	65
Gambar 5.13	2D Tee-bar.....	66
Gambar 5.14	Window Copy Lines.....	66
Gambar 5.15	<i>3D Tee-bar</i>	67
Gambar 5.16	Area Attributes	67
Gambar 5.17	Menambahkan Ketebalan pada <i>Tee-bar</i>	68
Gambar 5.18	Area Attributes	68
Gambar 5.19	Merge Coincident or Equivalently Defined Items	69
Gambar 5.20	Glue Areas.....	69
Gambar 5.21	Pemberian Ukuran Mesh.....	70
Gambar 5.22	Mesh Tool	71
Gambar 5.23	Mesh Area	71
Gambar 5.24	Pemberian Tumpuan	72
Gambar 5.25	Apply U,ROT on Nodes.....	72
Gambar 5.26	<i>Tee-bar</i> Sudah Diberi Tumpuan	73
Gambar 5.27	Pemberian Beban pada <i>Tee-bar</i>	73
Gambar 5.28	Apply F/M on Nodes.....	74
Gambar 5.29	<i>Tee-bar</i> Setelah Diberi Beban	74
Gambar 5.30	Window New Analysis	75
Gambar 5.31	Solution Controls.....	75
Gambar 5.32	Sol'n Options	76
Gambar 5.33	Arc-length Method	76
Gambar 5.34	STATUS Command.....	77
Gambar 5.35	Window Verify	77
Gambar 5.36	<i>Running</i> Program.....	78
Gambar 5.37	Results File.....	78
Gambar 5.38	Contour Nodal Solution Data.....	79

Gambar 5.39	Deformasi <i>Tee-bar</i>	79
Gambar 5.40	List Nodal Solution	80
Gambar 5.41	Window PRNSOL Command.....	80
Gambar 5.42	Grafik Tegangan Regangan <i>Tee-bar</i>	81
Gambar 6.1	Pelat <i>Angle-bar</i> , <i>Flat-bar</i> , dan <i>Tee-bar</i>	82
Gambar 6.2	Uji Lab <i>Angle-bar</i>	83
Gambar 6.3	Hasil FEM ANSYS <i>Angle-bar</i>	83
Gambar 6.4	Uji Lab <i>Flat-bar</i>	84
Gambar 6.5	Hasil FEM ANSYS <i>Flat-bar</i>	84
Gambar 6.6	Uji Lab <i>Tee-bar</i>	85
Gambar 6.7	Hasil FEM ANSYS <i>Tee-bar</i>	85
Gambar 6.8	Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada <i>Angle-bar</i>	86
Gambar 6.9	Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada <i>Flat-bar</i>	86
Gambar 6.10	Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada <i>Tee-bar</i>	87

GLOSARIUM

ANSYS	: <i>Software</i> yang digunakan untuk menganalisis struktur
FEM	: Metode Elemen Hingga untuk menganalisis struktur yang berbasis numerik
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 atas 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 diberikan kekuatan yang berlawanan
Rasio Poison	: Konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material
Tensile Strength	: Tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika ditarik sebelum bahan tersebut putus
Ultimate Strength	: Kekuatan batas

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Umum

Panel kaku adalah bagian yang sangat umum untuk kapal dan struktur lepas pantai. Oleh karena itu, daya dukung beban panel yang dikakukan adalah faktor penting bagi keselamatan kapal. Selama kapal berlayar, kecelakaan mungkin terjadi seperti kebakaran, yang dapat menyebabkan perubahan mekanik dan sifat termo-fisik baja karbon dan menghasilkan tegangan termal. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada panel lokal dan kemudian mempengaruhi daya dukung beban dari *hull girder*. Respons mekanis kapal dan struktur lepas pantai di bawah beban termal dilakukan secara bertahap dan diperhatikan lebih saat ini untuk keamanan struktur selama desain (Ming Cai Xu *et al.*, 2021).

Elemen pelat dan pelat yang kaku berfungsi sebagai unit dasar lambung struktur. Struktur pelat lokal pertama-tama mengalami kegagalan tekuk lokal yang dibebani beban eksternal saat lambung kapal mengalami *collapse*. Ketika lambung kapal mengalami momen lentur vertikal, struktur dek dan pelat bawah mengalami beban tarik dan tekan. Struktur dek atau pelat bawah terutama menunjukkan tekuk atau menghasilkan perilaku. Dengan demikian, sangat penting untuk menganalisis daya dukung batas dari struktur pelat yang terkena beban tekan untuk desain struktur kapal yang aman (Leo Ao *et al.*, 2020).

Analisis kekuatan pelat sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Estimasi kekuatan batas dari *stiffener* cangkang silinder dalam pengaruh beban tekan eksternal dengan tekuk cangkang lokal atau tekuk puntir dari *stiffener* dilakukan oleh Daisuke Shiomitsu dan Daisuke Yanagihara (2021). Kekuatan batas panel kaku yang diberi beban dorong tidak seragam dianalisis oleh Konstantinos N. Anyfantis (2020). Sebuah studi parametrik tentang efek korosi *pitting* pada kekuatan batas panel yang juga sudah dikakukan oleh Liang Feng *et al.* (2020).

Evaluasi kekuatan batas sisa pelat yang dikakukan dengan lekukan pusat yang diberi gaya dorong membujur dianalisis oleh Lei Ao *et al.* (2020). Investigasi eksperimental dan numerik yang dilakukan oleh Jinju Cui dan Deyu Wang (2020) pada kekuatan batas pelat kaku dengan korosi bukaan dan perforasi. Formulasi kekuatan batas sisa dari silinder kaku baja yang rusak secara lokal di bawah beban gabungan yang dianalisis Quang Thang Do *et al.* (2021).

Investigasi eksperimental dan numerik oleh Zhenfei Guo *et al.* (2021) pada kekuatan batas pelat kaku yang dilas laser dengan mempertimbangkan deformasi pengelasan dan tegangan sisa. Sebuah studi tentang kekuatan batas residual dari panel yang dikakukan terus-menerus dengan retakan di bawah kombinasi tekanan lateral dan kompresi dalam panel dianalisis oleh Poknam Han *et al.* (2021).

Wentao He *et al.* (2020) melakukan penilaian kekuatan batas sisa probabilistik dari pelat tanpa penumpu dan pelat yang retak di bawah kompresi uniaksial. Pengaruh tegangan sisa pada kekuatan batas *stiffener* kaku yang dikompresi secara longitudinal oleh Shen Li (2021). Desain konstruksi untuk peningkatan tegangan tekuk batas pelat yang dikakukan ke beban tekan uniaksial dianalisis oleh João Paulo Silva Lima *et al.* (2020).

Analisis eksperimental dan numerik kekuatan tekan panel yang dikakukan dengan bukaan oleh Bin Liu *et al.* (2020). Hongyang Ma *et al.* (2021) melakukan studi eksperimental dan numerik tentang kekuatan batas pelat yang dikakukan yang dikenai kombinasi kompresi biaksial dan beban lateral. Studi eksperimental dan numerik tentang kekuatan batas dari pengaku kolom di bawah kompresi aksial oleh Hongyuan Mei *et al.* (2020). Ketahanan pemungkas pelat melengkung yang dikakukan secara longitudinal yang mengalami kompresi murni dianalisis oleh Sara Piculin *et al.* (2021). Analisis eksperimental dan numerik kekuatan tekan pemungkas panel kaku bentang panjang oleh Bin Liu *et al.* (2021).

Penilaian numerik percobaan pada kekuatan batas sisa pelat yang dikakukan dengan retakan oleh Xing Hua Shi *et al.* (2019). Studi numerik dan eksperimental tentang pengaruh kondisi batas selama pengujian pelat yang dikenai beban tekan dianalisis oleh Krzysztof Woloszyk *et al.* (2021). Evaluasi eksperimental kekuatan batas panel yang dikakukan di bawah kompresi longitudinal oleh Ming Cai Xu *et al.* (2021). Kekuatan batas dinamis pelat pengaku bagian bawah luar di bawah kompresi dalam bidang dan tekanan lateral oleh Bin Yang *et al.* (2018). Studi eksperimental dan numerik tentang respons dinamis pelat yang dikakukan di bawah beban ledakan terbatas oleh Nan Zhao *et al.* (2020).

1.2. Inti Permasalahan

Untuk menganalisis kekuatan pelat dengan presisi dibutuhkan perhitungan yang lebih akurat. Namun, saat ini masih kurangnya referensi menganalisis kekuatan pelat yang berbasis numerik. Oleh karena itu, dengan menggunakan Metode Elemen Hingga ini, maka permasalahan analisis kekuatan pelat bisa diselesaikan dan memperoleh hasil yang lebih presisi. Keuntungan lain dengan menggunakan metode ini adalah perilaku struktur seperti tegangan dan deformasi dapat ditampilkan secara grafik detail elemen yang mengalami perubahan bentuk akibat beban yang bekerja.

Analisis kekuatan pelat dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode dan salah satu metode sudah disinggung pada paragraf sebelumnya di antaranya adalah:

1. Pendekatan persamaan dengan asumsi distribusi tegangan
2. Pendekatan modulus penampang
3. Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode yang pertama sangat sederhana tetapi keakuratannya tergantung 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 kedua telah diterapkan dalam aturan klasifikasi yang ditemukan dalam *single step ultimate capacity method* dalam IACS/CSR-OT.

Metode ketiga adalah Metode Elemen Hingga (FEM), merupakan salah satu yang paling berguna untuk mengetahui *nonlinear collapse behavior* dari struktur. Karena perkembangan kemampuan komputasi, banyak peneliti menggunakan *Nonlinear Finite Element Analysis* untuk mengestimasi kekuatan struktur, kemudian dibandingkan dengan solusi analitis.

BAB 2

KONSEP DASAR ELEMEN HINGGA

2.1. Pengertian

Konsep dasar yang melandasi Metode Elemen Hingga adalah prinsip diskretisasi, yaitu membagi suatu benda menjadi elemen-elemen yang berukuran lebih kecil supaya lebih mudah pengelolaannya. Misalnya suatu bidang yang tidak beraturan (kontinum) didiskretisasi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil (Elemen Hingga) yang bentuknya lebih teratur dari bentuk semula. Persamaan Metode Elemen Hingga pada suatu masalah tertentu menghasilkan suatu sistem persamaan aljabar serentak dalam penyelesaiannya. Pendekatan nilai hasil metode ini ialah terletak pada sejumlah daerah terbagi (diskret) pada titik-titik dalam suatu rangkaian kesatuan. Oleh karena itu, pada penyelesaian metode ini benda diasumsikan dibagi-bagi dalam suatu sistem ekuivalen pada unit-unit kecil berhingga (Elemen-elemen Hingga) yang saling berhubungan pada titik-titik hubung pada dua atau lebih elemen yang dikenal dengan istilah titik nodal atau *nodes*. Daerah permukaan yang dibatasi oleh garis-garis batas permukaan disebut dengan istilah *diskretisasi* (William Weaver, Jr. dan Paul R. Johnston, 1989).

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) merupakan suatu metode numerik yang digunakan untuk menghitung gaya dalam pada suatu struktur. *Finite Element Method* (FEM) juga dapat dipakai untuk perhitungan nonstruktur, seperti fluida, perpindahan panas, mekanika nuklir, transportasi massa, dan lain-lain. Keuntungan dari Metode Elemen Hingga adalah bahwa apa yang tidak dapat diselesaikan dengan penyelesaian analitis dapat dipecahkan dengan metode ini, sebagai contoh konstruksi yang mempunyai geometris yang kompleks dan beban yang kompleks (Leo Ao *et al.*, 2020).

Metode *Nonlinear Finite Element Analysis* (NLFEA) adalah Metode Elemen Hingga yang digunakan dan direkomendasikan oleh badan klasifikasi dan rekomendasi tersebut tidak hanya nasional tetapi juga internasional untuk menghitung struktur, di samping metode lainnya seperti teori balok, metode *presumed stress*

distribution, ISUM, dan ISFEM. Pembentukan Model Elemen Hingga (FEM) presisi tinggi dapat memperoleh tegangan struktural dan perhitungan deformasi yang lebih komprehensif untuk mengeksplorasi mekanisme deformasi secara mendalam, menganalisis secara efektif faktor-faktor pengaruh kegagalan struktural, dan memandu desain struktur dan optimalisasi proses pengelasan. Dalam studi numerik, deformasi pengelasan dan tegangan sisa pelat yang dikakukan yang disebabkan oleh pengelasan sinar laser dua sisi disimulasikan dengan analisis termal-mekanik yang digabungkan secara berurutan (Zhenfei Guo *et al.*, 2021).

2.2. Rumus Dasar

Metode Elemen Hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan, dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah struktural, termal, dan elektromagnetik. Dalam metode ini, seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas, dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Pendekatan Metode Elemen Hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang disebut dengan pendiskretan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh. Dalam pengerjaan studi ini, digunakan *software* Metode Elemen Hingga. *Software* ini adalah program paket yang dapat memodelkan Elemen Hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statis, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida, dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. Secara umum penyelesaian Elemen Hingga dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

- 1) *Preprocessing*: pendefinisian masalah
Langkah umum dalam *preprocessing* terdiri dari mendefinisikan *keypoint/lines/areas/volume*, mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometrik, dan *mesh lines/areas/volumes* sebagaimana yang dibutuhkan. Jumlah detail yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis: 1D, 2D, *axisymmetric*, dan 3D.
- 2) *Solution: assigning loads, constraints, and solving*
Di bagian ini, perlu menentukan beban (titik atau tekanan), *constraints* (translasi dan rotasi), dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.

3) *Postprocessing: further processing and viewing of the results*

Dalam bagian ini, pengguna dapat melihat: daftar pergeseran nodal, gaya elemen dan momentum, *plot deflection*, dan diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetaan suhu (K.N. Hoque, 2013).

Penyelesaian masalah matematika analitik ialah penyelesaian yang memberikan persamaan-persamaan matematika dengan nilai-nilai besaran yang tidak diketahui pada tiap lokasi di dalam benda (dalam hal ini struktur atau sistem fisik total). Penyelesaian ini pada umumnya membutuhkan penyelesaian sederhana atau persamaan-persamaan diferensial parsial, karena untuk geometri, pembebanan, dan sifat-sifat bahan yang rumit tidak selalu dapat diperoleh (Hongyang Ma, 2021).

Berikut diberikan persamaan-persamaan matematika yang berkaitan dengan gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada sebuah struktur (David Parulian Sitorus, 2013):

1. Gaya Tekan

Suatu komponen yang mengalami gaya tekan, akibat beban terfaktor N_u , harus memenuhi:

$$N_u < \phi_n \cdot N_n \quad (2.1)$$

Faktor reduksi untuk komponen struktur yang memiliki gaya tekan aksial sebesar 0,85. Daya dukung nominal struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (2.2)$$

Dengan besarnya ω ditentukan oleh λ_c yaitu:

Untuk $\lambda_c < 0,25$ maka $\omega = 1$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \text{ maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (2.3)$$

Untuk $\lambda_c < 1,2$ maka $\omega = 1,25 \lambda_c^2$




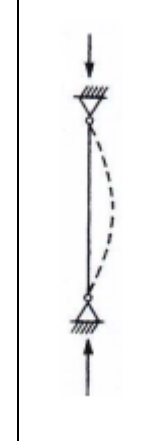

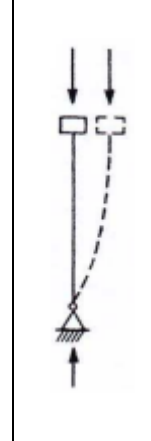
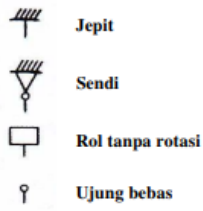
Di mana:

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{k.L}{r} \quad (2.5)$$

Dalam mendesain batang tekan, bahaya tekuk sangat diperhitungkan pada komponen-komponen tekan yang langsing. Panjang tekuk tergantung dari kondisi tumpuan ujungnya.

Tabel 2.1 Panjang Tekuk untuk Beberapa Kondisi Perletakan

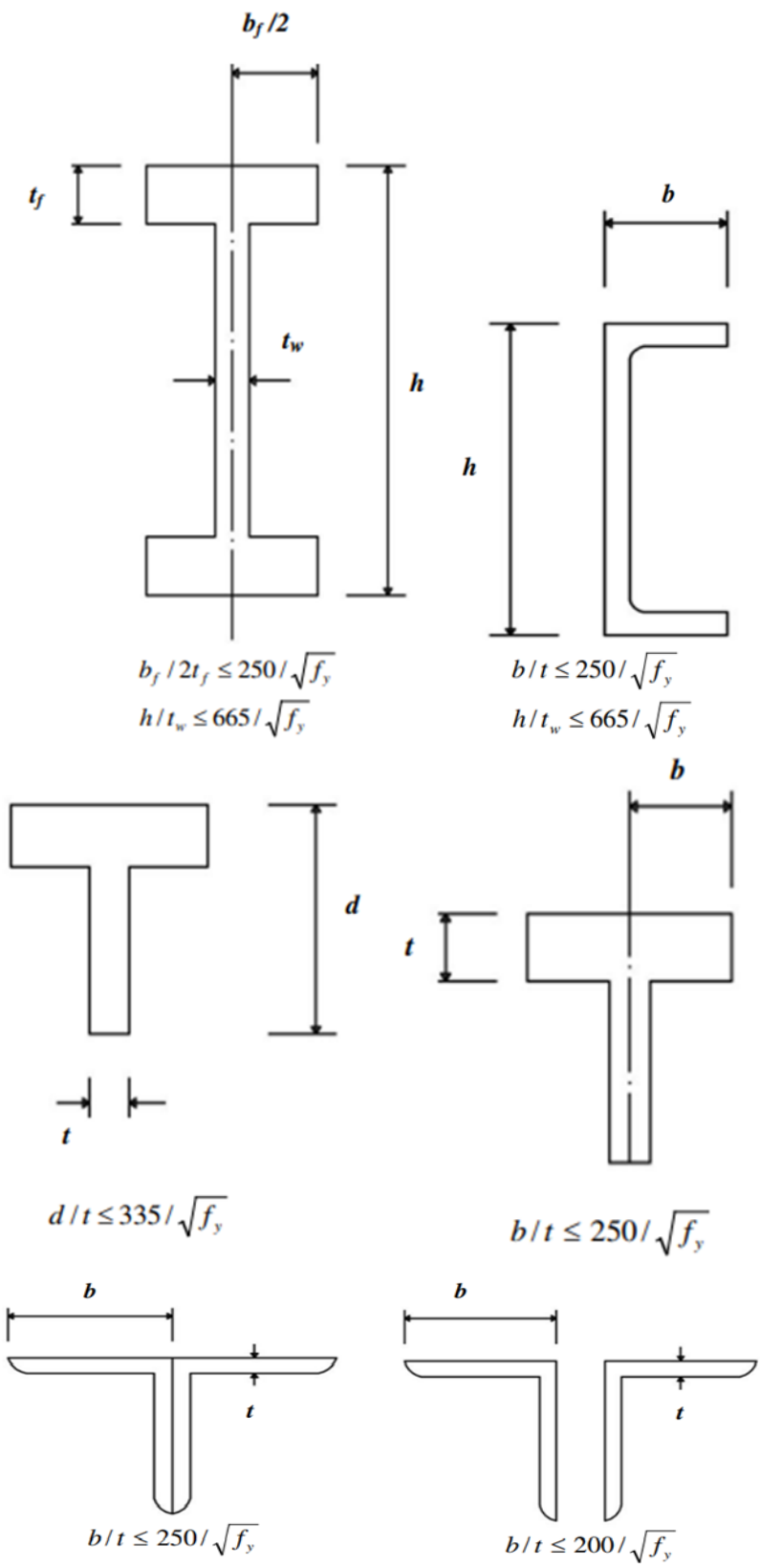
Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk						
Harga K teoretis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
K desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan						

Komponen struktur tekan dapat tersusun dari dua atau lebih profil, yang disatukan dengan menggunakan pelat kopel. Analisis kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Kelangsingan pada arah sumbu bahan (sumbu x) dihitung dengan:

$$\lambda_x = \frac{k.L_x}{r_x} \quad (2.6)$$

Dan pada arah sumbu bebas bahan (sumbu y) harus dihitung kelangsingan ideal:

$$\lambda_x = \frac{k.L_x}{r_x} \quad (2.7)$$



Gambar 2.1 Nilai Batas Kelangsingan Penampang untuk Berbagai Tipe Penampang

2. Gaya Tarik

Batang tarik sangat efektif dalam memikul beban. Batang tarik dapat terdiri dari profil tunggal ataupun profil-profil tersusun. Semua komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor, maka diperoleh:

Bila kondisi leleh menentukan, maka tahanan nominal dari batang tarik memenuhi persamaan:

$$T_n = A_g \cdot f_y \quad (2.8)$$

Untuk mengurangi masalah terkait dengan lendutan besar, maka komponen struktur tarik harus memenuhi syarat kekakuan. Syarat ini berdasarkan pada rasio kelangsingan, yaitu:

$$\lambda = \frac{L}{r} \quad (2.9)$$

Tegangan rata-rata di dalam batang diberikan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

Regangan normal rata-rata dari elemen didefinisikan sebagai pengganti panjang l per satuan panjang mula-mula dari elemen:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.11)$$

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

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.12)$$

2.3 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 mempengaruhi 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 *properties* 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 dalam 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 diskret yang disebut "*node*". Langkah pertama dari prosedur numerik adalah diskretisasi. Proses ini membagi medium/objek ke dalam sebuah jumlah *subregion* yang kecil dan *node*. Ada dua klasifikasi dari metode numerik: (1) Metode Beda Hingga; dan (2) Metode Elemen Hingga.

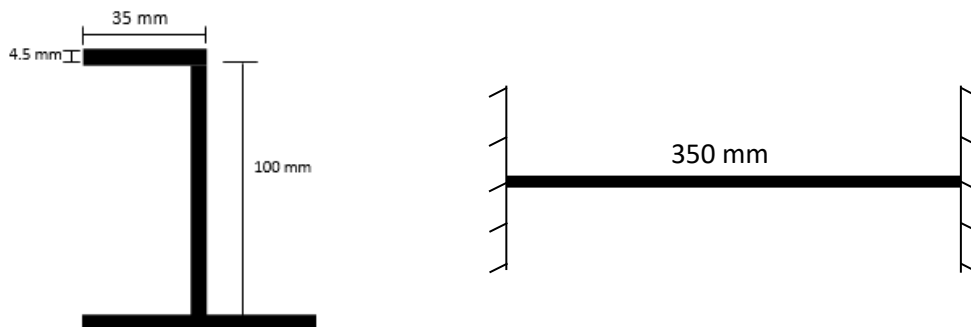
Metode Beda Hingga, persamaan diferensial ditulis untuk setiap titik, dan turunannya diganti dengan persamaan pembeda. Pendekatan ini menghasilkan suatu bentuk persamaan linear simultan. Meskipun Metode Beda Hingga mudah untuk dipahami dan diterapkan di dalam masalah sederhana, namun akan menjadi sulit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

BAB 3

ANGLE-BAR

1. Data Pelat

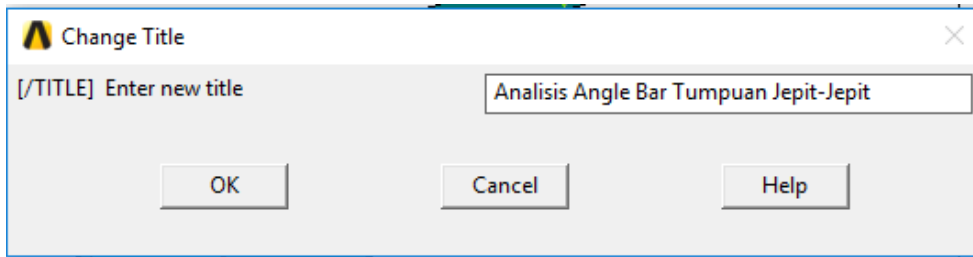
Data pelat berupa material yang digunakan adalah tipe material, modulus elastisitas, densitas, *poison ratio* disertai dengan ukuran ketebalan pelat. Adapun pada contoh material berikut adalah data *Angle-bar*. Jenis material yang digunakan adalah tipe AH37 dengan modulus elastisitas = 210000 N/mm^2 , densitas = $7.8 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$, *poison ratio* = 0.3. Gambaran ukuran utama *Angle-bar* ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Ukuran *Angle-bar* pada Tumpuan Jepit-Jepit

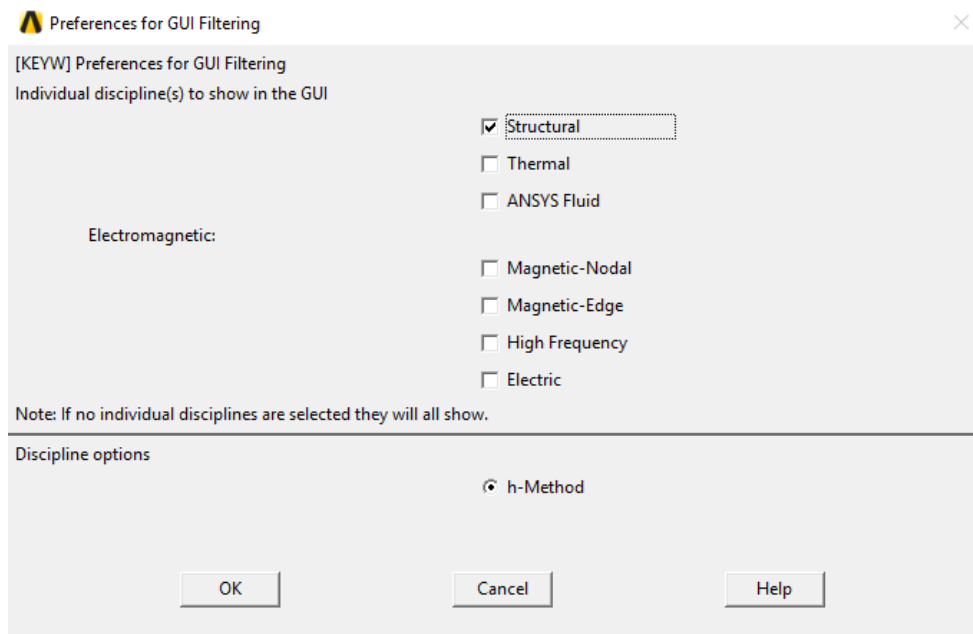
2. Input Data Material Pelat

Objek yang dianalisis diberikan sebagai berikut: klik **File – Change Title** (muncul kotak dialog **Change Title**). Pada [/TITLE] **Enter New Title** isikan "Analisis *Angle-bar* Tumpuan Jepit-Jepit" lalu klik **Ok**. Seperti yang terlihat pada gambar:



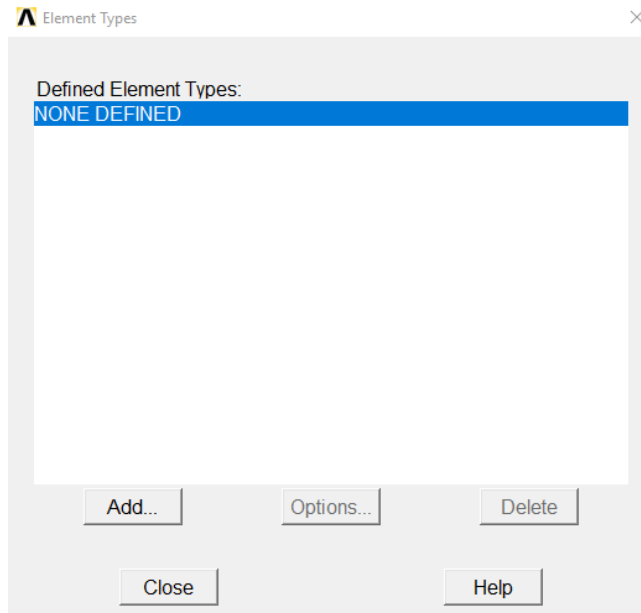
Gambar 3.2 Title

Karena persoalan yang dianalisis adalah tentang struktur, maka dipilih structural dengan cara pilih **Preferences** (muncul kotak dialog **Preferences for GUI Filtering**) – pilih **h-Method Ok**. Pilih **Preference** pada *main menu* dan akan muncul kotak dialog seperti pada gambar:



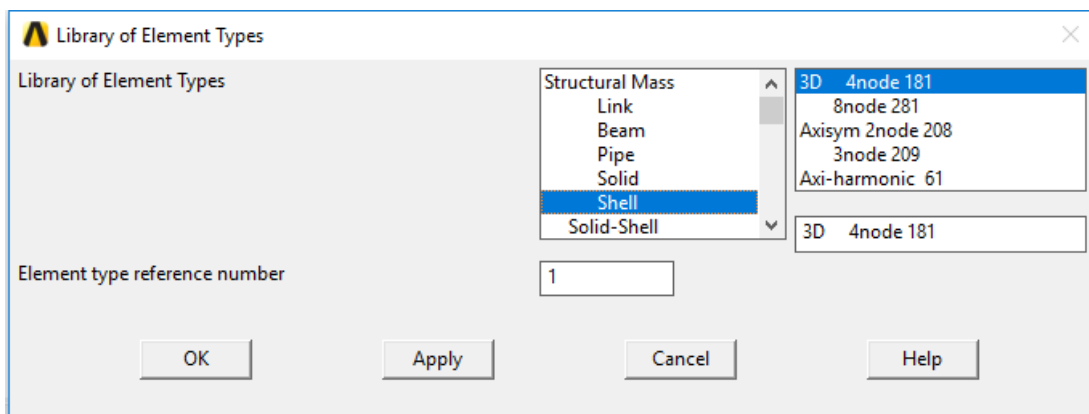
Gambar 3.3 Window Preferences for GUI Filtering

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



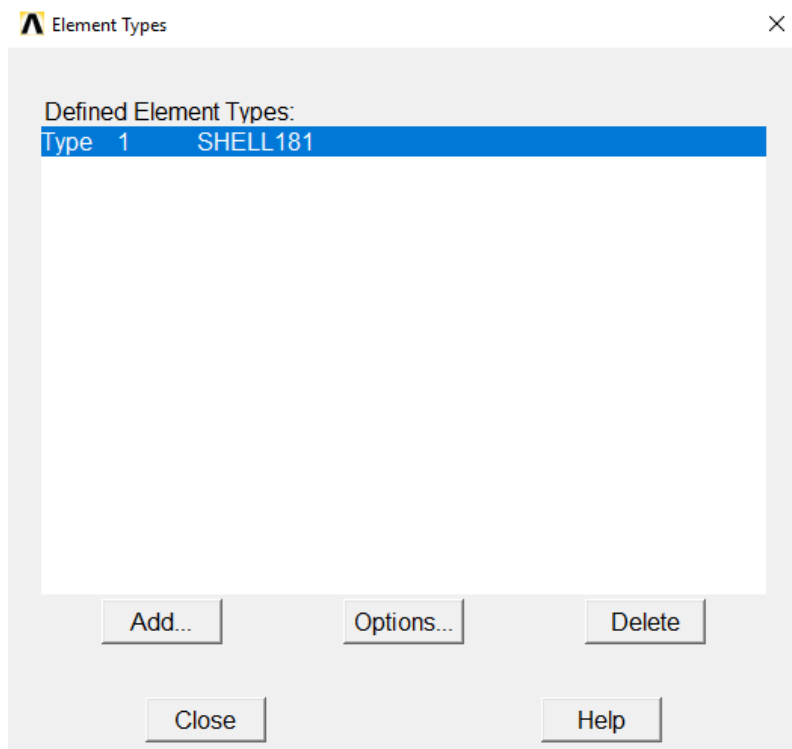
Gambar 3.4 Window Element Types belum Terisi Jenis Material

Setelah tampilan dialog muncul, pilih **Add** untuk menambahkan jenis material yang akan digunakan, selanjutnya akan muncul kotak dialog **Library of Element Types** seperti pada gambar:



Gambar 3.5 Library of Element Types

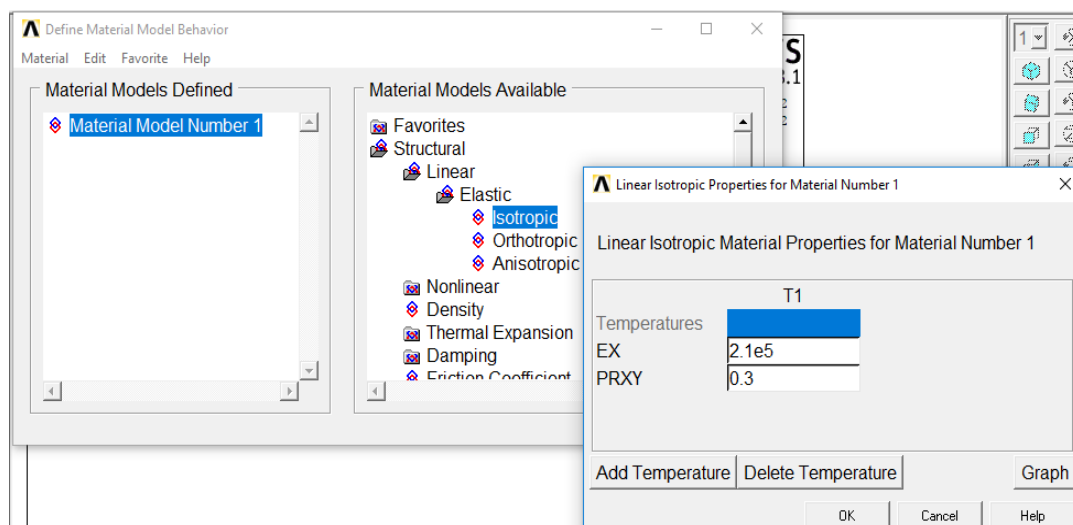
Setelah itu, akan muncul jenis material yang disediakan oleh ANSYS, pilih material **Shell** dengan **Type 3D 4Node 181** lalu tekan **Ok**. Kemudian dialog **Defined Element Types** akan menambahkan material tersebut untuk digunakan sebagai material struktur seperti pada gambar berikut dan **Close** kotak dialog.



Gambar 3.6 Window Element Types 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 **properties** dari sebuah material. **Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic** (ditunjukkan seperti gambar):

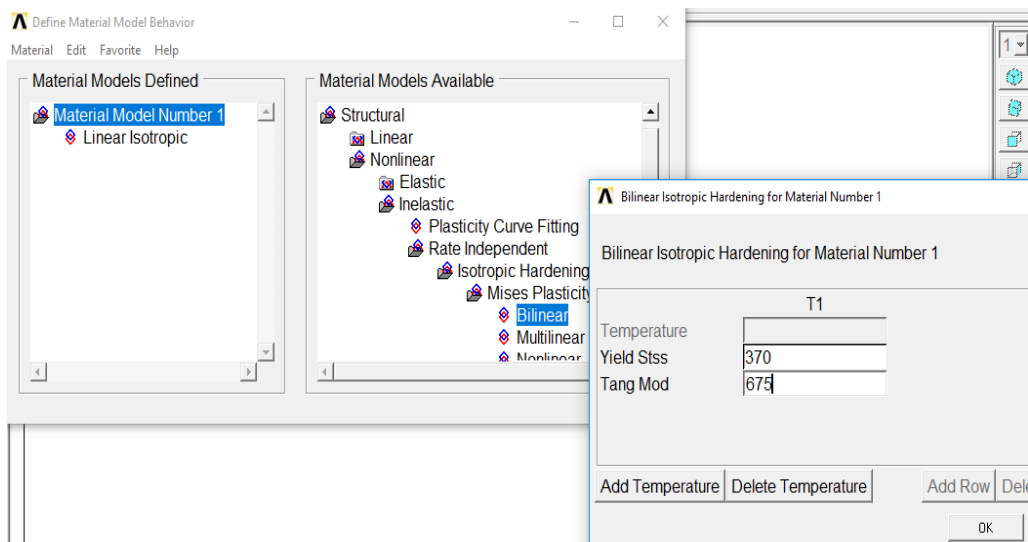


Gambar 3.7 Window Defined Material Property Linear

3. *Properties Material Pelat*

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**.

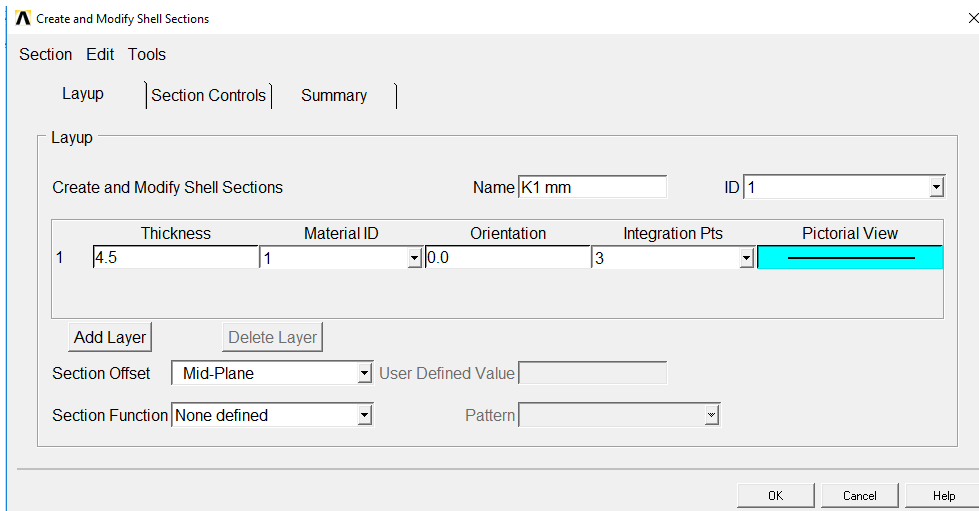
Karena analisis yang dilakukan adalah analisis *nonlinear* dengan langkah sebagai berikut: **Material Props > Material Models > Structural > Nonlinear > Inelastic > Rate Independent > Isotropic Hardening Plastic > Mises Plasticity > Bilinear** (ditunjukkan pada gambar):



Gambar 3.8 Window Defined Material Property Bilinear

Pada baris **Yield Stress** berikan nilai 370 sebagai nilai tegangan luluh pada baris **Tang Mod** berikan 675 sebagai tangen modulus kemudian klik **Ok**.

Ketebalan **Area Element** akan diberikan ketika melakukan **Mesh Atribut**. Adapun langkah memberi ketebalan material adalah sebagai berikut (sebagai contoh menggambarkan elemen pelat). **Preprocessor > Section > Shell > Lay Up > Add/Edit**. Adapun tampilan kotak dialog setelah proses tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar:

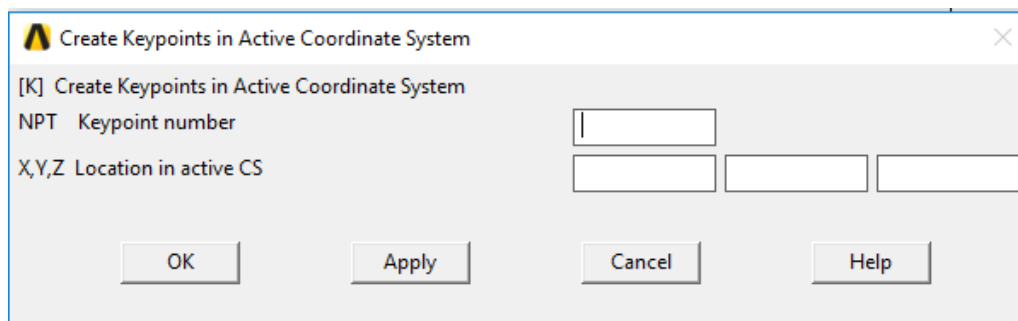


Gambar 3.9 Window Create and Modify Shell Sections

Pada baris **Name** isi nama bagian pelat sesuai ketebalannya, baris **ID** isi nomor **ID** ketebalan pelat sesuai dengan urutan bagian pelat, **Thickness** isi ketebalan bagian pelat yang diinginkan, baris **Material ID** digunakan sesuai dengan **Material Model's** yang telah diisi sebelumnya dan **Orientation**, **Integration Pts**, **Pictorial View**, dan lain-lain tidak perlu diubah.

4. Model Struktur Pelat

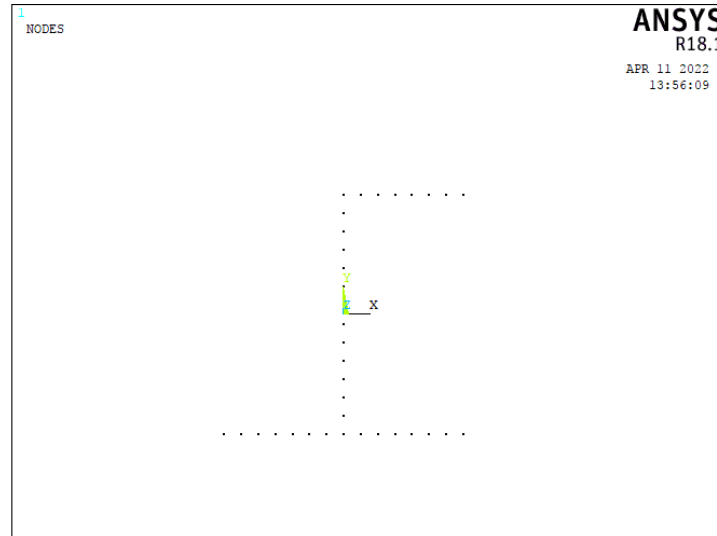
Dalam *software* pemodelan di ANSYS, penggambaran struktur *Angle-bar*, dengan langkah awal adalah dengan menentukan titik-titik pembentukannya yang terdiri dari beberapa *keypoints*. Berikut langkah yang akan dilakukan: **Preprocessor** > **Modelling** > **Create** > **Keypoint** > **in active CS** (muncul **Create Keypoints in Active Coordinate System**) pada windows isikan nomor *keypoint* (**Keypoint number**) dan koordinatnya (**X,Y,Z Location in active CS**) seperti pada gambar:



Gambar 3.10 Window Create Keypoints in Activite Coordinate System

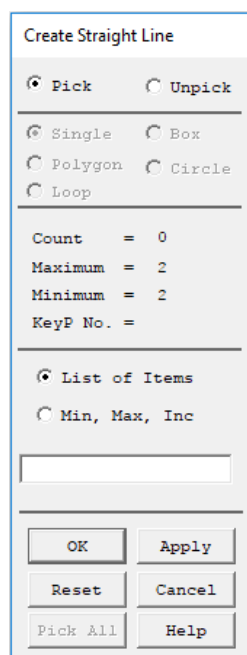
Adapun cara penentuan koordinat penyusunan titik *keypoint* di ANSYS teratur, maka langkah awal yang dilakukan yaitu membuat titik xyz diisi (0,0,0) pada

Create Keypoint in Active Coordinate System yang menjadi sumbu global acuan. Kemudian masukkan koordinat yang diukur di AutoCAD secara berurutan karena pada AutoCAD mengikuti pola gambar tersebut. Adapun hasil gambar 2 dimensi yang telah dibuat di ANSYS dapat dilihat pada gambar:



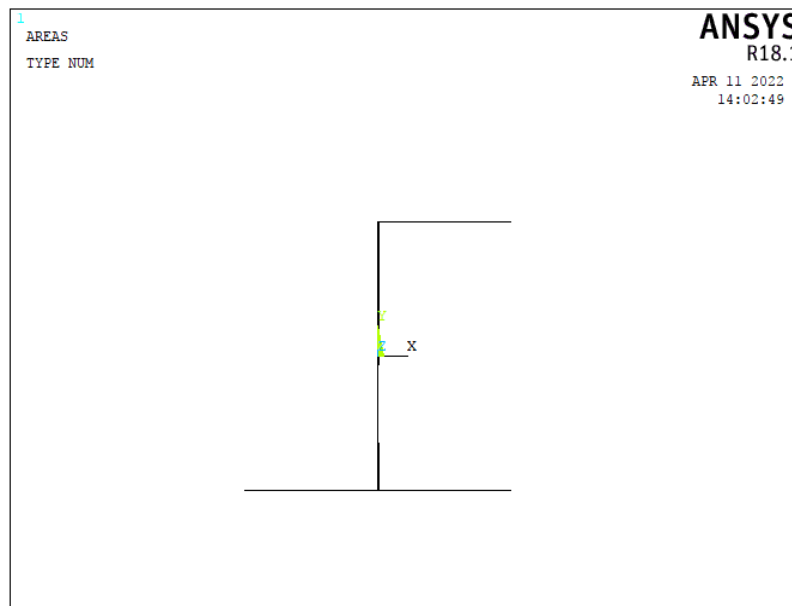
Gambar 3.11 Keypoint 2D di ANSYS

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*):



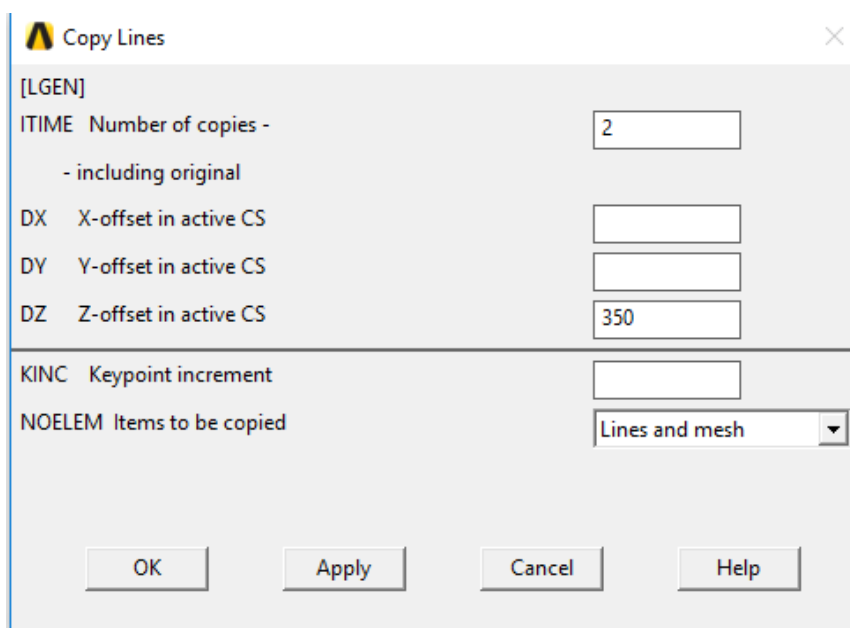
Gambar 3.12 Window Create Straight Line

Setelah muncul *window* seperti gambar, maka klik **Keypoint** sesuai dengan nomor urutan gambar untuk menghubungkan garis satu dengan yang lainnya, sehingga akan terbentuk sebagian *body* pelat seperti pada gambar berikut ini:



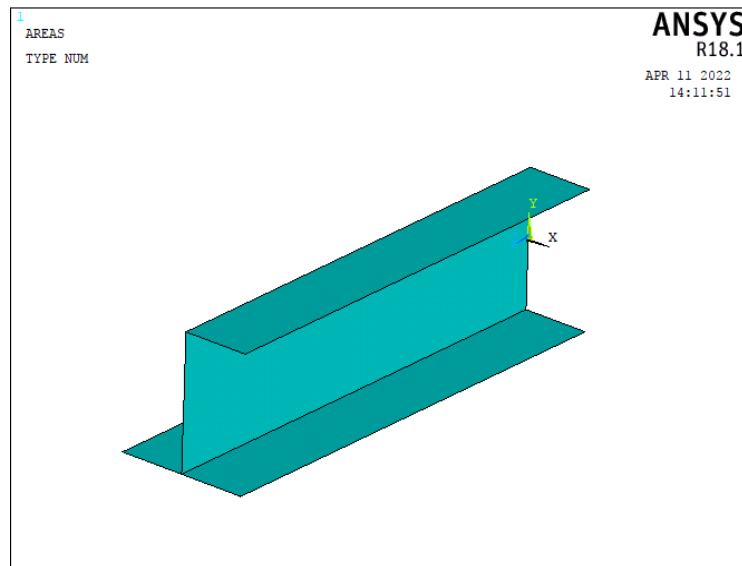
Gambar 3.13 Model 2D yang telah Terhubung Garis

Setelah seluruh *keypoint* sudah dihubungkan menjadi garis-garis, langkah selanjutnya adalah garis-garis (*line*) tersebut di-*copy* agar pelat menjadi 3 dimensi dengan cara: **Preprocessor** > **Copy** > **Line** > **Lines** (muncul *window* **Copy Lines**) seperti gambar:



Gambar 3.14 Window Copy Lines

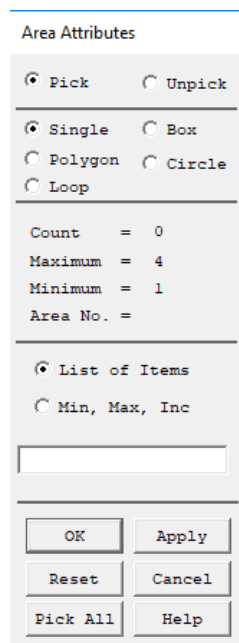
Pada kolom **DZ Z-offset in active CS** isi dengan panjang pelat 350 mm kemudian klik **Ok**. Secara otomatis garis yang di-*copy* tadi akan tergandakan menjadi dua sesuai jarak yang diberikan seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3.15 Model yang Telah Memiliki Area di ANSYS

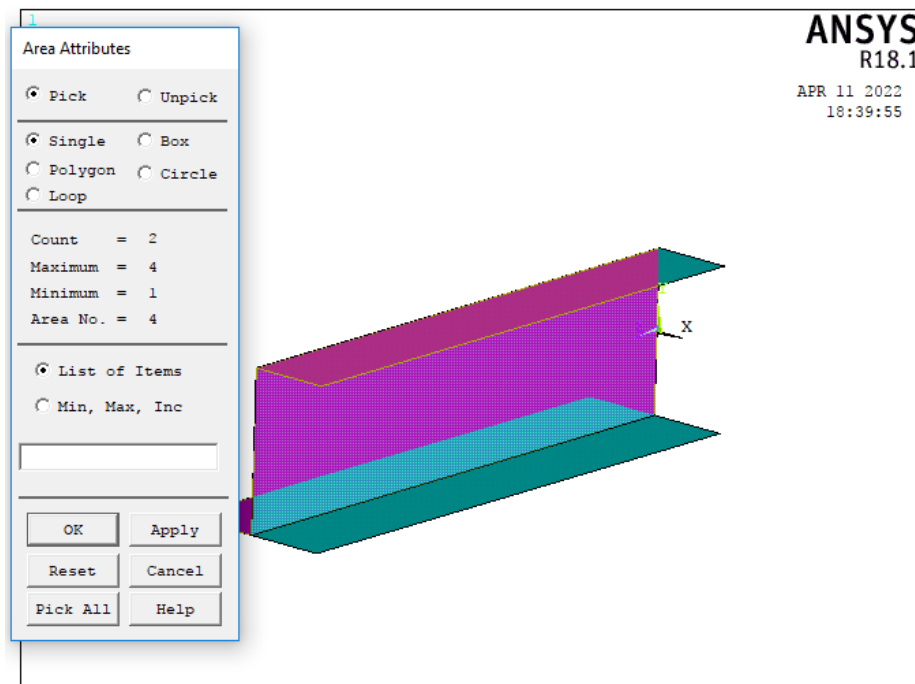
5. Pemberian Tebal Pelat

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



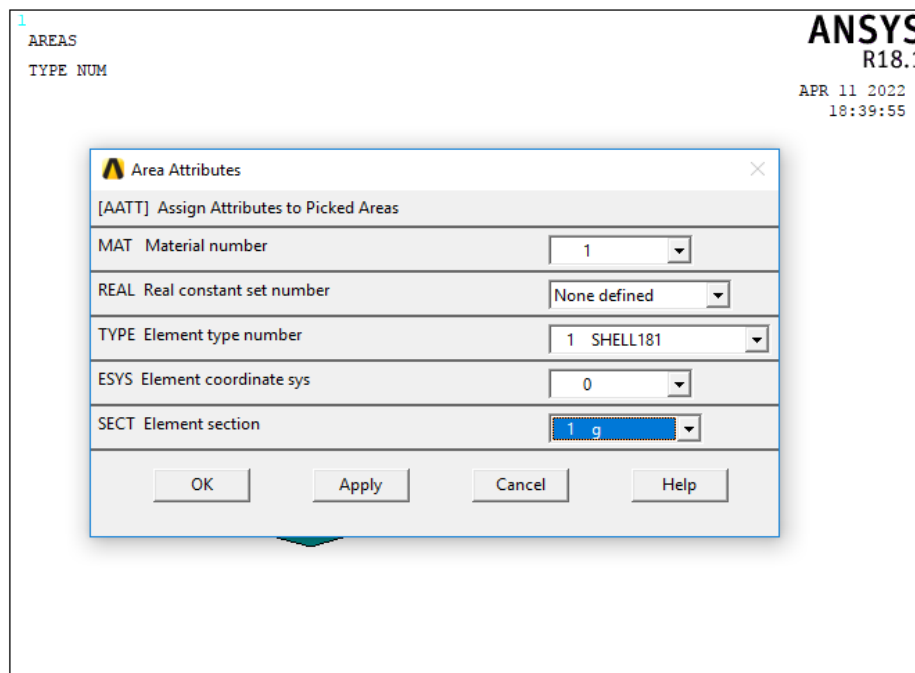
Gambar 3.16 Window Area Attributes

Setelah muncul tampilan seperti gambar, arahkan *cursor* pada area yang ingin dimasukkan ketebalannya seperti gambar:



Gambar 3.17 Area Terblok yang Ingin Dimasukkan Ketebalannya

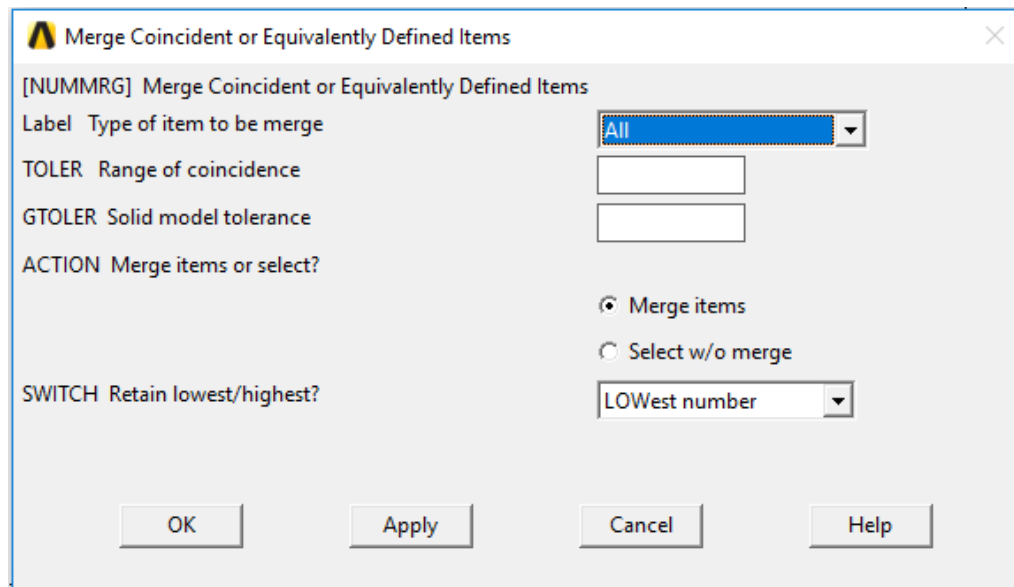
Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 3.18 Area Attributes Pemilihan Ketebalan

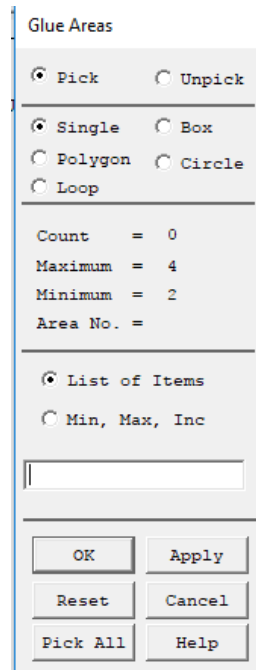
6. Menggabungkan Semua Elemen pada Pelat

Setelah memasukkan ketebalan pelat, selanjutnya perlu dipastikan elemen-elemen pada pelat saling berkaitan satu sama dengan yang lainnya dengan cara klik **Preprocessor > Numbering Control > Merge Items** (muncul *window Merge Coincident or Equivalently Defined Items*) seperti pada gambar:



Gambar 3.19 Window Merge Coincident or Equivalently Defined Items

Pada kolom label **Type of Item to be Merge Option** yang harus dipilih adalah **All**. Setelah itu meng-*glue* pelat tersebut dengan cara **Preprocessor > Modelling > Operate > Booleans > Glue > Areas** (akan muncul *window Glue Areas*) seperti gambar:

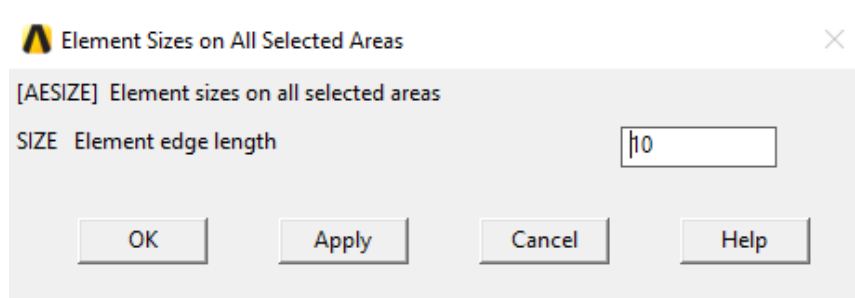


Gambar 3.20 Window Glue Areas

Setelah muncul tampilan seperti pada gambar, klik **Pick All**. Perlu diketahui apabila terjadi masalah pada saat *glue*, hal itu berarti model yang dibuat ada masalah, sehingga perlu dicek terlebih dahulu apakah ada garis atau *keypoint* yang tidak saling berhubungan satu sama dengan yang lainnya karena *glue* sangat berpengaruh dengan proses *running*, maka perlu dipastikan apakah struktur ter-*glue* dengan baik atau tidak.

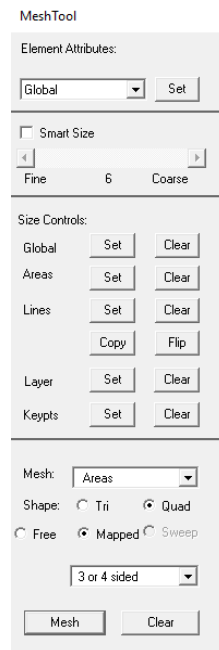
7. Pemberian Ukuran Mesh

Berikut ini ukuran *mesh* yang diberikan 10 (jika jarak *mesh* terlalu kecil, maka dapat diperbesar dengan memasukkan nilai *mesh* lebih besar lagi) dan cara klik **Preprocessor > Meshing > Size ctrls > Manual Size > Area > All Areas** (muncul *window* **Element Sizes on All Selected Areas**) lalu pada baris **SIZE** berikan 10 lalu klik ok seperti pada gambar:



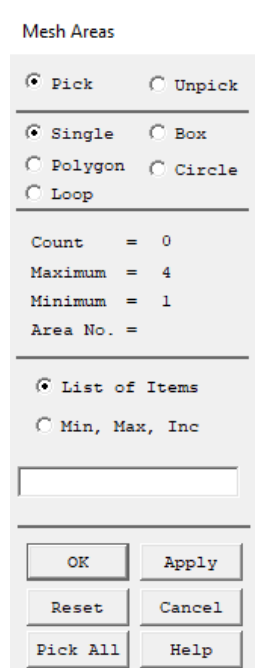
Gambar 3.21 Window Element Sizes on All Selected Areas

Mesh yang telah diberikan jarak 10 akan ditampilkan dengan klik **Preprocessor** > **Mesh Tool** (muncul *window* **Mesh Tools**) lalu klik **Mesh**. Pada kolom **Mesh option** yang dipilih adalah **Quad** dan **Mapped** seperti gambar:



Gambar 3.22 Window Mesh Tool

Setelah itu akan muncul *window* **Mesh Areas** lalu klik **Pick All**:

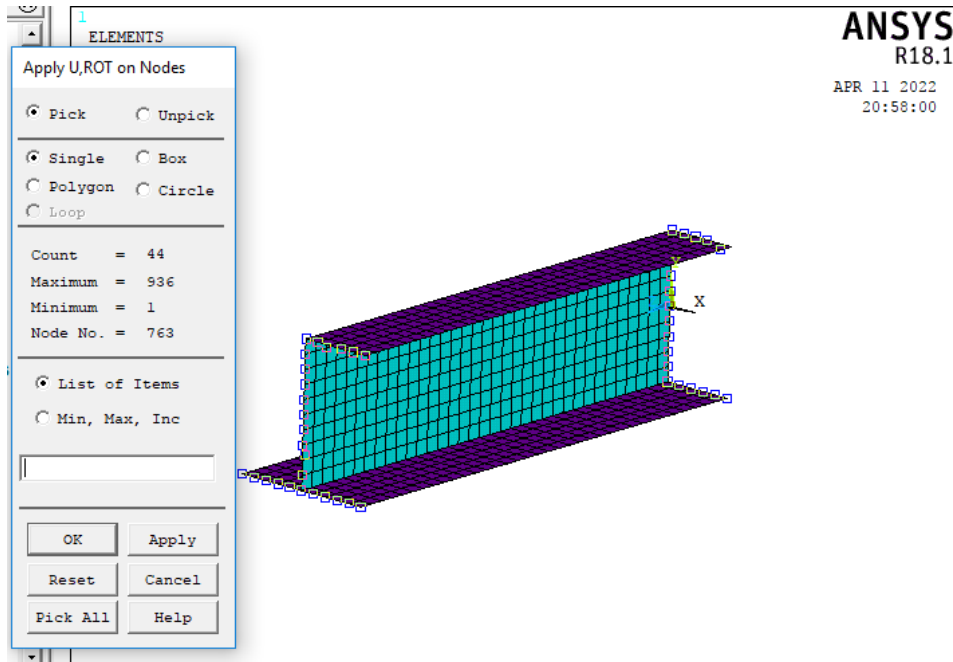


Gambar 3.23 Window Mesh Areas

8. Pemberian Tumpuan dan Beban

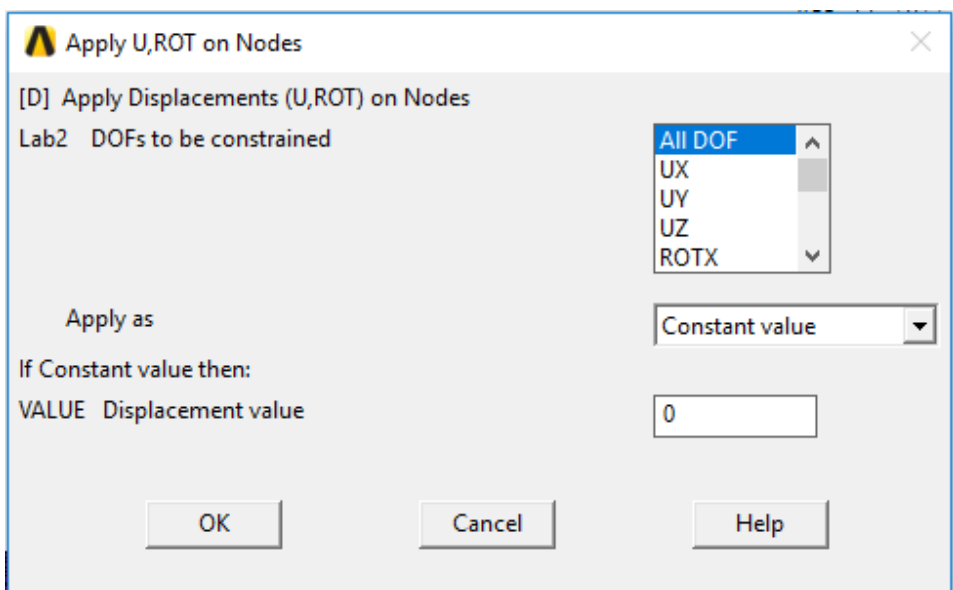
Adapun cara pemberian tumpuan pada ANSYS adalah sebagai berikut:

Solution > Define Load > Apply > Structural > Displacement > On Nodes
(pilih **Nodes** dari kedua sisi ujung pelat) seperti pada gambar:



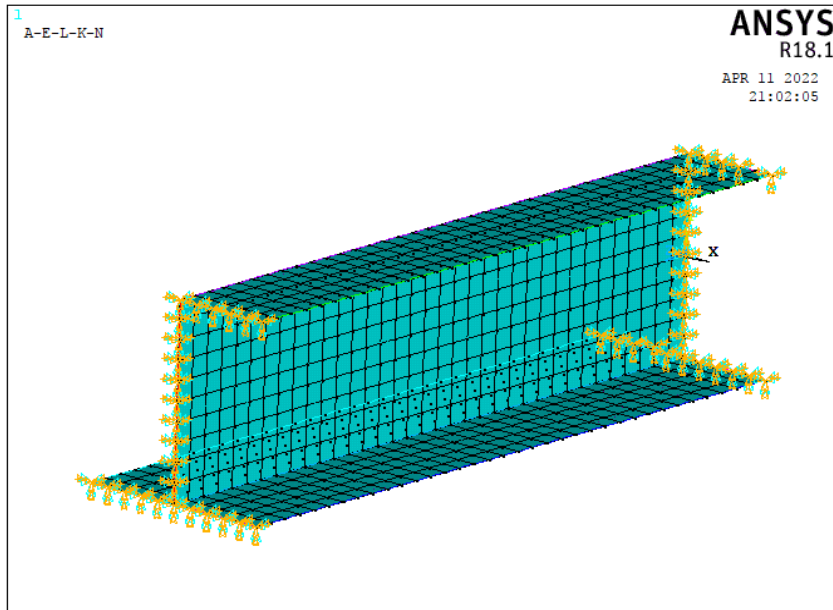
Gambar 3.24 Pemberian Tumpuan pada Pelat Angle-bar

Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti pada gambar:



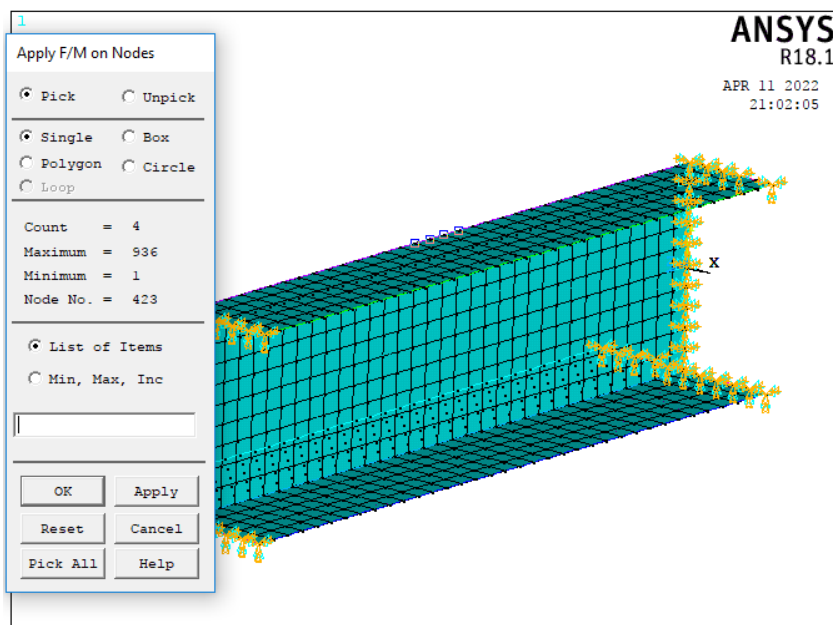
Gambar 3.25 Window Apply U,ROT on Nodes

Pada gambar 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:



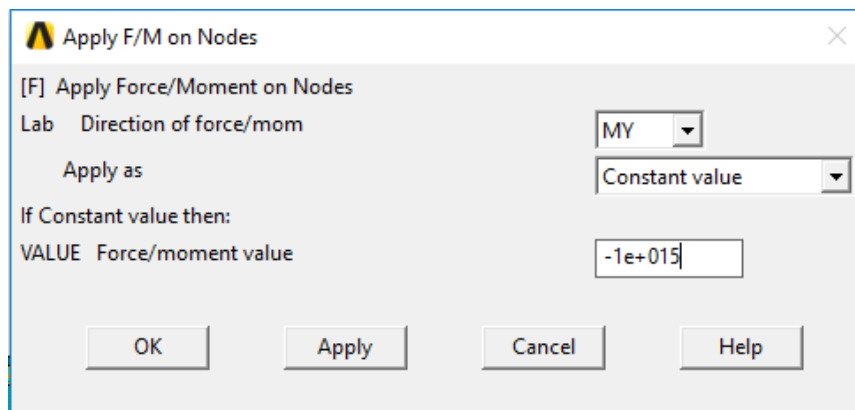
Gambar 3.26 Setelah Pelat Ditumpu

Adapun cara pemberian beban pada ANSYS adalah sebagai berikut:
Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes (pilih **Nodes** pada bagian tengah pelat) seperti pada gambar:



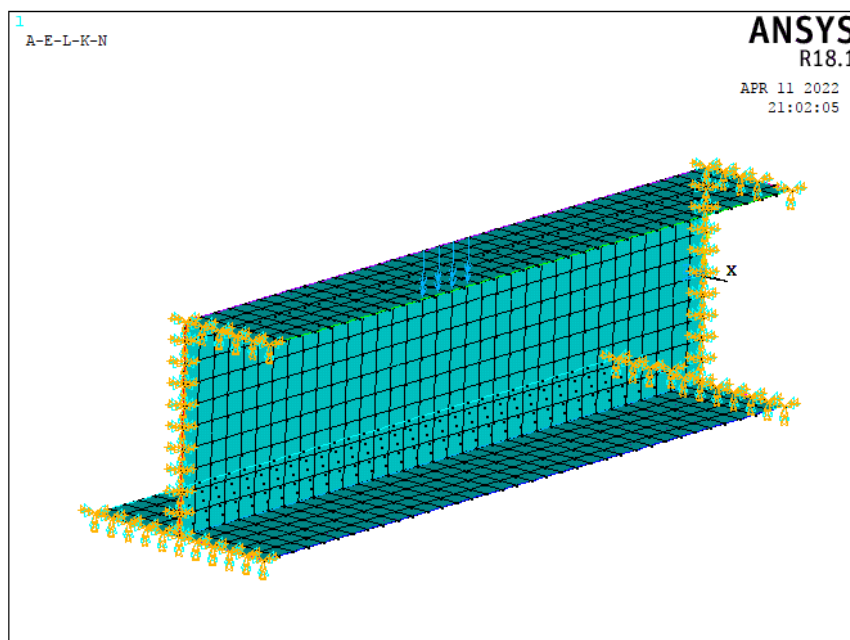
Gambar 3.27 Pemberian Beban pada Pelat

Klik **Ok**, kemudian akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 3.28 Pemberian Jumlah Beban

Berdasarkan gambar, pada kolom **Lab Direction of Force/mom** pilih jenis beban yang akan dimasukkan, yaitu momen arah y (MY), pada kolom **Apply As** pilih **Constant Value** dan pada kolom **Value Force/Moment Value** masukkan besar momen yang ingin dimasukkan.

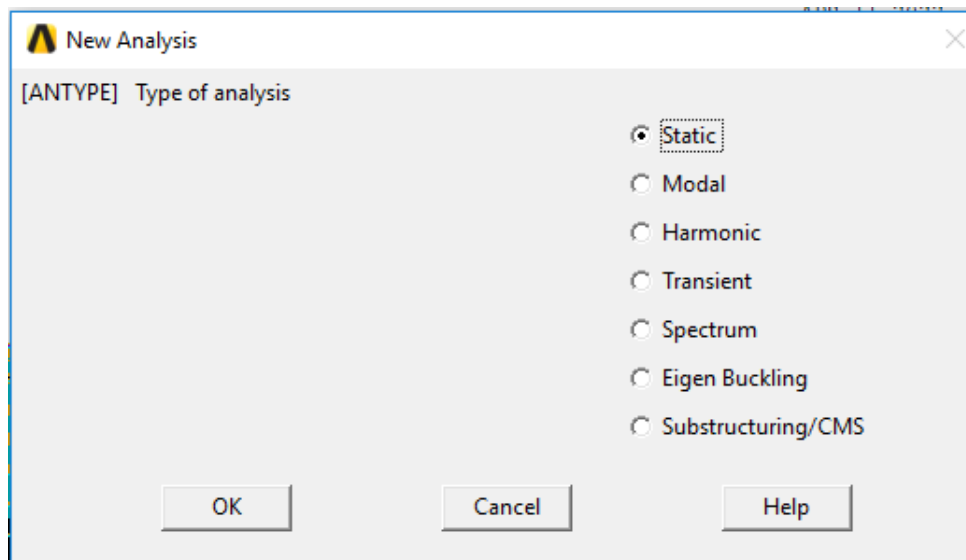


Gambar 3.29 Setelah Diberikan Beban pada Pelat

9. **Running Program**

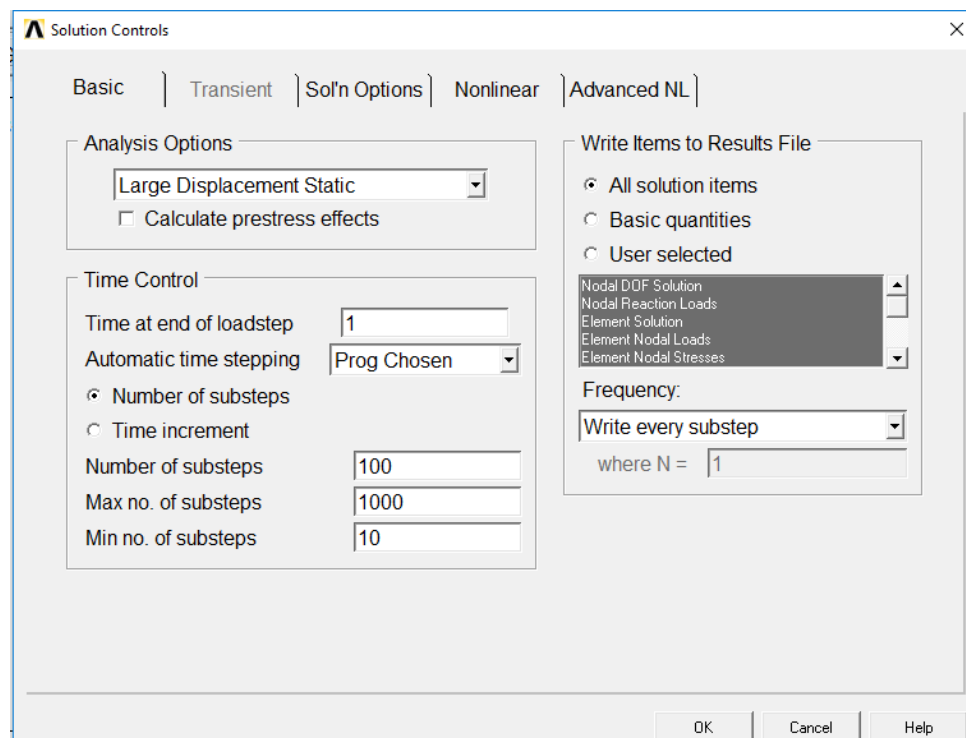
Sebelum melakukan proses *running* perlu mengatur (*setting*) proses analisis yang akan dilakukan. Adapun caranya adalah klik **Solution** > **Analysis Type** > **New**

Analysis (muncul window **New Analysis**), klik **Static** kemudian klik **Ok** seperti yang ditunjukkan pada gambar:



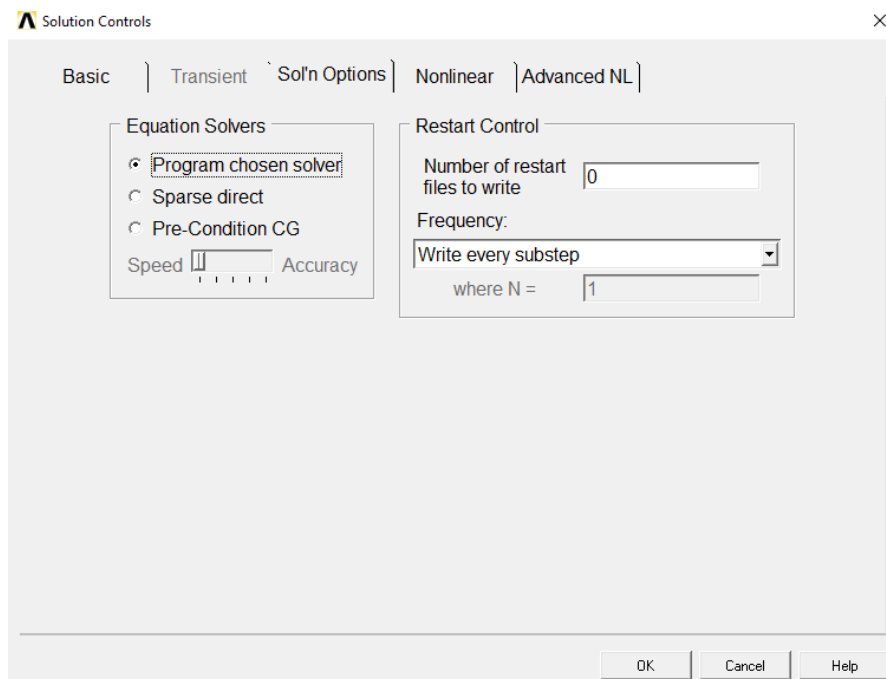
Gambar 3.30 Window New Analysis

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



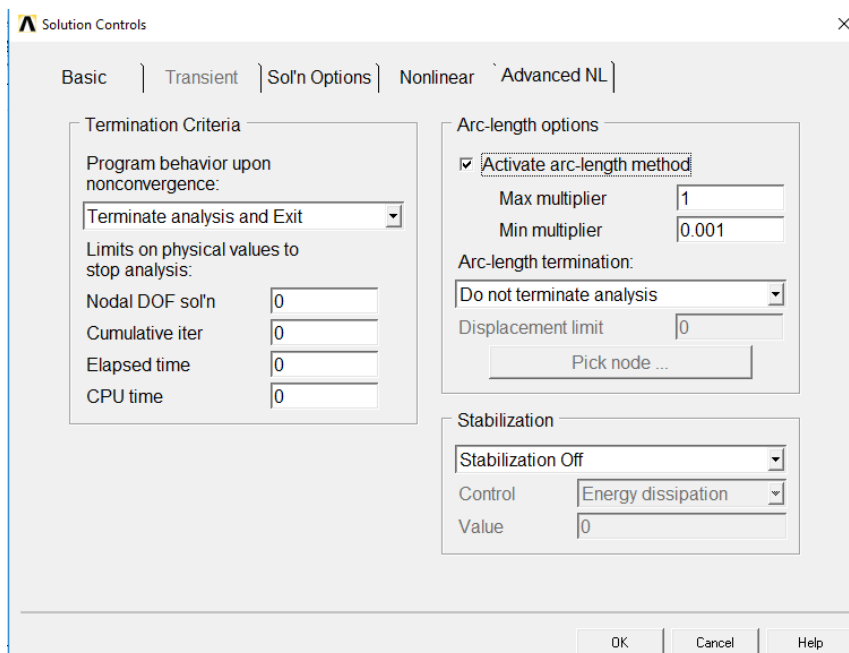
Gambar 3.31 Window Solution Controls

Gambar menunjukkan *setting-an* untuk *basic control*. *Setting-an* selanjutnya adalah **Sol'n Options** seperti yang ditunjukkan gambar:



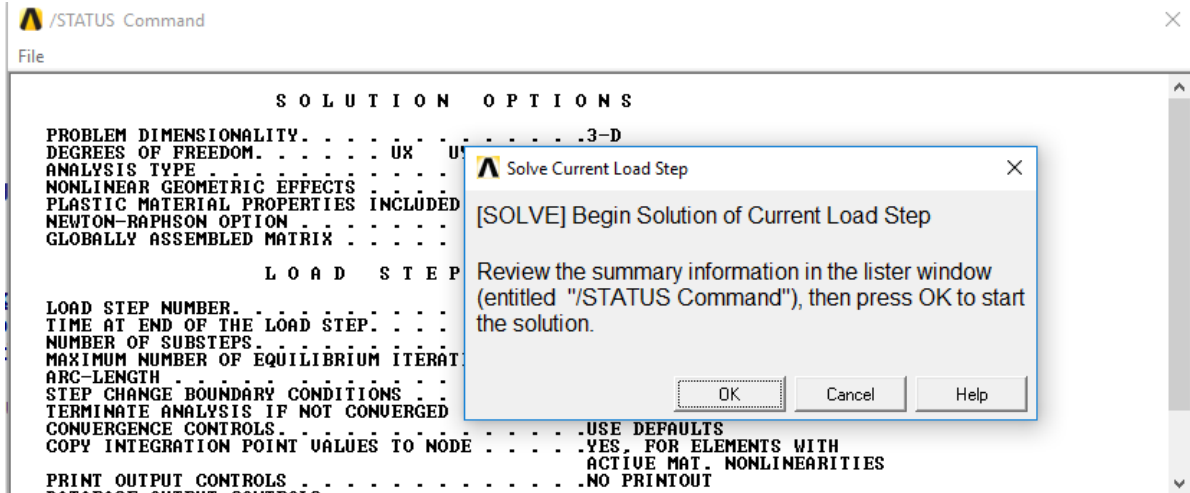
Gambar 3.32 Window Solution Controls

Setelah **Sol'n Options** di-*setting*, selanjutnya menuju ke *setting-an* **Advanced NL** seperti yang ditunjukkan gambar:



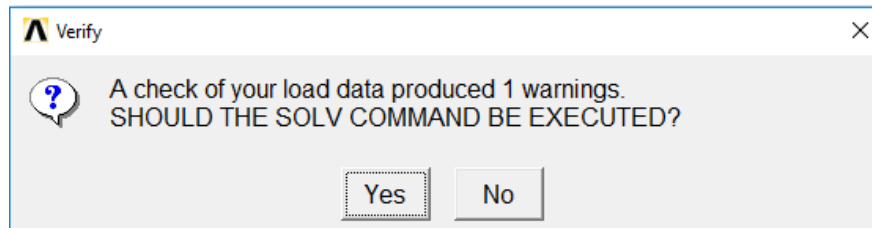
Gambar 3.33 Window Sol'n Options Setting untuk *Running*

Setelah langkah-langkah *setting* di atas sudah 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 Command*) lalu klik **Ok** (muncul *window Solve Current Load Step*) seperti yang ditunjukkan pada gambar:



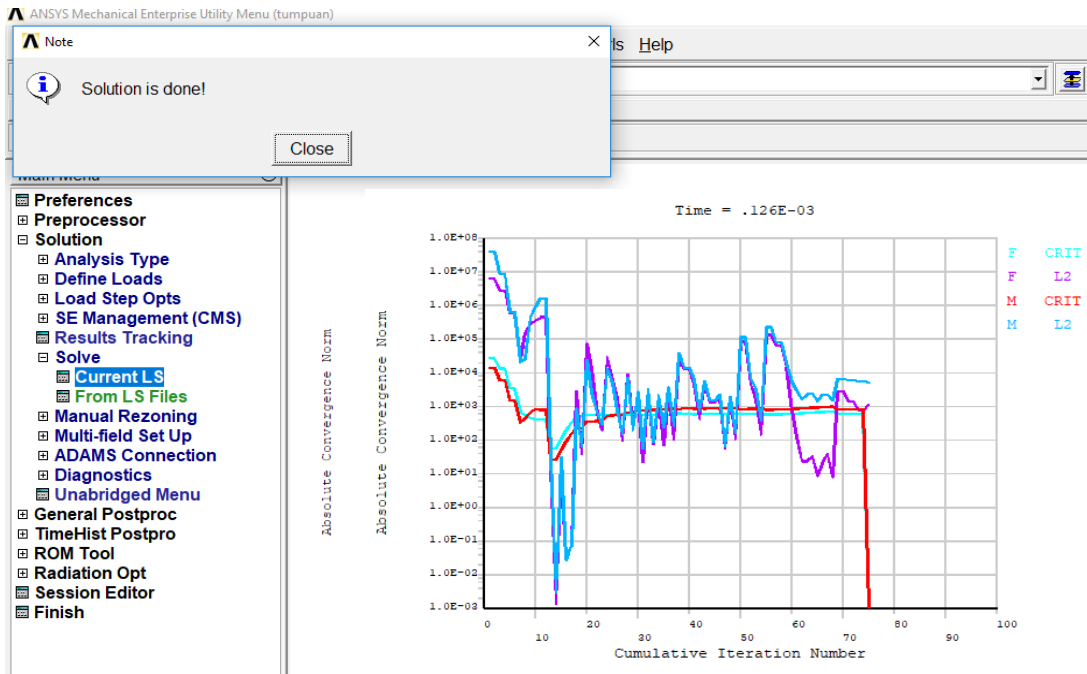
Gambar 3.34 Window Solve Current Load Step

Dari gambar, 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 pada gambar:



Gambar 3.35 Window Verify Sebelum *Running*

Setelah proses *running* selesai, ANSYS akan mengeluarkan pemberitahuan **Solution is done!** Apabila proses *running* bermasalah, maka muncul pemberitahuan pada layar monitor. Adapun proses *running* yang berhasil dapat dilihat:

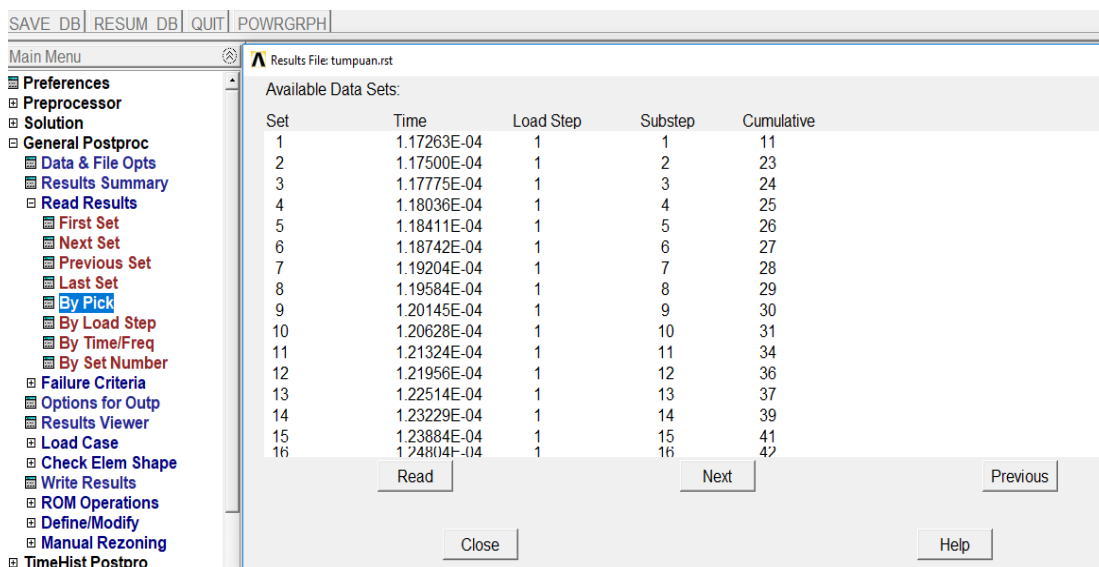


Gambar 3.36 Window Note *Running Down*

Demikianlah tata cara analisis kekuatan pelat *Angle-bar* dengan menggunakan metode *Nonlinear Finite Element Analysis* (NLFEA) di ANSYS.

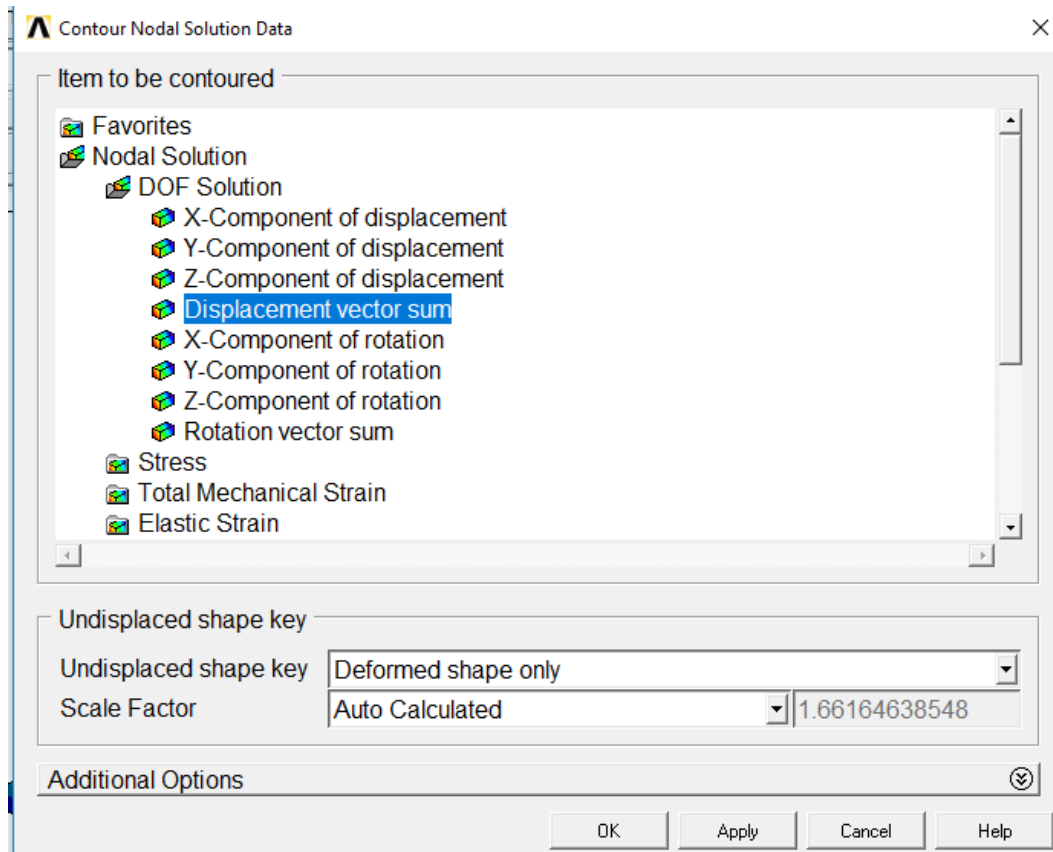
10. Tampilan Deformasi Pelat

Adapun langkah-langkah melihat bentuk deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* di ANSYS yaitu klik **General Postproc > Read Results > By Pick Read > Close**



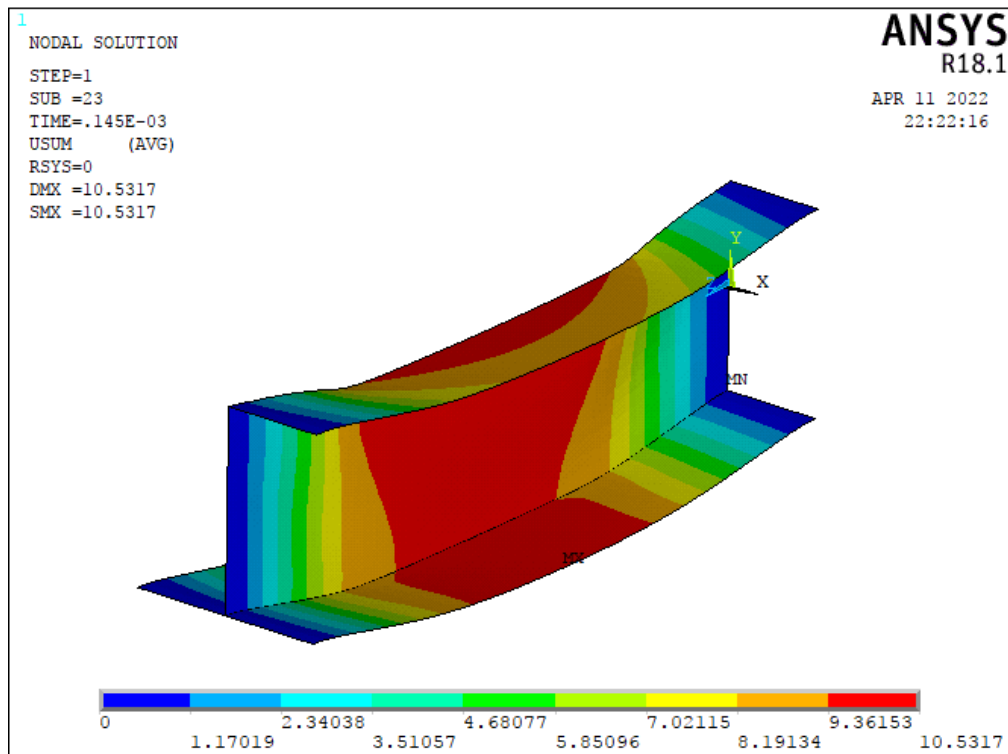
Gambar 3.37 Window Results File

Langkah selanjutnya klik **Plot Result > Contour Plot > Nodal Solution** (muncul *window Contour Nodal Solution Data*) > **Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > Scale Factor (Auto Calculated) > Ok**. Seperti pada gambar:



Gambar 3.38 Window Contour Nodal Solution Data

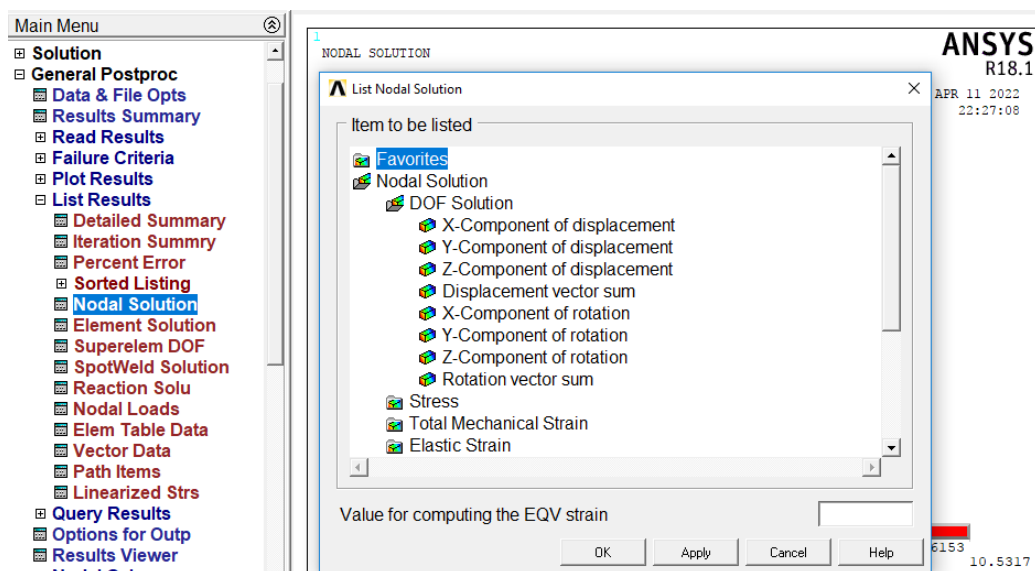
Setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan benar, maka deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* akan muncul seperti pada gambar:



Gambar 3.39 Deformasi *Angle-bar*

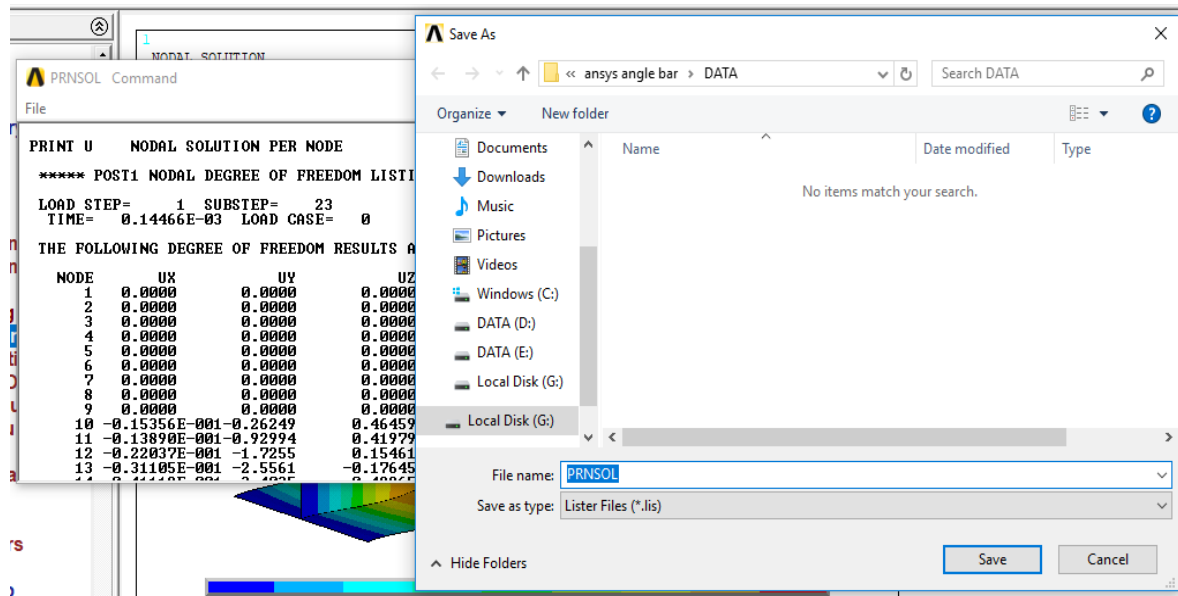
11. Tampilan Grafik *Stress-Strain*

Adapun langkah-langkahnya yakni mengambil nilai nodal solution untuk menentukan nilai *stress* dan *strain* di ANSYS dengan mengklik **General Postproc** > **List Results** > **Nodal Solution** > **DOF Solution** > **Displacement Vector Sum** > **Ok** seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.40 Window List Nodal Solution

Setelah itu akan muncul *list* data **PRNSOL Command** kemudian klik **File > Save As** lalu ganti nama **File Name** lalu **Save**.



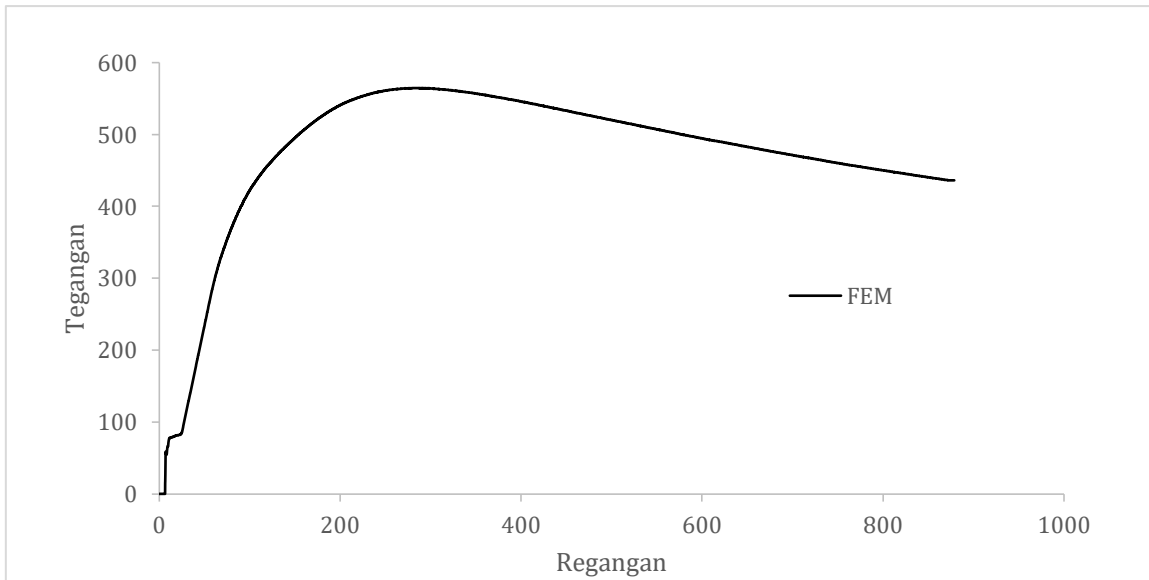
Gambar 3.41 Save File ANSYS

12. Cara Plot Grafik Hasil Analisis pada ANSYS dengan MS Excel

Setelah mendapatkan nilai *stress* dan *strain*, langkah selanjutnya adalah plot data tersebut menjadi sebuah grafik hubungan tegangan regangan. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. *Export* data dari ANSYS menggunakan teks editor MARUO
2. Setelah data dari ANSYS terbuka di MARUO, *copy* data tersebut ke MS Excel
3. Plot data tersebut menjadi grafik di MS Excel dengan sumbu y adalah tegangan dan sumbu x adalah regangan.
4. Selesai

Adapun hasil yang diperoleh dari MS Excel setelah melakukan analisis ANSYS dan hasil menggunakan MS Excel dapat dilihat pada gambar:



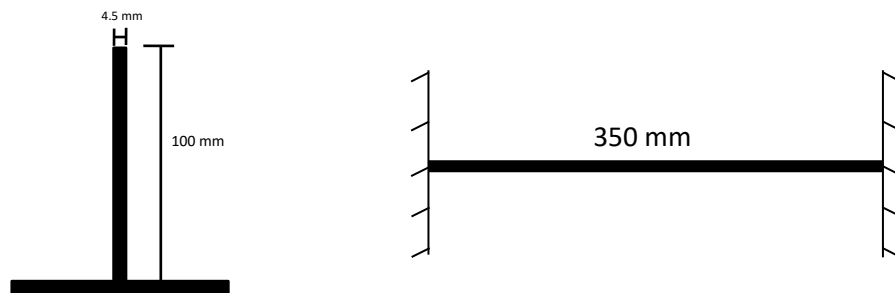
Gambar 3.42 Grafik Tegangan Regangan *Angle-bar*

BAB 4

FLAT-BAR

1. Data Pelat

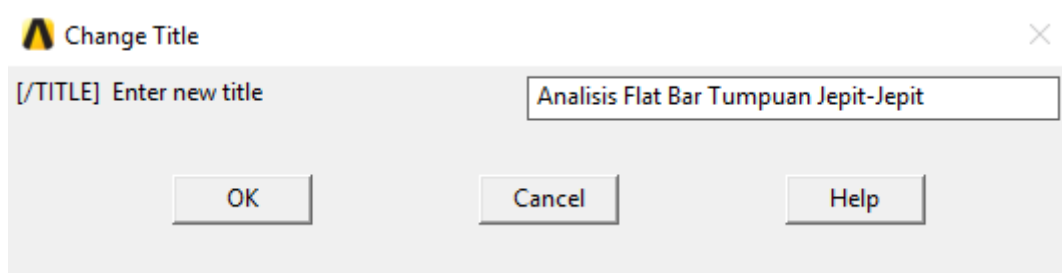
Data pelat berupa material yang digunakan adalah tipe material, modulus elastisitas, densitas, *poison ratio* disertai dengan ukuran ketebalan pelat. Adapun pada contoh material berikut adalah data *Flat-bar*. Jenis material yang digunakan adalah tipe AH37 dengan modulus elastisitas = 210000 N/mm^2 , densitas = $7.8 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$, *poison ratio* = 0.3. Gambaran ukuran utama *Angle-bar* ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Penampang *Flat-bar*

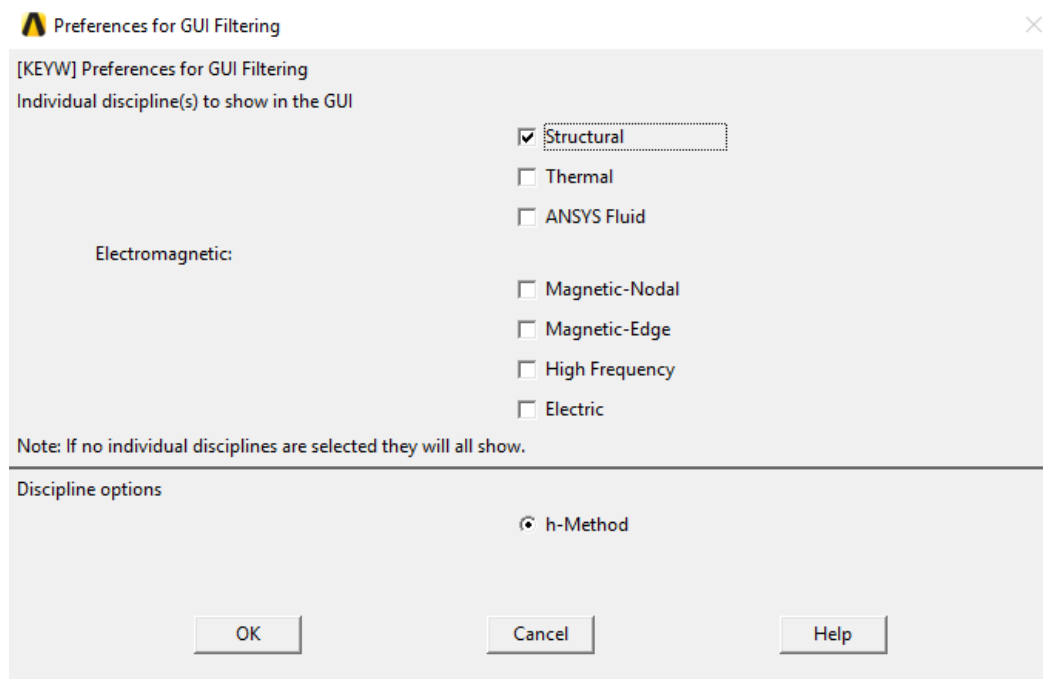
2. Input Data Material Pelat

Objek yang dianalisis diberikan sebagai berikut: klik **File – Change Title** (muncul kotak dialog **Change Title**). Pada **[/TITLE] Enter New Title** isikan "Analisis Flat-bar Tumpuan Jepit-Jepit" lalu klik **Ok**. Seperti yang terlihat pada gambar:



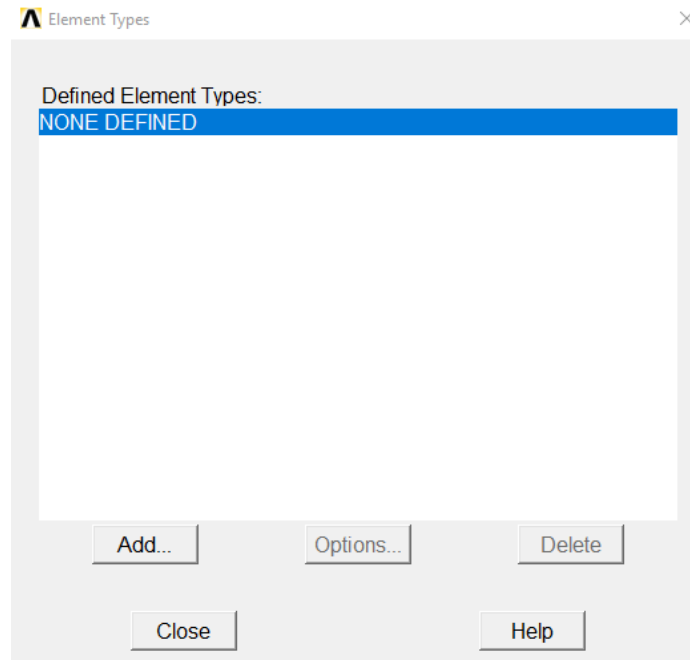
Gambar 4.2 Change Title

Karena persoalan yang dianalisis adalah tentang struktur, maka dipilih **Structural** dengan cara pilih **Preferences** (muncul kotak dialog **Preferences for GUI Filtering**) – pilih **h-Method Ok**. Pilih preference pada main dan akan muncul kotak dialog seperti pada gambar:



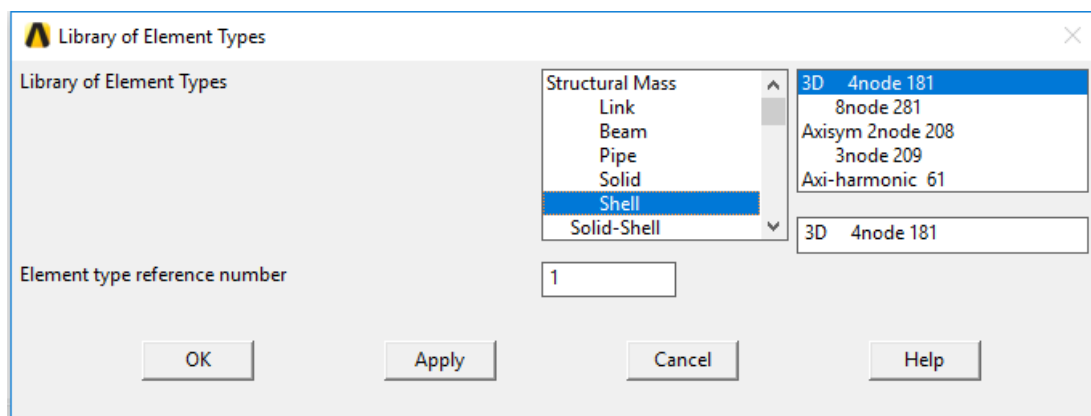
Gambar 4.3 Preferences for GUI Filtering

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



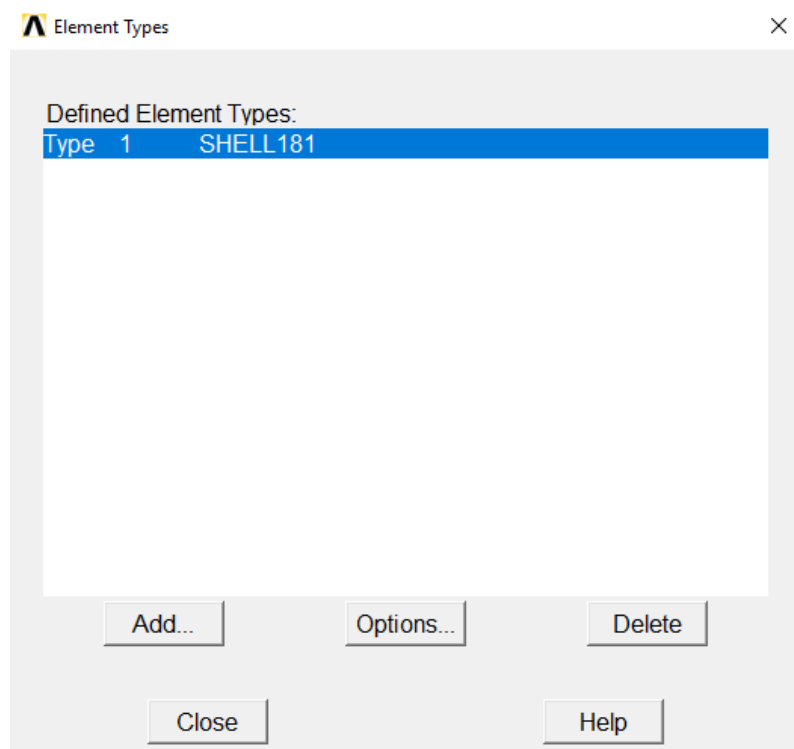
Gambar 4.4 Defined Element Types: NONE DEFINED

Setelah tampilan dialog muncul, pilih **Add** untuk menambahkan jenis material yang akan digunakan, selanjutnya akan muncul kotak dialog **Library of Element** seperti pada gambar:



Gambar 4.5 Library of Element Types

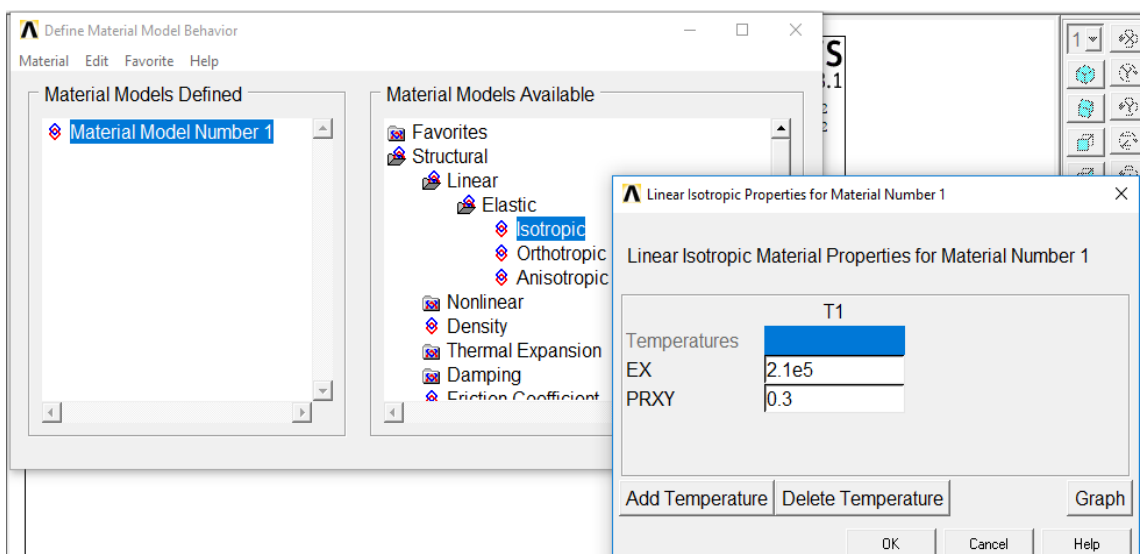
Setelah itu, akan muncul jenis material yang disediakan oleh ANSYS, pilih **Material Shell** dengan **Type 3D 4Node 181** lalu tekan **Ok**. Kemudian dialog **Element Types** akan menambahkan material tersebut untuk digunakan sebagai material struktur seperti pada gambar berikut dan **Close** kotak dialog.



Gambar 4.6 Defined Element Types: Type 1 SHELL181

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 *property* dari sebuah material. **Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic** (ditunjukkan seperti gambar)

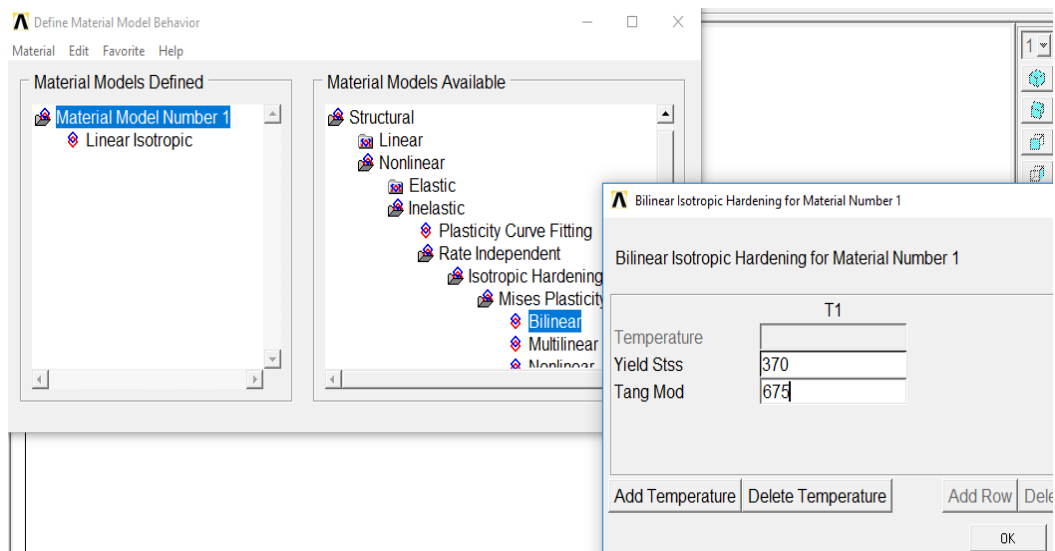


Gambar 4.7 Define Material Model Behavior

3. *Properties Material Pelat*

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**.

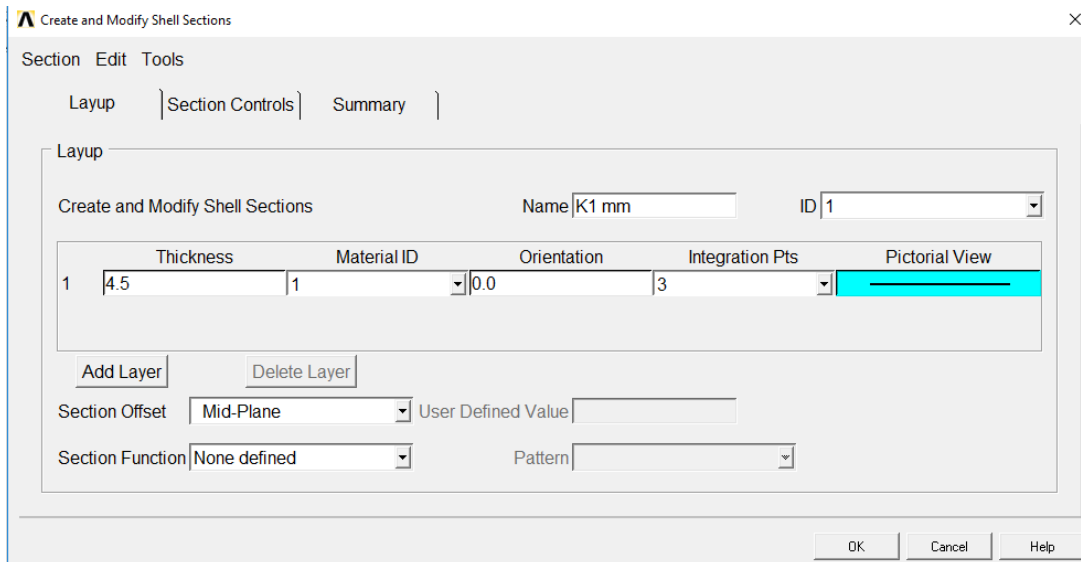
Karena analisis yang dilakukan adalah analisis nonlinear dengan langkah sebagai berikut: **Material Props > Material Models > Structural > Nonlinear > Inelastic > Rate Independent > Isotropic Hardening Plastic > Mises Plasticity > Bilinear** (ditunjukkan pada gambar):



Gambar 4.8 Material Models Defined

Pada baris **Yield Stress** berikan nilai 370 sebagai nilai tegangan luluh pada baris **Tang Mod** berikan 675 sebagai *tangen modulus* kemudian klik **Ok**.

Ketebalan **Area Element** akan diberikan ketika melakukan *mesh atribut*. Adapun langkah memberi ketebalan material adalah sebagai berikut (sebagai contoh menggambarkan elemen pelat). **Preprocessor > Section > Shell > Lay Up > Add/Edit**. Adapun tampilan kotak dialog setelah proses tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar:

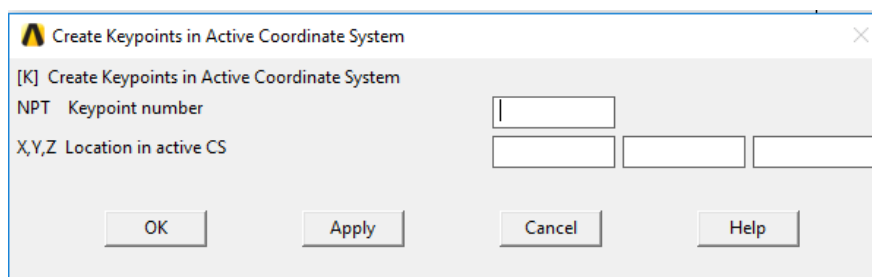


Gambar 4.9 Create and Modify Shell Sections

Pada baris **Name** isi nama bagian pelat sesuai ketebalannya, baris **ID** isi nomor **ID** ketebalan pelat sesuai dengan urutan bagian pelat, **Thickness** isi ketebalan bagian pelat yang diinginkan, baris **Material ID** digunakan sesuai dengan material model yang telah diisi sebelumnya dan **Orientation**, **Integration Pts**, **Pictorial View**, dan lain-lain tidak perlu diubah.

4. Model Struktur Pelat

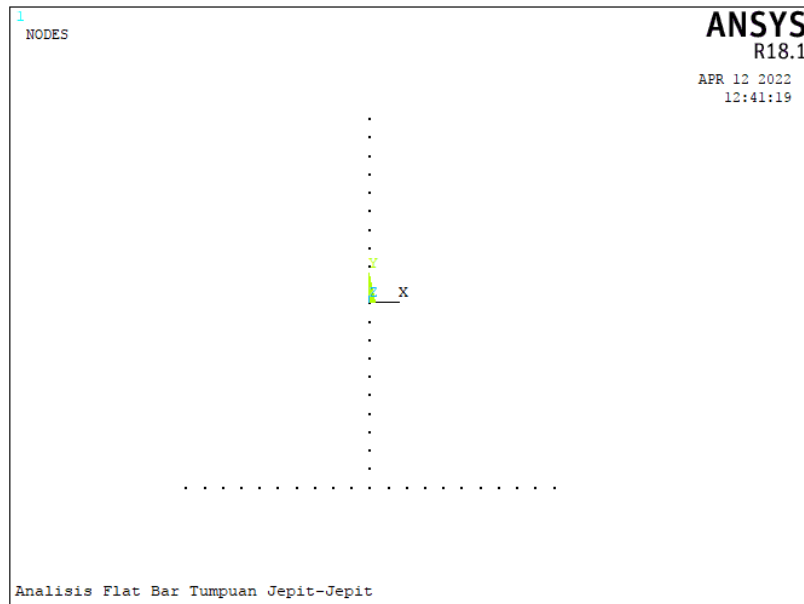
Dalam *software* pemodelan di ANSYS, penggambaran struktur *Flat-bar*, dengan langkah awal adalah dengan menentukan titik-titik pembentukannya yang terdiri dari beberapa *keypoints*. Berikut langkah yang akan dilakukan: **Preprocessor** > **Modelling** > **Create** > **Keypoint** > **In Activitas CS** (muncul **Create Keypoints in Active Coordinate System**) pada *windows* isikan nomor *keypoint* dan koordinatnya seperti pada gambar:



Gambar 4.10 Create Keypoint in Active Coordinate System

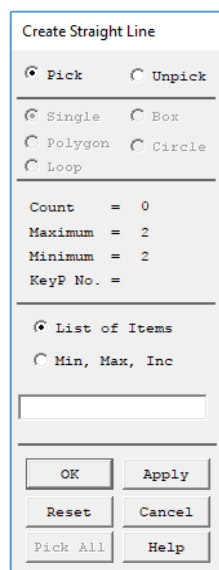
Adapun cara penentuan koordinat penyusunan titik *keypoint* di ANSYS teratur, maka langkah awal yang dilakukan yaitu membuat titik xyz diisi (0,0,0) pada

Create Keypoint In Active Coordinate System yang menjadi sumbu global acuan. Kemudian masukkan koordinat yang diukur di AutoCAD secara berurutan karena pada AutoCAD mengikuti pola gambar tersebut. Adapun hasil gambar 2 dimensi yang telah dibuat di ANSYS dapat dilihat pada gambar:



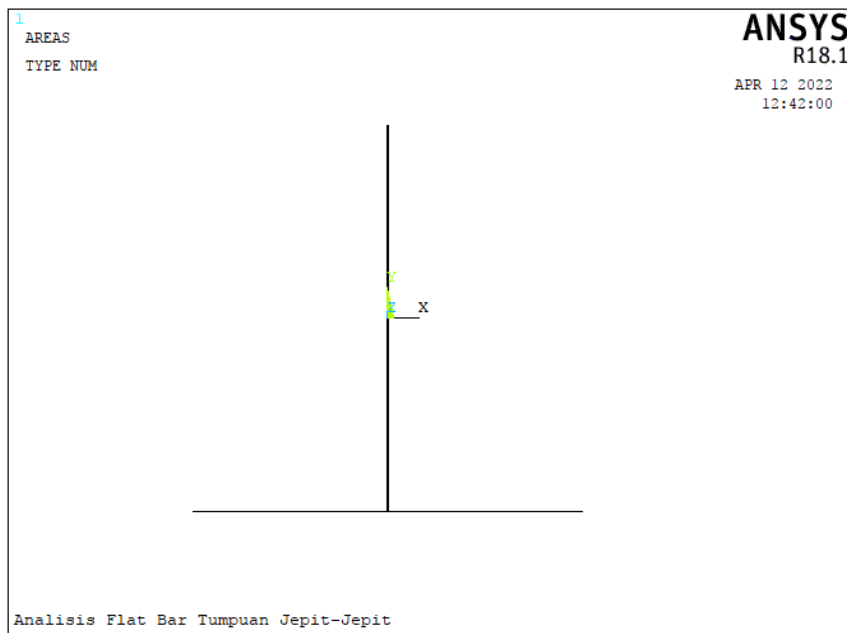
Gambar 4.11 Nodes Flat-bar

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*):



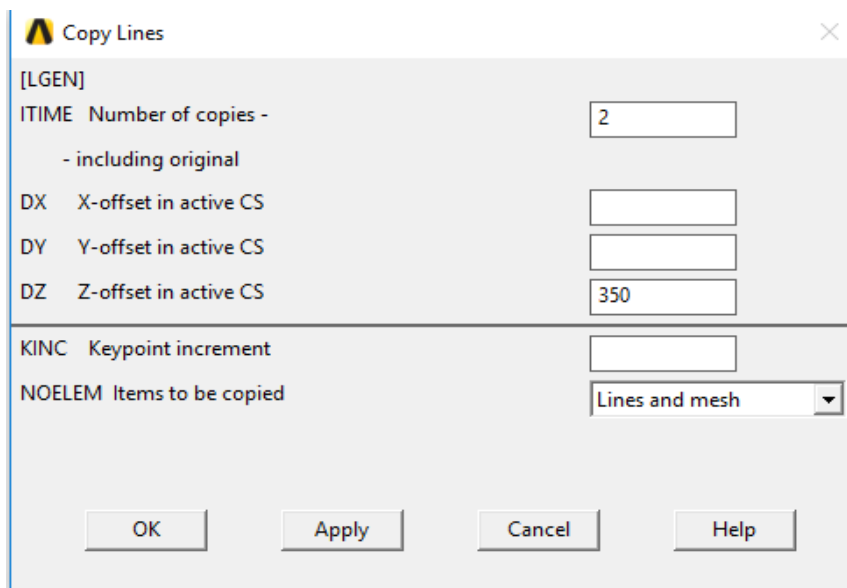
Gambar 4.12 Create Straight Line

Setelah muncul *window* seperti gambar, maka klik **Keypoint** sesuai dengan nomor urutan gambar untuk menghubungkan garis satu dengan yang lainnya, sehingga akan terbentuk sebagian *body* pelat seperti pada gambar berikut ini:



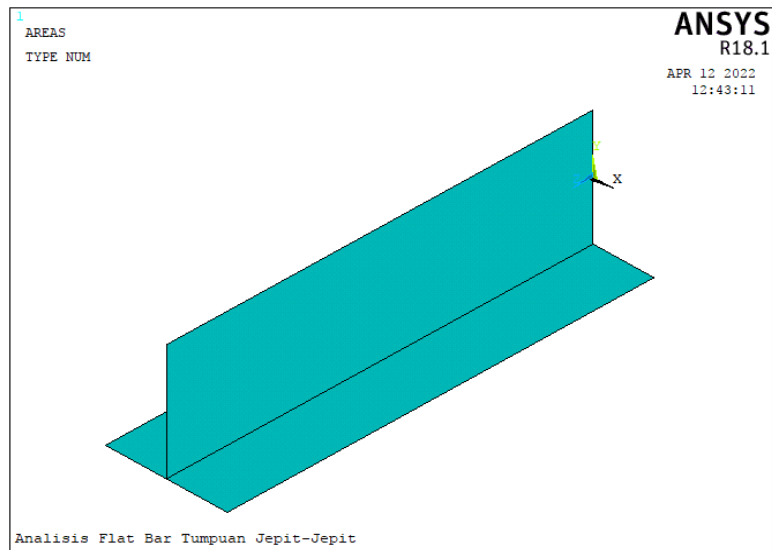
Gambar 4.13 Gambar 2D *Flat-bar*

Setelah seluruh *keypoint* sudah dihubungkan menjadi garis-garis, langkah selanjutnya adalah garis-garis (*line*) tersebut di-*copy* agar pelat menjadi 3 dimensi dengan cara: **Preprocessor** > **Copy** > **Line** > **Lines** muncul *window* **Copy Lines** seperti gambar:



Gambar 4.14 Copy Lines

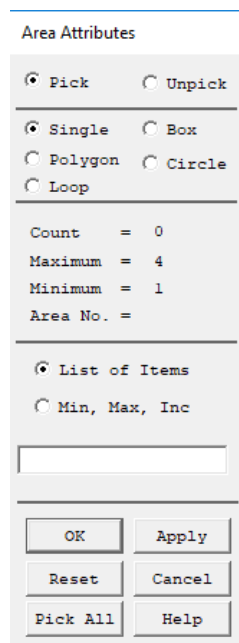
Pada kolom **DZ Z-offset in active CS** isi dengan panjang pelat 350 mm kemudian klik **Ok**. Secara otomatis garis yang di-copy tadi akan tergandakan menjadi dua sesuai jarak yang diberikan seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 4.15 3D Flat-bar

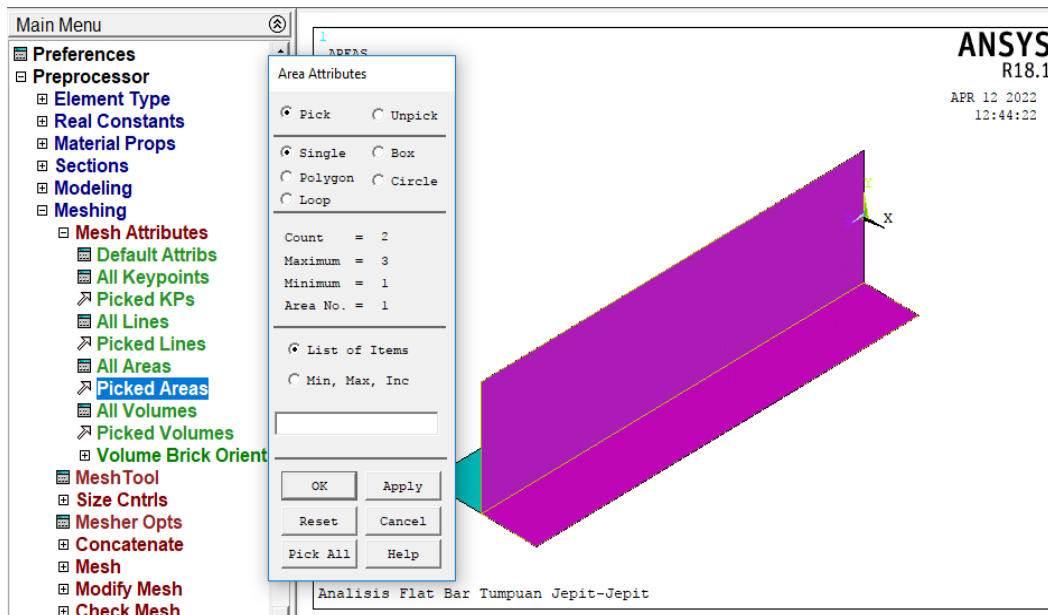
5. Pemberian Tebal Pelat

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



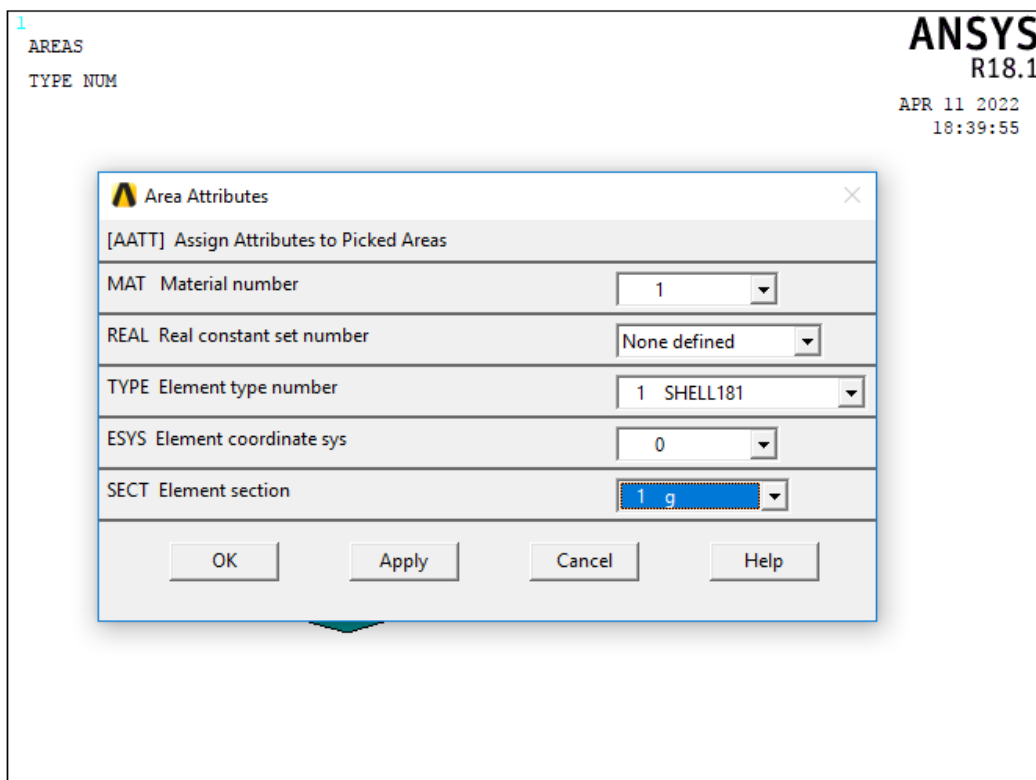
Gambar 4.16 Area Attributes (a)

Setelah muncul tampilan seperti gambar, arahkan *cursor* pada area yang ingin dimasukkan ketebalannya seperti gambar:



Gambar 4.17 Input Ketebalan *Flat-bar*

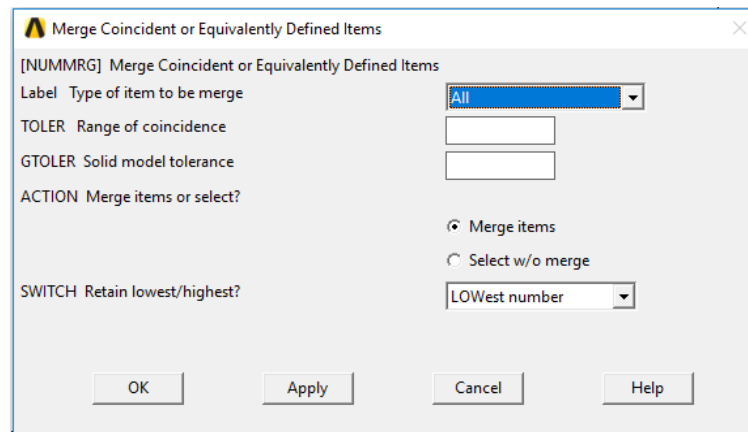
Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 4.18 Area Attributes (b)

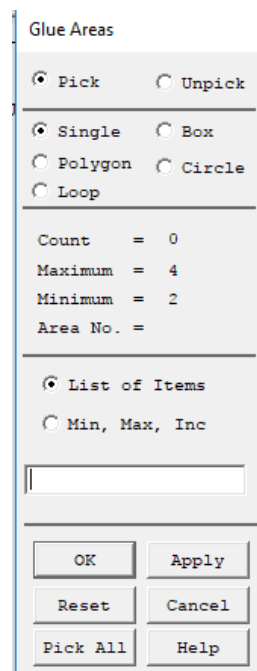
6. Menggabungkan Semua Elemen pada Pelat

Setelah memasukkan ketebalan pelat, selanjutnya perlu dipastikan elemen-elemen pada pelat saling berkaitan satu sama dengan yang lainnya dengan cara klik **Preprocessor > Numbering Control > Merge Items** (muncul *window Merge Coincident*) seperti pada gambar:



Gambar 4.19 Merge Coincident or Equivalently Defined Items

Pada kolom label **Type of Item to be Merge Option** yang harus dipilih adalah **All**. Setelah itu meng-*glue* pelat tersebut dengan cara **Preprocessor > Modelling > Operate > Booleans > Glue > Areas** (akan muncul *window Glue Areas*) seperti gambar:

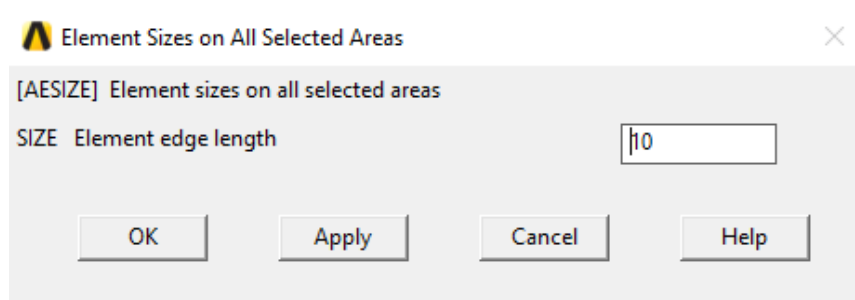


Gambar 4.20 Glue Areas

Setelah muncul tampilan seperti pada gambar, klik **Pick All**. Perlu diketahui apabila terjadi masalah pada saat *glue* hal itu berarti model yang dibuat ada masalah, sehingga perlu dicek terlebih dahulu apakah ada garis atau *keypoint* yang tidak saling berhubungan satu sama dengan yang lainnya karena *glue* sangat berpengaruh dengan proses *running*, maka perlu dipastikan apakah struktur ter-*glue* dengan baik atau tidak.

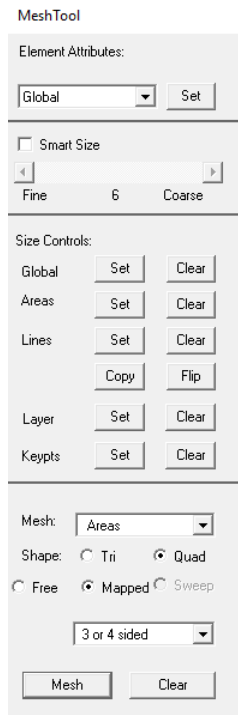
7. Pemberian Ukuran Mesh

Berikut ini ukuran **Mesh** yang diberikan 10 (jika jarak *mesh* terlalu kecil, maka dapat diperbesar dengan memasukkan nilai *mesh* lebih besar lagi) dan cara klik **Preprocessor > Meshing > Size Cntrl > Manual Size > Area > All Area** (muncul *window* **Element Sizes on All Selected Areas**) lalu pada baris **SIZE Element edge length** berikan 10 lalu klik **Ok** seperti pada gambar:



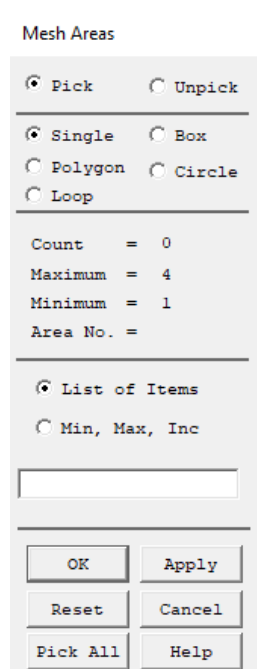
Gambar 4.21 Element Sizes on All Selected Areas

Mesh yang telah diberikan jarak 10 akan ditampilkan dengan **klik Preprocessor > Mesh Tool** (muncul *window* **Mesh Tools**) lalu klik **Mesh**. Pada kolom **Mesh Option** yang dipilih adalah **Quad** dan **Mapped** seperti gambar:



Gambar 4.22 Mesh Tool

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

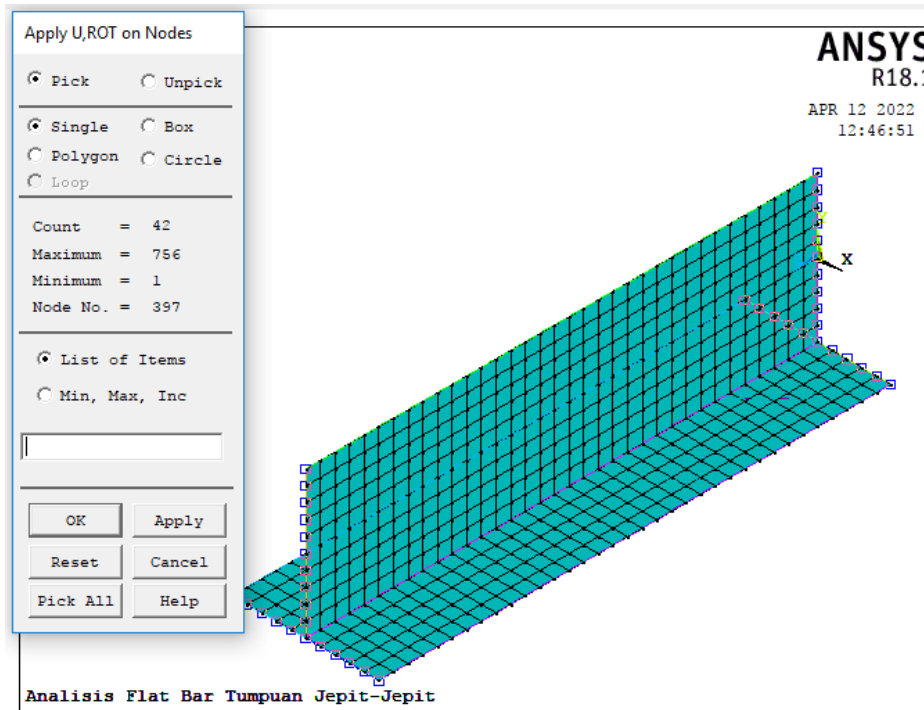


Gambar 4.23 Mesh Areas

8. Pemberian Tumpuan dan Beban

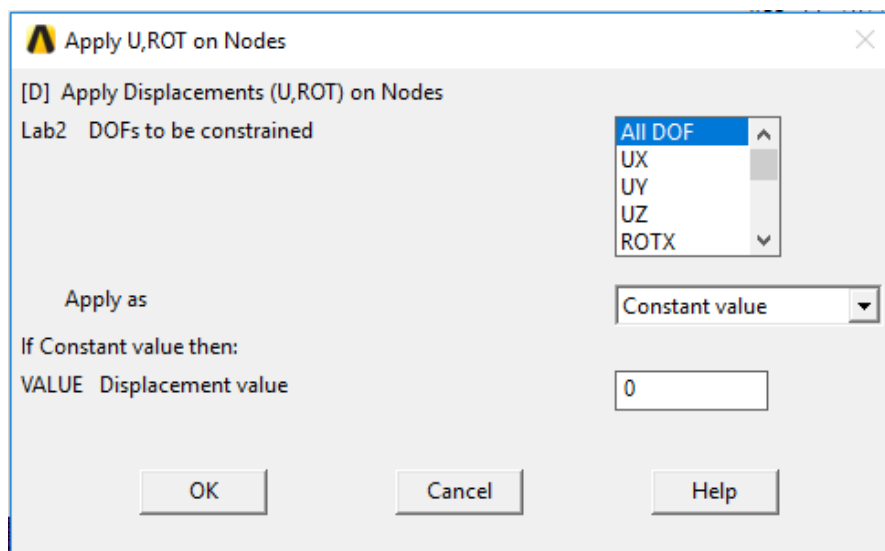
Adapun cara pemberian tumpuan pada ANSYS adalah sebagai berikut:

Solution > Define Load > Apply > Structural > Displacement > On Nodes
(pilih **Nodes** dari kedua sisi ujung pelat) seperti pada gambar:



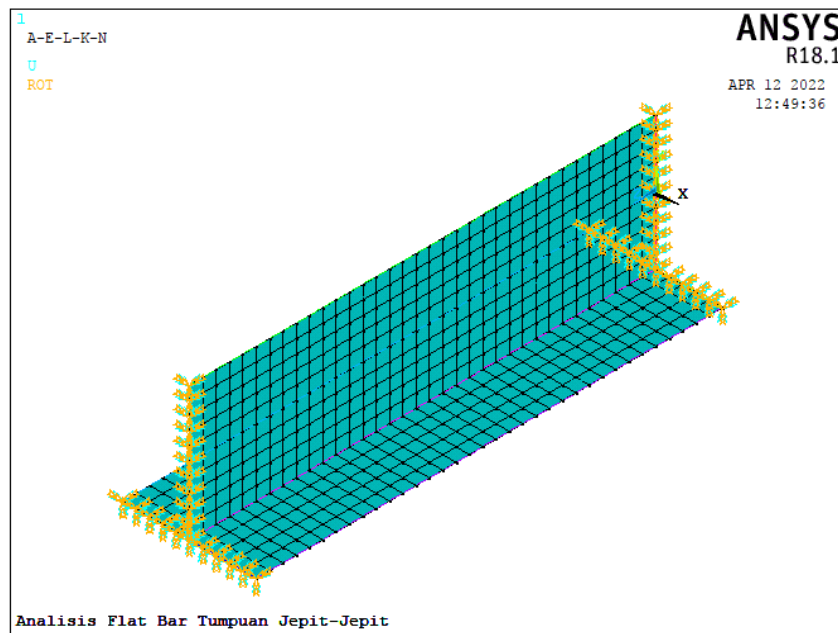
Gambar 4.24 Pemberian Tumpuan

Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti pada gambar:



Gambar 4.25 Window Apply U,ROT on Nodes

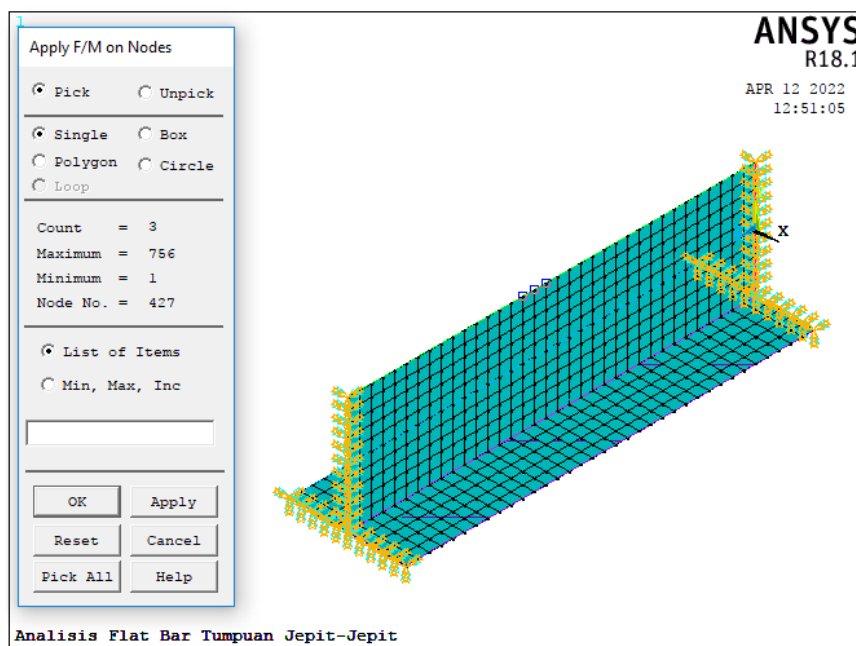
Pada gambar dapat dilihat pada kolom **Lab2 DOFs to be Constrained** pilih **All DOF** dan pada kolom **VALUE Displacement Value** isi dengan angka 0 lalu klik **Ok** maka tumpuan pada bagian depan akan muncul seperti gambar:



Gambar 4.26 Setelah Diberikan Tumpuan

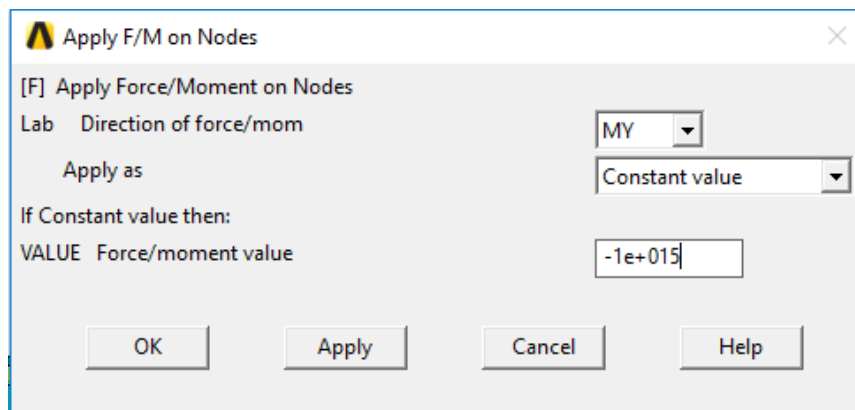
Adapun cara pemberian beban pada ANSYS adalah sebagai berikut:

Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes (pilih **Nodes** pada bagian tengah pelat) seperti pada gambar:



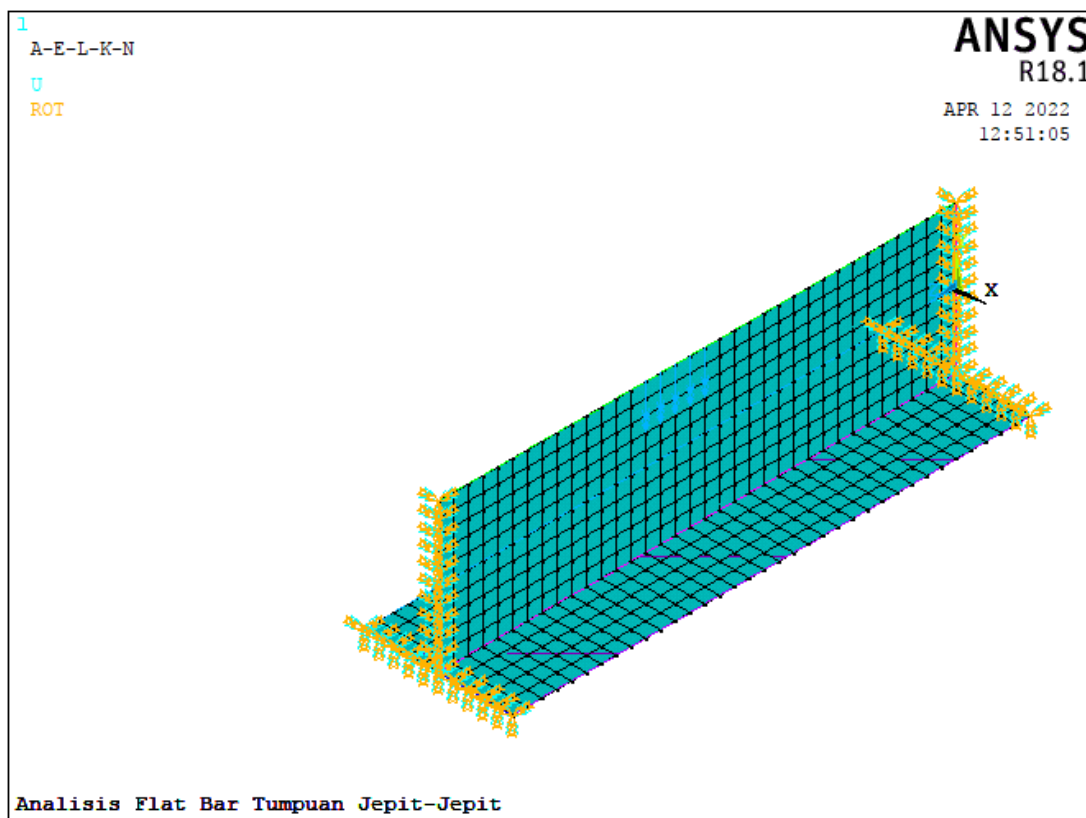
Gambar 4.27 Pemberian Beban

Klik **Ok**, kemudian akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 4.28 Window Apply F/M on Nodes

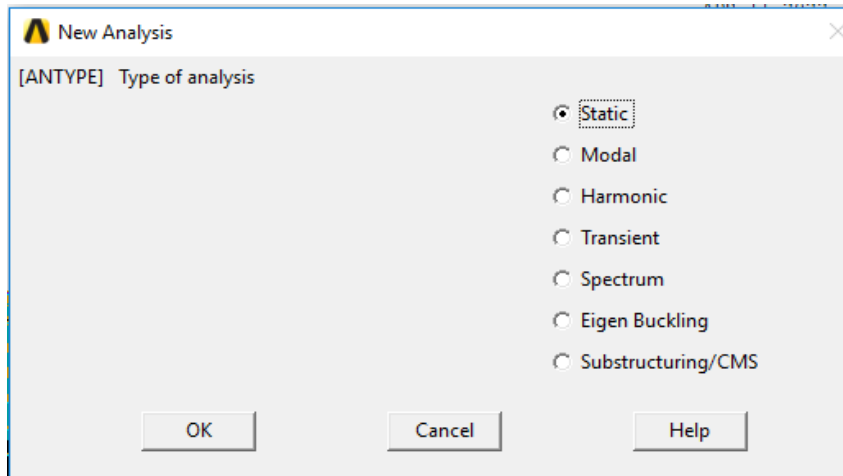
Berdasarkan gambar, pada kolom **Lab Direction Of Force/Mom** pilih jenis beban yang akan dimasukkan yaitu *momen arah y (MY)*, pada kolom **Apply As** pilih **Constant Value** dan pada kolom **VALUE Force/Moment Value** masukkan besar momen yang ingin dimasukkan.



Gambar 4.29 *Flat-bar* Setelah Diberikan Beban

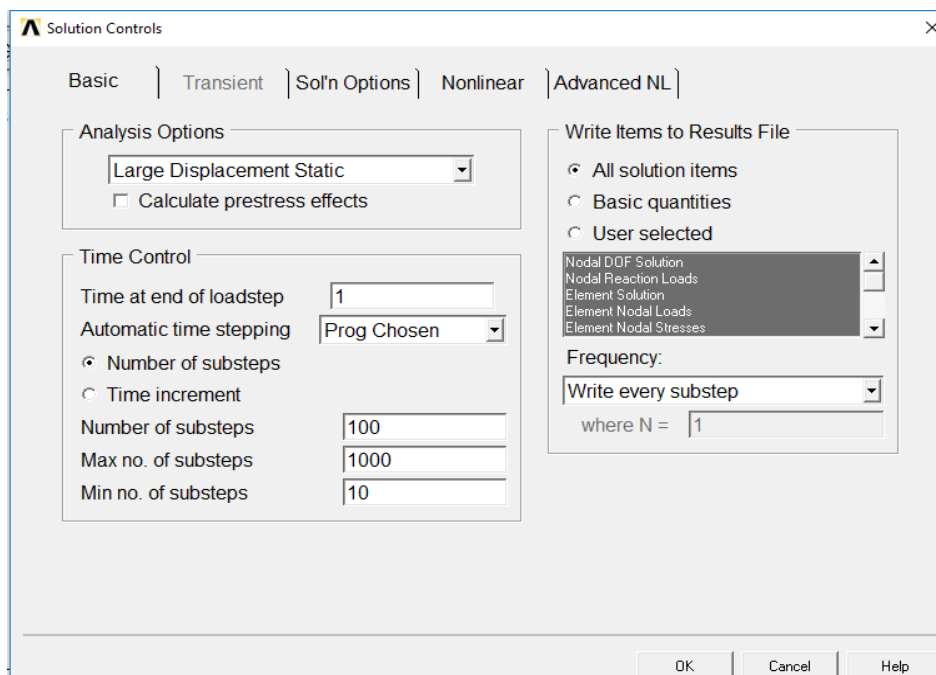
9. *Running Program*

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 pada gambar:



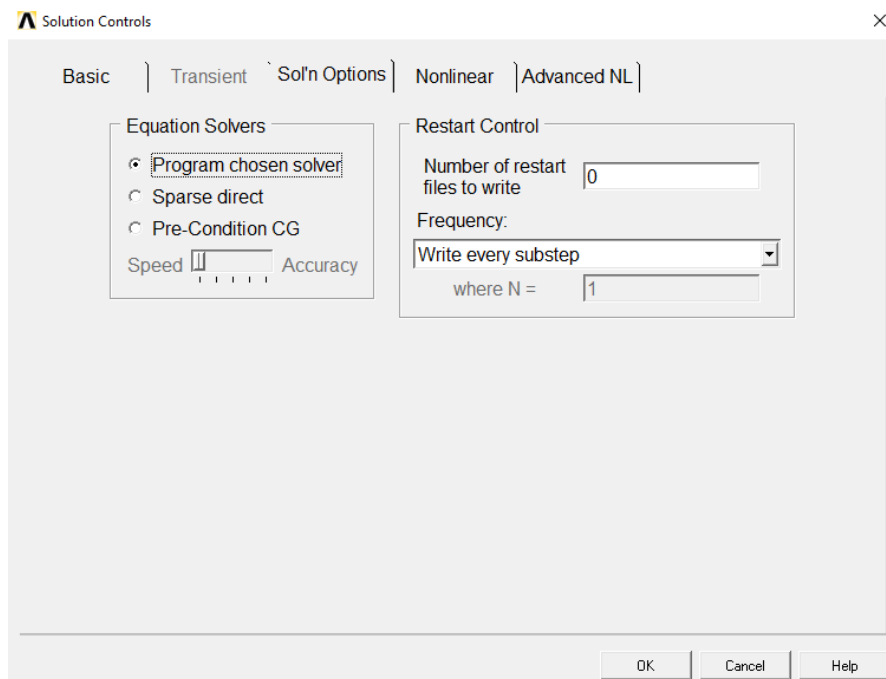
Gambar 4.30 New Analysis

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



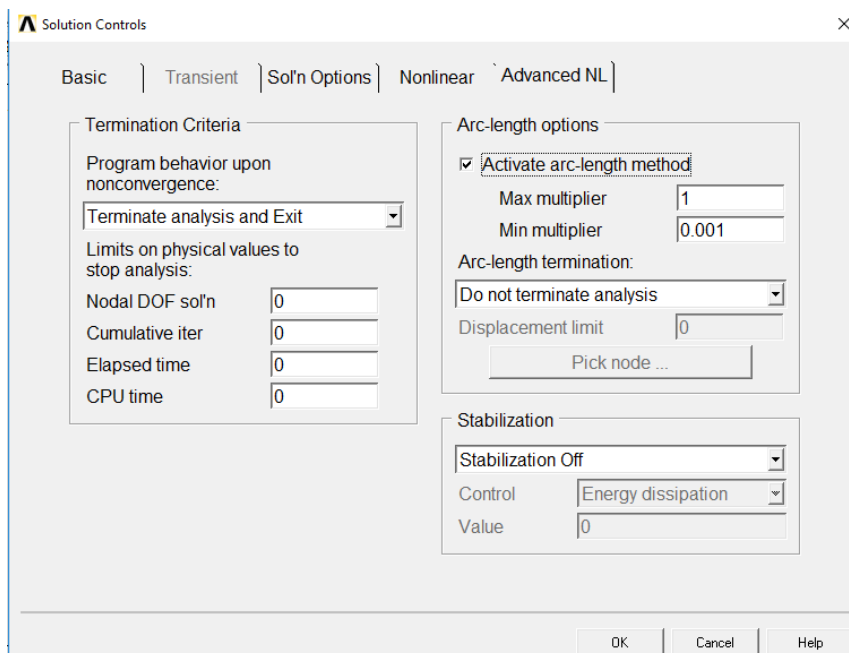
Gambar 4.31 Solution Controls

Gambar menunjukkan *setting*-an untuk **Basic Control**. *Setting*-an selanjutnya adalah **Sol'n Options** seperti yang ditunjukkan gambar:



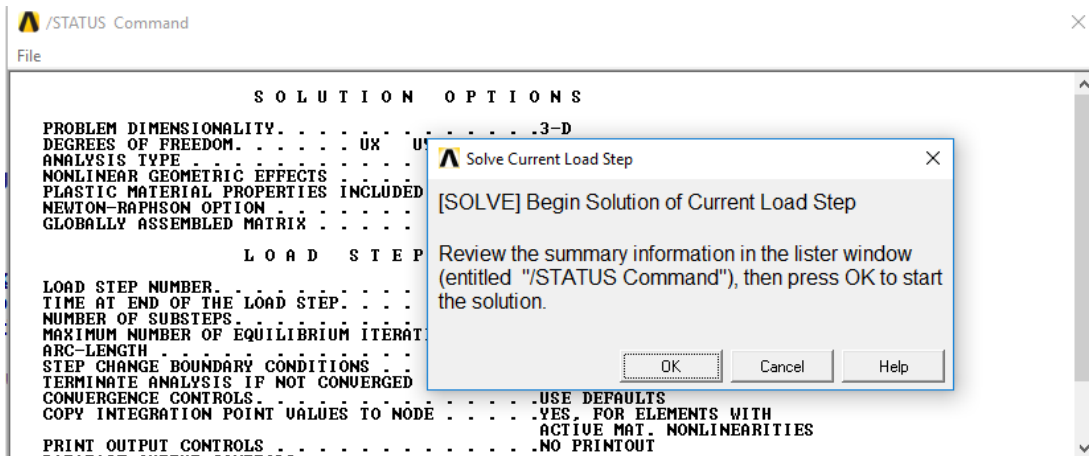
Gambar 4.32 Sol'n Options Solution Controls

Setelah **Sol'n Options** di-*setting*, selanjutnya menuju ke *setting*-an **Advanced NL** seperti yang ditunjukkan gambar:



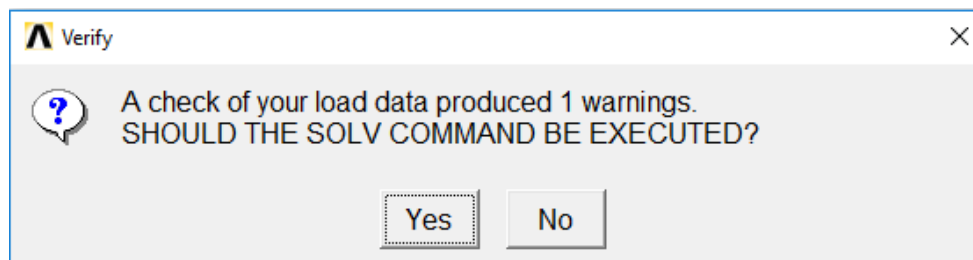
Gambar 4.33 Arc-length Options

Setelah langkah-langkah *setting* di atas sudah 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 Command*) lalu klik **Ok** (muncul *window Solve Current Load Step*) seperti yang ditunjukkan pada gambar:



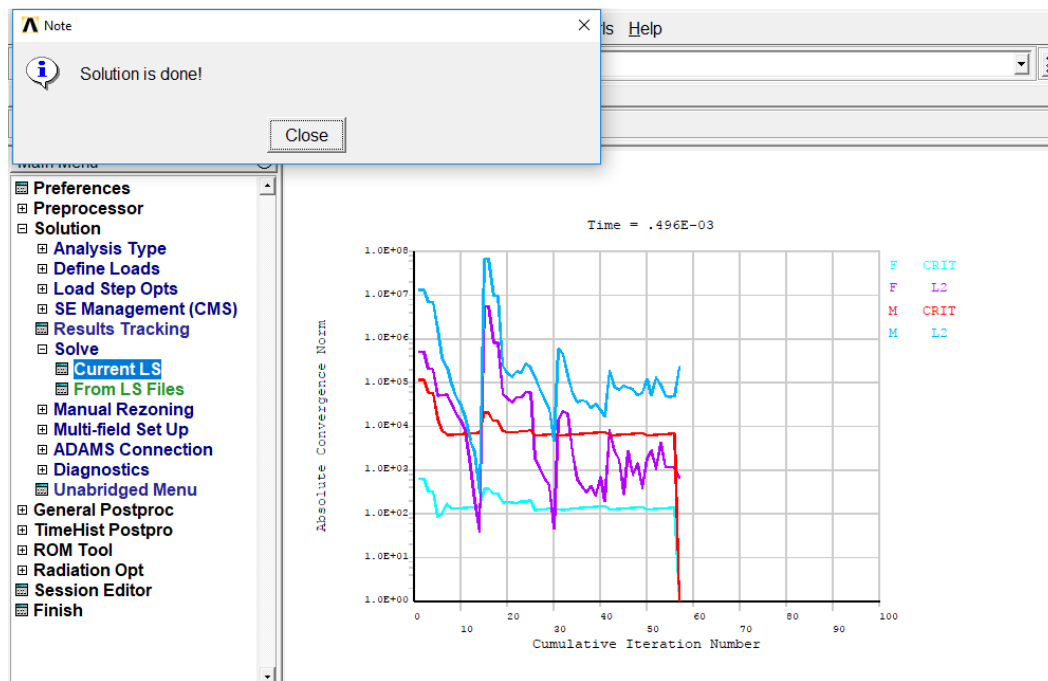
Gambar 4.34 Window /STATUS Command

Dari gambar, *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 pada gambar:



Gambar 4.35 Window Verify

Setelah proses *running* selesai, ANSYS akan mengeluarkan pemberitahuan **Solution is done!** Apabila proses *running* bermasalah, maka muncul pemberitahuan pada layar monitor. Adapun proses *running* yang berhasil dapat dilihat:

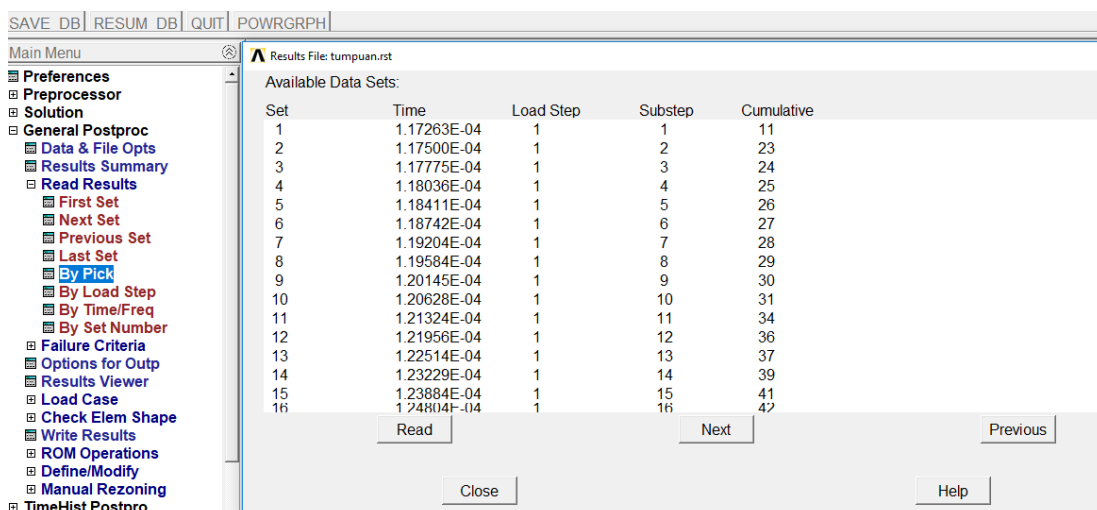


Gambar 4.36 *Running Model*

Demikianlah tata cara analisis kekuatan pelat *Angle-bar* dengan menggunakan metode *Nonlinear Finite Element Analysis* (NLFEA) di ANSYS.

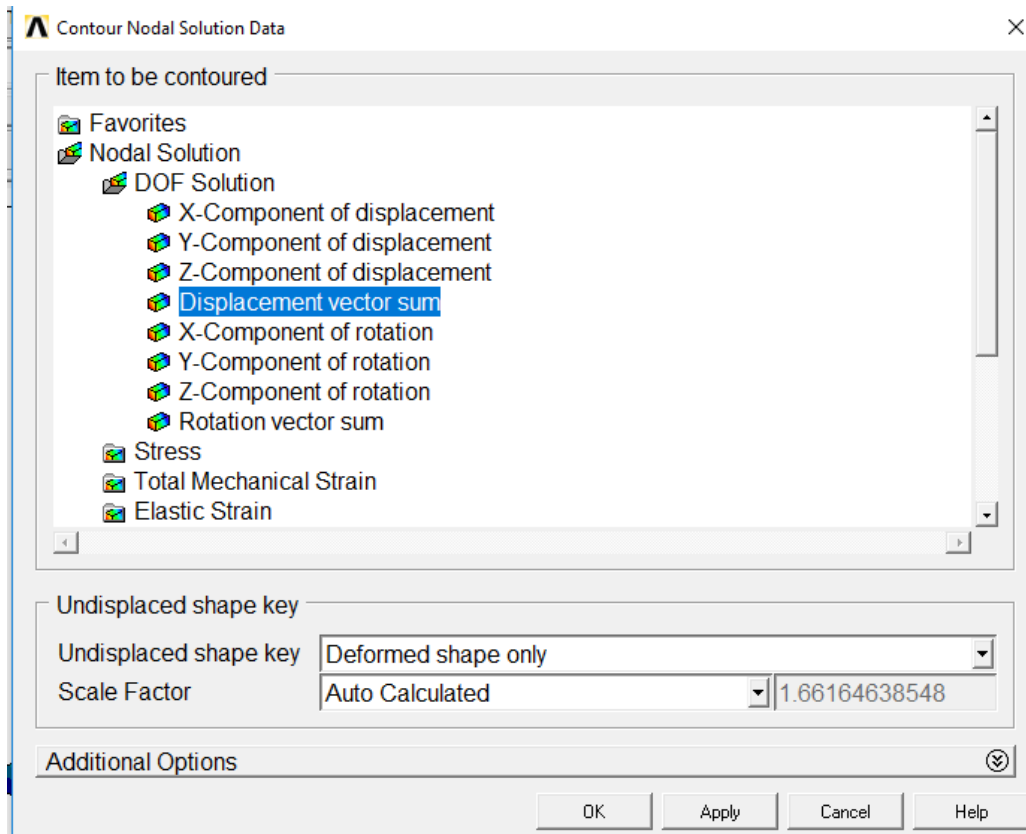
10. Tampilan Deformasi Pelat

Adapun langkah-langkah melihat bentuk deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* di ANSYS yaitu klik **General Postproc > Read Results > By Pick** (pilih titik terjadi *ultimate strength*) > **Read > Close**.



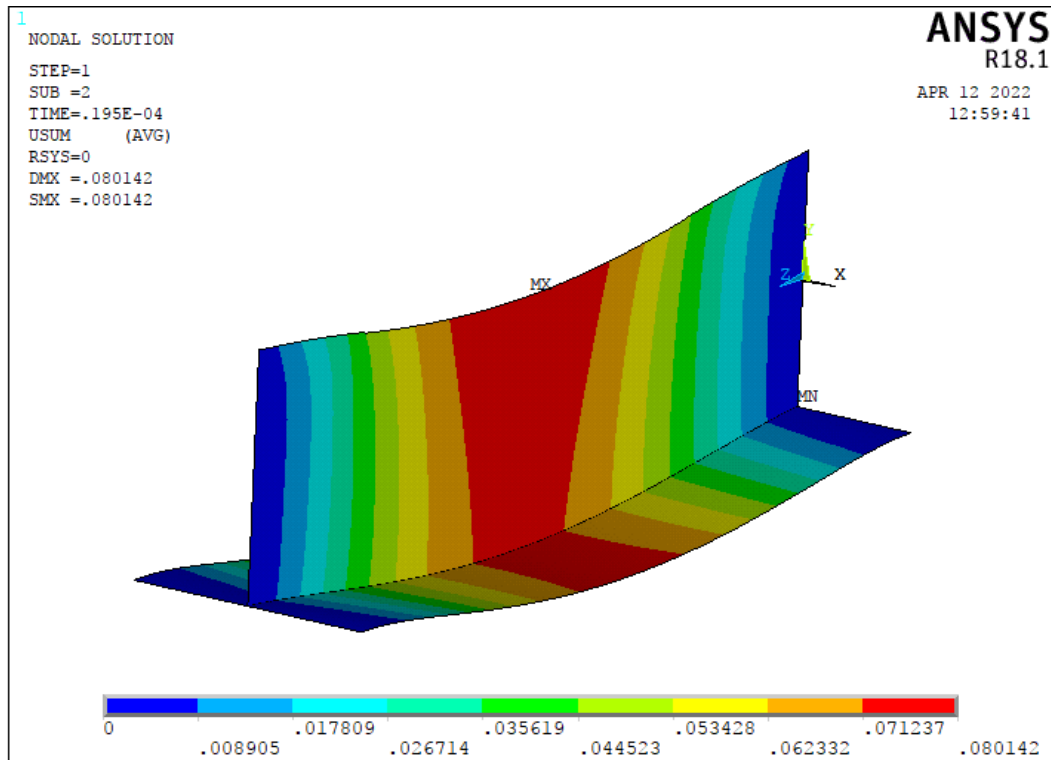
Gambar 4.37 Results File

Langkah selanjutnya klik **Plot Result > Contour Plot > Nodal Solution** (muncul *window Contour Nodal Solution Data*) > **Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > Scale Factor (Auto Calculated) > Ok**. Seperti pada gambar:



Gambar 4.38 Contour Nodal Solution Data

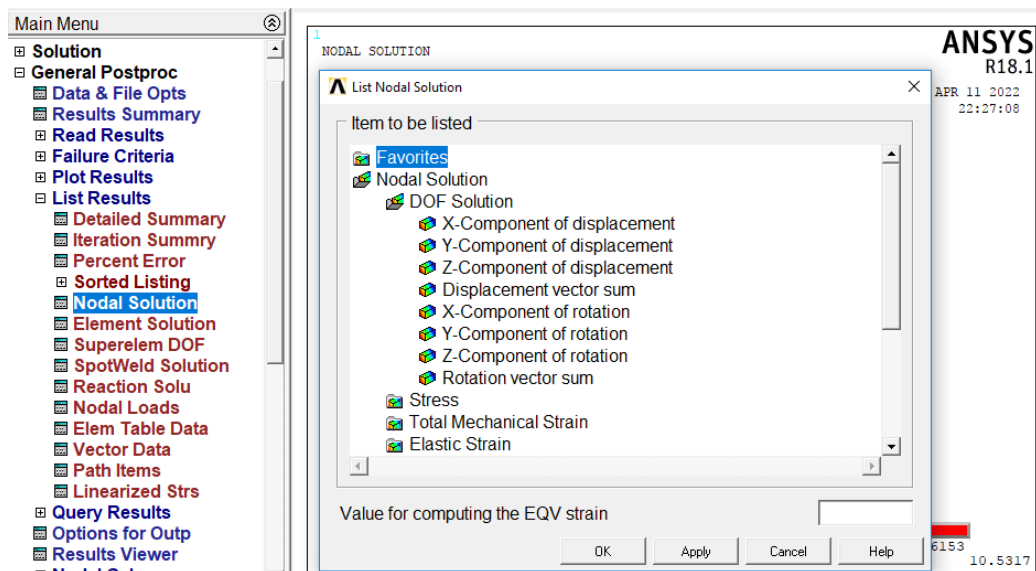
Setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan benar, maka deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* akan muncul seperti pada gambar:



Gambar 4.39 Deformasi *Flat-bar*

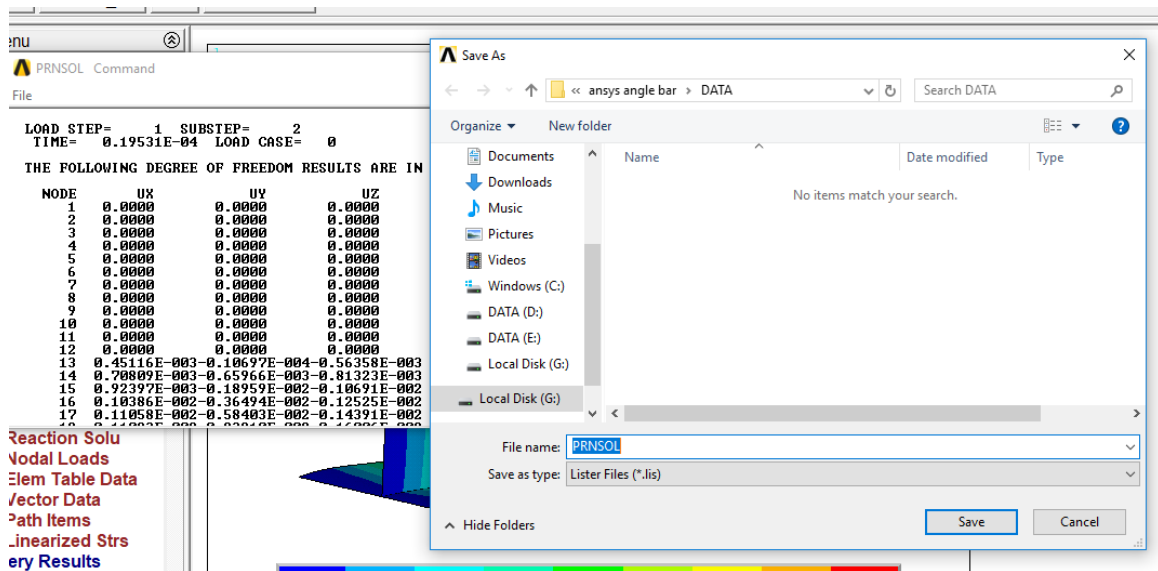
11. Tampilan Grafik *Stress-Strain*

Adapun langkah-langkahnya yakni mengambil nilai **Nodal Solution** untuk menentukan nilai **Stress** dan **Strain** di ANSYS dengan meng-klik **General Postproc > List Results > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector Sum > OK** seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.40 Window Nodal Solution

Setelah itu akan muncul *list* data **PRNSOL Command** kemudian klik **File > Save As** lalu ganti nama file lalu **File Name > Save**.



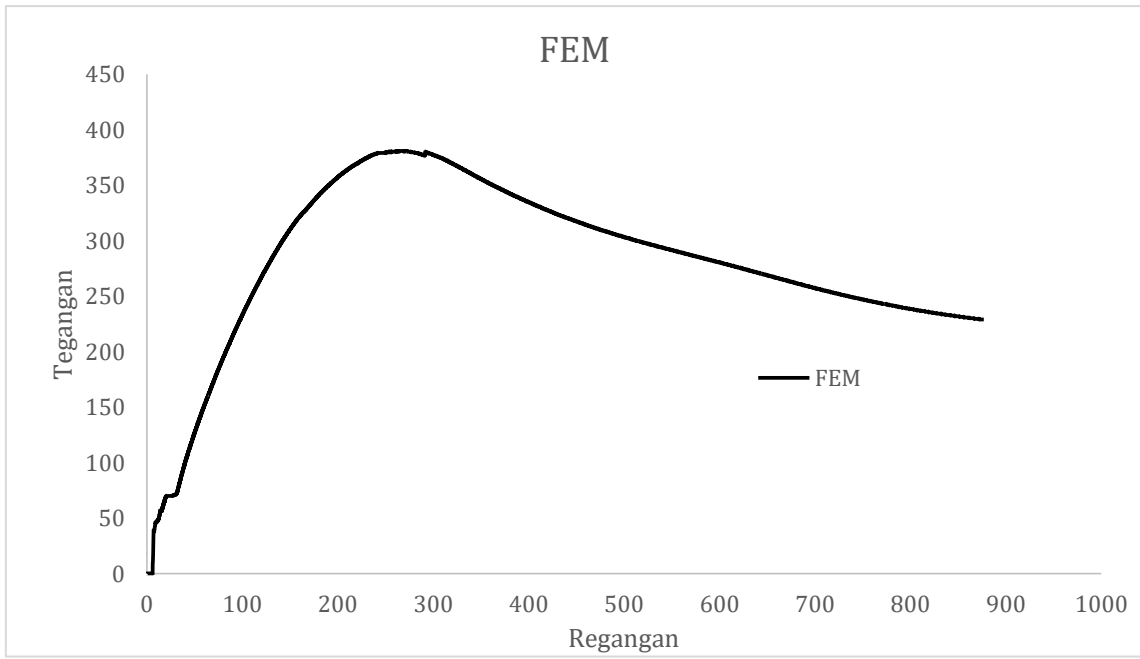
Gambar 4.41 Window PRNSOL Command

12. Cara Plot Grafik Hasil Analisis pada ANSYS dengan MS Excel

Setelah mendapatkan nilai **Stress** dan **Strain**, langkah selanjutnya adalah plot data tersebut menjadi sebuah grafik hubungan tegangan regangan. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. *Export* data dari ANSYS menggunakan teks editor MARUO
2. Setelah data dari ANSYS terbuka di MARUO, *copy* data tersebut ke MS Excel
3. Plot data tersebut menjadi grafik di MS Excel dengan sumbu y adalah tegangan dan sumbu x adalah regangan
4. Selesai

Adapun hasil yang diperoleh dari MS Excel setelah melakukan analisis ANSYS dan hasil menggunakan MS Excel dapat dilihat pada gambar:



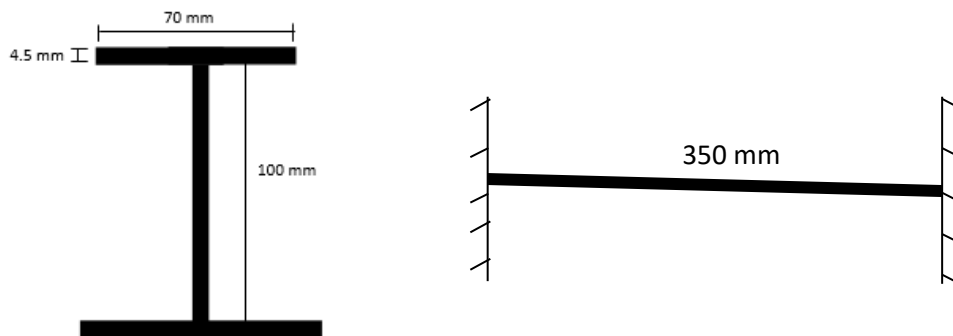
Gambar 4.42 Grafik Tegangan Regangan *Flat-bar*

BAB 5

TEE-BAR

1. Data Pelat

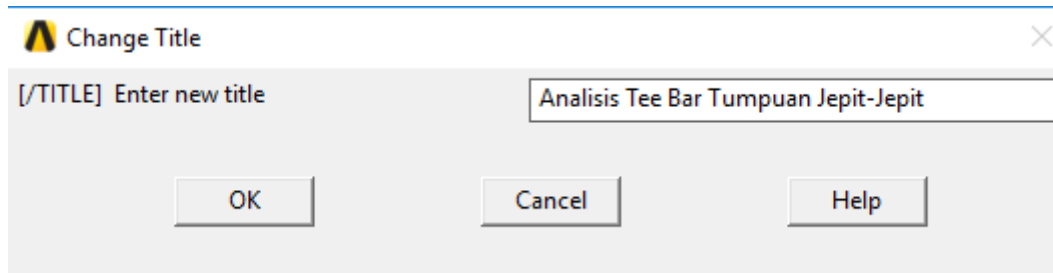
Data pelat berupa material yang digunakan adalah tipe material, modulus elastisitas, densitas, *poison ratio* disertai dengan ukuran ketebalan pelat. Adapun pada contoh material berikut adalah data *Tee-bar*. Jenis material yang digunakan adalah tipe AH37 dengan modulus elastisitas = 210000 N/mm^2 , densitas = $7.8 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$, *poison ratio* = 0.3. Gambaran ukuran utama *Angle-bar* ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 5.1 Penampang *Tee-bar*

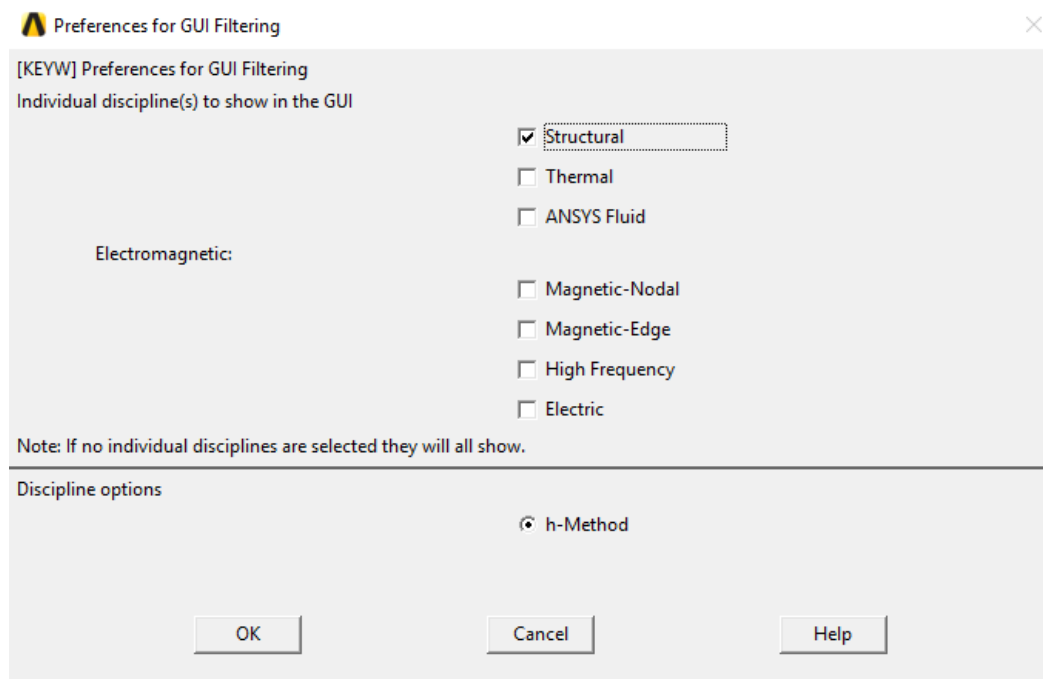
2. Input Data Material Pelat

Objek yang dianalisis diberikan sebagai berikut: klik **File – Change Title** (muncul kotak dialog **Change Title**). Pada **[/TITLE] Enter New Title** isikan "Analisis *Tee-bar* Tumpuan Jepit-Jepit" lalu klik **Ok**. Seperti yang terlihat pada gambar:



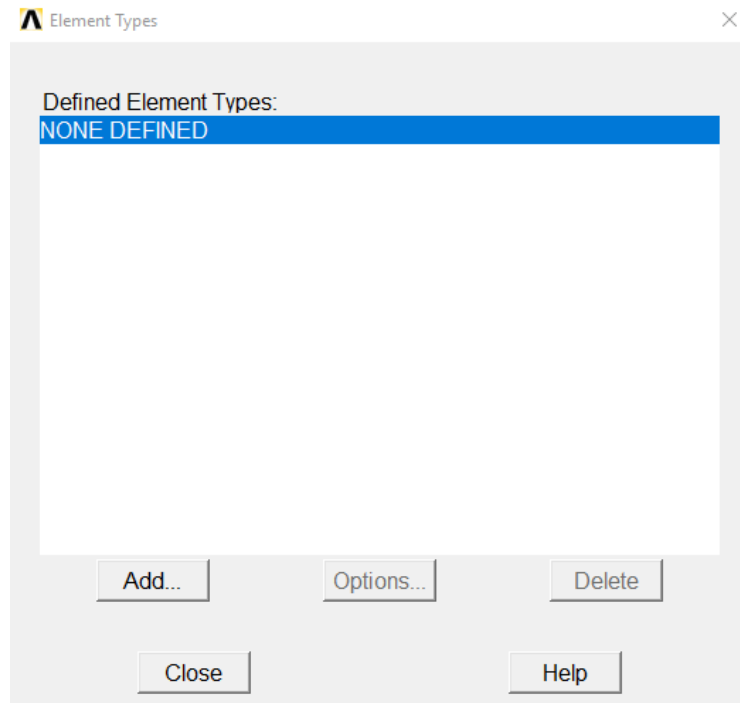
Gambar 5.2 Change Title

Karena persoalan yang dianalisis adalah tentang struktur, maka dipilih **Structural** dengan cara pilih **Preferences** (muncul kotak dialog **Preferences for GUI Filtering**) – pilih **h-Method ok**. Pilih **Preferences** pada *main menu* dan akan muncul kotak dialog seperti pada gambar:



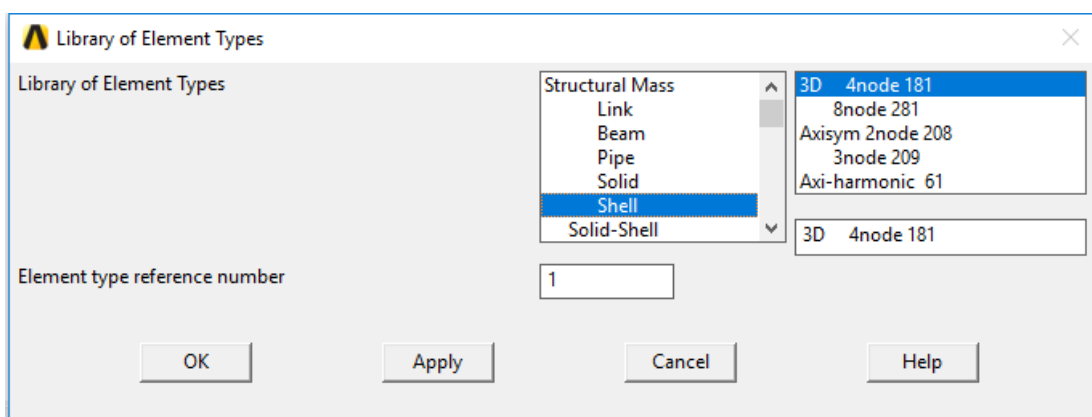
Gambar 5.3 Preferences for GUI Filtering

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



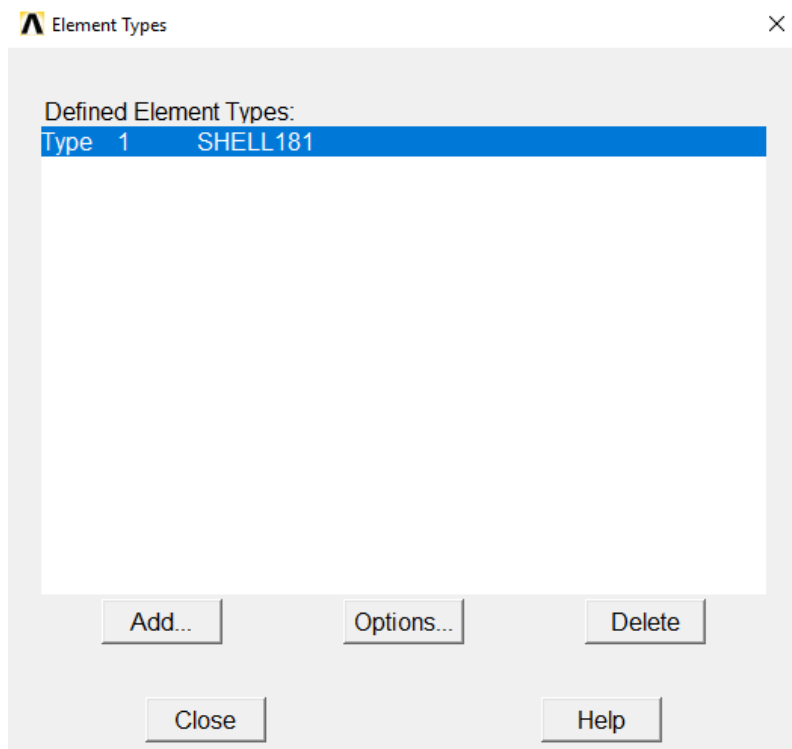
Gambar 5.4 Window Defined Element Types: NONE DEFINED

Setelah tampilan dialog muncul, pilih **Add** untuk menambahkan jenis material yang akan digunakan, selanjutnya akan muncul kotak dialog **Library Of Element** seperti pada gambar:



Gambar 5.5 Library of Element Types

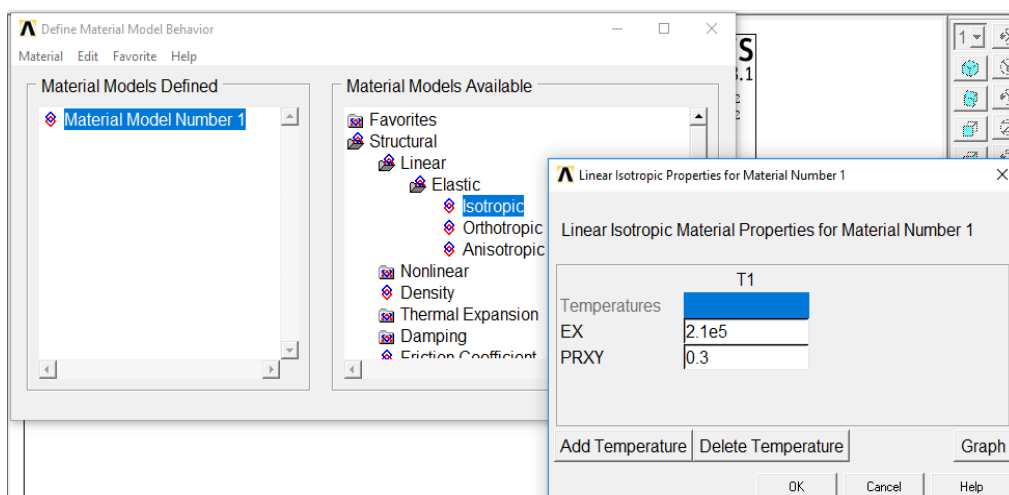
Setelah itu, akan muncul jenis material yang disediakan oleh ANSYS, pilih material **Shell** dengan *type* **3D 4Node 181** lalu tekan **Ok**. Kemudian dialog **Element Type** akan menambahkan material tersebut untuk digunakan sebagai material struktur seperti pada gambar berikut dan **Close** kotak dialog.



Gambar 5.6 Window Defined Element Types: Type 1 SHELL181

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 *property* dari sebuah material. **Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic** (ditunjukkan seperti gambar):

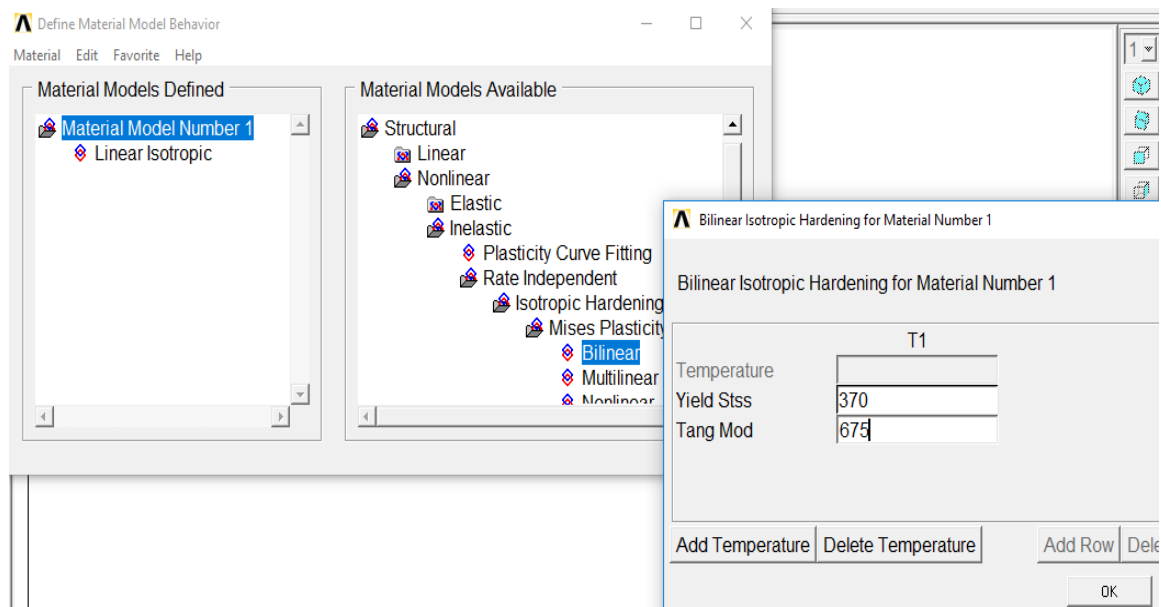


Gambar 5.7 Materials Models Available

3. *Properties Material Pelat*

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**.

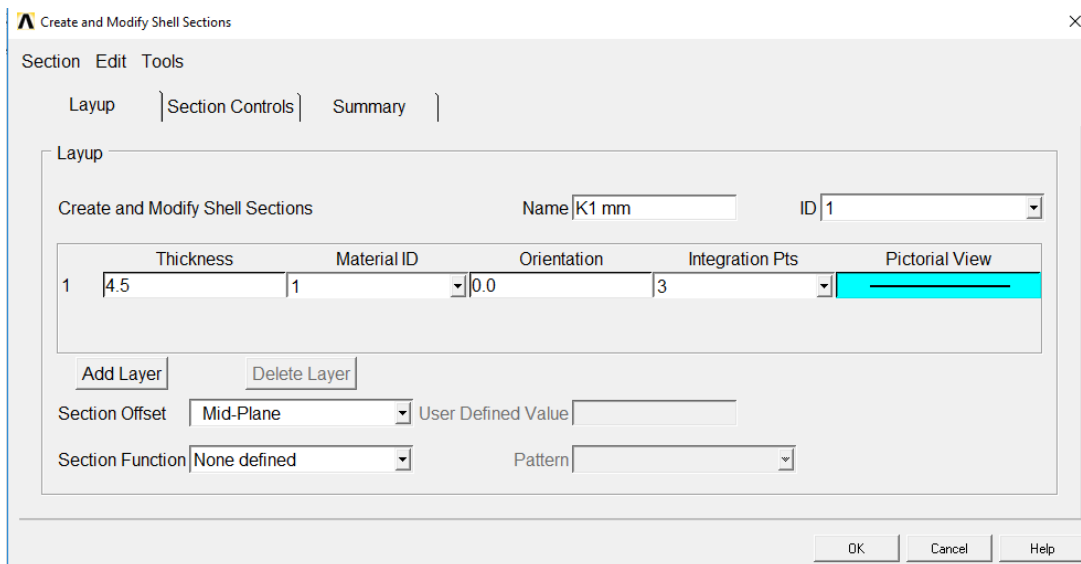
Karena analisis yang dilakukan adalah analisis nonlinear dengan langkah sebagai berikut: **Material Props > Material Models > Structural > Nonlinear > Inelastic > Rate Independent > Isotropic Hardening Plastic > Mises Plasticity > Bilinear** (ditunjukkan pada gambar):



Gambar 5.8 Define Material Model Behavior

Pada baris **Yield Stress** berikan nilai 370 sebagai nilai tegangan luluh pada baris **Tang Mod** berikan 675 sebagai *tangen modulus* kemudian klik **Ok**.

Ketebalan **Area Element** akan diberikan ketika melakukan *mesh atribut*. Adapun langkah memberi ketebalan material adalah sebagai berikut (sebagai contoh menggambarkan elemen pelat). **Preprocessor > Section > Shell > Lay Up > Add/Edit**. Adapun tampilan kotak dialog setelah proses tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar:

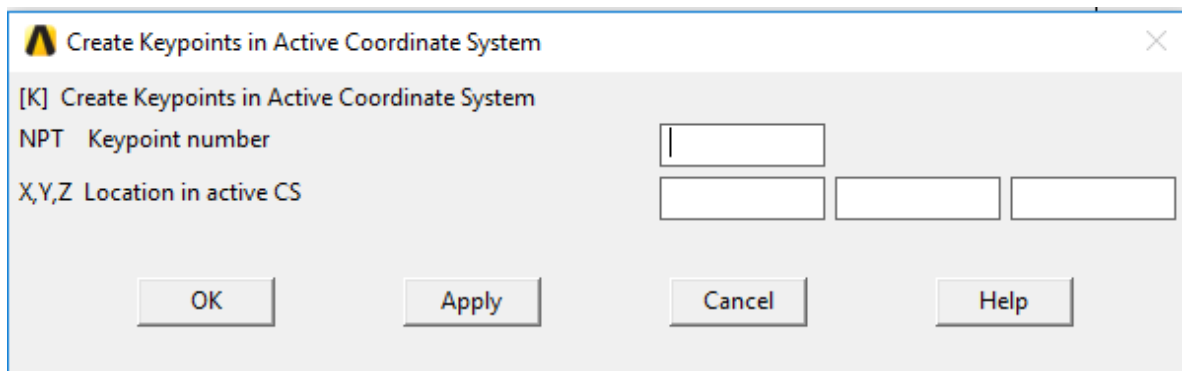


Gambar 5.9 Create and Modify Shell Sections

Pada baris **Name** isi nama bagian pelat sesuai ketebalannya, baris **ID** isi nomor **ID** ketebalan pelat sesuai dengan urutan bagian pelat, **Thickness** isi ketebalan bagian pelat yang diinginkan, baris **Material Id** digunakan sesuai dengan material model yang telah diisi sebelumnya dan **Orientation**, **Integration Pts**, **Pictorial View**, dan lain-lain

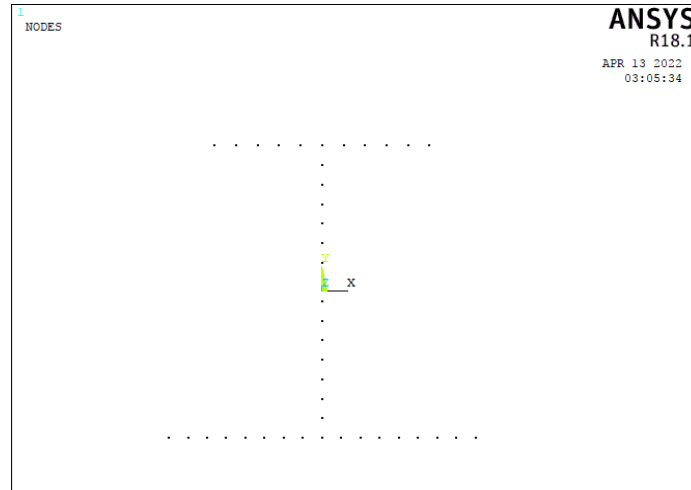
4. Model Struktur Pelat

Dalam *software* pemodelan di ANSYS, penggambaran struktur *Tee-bar*, dengan langkah awal adalah dengan menentukan titik-titik pembentukannya yang terdiri dari beberapa *keypoints*. Berikut langkah yang akan dilakukan: **Preprocessor** > **Modelling** > **Create** > **Keypoint** > **in active CS** (muncul **Create Keypoints in Active Coordinate System**) pada *windows* isikan nomor *keypoint* dan **(X,Y,Z Location in active CS)** koordinatnya seperti pada gambar:



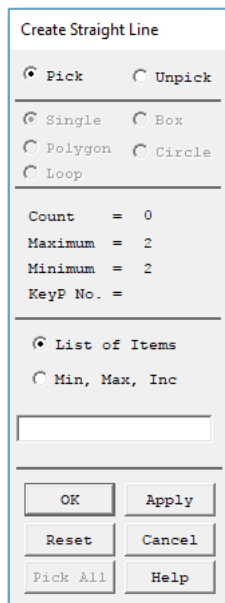
Gambar 5.10 Create Keypoints in Active Coordinate System

Adapun cara penentuan koordinat penyusunan titik *keypoint* di ANSYS teratur, maka langkah awal yang dilakukan yaitu membuat titik xyz diisi (0,0,0) pada **Create Keypoint In Active Coordinate System** yang menjadi sumbu global acuan. Kemudian masukkan koordinat yang diukur di AutoCAD secara berurutan karena pada AutoCAD mengikuti pola gambar tersebut. Adapun hasil gambar 2 dimensi yang telah dibuat di ANSYS dapat dilihat pada gambar:



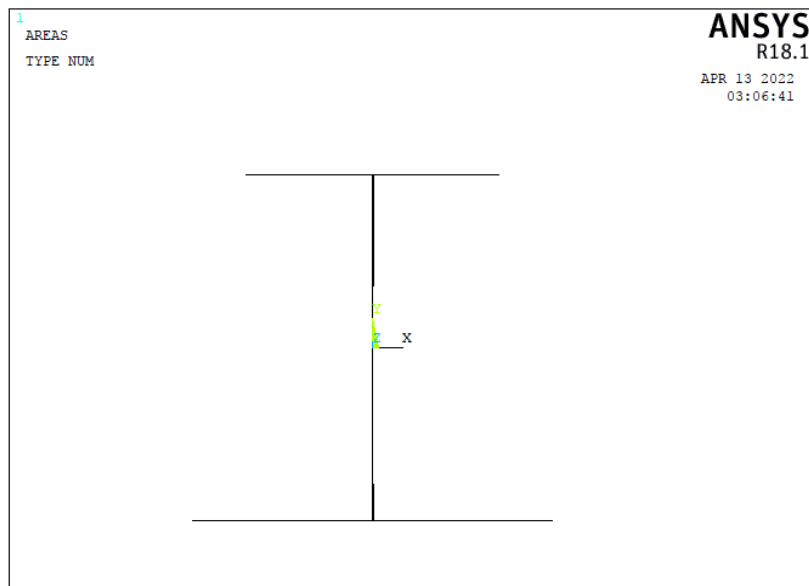
Gambar 5.11 Node Tee-bar

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*):



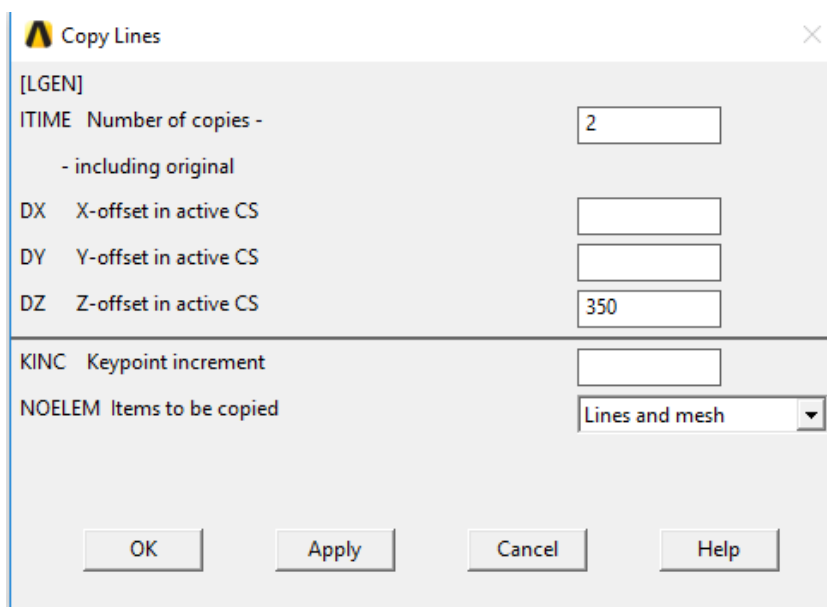
Gambar 5.12 Create Straight Line

Setelah muncul *windows* seperti gambar, maka klik **Keypoint** sesuai dengan nomor urutan gambar untuk menghubungkan garis satu dengan yang lainnya, sehingga akan terbentuk sebagian *body* pelat seperti pada gambar berikut ini:



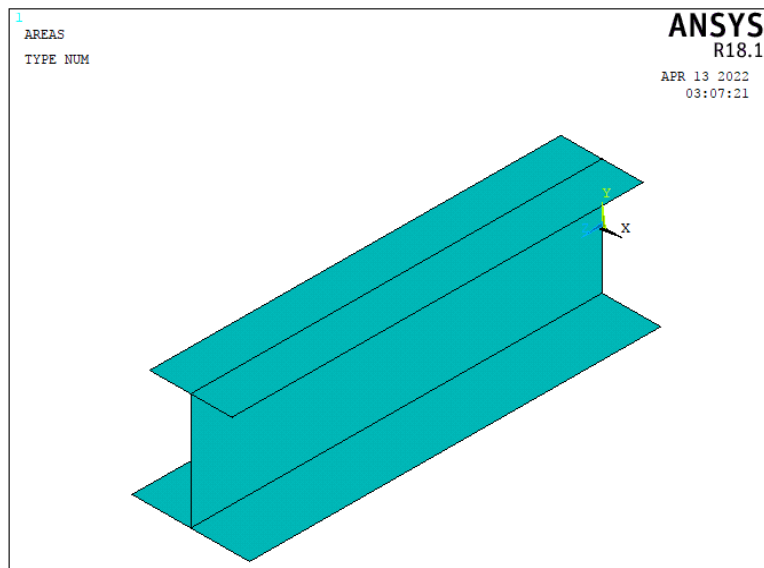
Gambar 5.13 2D Tee-bar

Setelah seluruh *keypoint* sudah dihubungkan menjadi garis-garis, langkah selanjutnya adalah garis-garis (*line*) tersebut di-*copy* agar pelat menjadi 3 dimensi dengan cara: **Preprocessor** > **Copy** > **Line** > **Lines** (muncul *window Copy Lines*) seperti gambar:



Gambar 5.14 Window Copy Lines

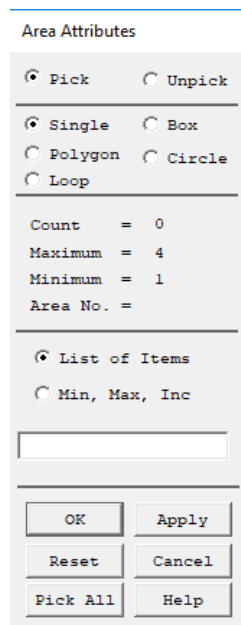
Pada kolom **DZ Z-offset in active CS** isi dengan panjang pelat 350 mm kemudian klik **Ok**. Secara otomatis garis yang di-copy tadi akan tergandakan menjadi dua sesuai jarak yang diberikan seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 5.15 3D Tee-bar

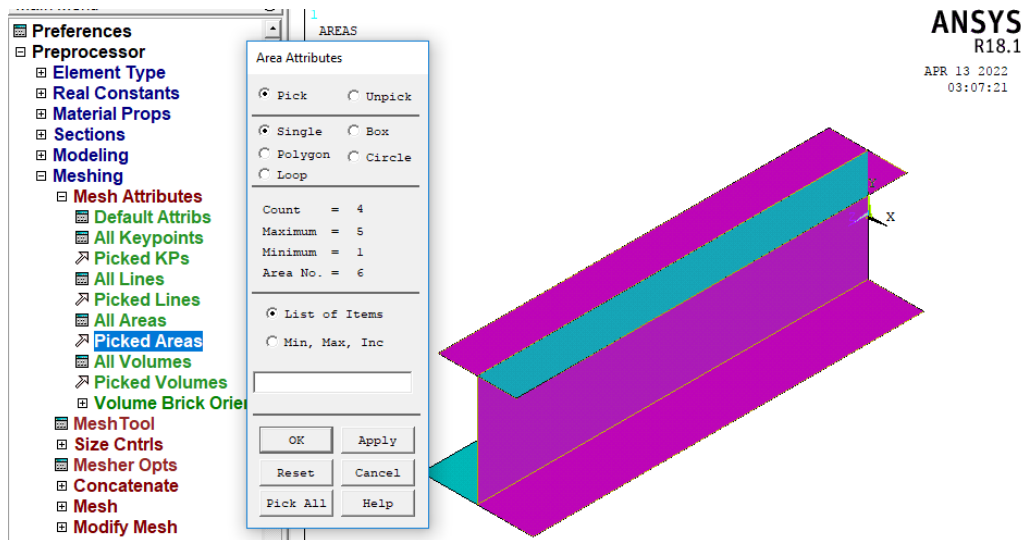
5. Pemberian Tebal Pelat

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



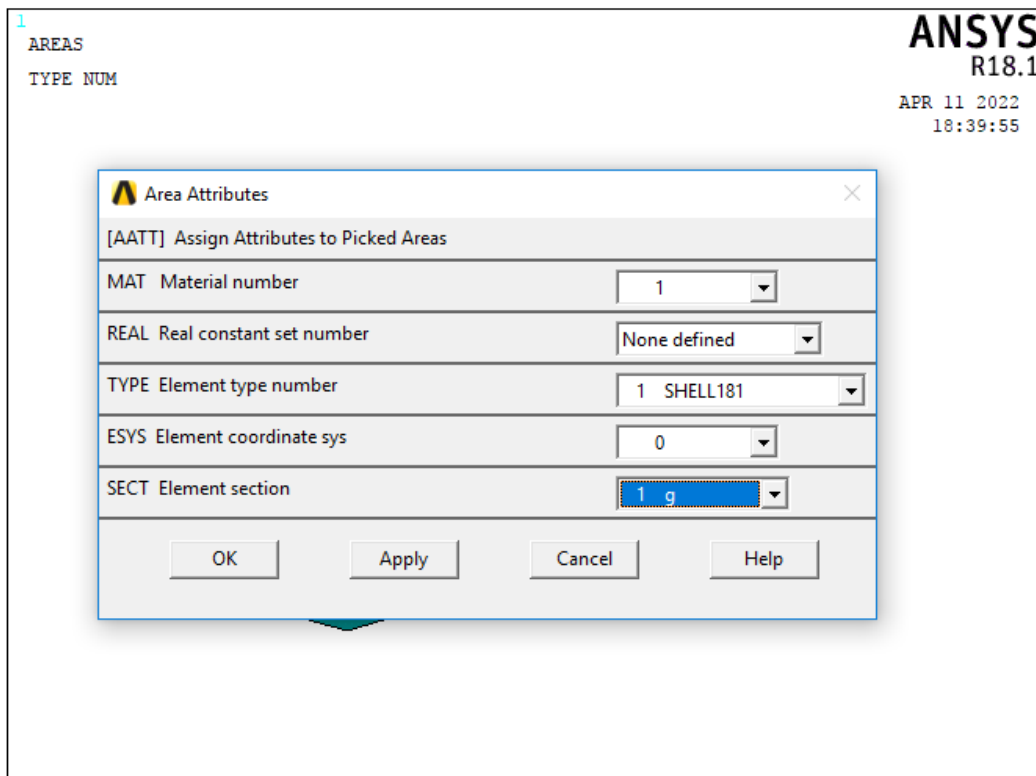
Gambar 5.16 Area Attributes

Setelah muncul tampilan seperti gambar, arahkan *cursor* pada area yang ingin dimasukkan ketebalannya seperti gambar:



Gambar 5.17 Menambahkan Ketebalan pada *Tee-bar*

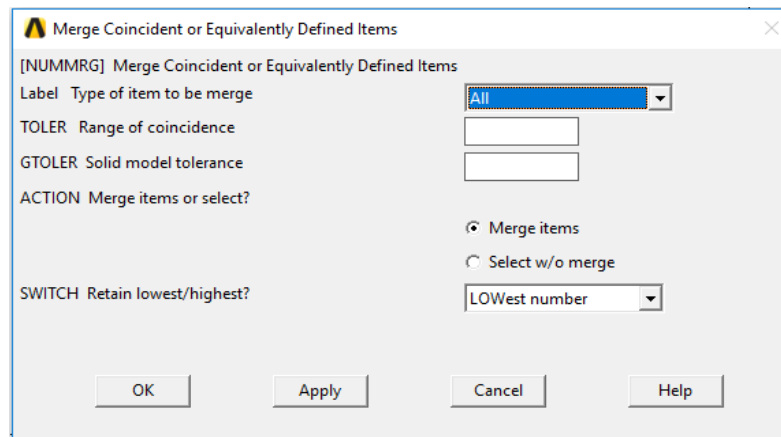
Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 5.18 Area Attributes

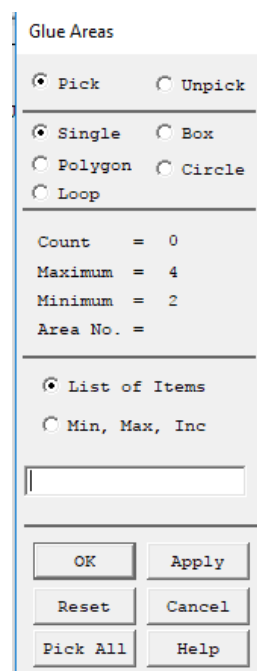
6. Menggabungkan Semua Elemen pada Pelat

Setelah memasukkan ketebalan pelat, selanjutnya perlu dipastikan elemen-elemen pada pelat saling berkaitan satu sama dengan yang lainnya dengan cara klik **Preprocessor > Numbering Control > Merge Items** (muncul *window Merge Coincident or Equivalently Defined Items*) seperti pada gambar:



Gambar 5.19 Merge Coincident or Equivalently Defined Items

Pada kolom label **Type of Item to be Merge Option** yang harus dipilih adalah **all**. Setelah itu meng-*glue* pelat tersebut dengan cara **Preprocessor > Modelling > Operate > Booleans > Glue > Areas** (akan muncul *window Glue Areas*) seperti gambar:

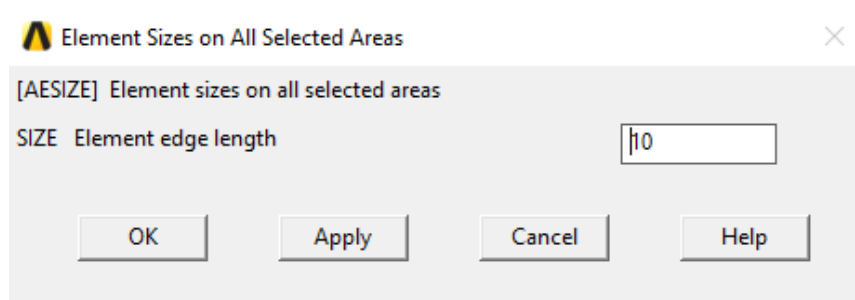


Gambar 5.20 Glue Areas

Setelah muncul tampilan seperti pada gambar, klik **Pick All**. Perlu diketahui apabila terjadi masalah pada saat *glue* hal itu berarti model yang dibuat ada masalah, sehingga perlu dicek terlebih dahulu apakah ada garis atau *keypoint* yang tidak saling berhubungan satu sama dengan yang lainnya karena *glue* sangat berpengaruh dengan proses *running*, maka perlu dipastikan apakah struktur ter-*glue* dengan baik atau tidak.

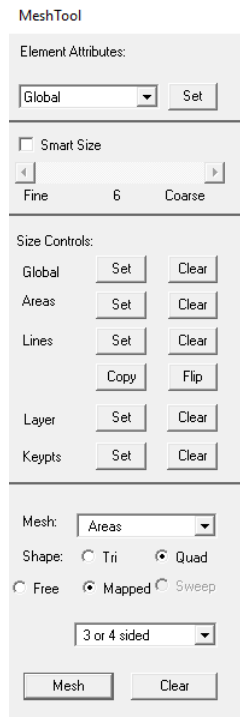
7. Pemberian Ukuran Mesh

Berikut ini ukuran *mesh* yang diberikan 10 (jika jarak *mesh* terlalu kecil, maka dapat diperbesar dengan memasukkan nilai *mesh* lebih besar lagi) dan cara klik **Preprocessor > Meshing > Size Cntrl > Manual Size > Area > All Area** (muncul *window* **Element Sizes on All Selected Areas**) lalu pada baris **SIZE** berikan 10 lalu klik **Ok** seperti pada gambar:



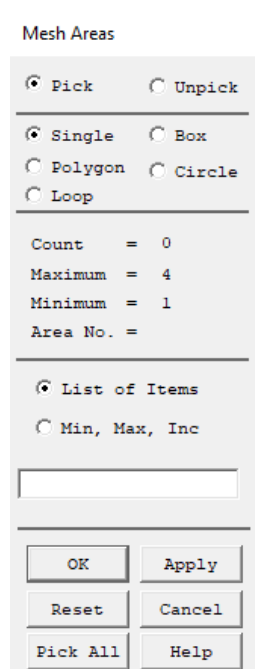
Gambar 5.21 Pemberian Ukuran Mesh

Mesh yang telah diberikan jarak 10 akan ditampilkan dengan klik **Preprocessor > Mesh Tool** (muncul *window* **Mesh Tools**) lalu klik **Mesh**. Pada kolom *Mesh option* yang dipilih adalah **Quad** dan **Mapped** seperti gambar:



Gambar 5.22 Mesh Tool

Setelah itu akan muncul *window* **Mesh Areas** lalu klik **Pick All**.

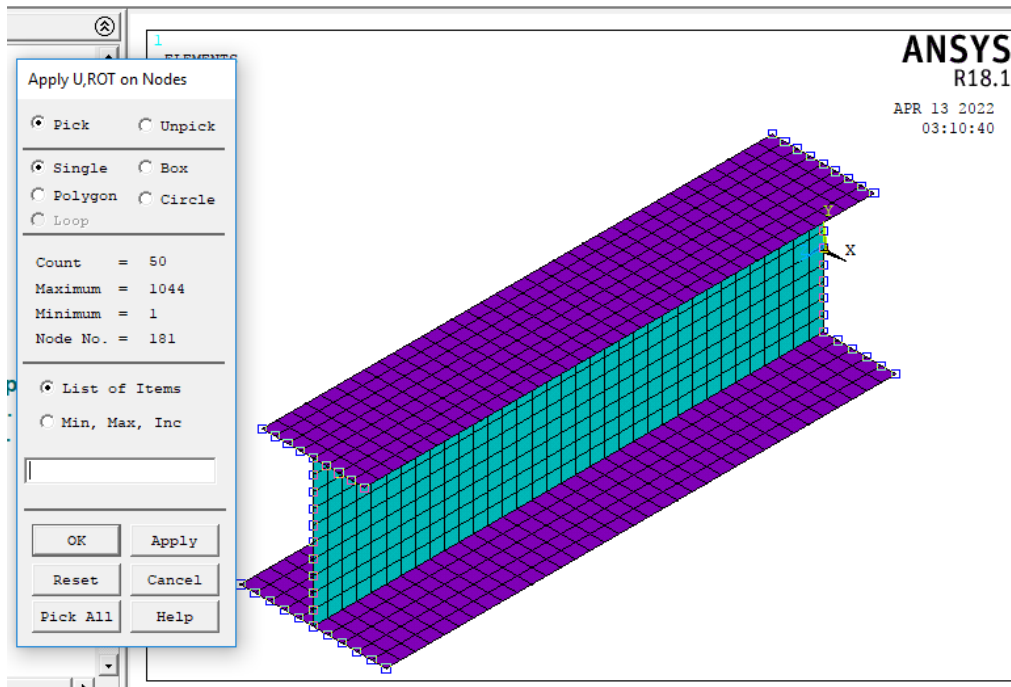


Gambar 5.23 Mesh Area

8. Pemberian Tumpuan dan Beban

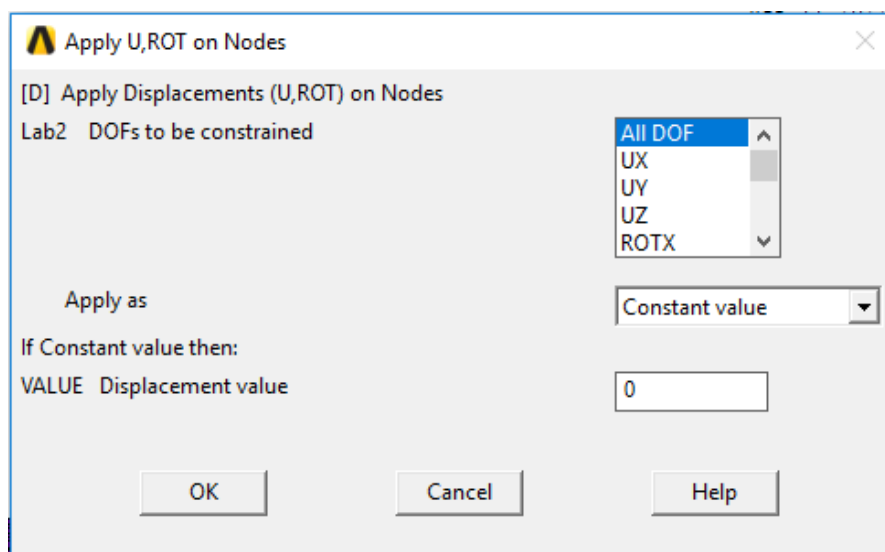
Adapun cara pemberian tumpuan pada ANSYS adalah sebagai berikut:

Solution > Define Load > Apply > Structural > Displacement > On Nodes
(pilih **Nodes** dari kedua sisi ujung pelat) seperti pada gambar:



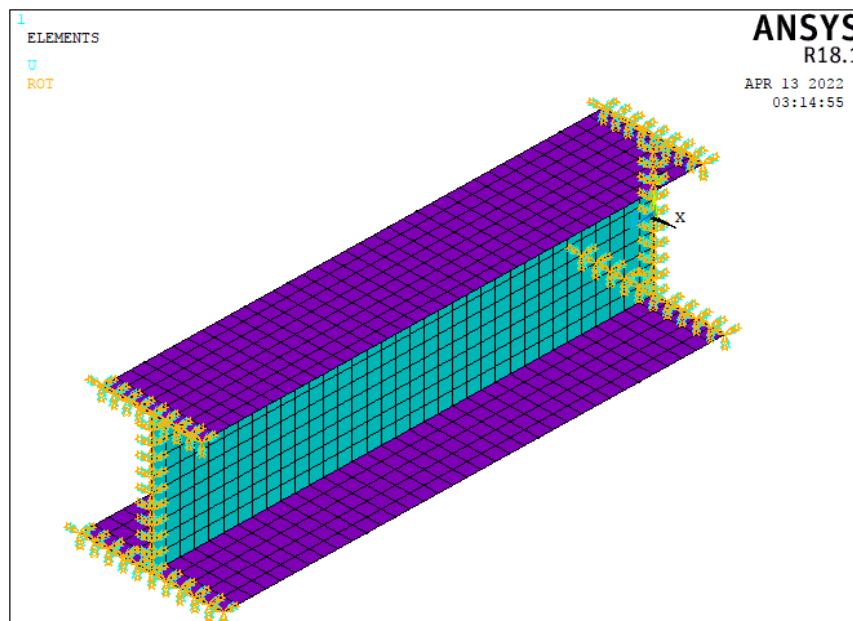
Gambar 5.24 Pemberian Tumpuan

Lalu klik **Ok** maka akan muncul *window* seperti pada gambar:



Gambar 5.25 Apply U,ROT on Nodes

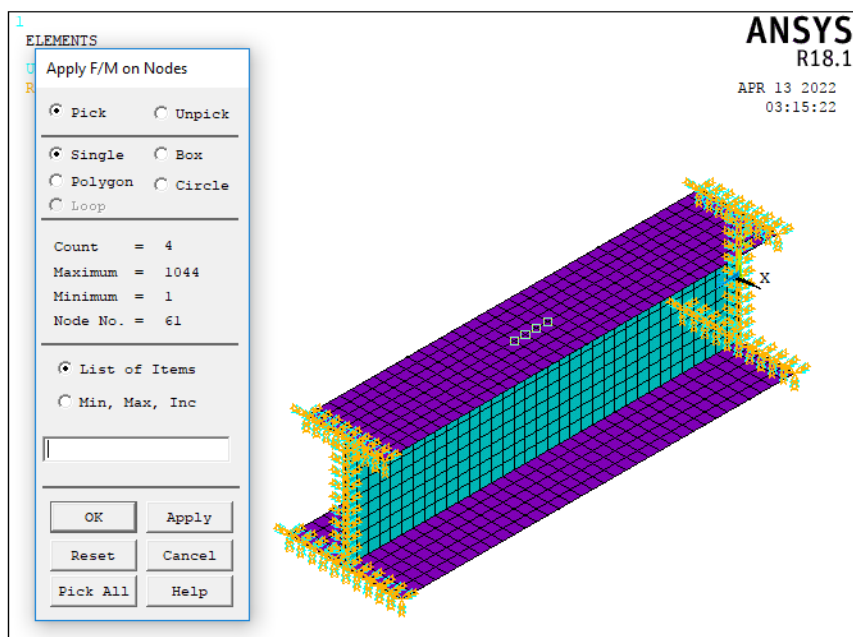
Pada gambar dapat dilihat pada kolom **Lab2 Dofs to be Constrained** pilih **All Dofs** dan pada kolom **VALUE displacement value** isi dengan angka 0 lalu klik **Ok** maka tumpuan pada bagian depan akan muncul seperti gambar:



Gambar 5.26 Tee-bar Sudah Diberi Tumpuan

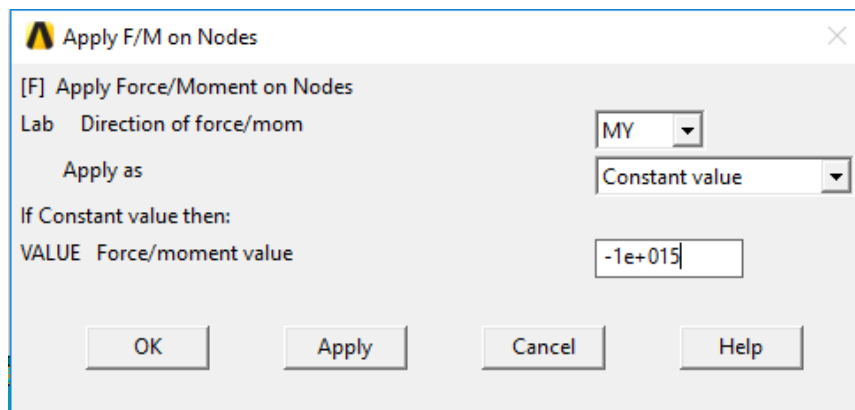
Adapun cara pemberian beban pada ANSYS adalah sebagai berikut:

Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes (pilih **Nodes** pada bagian tengah pelat) seperti pada gambar:



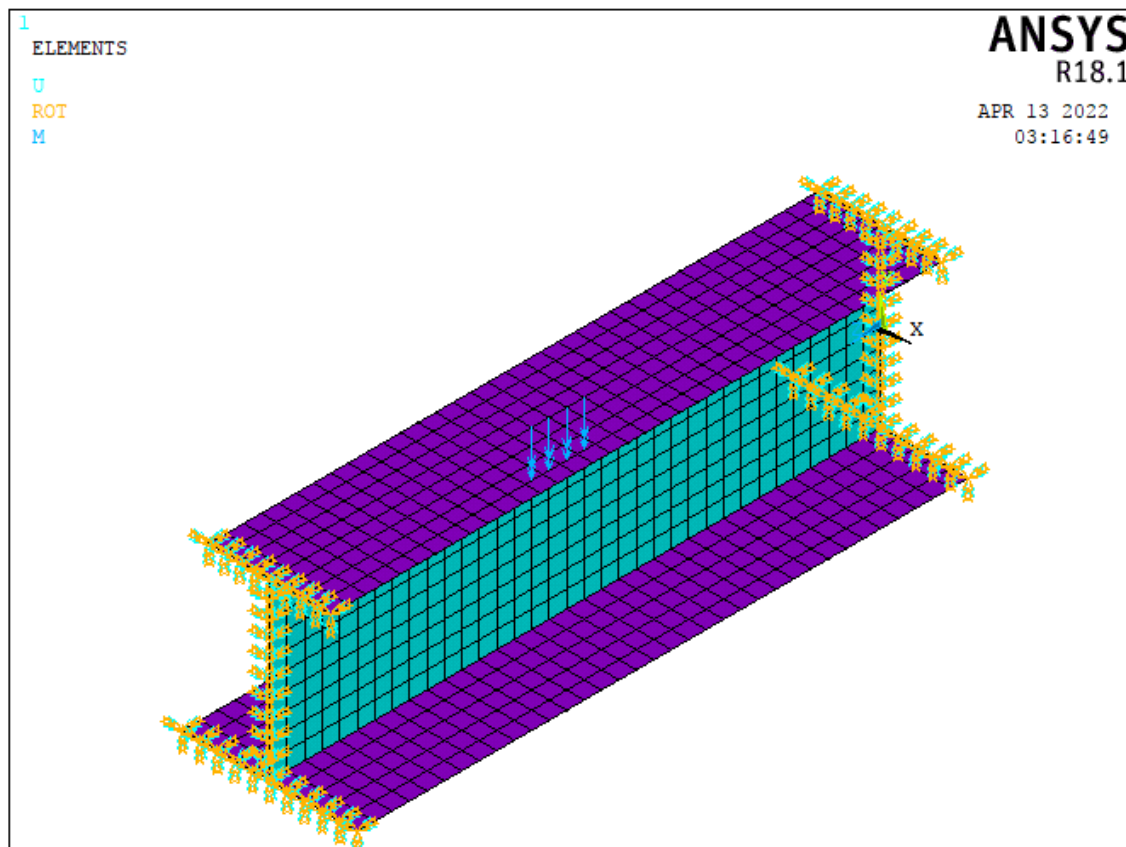
Gambar 5.27 Pemberian Beban pada Tee-bar

Klik **Ok**, kemudian akan muncul *window* seperti gambar:



Gambar 5.28 Apply F/M on Nodes

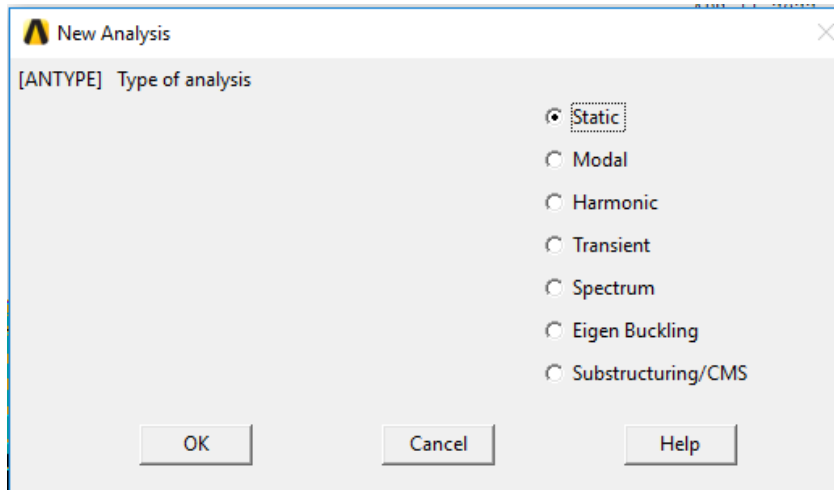
Berdasarkan gambar, pada kolom **Lab Direction Of Force/Mom** pilih jenis beban yang akan dimasukkan yaitu momen arah y (MY), pada kolom **Apply As** pilih **Constant Value** dan pada kolom **Value Force/Moment Value** masukkan besar momen yang ingin dimasukkan.



Gambar 5.29 Tee-bar Setelah Diberi Beban

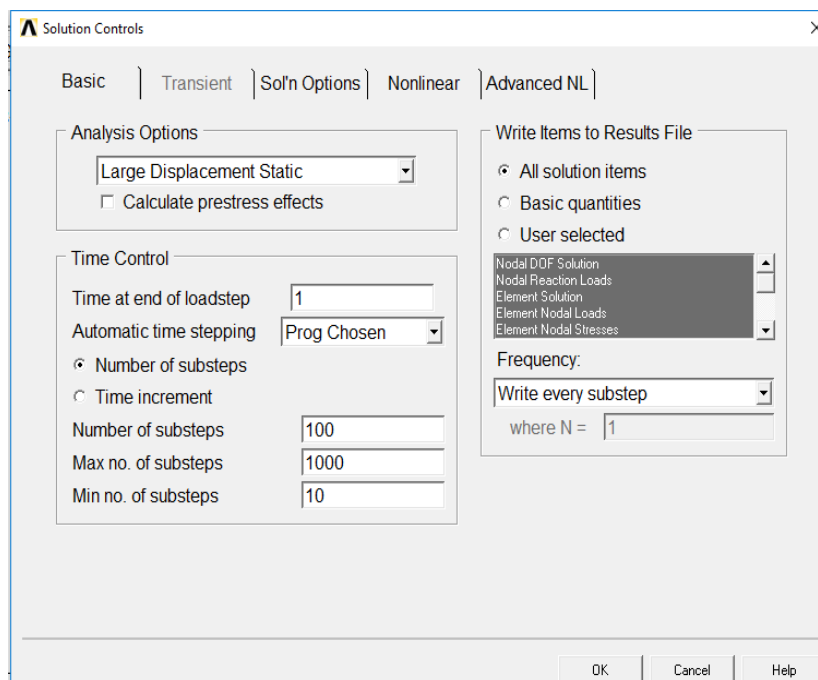
9. *Running Program*

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 pada gambar:



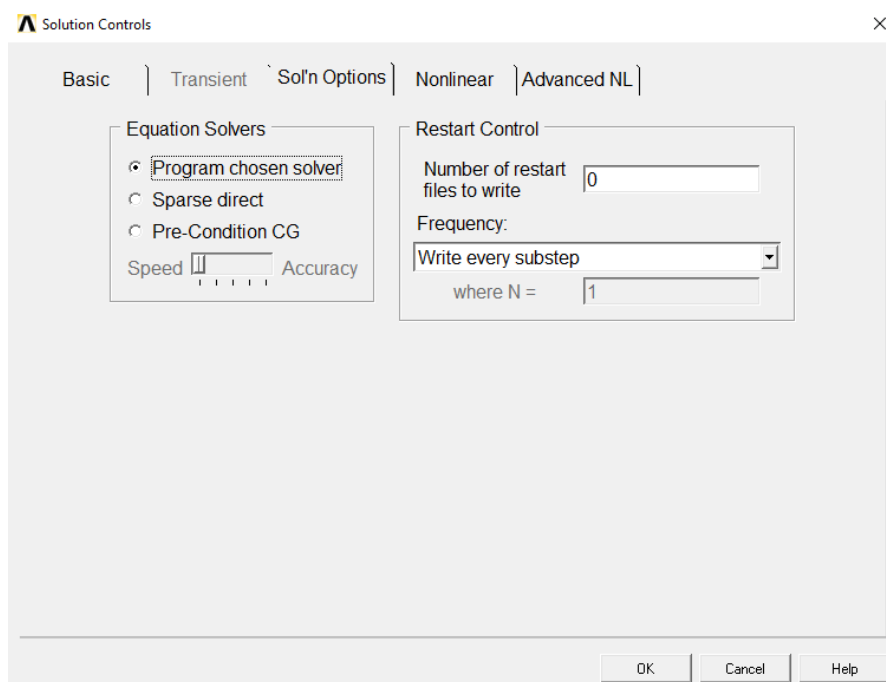
Gambar 5.30 Window New Analysis

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



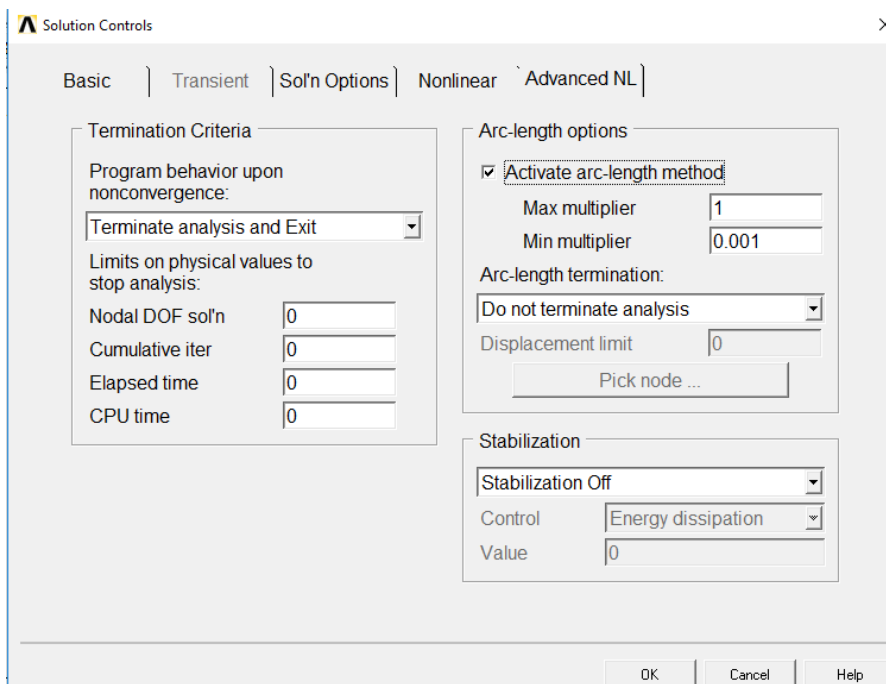
Gambar 5.31 Solution Controls

Gambar menunjukkan *setting-an* untuk *basic control*. *Setting-an* selanjutnya adalah **Sol'n Options** seperti yang ditunjukkan gambar:



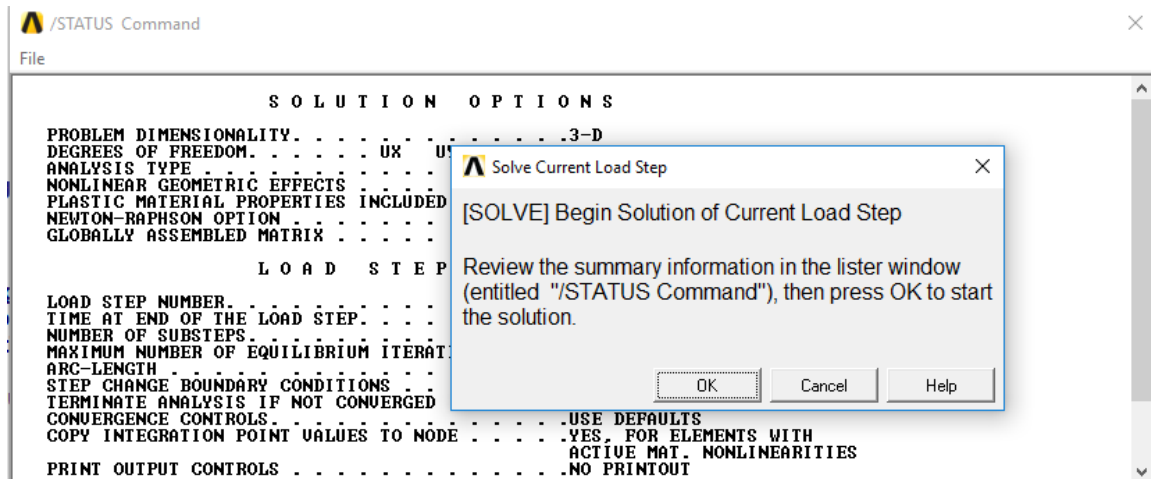
Gambar 5.32 Sol'n Options

Setelah **Sol'n Options** di-*setting*, selanjutnya menuju ke *setting-an* **Advanced NL** seperti yang ditunjukkan gambar:



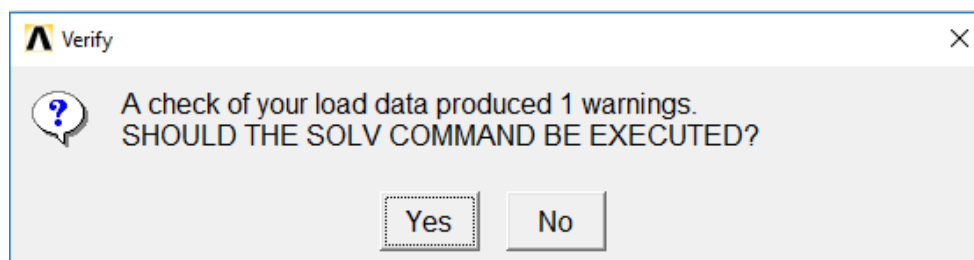
Gambar 5.33 Arc-length Method

Setelah langkah-langkah *setting* di atas sudah 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 Command*) lalu klik **Ok** (muncul *window Solve Current Load Step*) seperti yang ditunjukkan pada gambar:



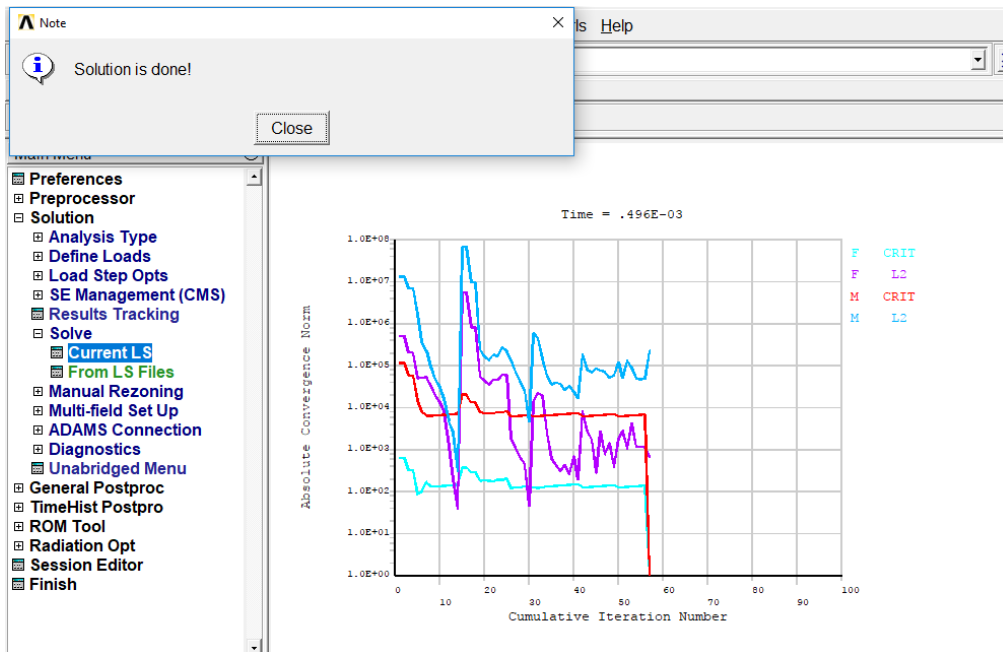
Gambar 5.34 STATUS Command

Dari gambar, *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 pada gambar:



Gambar 5.35 Window Verify

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:



Gambar 5.36 *Running Program*

Demikianlah tata cara analisis kekuatan pelat *Angle-bar* dengan menggunakan metode *Nonlinear Finite Element Analysis* (NLFEA) di ANSYS.

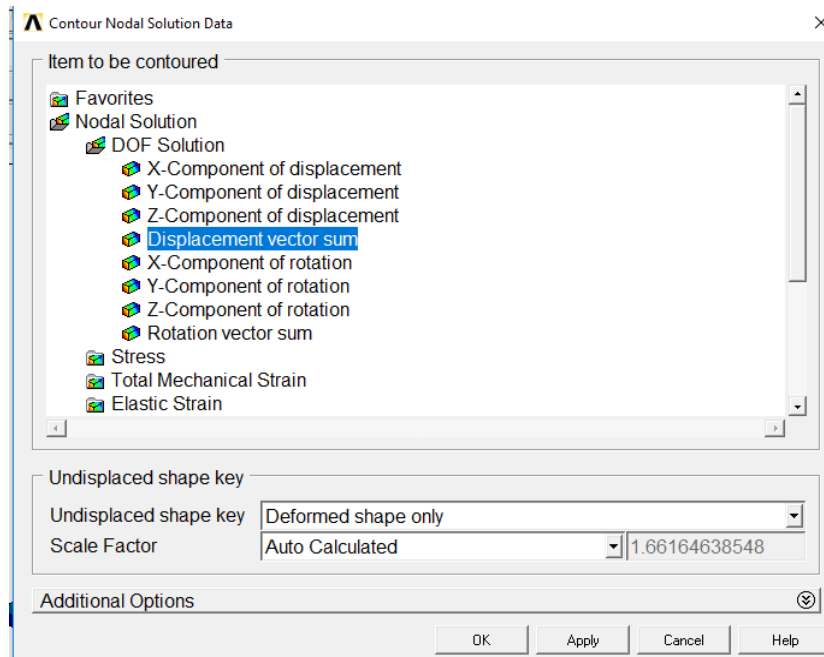
10. Tampilan Deformasi Pelat

Adapun langkah-langkah melihat bentuk deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* di ANSYS yaitu klik **General Postproc > Read Results > By Pick** (pilih titik terjadi *ultimate strength*) > **Read > Close**.

Set	Time	Load Step	Substep	Cumulative
1	9.76563E-06	1	1	14
2	1.95313E-05	1	2	15
3	3.41815E-05	1	3	16
4	5.61599E-05	1	4	17
5	8.86652E-05	1	5	19
6	9.55677E-05	1	6	30
7	9.81579E-05	1	7	34
8	9.98443E-05	1	8	36
9	1.01208E-04	1	9	38
10	1.02375E-04	1	10	40
11	1.03908E-04	1	11	42
12	1.05907E-04	1	12	44
13	1.08663E-04	1	13	47
14	1.11394E-04	1	14	49
15	1.14483E-04	1	15	51
16	1.19909E-04	1	16	53

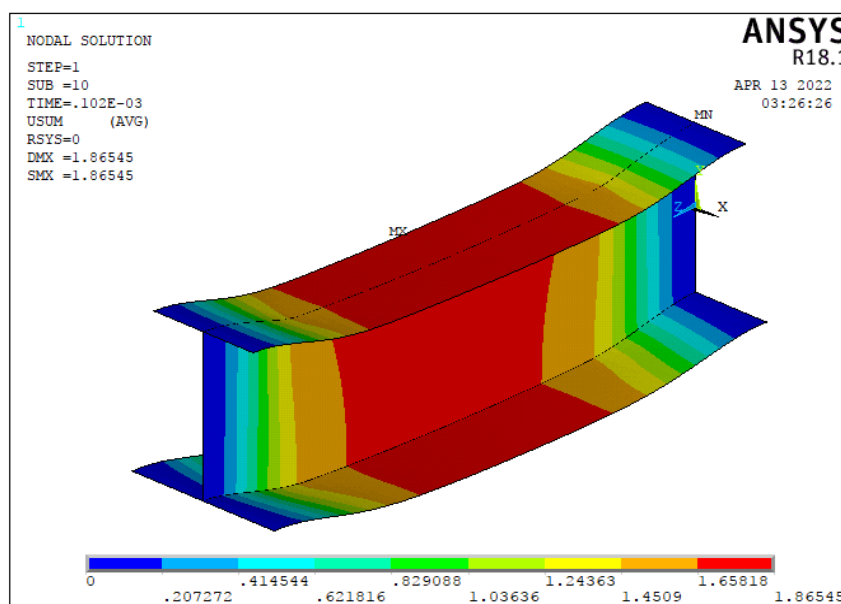
Gambar 5.37 Results File

Langkah selanjutnya klik **Plot Result > Counter Plot > Nodal Solution** (muncul window **Counter Nodal Solution Data**) > **Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector Sum > Scale Factor (Auto Calculated) > Ok**. Seperti pada gambar:



Gambar 5.38 Contour Nodal Solution Data

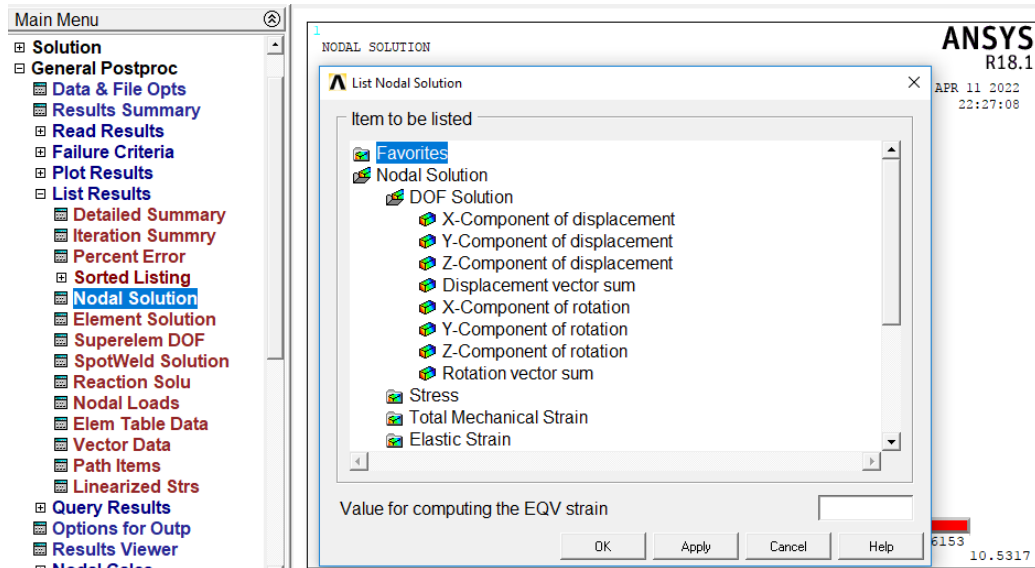
Setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan benar, maka deformasi yang diakibatkan *ultimate strength* akan muncul seperti pada gambar:



Gambar 5.39 Deformasi Tee-bar

11. Tampilan Grafik *Stress-Strain*

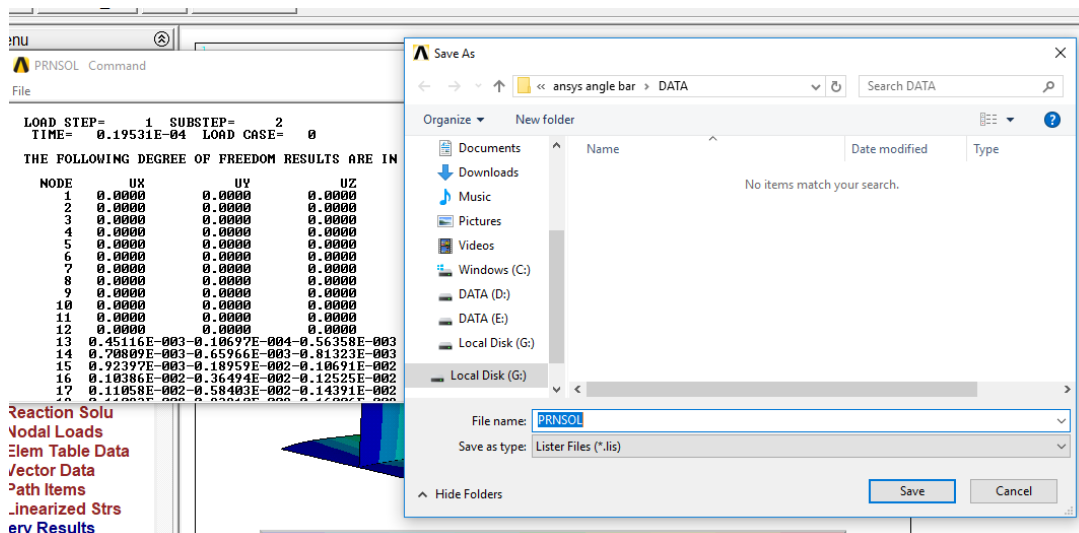
Adapun langkah-langkahnya yakni mengambil nilai nodal solution untuk menentukan nilai *stress* dan *strain* di ANSYS dengan mengklik **General Postproc > List Results > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > Ok** seperti pada gambar berikut:



Gambar 5.40 List Nodal Solution

Setelah itu akan muncul *list data PRNSOL Command* kemudian klik **file > save as** lalu ganti nama file lalu save.

12. Cara Plot Grafik Hasil Analisis pada ANSYS dengan MS Excel

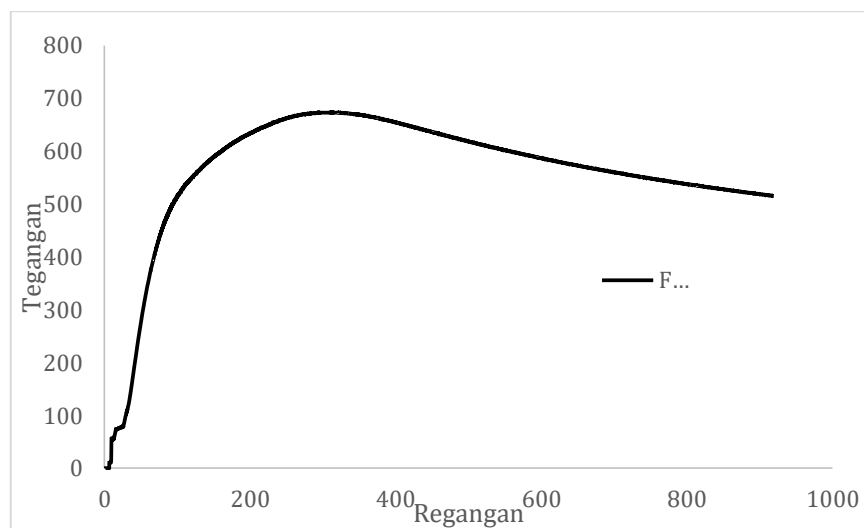


Gambar 5.41 Window PRNSOL Command

Setelah mendapatkan nilai **stress** dan **strain**, langkah selanjutnya adalah plot data tersebut menjadi sebuah grafik hubungan tegangan regangan. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. *Export* data dari ANSYS menggunakan teks editor MARUO
2. Setelah data dari ANSYS terbuka di MARUO, *copy* data tersebut ke MS Excel
3. Plot data tersebut menjadi grafik di MS Excel dengan sumbu y adalah tegangan dan sumbu x adalah regangan.
4. Selesai

Adapun hasil yang diperoleh dari MS Excel setelah melakukan analisis ANSYS dan hasil menggunakan MS Excel dapat dilihat pada gambar:

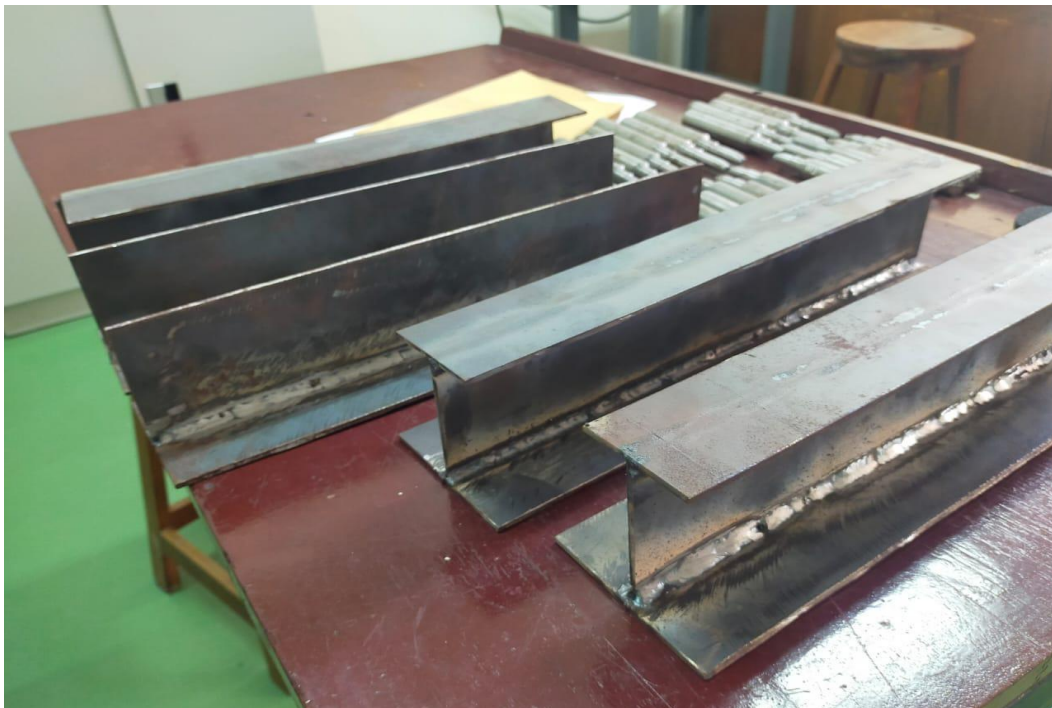


Gambar 5.42 Grafik Tegangan Regangan *Tee-bar*

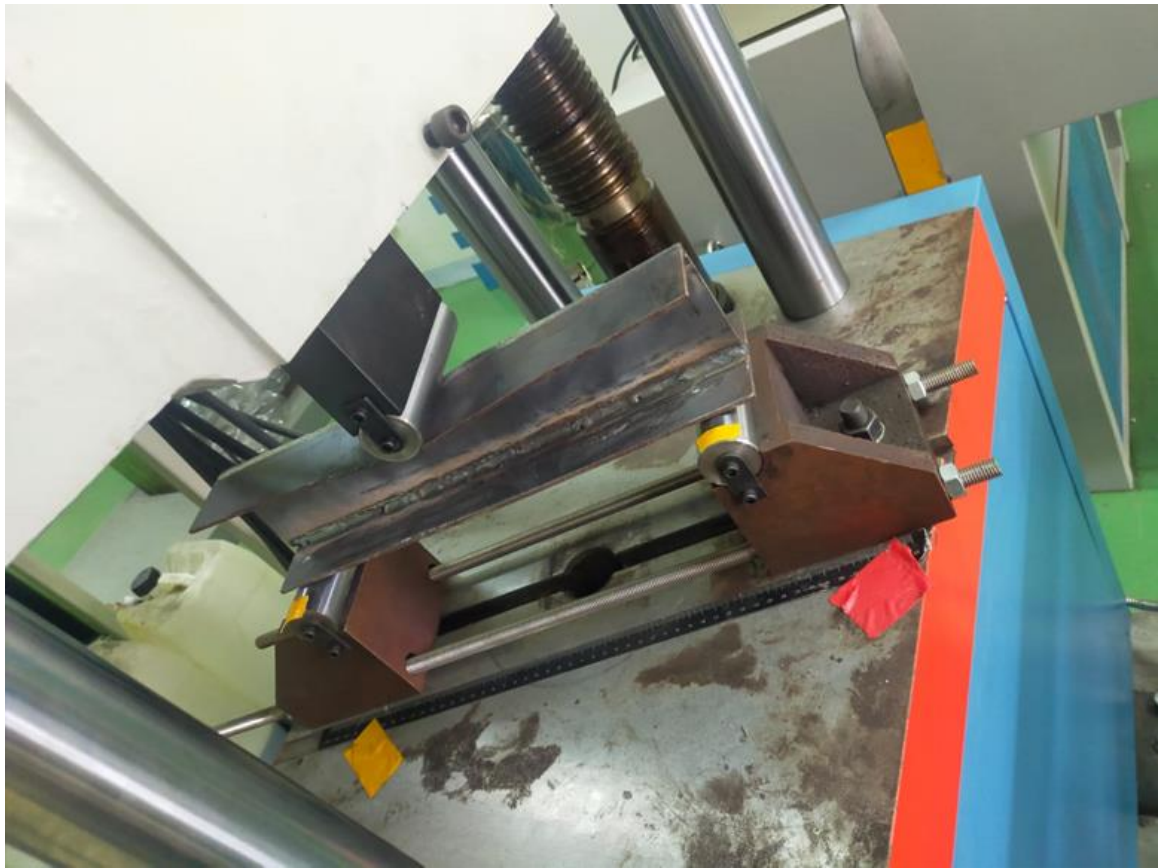
BAB 6

PERBANDINGAN HASIL UJI LAB DAN FEM

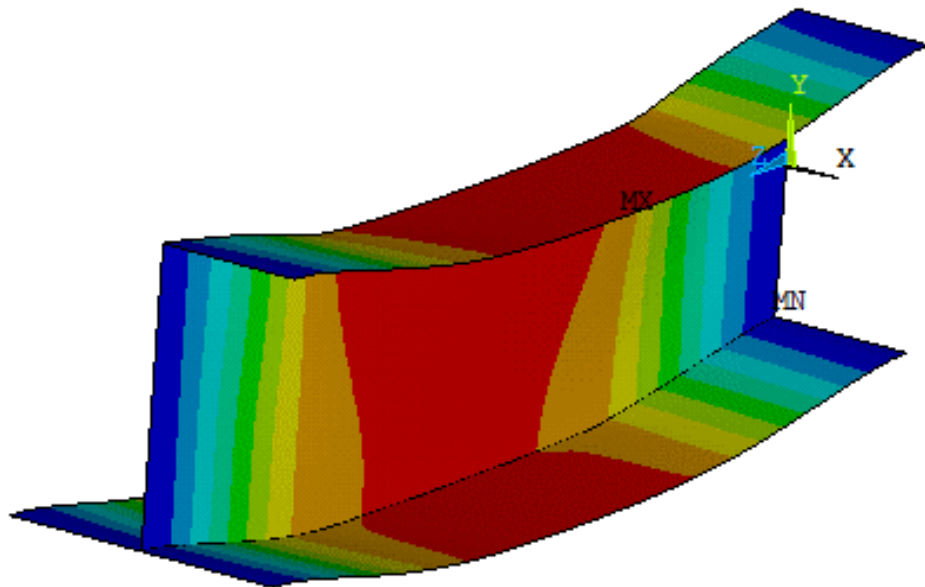
Sebelum dilakukan analisis *Finite Element Method* di ANSYS, terlebih dahulu dilakukan pengujian pelat *Angle-bar*, *Flat-bar*, dan *Tee-bar*. Pengujian tarik pada pelat berpenegar ini dilakukan di laboratorium milik Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa. Dalam penelitian ini digunakan 5 jenis pelat dalam satu tipe pelat baik *Angle-bar*, *Tee-bar*, dan *Flat-bar* yang masing-masing memiliki tegangan leleh rata-rata (f_y) sebesar 560 Mpa untuk *Angle-bar*, 365 Mpa untuk *Flat-bar* dan 675 Mpa untuk *Tee-bar*. Berikut adalah gambaran uji laboratorium pada pelat sebelum dilakukan pembebanan. Gambaran hasil uji lab dan hasil deformasi dari FEM setelah pelat diberikan pembebanan yang kemudian telah terjadi perubahan pada struktur yang di mana terjadi lekukan maupun retakan pada struktur pelat:



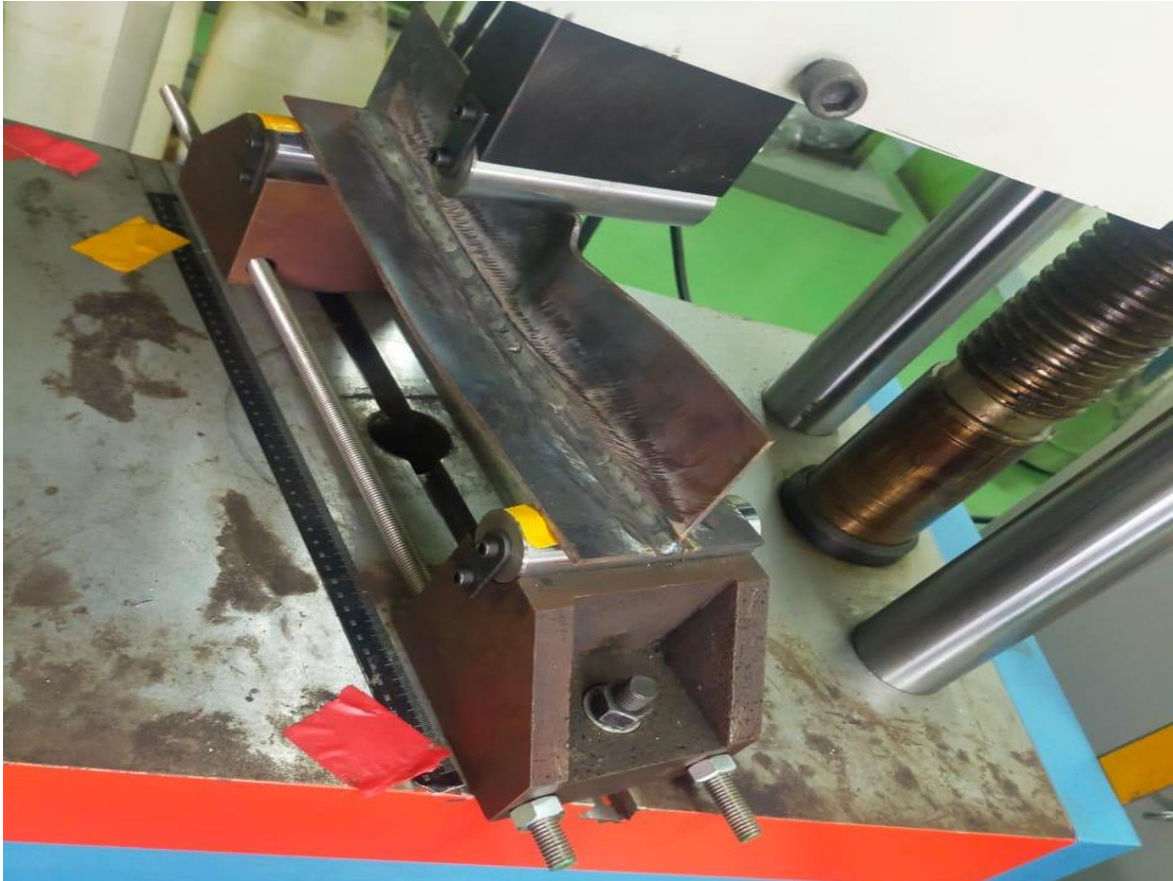
Gambar 6.1 Pelat *Angle-bar*, *Flat-bar*, dan *Tee-bar*



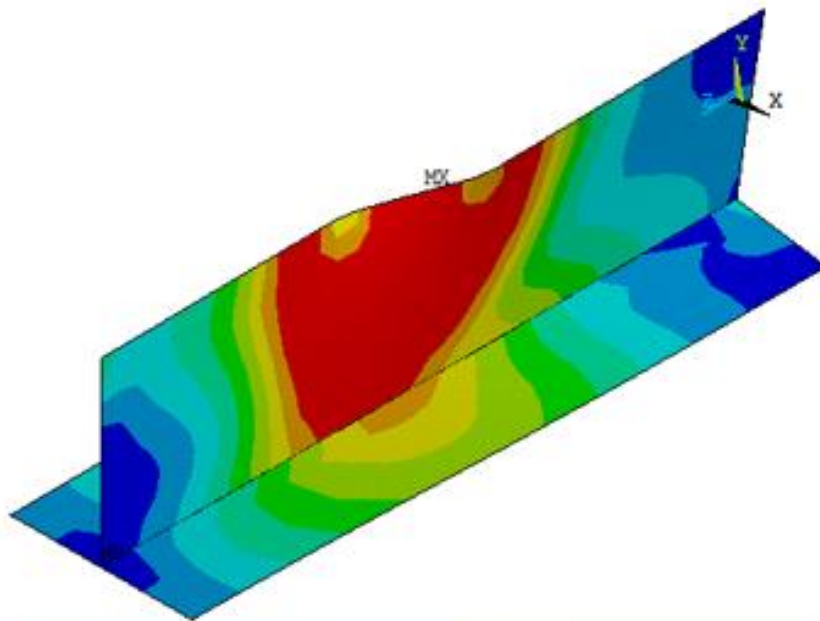
Gambar 6.2 Uji Lab *Angle-bar*



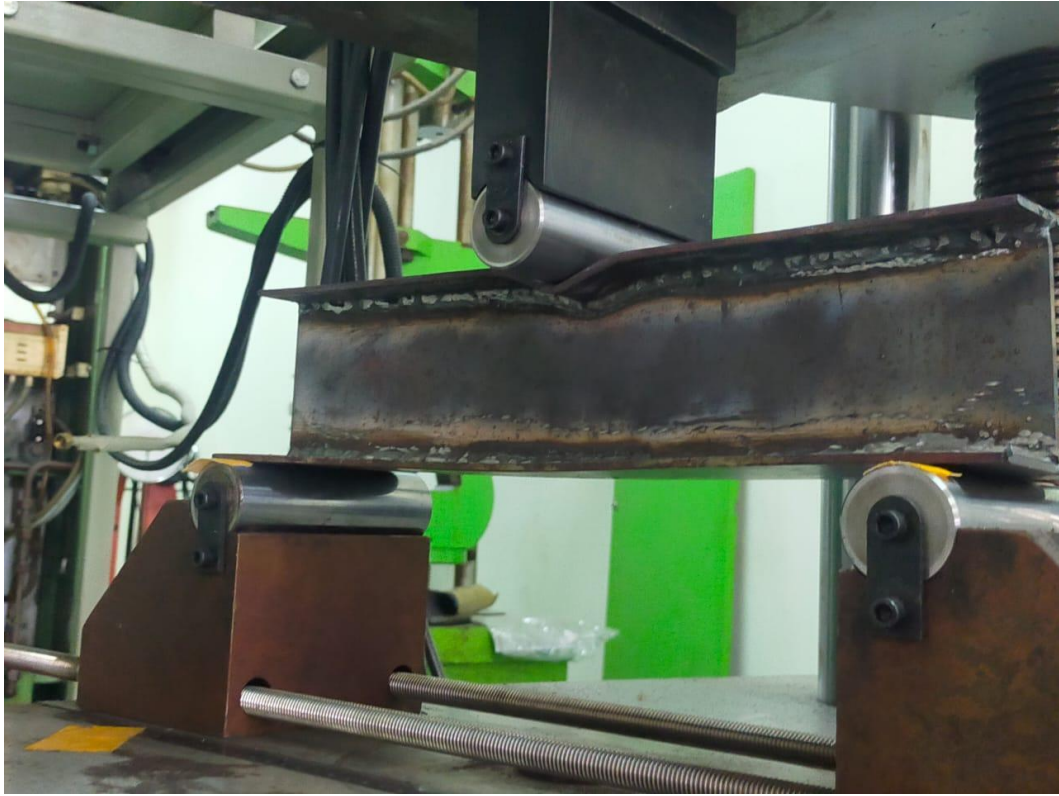
Gambar 6.3 Hasil FEM ANSYS *Angle-bar*



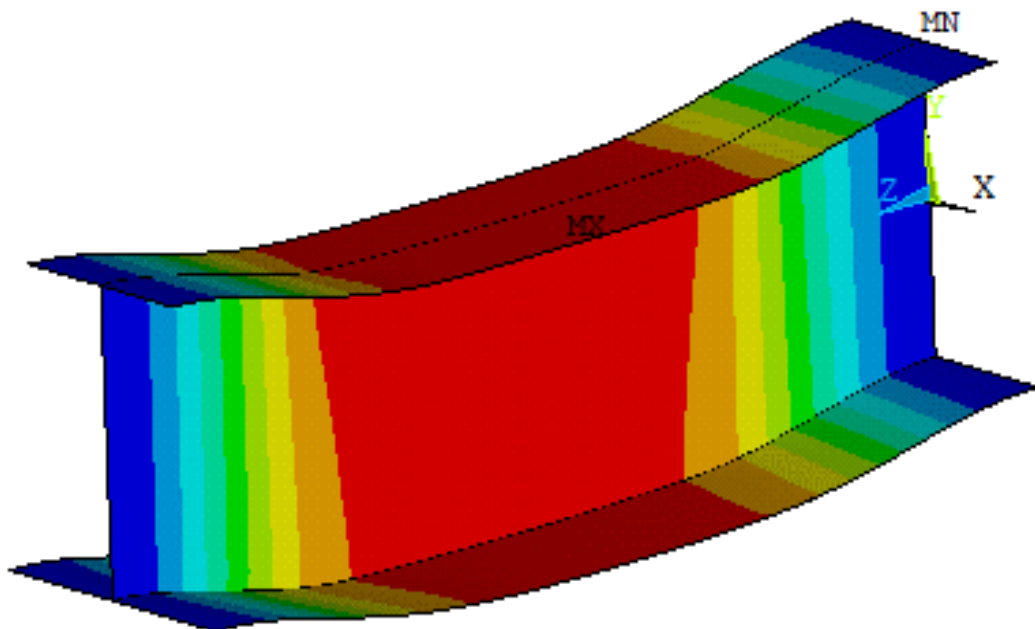
Gambar 6.4 Uji Lab *Flat-bar*



Gambar 6.5 Hasil FEM ANSYS *Flat-bar*

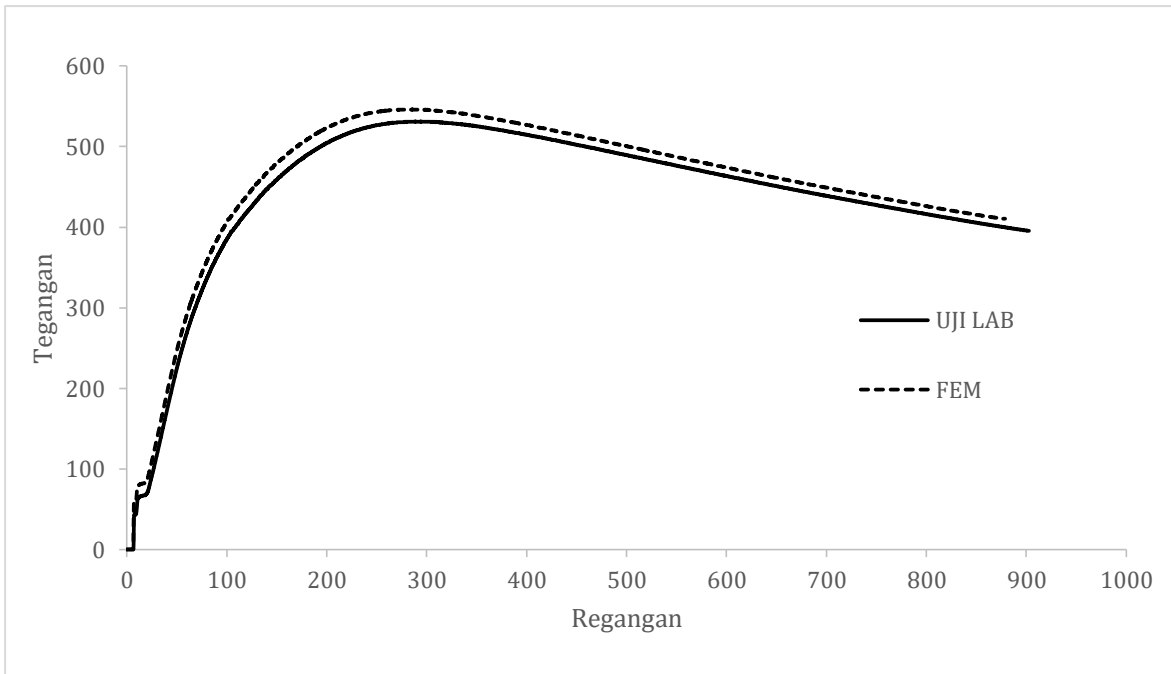


Gambar 6.6 Uji Lab *Tee-bar*

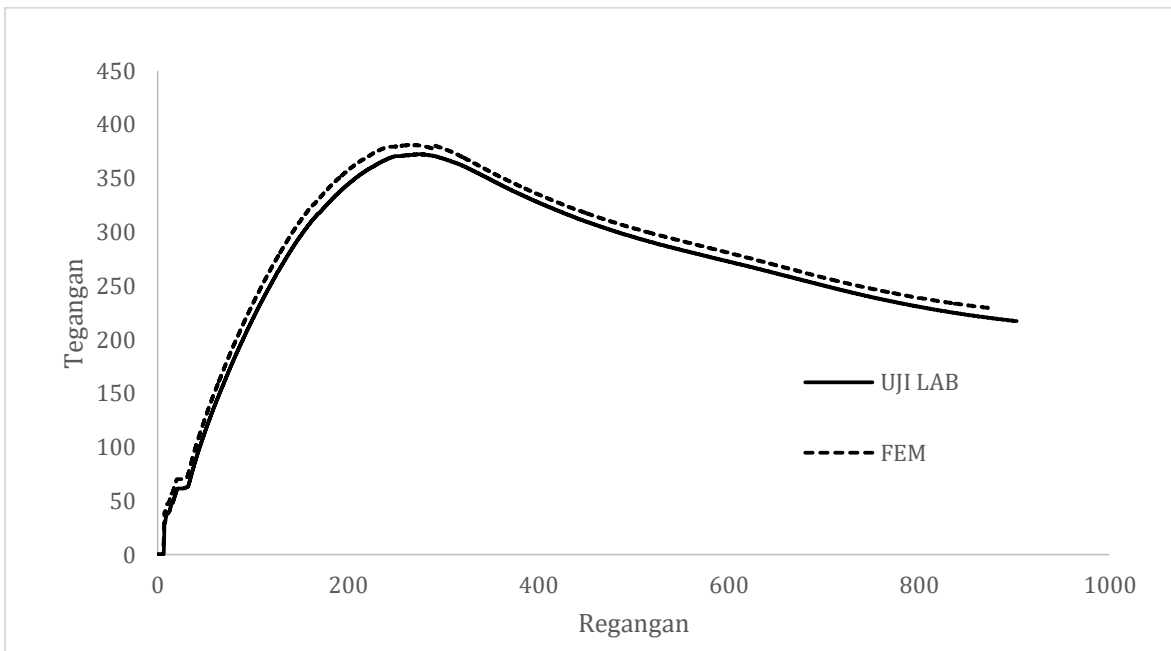


Gambar 6.7 Hasil FEM ANSYS *Tee-bar*

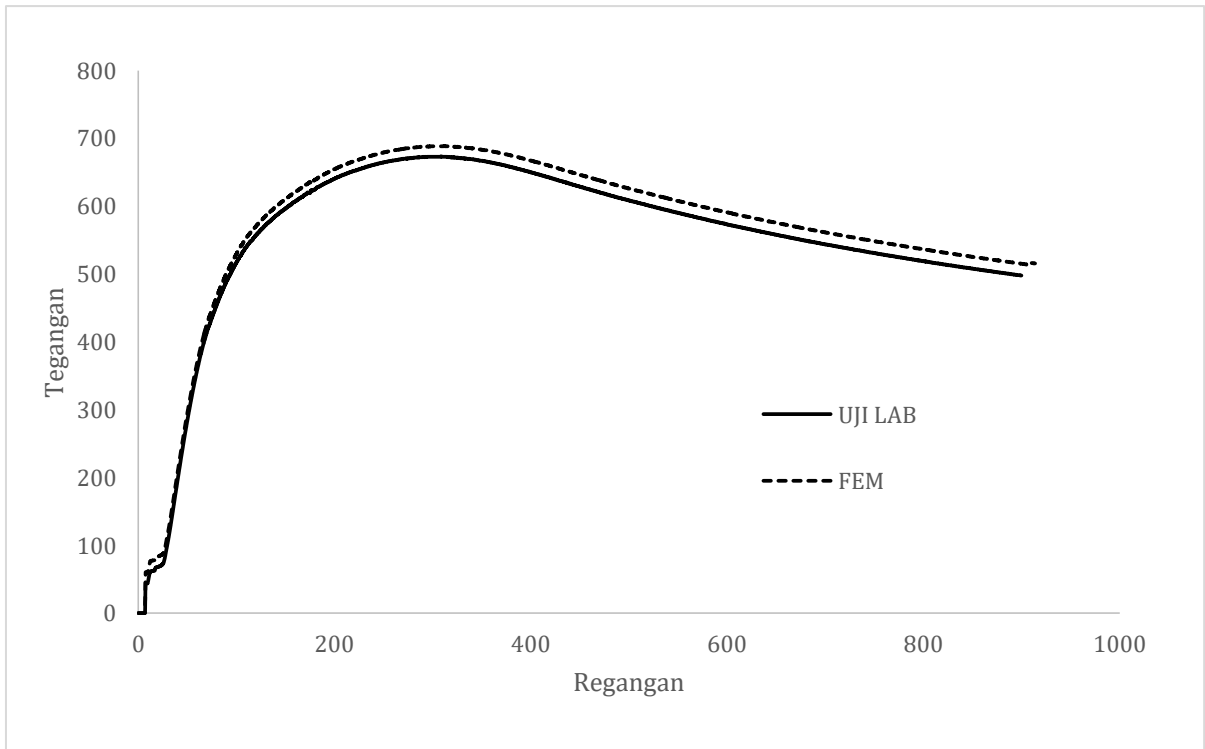
Dari hasil uji lab dan analisis FEM dengan menggunakan ANSYS, didapatkan grafik perbandingan tegangan dan regangan yang terjadi pada ketiga struktur pelat baik *Angle-bar*, *Tee-bar*, dan *Flat-bar*.



Gambar 6.8 Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada *Angle-bar*



Gambar 6.9 Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada *Flat-bar*



Gambar 6.10 Perbandingan Tegangan Regangan Uji Lab dan FEM ANSYS pada *Tee-bar*

Dari grafik di atas bisa dilihat perbandingan hasil uji lab dengan hasil analisis di ANSYS. Dan hasilnya relatif sama baik dengan hasil uji lab maupun hasil analisis dengan analisis ANSYS.

BAB 7

DISKUSI

Analisis kekuatan pelat berpenegar merupakan kriteria yang sangat penting dalam desain struktur. Beberapa penelitian yang terkait dengan analisis pelat telah diuraikan dengan menggunakan metode untuk memperoleh hasil yang berupa respons struktur sebelum dan sesudah dibebani.

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

Material, pemodelan, tebal pelat, pembebanan, *running* program, deformasi struktur serta plot grafik tegangan regangan yang juga disajikan dalam bentuk prosedur kerja dengan menggunakan ANSYS.

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

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan model pelat *Angle-bar*, *Flat-bar*, dan *Tee-bar*. Untuk ukuran panjang pelat diasumsikan 350 mm. secara umum elemen yang digunakan adalah *shell* dengan titik yang dimodelkan pada pelat. Selanjutnya dimensi pelat juga dimasukkan pada input data.

Setelah semua dimasukkan ke dalam input data, maka langkah selanjutnya adalah menggabungkan semua elemen dengan meng-*glue* dan kemudian di-*meshing*. Setelah di-*meshing*, maka dilanjutkan dengan pemberian tumpuan pada ujung pelat dan dilanjutkan pemberian beban pada bagian tengah pelat.

Proses *running* merupakan tahap akhir dari prosedur analisis untuk memperoleh hasil berupa distribusi tegangan, deformasi, lendutan elemen-elemen, dan gaya pelat dalam bentuk tiga dimensi. Hasil dari proses *running* ini juga dapat berupa teks editor yang bisa di-*export* dalam bentuk *notepad*, *watpad*, dan sejenisnya. Teks editor ini sangat berguna untuk meng-*export* data *output* dari ANSYS untuk dibawa ke MS Excel, kemudian dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan.

BAB 8

KESIMPULAN

Metode Elemen Hingga ialah suatu metode numerik yang dipergunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah rekayasa dan matematika fisis. Ruang lingkup ilmu Metode Elemen Hingga ialah meliputi analisis struktur, pindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa, dan potensial elektromagnetik. Metode ini merupakan penyempurnaan metode matematika analitik sederhana. Metode ini dapat memecahkan masalah-masalah rekayasa yang melibatkan geometri, beban, dan sifat-sifat bahan yang kompleks dan rumit yang tidak dapat diselesaikan dengan cara metode matematika analitik. Oleh karena itu, pengenalan Metode Elemen Hingga untuk menganalisis struktur pelat melalui referensi atau buku sangat dibutuhkan.

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

Metode Elemen Hingga ini menggunakan prinsip diskretisasi yang dirangkum dalam tiga fase yaitu: fase *Preprocessing*, fase Solusi, dan fase *Postprocessing* yang saling terintegrasi satu dengan yang lainnya.

Output dari ANSYS berupa grafik tegangan regangan yang kemudian dibandingkan dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya.

REFERENSI

- Bin Liu, Lingjie Gao, Lei Ao, Weiguo Wu (2020). "Experimental and numerical analysis of ultimate compressive strength of stiffened panel with openings," *Ocean Engineering* 220 108453
- Bin Liu, Xinnan Yao, Yongshui Lin, Weiguo Wu, C. Guedes Soares (2021). "Experimental and numerical analysis of ultimate compressive strength of long-span stiffened panels," *Ocean Engineering* 237 109633
- Bin Yang, Jia-meng Wu, C. Guedes Soares, De-yu Wang (2018). "Dynamic ultimate strength of outer bottom stiffened plates under in-plane compression and lateral pressure," *Ocean Engineering* 157 44–53
- Daisuke Shiomitsu, Daisuke Yanagihara (2021). "Estimation of ultimate strength of ring-stiffened cylindrical shells under external pressure with local shell buckling or torsional buckling of stiffeners," *Thin-Walled Structures* 161 107416
- David Parulian Sitorus (2013). "Relevansi Metode Ritter dan Metode Elemen Hingga dengan Program Matlab pada Rangka Batang," Universitas Sumatera Utara Medan
- Hongyang Ma, Qunfei Xiong, Deyu Wang (2021). "Experimental and numerical study on the ultimate strength of stiffened plates subjected to combined biaxial compression and lateral loads," *Ocean Engineering* 228 108928
- Hongyuan Mei, Qi Wan, Deyu Wang (2020). "Experimental and numerical study on ultimate strength of stiffened columns under axial compression," *Ocean Engineering* 217 107982
- Jinju Cui, Deyu Wang (2020). "An experimental and numerical investigation on ultimate strength of stiffened plates with opening and perforation corrosion," *Ocean Engineering* 205 107282
- Joao Paulo Silva Lima, Marcelo Langhinrichs Cunha, Elizaldo Domingues dos Santos, Luiz Alberto Oliveira Rocha, Mauro de Vasconcellos Real, Liercio Andre Isoldi (2020). "Constructal Design for the ultimate buckling stress improvement of stiffened plates submitted to uniaxial compressive load," *Engineering Structures* 203 109883
- Konstantinos N. Anyfantis (2020). "Ultimate strength of stiffened panels subjected to non-uniform thrust," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 12 325-342

- Krzysztof Woloszyk, Yordan Garbatov, Jakub Kowalski, Leszek Samson (2021). "Numerical and experimental study on effect of boundary conditions during testing of stiffened plates subjected to compressive loads," *Engineering Structures* 235 112027
- K. N. Hoque (2013). "Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method," Bangladesh University of Engineering and Technology
- Liang Feng, Luocun Hu, Xuguang Chen, Hongda Shi (2020). "A parametric study on effects of pitting corrosion on stiffened panels' ultimate strength," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 12 699-710
- Lei Ao, Hao Wu, De-yu Wang, Wei-guo Wu (2020). "Evaluation on the residual ultimate strength of stiffened plates with central dent under longitudinal thrust," *Ocean Engineering* 202 107167
- Ming Cai Xu, Zhao Jun Song, Jin Pan, Tao Wang (2021). "Study on the influence of localised thermal load on collapse strength of stiffened panels under longitudinal compression," *Engineering Structures* 239 112364
- Ming Cai Xu, C. Guedes Soares (2021). "Experimental evaluation of the ultimate strength of stiffened panels under longitudinal compression," *Ocean Engineering* 220 108496
- Nan Zhao, Shujian Yao, Duo Zhang, Fangyun Lu, Chengming Sun (2020). "Experimental and numerical studies on the dynamic response of stiffened plates under confined blast loads," *Thin-Walled Structures* 154 106839
- Poknam Han, Kwangchol Ri, Cholil Yun, CholJun Pak, Sunghak Paek (2021). "A study on the residual ultimate strength of continuous stiffened panels with a crack under the combined lateral pressure and in-panel compression," *Ocean Engineering* 234 109265
- Quang Thang Do, Van Vu Huynh, Sang-Rai Cho, Mai The Vu, Quang-Viet Vu, Duc-Kien Thai (2021). "Residual ultimate strength formulations of locally damaged steel stiffened cylinders under combined loads," *Ocean Engineering* 225 108802
- Rafid Buana Putra, Achmad Zubaydi, Septia Hardy Sujatanti (2017). "Analisis Pengaruh Ukuran *Stopper* Pada Sambungan Pelat Kapal Terhadap Tegangan Sisa Dan Deformasi Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik ITS* Vol. 6, No. 2, 2337-3520
- Sara Piculin, Primož Može (2020). "Experimental and numerical analysis of stiffened curved plates as bottom flanges of steel bridges," *Journal of Constructional Steel Research* 164 105822

- Shen Li, Do Kyun Kim, Simon Benson (2021). "The influence of residual stress on the ultimate strength of longitudinally compressed stiffened panels," *Ocean Engineering* 231 108839
- Sara Piculin, Primož Može (2021). "Ultimate resistance of longitudinally stiffened curved plates subjected to pure compression," *Journal of Constructional Steel Research* 181 106616
- Wentao He, Xiaofei Cui, Zhiqiang Hu, Jingxi Liu, Changzi Wang, Lu Yao (2020). "Probabilistic residual ultimate strength assessment of cracked unstiffened and stiffened plates under uniaxial compression," *Ocean Engineering* 216 108197
- Xing Hua Shi, Jing Zhang, C. Guedes Soares (2019). "Numerical assessment of experiments on the residual ultimate strength of stiffened plates with a crack," *Ocean Engineering* 171 443–457
- Zhenfei Guo, Ruixiang Bai, Zhenkun Lei, Hao Jiang, Jianchao Zou, Cheng Yan (2021). "Experimental and numerical investigation on ultimate strength of laser-welded stiffened plates considering welding deformation and residual stresses," *Ocean Engineering* 234 109239

- 2D, 5
- 2**
- 3**
- 3D, 5, 13, 37, 61
- A**
- analisis, v, 1, 2, 3, 5, 7, 11, 15, 26, 33, 35, 39, 51, 57, 59, 63, 75, 78, 80, 81, 82, 85, 87, 88, 89, 90, 92
- analysis*, 3, 26, 27, 30, 51, 54, 75, 78, 91, 92, 96
- angle-bar*, v, 11, 16, 24, 30, 32, 34, 35, 54, 59, 78, 82, 83, 85, 86, 88
- ANSYS, v, xii, 13, 16, 17, 19, 24, 25, 29, 30, 32, 33, 37, 40, 41, 43, 48, 49, 53, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 67, 72, 73, 77, 78, 80, 81, 82, 85, 87, 88, 89, 90
- AutoCAD, 17, 41, 65
- B**
- bilinear*, 15
- C**
- command*, 29, 33, 53, 57, 77, 80
- coordinate*, 16, 17, 40, 41, 64, 65
- create*, 16, 17, 40, 41, 64, 65
- D**
- deformasi, v, xii, 2, 3, 5, 30, 31, 32, 54, 55, 56, 78, 79, 82, 88, 89, 90, 92
- densitas, 11, 35, 59, 88
- dialog, 11, 12, 13, 15, 35, 36, 37, 39, 59, 60, 61, 63, 88
- diferensial, 6, 9, 10
- diskret, 4, 10
- diskretisasi, 4, 10, 90
- diskrit, 4, 10
- diskritisasi, 4, 10, 90
- displacement*, 24, 25, 32, 48, 49, 56, 72, 73, 79, 80
- E**
- elastic*, 14, 38, 62
- F**
- FEM, xii, 3, 4, 5, 82, 85
- Finite Element Method*, 4, 82, 92
- flat-bar*, v, 35, 40, 41, 42, 43, 44, 50, 56, 58, 82, 84, 85, 86, 88
- force*, 25, 26, 49, 50, 73, 74
- G**
- gambar, v, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 96
- gaya eksternal, 10
- glue*, 21, 22, 45, 46, 69, 70, 88
- H**
- homogen, 10
- I**
- isotropic*, 14, 15, 38, 62
- J**
- jepit-jepit, 11, 35, 59

- K**
- ketebalan, 11, 15, 16, 19, 20, 21, 35, 39, 40, 43, 44, 45, 59, 63, 64, 67, 68, 69
keypoint, 5, 16, 17, 18, 22, 40, 41, 42, 46, 65, 66, 70
 konduktivitas termal, 10
- L**
- linear, 10, 14, 38, 62
- M**
- matematis, 9
 material, xii, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 88
merge, 21, 45, 69
mesh, xii, 5, 15, 19, 22, 23, 39, 43, 46, 47, 63, 67, 70, 71
 metode elemen hingga, v, xii, 3, 4, 5, 10, 90, 91, 92, 96
 metode numerik, 4, 5, 10, 90
 model, v, 5, 9, 16, 18, 19, 22, 38, 40, 46, 54, 63, 64, 70, 88
modelling, 17, 21, 40, 41, 45, 65, 69
 modulus elastisitas, xii, 10, 11, 15, 35, 39, 59, 63, 88
- N**
- nodal, 4, 6, 31, 32, 55, 56, 79, 80
 nonlinear, 3, 15, 30, 39, 54, 63, 78
numbering control, 21, 45, 69
- O**
- offset*, 19, 43, 67
operate, 21, 45, 69
- P**
- pelat, v, 1, 2, 3, 5, 7, 11, 15, 16, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 30, 35, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 49, 54, 59, 63, 64, 66, 67, 69, 72, 73, 78, 82, 85, 88, 89, 90, 92
 persamaan, 3, 4, 5, 6, 9, 10
poisson's ratio, 15, 39, 63
preference, 12, 36, 60
 preferences, 12, 36, 60
preprocessor, 12, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 60, 63, 65, 66, 67, 69, 70
properties, 10, 14, 15, 38, 39, 62, 63
 PRXY, 15, 39, 63
- R**
- running*, v, 22, 26, 28, 29, 30, 46, 51, 53, 54, 70, 75, 77, 78, 88, 89
- S**
- setting*, 26, 27, 28, 29, 51, 52, 53, 75, 76, 77
 shell, 13, 14, 15, 16, 37, 38, 39, 40, 61, 62, 63, 64, 88, 91
software, v, xii, 5, 16, 40, 64
solution, 5, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 72, 73, 75, 77, 79, 80
strain, 32, 33, 56, 57, 80, 81
strength, xii, 30, 31, 54, 55, 78, 79, 91, 92, 93
stress, 4, 6, 15, 32, 33, 39, 56, 57, 63, 80, 81, 91, 93
structural, 12, 14, 15, 24, 25, 36, 38, 48, 49, 60, 62, 72, 73, 92, 96
 struktur, v, xii, 1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 22, 36, 37, 40, 46, 60, 61, 64, 70, 82, 85, 88, 90, 96
- T**
- tee-bar*, v, 59, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 74, 79, 81, 82, 85, 87, 88
 tegangan, v, xii, 1, 2, 3, 5, 6, 9, 15, 33, 34, 39, 57, 58, 63, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92
 teknik, 9, 82, 92, 96
thickness, 16, 40, 64
title, 11, 12, 35, 36, 59, 60
 tumpuan, 7, 11, 24, 25, 35, 48, 49, 59, 72, 73, 88

type, 12, 13, 21, 26, 27, 36, 37, 38, 45, 51,
61, 62, 69, 75

V

viskositas, 10

W

window, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21,
22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
42, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 53, 56,
57, 61, 62, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 74,
75, 77, 79, 80

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D. dilahirkan di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan, Juni 1975. Penulis menyelesaikan S-1 dan S-2 di Universitas Hasanuddin dan menyelesaikan Program Doktor (S-3) di Ship and Offshore Structural Integrity Subarea Laboratory, Osaka University, Japan dengan bidang keahlian *Ship and Offshore Structures*. Penulis juga menempuh Program Post-Doctoral Course di Department of Marine Systems Engineering, Kyushu University, Japan.

Sampai saat ini penulis adalah staf pengajar di Program Magister Teknik Perkapalan dan mengajar mata kuliah Struktur dan Kekuatan Kapal. Saat ini penulis bertugas sebagai dosen S-1 Teknik Kelautan dan Kepala Laboratorium Struktur Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Mata kuliah yang diajarkan adalah Fisika Dasar, Mekanika Teknik, Analisa Struktur, Dinamika Struktur, Metode Elemen Hingga, Mekanika Kelelahan, Analisa Keandalan Struktur, Perencanaan Bangunan Lepas Pantai, Konstruksi Bangunan Lepas Pantai, serta Kekuatan dan Struktur Kapal.

e-mail: zubair.m@eng.unhas.ac.id



Indah Melati Suci, S.T. dilahirkan di Enrekang Sulawesi Selatan, Agustus 1998. Penulis menyelesaikan S-1 Teknik Kelautan, Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) di Universitas Hasanuddin dengan judul skripsi "Pengaruh Tinggi Dasar Ganda terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull Tanker*" dan saat ini sedang menempuh Program Pascasarjana Magister Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Saat ini penulis bertugas sebagai dosen D-3 Teknik Perkapalan, Politeknik Batulicin. Mata kuliah yang diajarkan adalah Mekanika Teknik, Teori Bangunan Kapal, Konstruksi Kapal, Gambar Konstruksi Kapal, serta Teknologi Reparasi Kapal.
e-mail: indahmelati27011@gmail.com



Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D. dilahirkan di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan, Juni 1975. Penulis menyelesaikan S-1 dan S-2 di Universitas Hasanuddin dan menyelesaikan Program Doktor (S-3) di Ship and Offshore Structural Integrity Subarea Laboratory, Osaka University, Japan dengan bidang keahlian Ship and Offshore Structures. Penulis juga menempuh Program Post-Doctoral Course di Department of Marine Systems Engineering, Kyushu University, Japan.

Sampai saat ini penulis adalah staf pengajar di Program Magister Teknik Perkapalan dan mengajar mata kuliah Struktur dan Kekuatan Kapal. Saat ini penulis bertugas sebagai dosen S-1 Teknik Kelautan dan Kepala Laboratorium Struktur Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Mata kuliah yang diajarkan adalah Fisika Dasar, Mekanika Teknik, Analisa Struktur, Dinamika Struktur, Metode Elemen Hingga, Mekanika Kelelahan, Analisa Keandalan Struktur, Perencanaan Bangunan Lepas Pantai, Konstruksi Bangunan Lepas Pantai, serta Kekuatan dan Struktur Kapal. e-mail: zubair.m@eng.unhas.ac.id



Indah Melati Suci, S.T. dilahirkan di Enrekang Sulawesi Selatan, Agustus 1998. Penulis menyelesaikan S-1 Teknik Kelautan, Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL) di Universitas Hasanuddin dengan judul skripsi "Pengaruh Tinggi Dasar Ganda terhadap Kekuatan Kapal Double Hull Tanker" dan saat ini sedang menempuh Program Pascasarjana Magister Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Saat ini penulis bertugas sebagai dosen D-3 Teknik Perkapalan, Politeknik Batulicin. Mata kuliah yang diajarkan adalah Mekanika Teknik, Teori Bangunan Kapal, Konstruksi Kapal, Gambar Konstruksi Kapal, serta Teknologi Reparasi Kapal. email: indahmelati27011@gmail.com

ANALISIS KEKUATAN PELAT BERPENEGAR

DENGAN

METODE ELEMEN HINGGA

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📘 Penerbit Deepublish

📱 @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Teknik

ISBN 978-623-02-5254-9



9 786230 252549