



TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISA PENGARUH *LONGITUDINAL DENT*
PADA *TUBULAR MEMBER***

BRIAN REKSA TRISTANDI

NRP. 04311540000103

DOSEN PEMBIMBING:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2020

**ANALISA PENGARUH LONGITUDINAL DENTING PADA
TUBULAR MEMBER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Brian Reksa Tristandi

NRP. 04311540000103

Disetujui oleh :

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastanto, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc (Penguji 1)

4. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 2)

Surabaya, Januari 2020

ANALISA PENGARUH *LONGITUDINAL DENTING* PADA *TUBULAR MEMBER*

Nama Mahasiswa : Brian Reksa Tristandi
NRP : 04311540000103
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Salah satu jenis cacat yang sering terjadi pada *tubular member* adalah *longitudinal dent*. Terbentuknya *longitudinal dent* dapat menurunkan kapasitas kekuatan *Ultimate* dari *tubular member* tersebut. Perubahan dimensi kelengkungan pada area *tubular member* yang mengalami *longitudinal denting* menimbulkan ketidakseragaman dari luas penampang silinder menyebabkan gaya yang bekerja diberikan pada suatu daerah yang memiliki luas penampang kecil sehingga dapat menimbulkan konsentrasi tegangan yang dapat berakibat kerusakan. Untuk itu diperlukan penelitian yang berupa simulasi pada *tubular member* yang mengalami *longitudinal denting* menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM). Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan perbandingan kapasitas kekuatan *Ultimate* dari *tubular bracing* sebelum dan sesudah mengalami *longitudinal dent* serta pengaruh *longitudinal dent* terhadap penurunan kapasitas kekuatan *Ultimate* dari *tubular member* tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan penurunan kapasitas kekuatan *Ultimate* pada tiap kedalaman adalah 2.24% untuk kedalaman 5.08 mm, 6.11% untuk kedalaman 10.16 mm, 16.08% untuk kedalaman 15.24 mm, serta 22.67% untuk kedalaman 20.32 mm. sedangkan untuk lebar tingkat penurunannya adalah 4.26% untuk lebar 51.188 mm, 7.01% untuk lebar 79.743 mm, 11% untuk lebar 101.19 mm, serta 22.67 % untuk lebar 128.016 mm

Kata Kunci : *tubular member, longitudinal dent, pushover*

ANALISA PENGARUH *LONGITUDINAL DENTING* PADA *TUBULAR MEMBER*

Name : Brian Reksa Tristandi
NRP : 04311540000103
Department : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

One type of defect that often occurs in tubular members is longitudinal dent. The formation of a longitudinal dent can reduce the Ultimate strength capacity of the tubular member. Changes in the dimensions of the curvature in the tubular area of members experiencing longitudinal clinks cause a non uniformity in the cross-sectional area of the cylinder causing the force applied to an area that has a small cross-sectional area so that it can cause stress concentrations that can result in damage. For this reason research is needed in the form of simulations on tubular members who experience longitudinal clink using the Finite Element Method (FEM). The results of this study are expected to produce a comparison of Ultimate strength capacity of tubular bracing before and after experiencing longitudinal dent and the effect of longitudinal dent on decreasing the Ultimate strength capacity of the tubular member. From the results of the study, it was found that the decrease in the strength strength of the Ultimate.on each depth is 2.24% for depths of 5.08 mm, 6.11% for depths of 10.16 mm, 16.08% for depths of 15.24 mm, and 22.67% for depths of 20.32 mm. while the width of the rate of decline is 4.26% for width 51.188 mm, 7.01% for width 79.743 mm, 11% for width 101.19 mm, and 22.67% for width 128.016 mm

Keyword : tubular member, longitudinal dent, pushover

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah S.W.T yang telah melimpahkan karunia, kemudahan serta ilmu-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh *Longitudinal Denting* Pada *Tubular Member*” dengan sebaik-baiknya.

Pengerjaan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi syarat menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini membahas mengenai pengaruh *longitudinal denting* pada *ultimate strength* dari *tubular member* menggunakan pemodelan finite element.

Mohon maaf yang sebesar-besarnya penulis sampaikan, apabila terdapat kekurangan baik dalam tahap pengerjaan maupun penulisan laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa tidak ada manusia yang sempurna, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan demi penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini maupun pengembangan penelitian selanjutnya.

Harapan penulis, semoga hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi diri penulis sendiri maupun pihak-pihak lain.

Surabaya, September 2020

Brian Reksa Tristandi

NRP. 04311540000103

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah sangat membantu penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Secara khusus penulis juga ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah S.W.T yang telah melimpahkan karunia, kemudahan serta ilmuNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
3. Dosen pembimbing penulis yaitu Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. yang telah bersedia membimbing penulis dan memberikan banyak saran serta masukan kepada penulis.
4. Teman-teman Teknik Kelautan 2015 (Tritonous P55 L33) yang telah banyak membantu dan memberi semangat selama masa kuliah penulis.
5. Teman-teman satu dosen pembimbing (Gifari, Bosni, Naufal, Raka) yang selalu saling membantu dan menyemangati selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
6. Teman-teman penulis yang lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Sekali lagi terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan pada pihak-pihak yang telah disebutkan di atas, semoga diberikan balasan yang terbaik oleh Allah S.W.T.

Surabaya, September 2019

Brian Reksa Tristandi

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 <i>Dented Member</i>	6
2.2.2 Konsep Tegangan.....	8
2.2.2.1 Tegangan Normal.....	8
2.2.2.2 Tegangan Geser.....	9
2.2.2.3 Kriteria Tegangan Ijin.....	10
2.2.3 Teori Tegangan Von Mises.....	12
2.2.4 <i>Shell element</i>	15
2.2.5 Ultimate Limit State.....	18
2.2.6 Analisa <i>Pushover</i>	19
2.2.7 Reserve Strength Ratio (RSR).....	19
2.2.8 Prosedur Analisa Metode Elemen Hingga.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram alir penelitian.....	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	24
3.3 Pengumpulan Data.....	27
3.4 Alur Validasi Model Menggunakan Software Analisa Numerik.....	29
3.5 Penjelasan diagram alir Validasi Model dengan Software Analisa Numerik.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Analisis.....	34

4.2	<i>Dented Tubular Member</i>	34
4.3	Tumpuan pada <i>Tubular Member</i> dan <i>Displacement Indentor</i>	36
4.4	<i>Meshing Sensitivity Analysis</i>	38
4.5	Validasi Model <i>Dented Tubular Member</i>	41
4.6	Permodelan <i>Tubular Member</i> dengan Variasi	44
4.7	Analisa Distribusi tegangan dan regangan dari <i>longitudinal dent tubular member</i>	47
4.7.1	Hasil Analisa Regangan Berdasarkan Sumbu X	49
4.7.2	Hasil Analisa Regangan Berdasarkan Sumbu Y	51
4.7.3	Hasil Analisa Tegangan Berdasarkan Sumbu X	53
4.7.4	Hasil Analisa Tegangan Berdasarkan Sumbu Y	56
4.8	Analisa <i>Ultimate strength</i> dari <i>longitudinal dent tubular member</i>	58
4.8.1	Variasi Kedalaman <i>Dent 1D (5.08 mm)</i>	58
4.8.2	Variasi Kedalaman <i>Dent 2D (10.16 mm)</i>	60
4.8.3	Variasi Kedalaman <i>Dent 3D (15.24 mm)</i>	62
4.8.4	Variasi Kedalaman <i>Dent 4D (20.32 mm)</i>	64
4.8.5	Variasi Lebar <i>Dent 10D (51.188 mm)</i>	66
4.8.6	Variasi Lebar <i>Dent 15D (79.743 mm)</i>	68
4.8.7	Variasi Lebar <i>Dent 20D (101.19 mm)</i>	70
4.8.8	Variasi Lebar <i>Dent 25D (128.016 mm)</i>	72
4.9	Analisa Persentase Penurunan <i>Ultimate Strength</i> pada <i>Longitudinal Dent Tubular Member</i>	74
4.10	Analisa Non Dimensional Parameter	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	82
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>dent</i> berdasarkan arah terbentuknya	6
Gambar 2.2 Pembebanan aksial pada batang tubular.....	8
Gambar 2.3 Pembebanan momen kopel pada batang tubular.....	8
Gambar 2.4 Gaya puntiran pada batang silinder	9
Gambar 2.5 Tegangan yang terjadi pada suatu elemen kecil tak hingga	12
Gambar 2.6 Status tegangan pada suatu elemen kecil tak hingga.....	13
Gambar 2.7 Distribusi tegangan yang terjadi pada <i>dent tubular member</i>	14
Gambar 2.8 Potongan kecil tak berhingga dari elemen <i>shell</i>	15
Gambar 2.9 Stress-strain diagram untuk struktur baja.....	18
Gambar 2.10 Diagram alir permodelan metode elemen hingga	21
Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan tugas akhir.....	23
Gambar 3.2 grafik <i>Force-displacement under longitudinal bending</i>	28
Gambar 3.3 Diagram Alir validasi model dengan Software Analisa Numerik.....	29
Gambar 4.1 Hasil permodelan <i>tubular member</i> dengan Software Analisa Numerik.....	36
Gambar 4.2 Hasil permodelan <i>indenter</i> dengan Software Analisa Numerik	36
Gambar 4.3 Hasil permodelan keseluruhan geometri	36
Gambar 4.4 Kondisi Tumpuan dan <i>Indenter</i> sebelum analisa.....	37
Gambar 4.5 Tumpuan <i>roll</i> pada <i>tubular member</i>	38
Gambar 4.6 Tumpuan <i>pin</i> pada <i>tubular member</i>	38
Gambar 4.7 <i>Displacement</i> pada <i>indenter</i>	39
Gambar 4.8 Grafik analisa <i>Meshing Sensitivity</i>	40
Gambar 4.9 Hasil distribusi tegangan pada <i>dent area</i>	40
Gambar 4.10 Hasil distribusi tegangan pada <i>tubular member</i>	41
Gambar 4.11 Lokasi <i>Probe</i> pada area <i>dent</i>	41
Gambar 4.12 Lokasi <i>Probe</i> pada area <i>dent</i> (Tampak depan)	42
Gambar 4.13 Proses pembentukan <i>dent</i> pada <i>tubular member</i>	42
Gambar 4.14 Proses pembentukan <i>dent</i> pada <i>tubular member</i> (tampak samping)	43
Gambar 4.15 <i>Output Force reaction</i> pada indenter.....	43
Gambar 4.16 Grafik <i>Force reaction-Displacement</i>	44
Gambar 4.17 Perbandingan Grafik <i>Force reaction-Displacement</i> pada data	44

Gambar 4.18 Hasil permodelan dengan variasi kedalaman <i>dent</i>	47
Gambar 4.19 Hasil permodelan dengan variasi lebar <i>dent</i>	48
Gambar 4.20 Lokasi Probe pada <i>Tubular Member</i> (Tampak Atas)	49
Gambar 4.21 Lokasi Probe pada <i>Tubular Member</i> (Tampak Depan)	49
Gambar 4.22 Grafik regangan Von Mises sumbu X variasi kedalaman.....	50
Gambar 4.23 Grafik regangan Von Mises sumbu X variasi lebar	51
Gambar 4.24 Grafik regangan Von Mises sumbu Y variasi kedalaman	52
Gambar 4.25 Grafik regangan Von Mises sumbu Y variasi lebar	53
Gambar 4.26 Grafik tegangan Von Mises sumbu X variasi kedalaman.....	55
Gambar 4.27 Grafik tegangan Von Mises sumbu X variasi lebar	56
Gambar 4.28 Grafik tegangan Von Mises sumbu Y variasi kedalaman.....	57
Gambar 4.29 Grafik tegangan Von Mises sumbu Y variasi lebar	58
Gambar 4.30 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 1D (5.08 mm).....	60
Gambar 4.31 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 1D (5.08 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	61
Gambar 4.32 Distribusi tegangan pada area <i>Dent</i> dengan Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 1D (5.08 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	61
Gambar 4.33 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 2D (10.16 mm).....	62
Gambar 4.34 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 2D (10.16 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	63
Gambar 4.35 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 2D (10.16 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	63
Gambar 4.36 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 3D (15.24 mm).....	64
Gambar 4.37 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 3D (15.24 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	65
Gambar 4.38 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 3D (15.24 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	65
Gambar 4.39 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 4D (20.32 mm).....	66
Gambar 4.40 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 4D (20.32 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	67
Gambar 4.41 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 10D (51.188 mm).....	68
Gambar 4.42 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 10D (51.188 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	69
Gambar 4.43 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 10D (51.188 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	69
Gambar 4.44 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 15D (79.743 mm).....	70
Gambar 4.45 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 15D (79.743 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	71

Gambar 4.46 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 15D (79.743 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	71
Gambar 4.47 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 20D (101.19 mm)	72
Gambar 4.48 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 20D (101.19 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	73
Gambar 4.49 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 20D (101.19 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.50 <i>Strain-Stress Curve</i> untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 25D (128.016 mm)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.51 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 25D (128.016 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.52 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman <i>Dent</i> 25D (128.016 mm) saat akan mengalami <i>Collapse</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.53 Grafik Non Dimensional Parameter d/t	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.54 Grafik Non Dimensional Parameter d/D	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.55 Grafik Non Dimensional Parameter w/t	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.56 Grafik Non Dimensional Parameter w/D	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria penilaian bangunan lepas pantai.....	20
Tabel 3.1 <i>Material properties</i> , dimensi <i>tubular member</i> dan dimensi <i>indenter</i>	27
Tabel 4.1 Lokasi titik tinjau (<i>probe</i>) terhadap koordinat global	39
Tabel 4.2 Hasil analisa <i>Meshing Sensitivity</i>	40
Tabel 4.3 indikator warna tegangan.....	41
Tabel 4.4 <i>Output Force reaction</i> pada indenter.....	43
Tabel 4.5 Perbandingan data <i>Force reaction-Displacement</i> pada jurnal Dengan hasil analisa numerik	45
Tabel 4.6 <i>Usage factor (η) for impact</i>	46
Tabel 4.7 Variasi Dimensi Kedalaman <i>Dent</i>	46
Tabel 4.8 Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i>	47
Tabel 4.9 Lokasi probe pada sumbu X dan Y	49
Tabel 4.10 <i>Output</i> Regangan terhadap sumbu X pada variasi 4D	50
Tabel 4.11 <i>Output</i> Regangan terhadap sumbu X pada variasi 25D	51
Tabel 4.12 <i>Output</i> Regangan terhadap sumbu Y pada variasi 4D	52
Tabel 4.13 <i>Output</i> Regangan terhadap sumbu Y pada variasi 25D	53
Tabel 4.14 <i>Output</i> Tegangan terhadap sumbu X pada variasi 4D	55
Tabel 4.15 <i>Output</i> Tegangan terhadap sumbu X pada variasi 25D	56
Tabel 4.16 <i>Output</i> Tegangan terhadap sumbu Y pada variasi 4D	57
Tabel 4.17 <i>Output</i> Tegangan terhadap sumbu Y pada variasi 25D	58
Tabel 4.18 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 1D (5.08 mm)	60
Tabel 4.19 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 2D (10.16 mm) ..	62
Tabel 4.20 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 3D (15.24 mm) ..	64
Tabel 4.21 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 4D (20.32 mm) .	66
Tabel 4.22 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 10D (51.188 mm)	68
Tabel 4.23 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 15D (79.743 mm)	71
Tabel 4.24 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 20D (101.19 mm)	73
Tabel 4.25 <i>Output incremental load</i> pada Variasi Dimensi Lebar <i>Dent</i> 25D (128.016 mm)	75
Tabel 4.26 Persentase Penurunan <i>Ultimate Strength</i> pada <i>Longitudinal Dent Tubular Member</i> dengan variasi kedalaman <i>dent</i>	77

Tabel 4.27 Persentase Penurunan <i>Ultimate Strength</i> pada <i>Longitudinal Dent Tubular Member</i> dengan variasi kedalaman <i>dent</i>	77
Tabel 4.28 Variasi Dimensi <i>Dent</i>	78
Tabel 4.29 Variasi Dimensi <i>Tubular Member</i>	78
Tabel 4.30 <i>Output ultimate strength</i> variasi kedalaman <i>dent</i> Dan ketebalan <i>tubular member</i>	79
Tabel 4.31 <i>Output ultimate strength</i> variasi kedalaman <i>dent</i> Dan <i>outside diameter tubular member</i>	80
Tabel 4.32 <i>Output ultimate strength</i> variasi lebar <i>dent</i> Dan ketebalan <i>tubular member</i>	81
Tabel 4.33 <i>Output ultimate strength</i> variasi lebar <i>dent</i> Dan <i>outside diameter tubular member</i>	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kegiatan eksplorasi lepas pantai tidak lepas dari bangunan lepas pantai sebagai fasilitasnya. Bangunan lepas pantai terbagi dua, yaitu struktur terpancang (*fixed structure*) dan struktur terapung (*floating structure*). Bangunan terpancang tersusun atas *deck* sebagai tempat fasilitas, *jacket dan pile* sebagai penyokongnya (Chakrabarti, 2005)

Bangunan lepas pantai memiliki berbagai macam kegiatan dalam operasionalnya. Ada kalanya saat beroperasi, bangunan lepas pantai mengalami kecelakaan yang menyebabkan kerusakan yang diakibatkan oleh berbagai kejadian seperti beban eksternal, beban kecelakaan (*accidental load*) dan tertimpa benda (*dropped object*). Salah satu kerusakan yang sering terjadi adalah *Dent*. Umumnya *dent* diakibatkan oleh boat impact pada bagian atas struktur jacket seperti *bracing, legs*, dan peralatan dan akibat benda jatuh (*dropped object*) pada saat beroperasi (Pacheco & Durkin, 1986).

Penelitian ini membahas mengenai *tubular member* yang mengalami *dent*. Tema ini dipilih karena *tubular member* banyak digunakan dalam konfigurasi bangunan laut lepas pantai, sementara permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah *longitudinal dent*, karena *dent* yang terbentuk pada *tubular member* menyebabkan distribusi tegangan tidak merata keseluruh permukaan dan akan timbul suatu konsentrasi tegangan pada area yang mengalami *dent* sehingga area tersebut menjadi daerah kritis. Daerah kritis adalah daerah yang diperkirakan memiliki tegangan terbesar. Dengan adanya kerusakan pada daerah ini ditambah beban yang mengenai *tubular member* tersebut maka kekuatan maksimum *tubular member* tersebut akan mengalami penurunan.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan analisa terhadap kekuatan *ultimate* dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal denting* dengan kedalaman *dent* tertentu. Analisa dilakukan menggunakan Software Analisa Numerik untuk mendapatkan output berupa tegangan yang terjadi disekitar *tubular member* sebelum dan setelah mengalami *longitudinal denting*.

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berhubungan terkait analisa *dent* pada *tubular member*:

1. Analisa Keandalan pada *Dented Pipe* di Sisi NUBI Field Total E&P Indonesia (Arianto, 2010). Dalam penelitian ini dilakukan analisa distribusi tegangan yang terjadi pada *dented pipe* serta keandalan dari *dented pipe* tersebut
2. Analisa *Dent* yang Terjadi Pada *Tubular member* Bracing Jacket SWP K (Kusumalarnanto, 2004). Dalam penelitian ini dilakukan analisa terhadap *tubular member* pada *x brace jacket* akibat *dent* untuk mengetahui penurunan kapasitasnya. Analisa dalam penelitian ini dilakukan menggunakan software numerik
3. Analisa Pengaruh *Dent* pada Struktur Pipa Bawah Laut terhadap Integritas Pipa (Doretha, 2007). Dalam penelitian ini dilakukan uji coba terhadap berbagai bentuk geometri *dent* untuk mengetahui bentuk mana yang paling berpengaruh terhadap *residual strength* pipa
4. *Denting And Collapse Of Tubular members - A Numerical And Experimental Study* (Pacheco, L.A., dan S. Durkin, 1986). Dalam penelitian ini analisa dilakukan untuk memprediksi *residual strength* dari *dented tubular member* menggunakan pendekatan numerik serta eksperimen

Beberapa penelitian yang telah disebutkan di atas, belum ada yang membahas secara spesifik mengenai analisa pada *tubular member* yang mengalami *longitudinal denting*. Sehingga topik tersebut akan diangkat pada tugas akhir ini.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana distribusi tegangan pada *longitudinal dented tubular member* ?
2. Bagaimana pengaruh kedalaman *dent* terhadap penurunan kapasitas kekuatan ultimate (*ultimate strength*) pada *longitudinal dented tubular member* ?
3. Bagaimana pengaruh lebar *dent* terhadap penurunan kapasitas kekuatan ultimate (*ultimate strength*) pada *longitudinal dented tubular member* ?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendapatkan distribusi tegangan pada *longitudinal dented tubular member* .
2. Mendapatkan pengaruh kedalaman *dent* terhadap penurunan kapasitas kekuatan ultimate (*ultimate strength*) pada *longitudinal dented tubular member*

3. Mendapatkan pengaruh lebar *dent* terhadap penurunan kapasitas kekuatan ultimate (*ultimate strength*) pada *longitudinal dented tubular member*

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari studi ini adalah untuk memberikan pemahaman terhadap pengaruh yang ditimbulkan akibat *dented* terhadap *tubular member*. Dan juga memberikan gambaran tentang bagaimana kedalaman *dent* berpengaruh terhadap penurunan kapasitas kekuatan ultimate (*ultimate strength*) pada *tubular member*

1.5 Batasan Masalah

Agar memudahkan dalam analisa dan pencapaian tujuan dari studi ini, maka dalam studi ini dalam penyelesaian masalah diberikan batasan-batasan :

1. Jenis *dent* yang terjadi pada *tubular member* adalah *longitudinal dent*
2. Analisa dilakukan secara lokal terhadap member yang terkena *dent*.
3. Dalam analisa pemodelan lokal member dianggap sebagai member tunggal tidak dipengaruhi adanya perlengkapan dan alat-alat seperti *anode*, *conductor guide*.
4. Pendekatan percobaan menggunakan Software Analisa Numerik.
5. Analisa pada *member* menggunakan pembebanan aksial.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

DNV (2000) mendefinisikan *dent* sebagai suatu gangguan kelengkungan dari pipa atau *tubular member* yang menyebabkan perubahan diameter yang bervariasi lebih dari 2% nominal diameter. Penelitian tentang kapasitas ultimate strength pada *tubular member* yang mengalami *dent* pernah dilakukan oleh Durkin (1986). Kemudian Pachecho dan Durkin (1986) melakukan eksperimen untuk memprediksi residual strength dari *tubular member* yang mengalami *dent* dengan pendekatan numerik. Pinheiro (2014) juga melakukan Analisa fatigue dari *tubular member* yang mengalami *denting* transversal dan *longitudinal* yang dikenai cyclic internal pressure.

Allouti (2012) melakukan Analisa tentang pengaruh kedalaman *dent* pada *tubular member* dengan menggunakan pendekatan elemen hingga. Selanjutnya Analisa residual strength pada bracing *tubular member* telah dilakukan oleh Ricles (1994). Dalam jurnalnya ia memodelkan *dented tubular member* menggunakan metode elemen hingga. Azadeh (2016) juga telah melakukan penelitian tentang *dented tubular member* yang mengalami cyclic bending moment. Dalam jurnal tersebut Analisa dilakukan dengan menggunakan pendekatan moment curvature.

Kusumalarnanto (2004) menjelaskan bahwa *tubular member* yang mengalami *dent* menyerap banyak energi benturan (*impact*) dalam bentuk deformasi plastis. Menurut Pachecho dan Durkin (1986) *Dent* dapat diakibatkan oleh boat impact maupun akibat benda jatuh (*dropped object*) pada saat struktur beroperasi. Analisa *pushover* adalah suatu metode Analisa *non linear* yang digunakan untuk menganalisa keruntuhan struktur dengan pembebanan inkremental (Nuriman, 2012). Pada Analisa ini elemen struktur dibiarkan menerima beban yang melebihi kapasitasnya. elemen-elemen dapat meneruskan beban untuk mencapai kapasitasnya, tergantung pada kekakuan elemen dalam rentang post elastis-plastis (Prakoso, 2016)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Dented Member

Menurut Kusumalarnanto (2004), *Dent* member biasanya terbentuk akibat tumbukan atau pukulan dari benda luar. Kerusakan akibat tumbukan tersebut secara umum digolongkan menjadi tiga jenis yaitu :

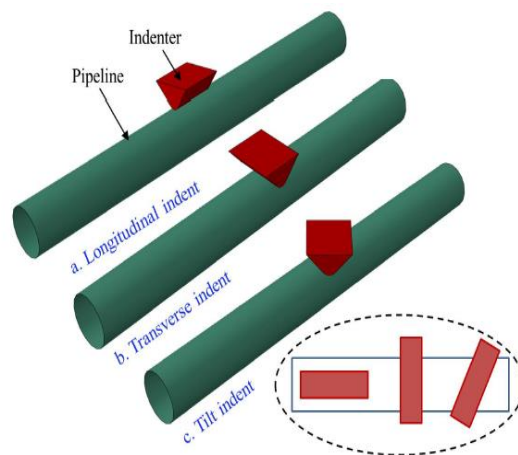
- Kerusakan lokal tanpa pengaruh bending
- Pengaruh bending tanpa kerusakan lokal
- Kombinasi dari kerusakan lokal dan pengaruh bending

Kusumalarnanto (2004) juga menjelaskan bahwa *dent* dapat berpengaruh terhadap konsentrasi tegangan sehingga menyebabkan kerusakan karena adanya hal berikut :

- Axial Compression
- Bending
- Combined Stresses pada Steel Cylindrical Member

Berdasarkan arah terbentuknya, *dent* digolongkan menjadi 3 jenis yaitu:

- *Longitudinal dent*
- *Transverse dent*
- *Tilted dent*



Gambar 2.1 *dent* berdasarkan arah terbentuknya

(Sumber: Han *et al*, 1933)

Persamaan gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan *dent* pada *tubular member* telah dibahas dalam API RP2A WSD 21st Edition (2000) . Hubungan antara gaya dan kedalaman *dent* dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Pd = 15 MP (D/t)^{1/2} (X/R)^{1/2} \quad (2.1)$$

Dimana :

P_d = gaya *denting*

M_p = *plastic moment capacity* dari *tubular member*

= $F_y t^2/4$ dengan F_y merupakan *yield strength*

D = diameter *tubular member*

R = radius *tubular member*

t = *thickness*

X = *dent depth*

Hubungan antara gaya force dan kedalaman *dent* sebagai berikut :

$$Pd = 40 F_y t^2 (X/D)^{1/2} \quad (2.2)$$

Energi yang digunakan dalam pembentukan *dent* merupakan integral dari gaya terhadap panjang *dent* :

$$Ed = \int_0^s P d ds \quad (2.3)$$

Kombinasi persamaan (1) dan (3) :

$$Ed = 14.14 MP X^{3/2} t^{1/2} \quad (2.4)$$

Substitusi dari M_p yields :

$$Ed = 3.54 F_y (tX)^{3/2} \quad (2.5)$$

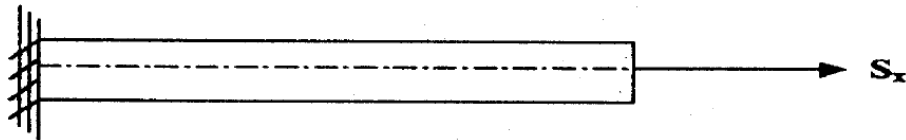
Pengantar hubungan $X/D/t$ untuk memecahkan berbagai D/t yield ratio sebagai berikut :

$$Ed = 3.54 F_y (tD/B)^{3/2} \quad (2.6)$$

2.2.2 Konsep Tegangan

2.2.2.1 Tegangan Normal

Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap irisan pada sebuah titik (Popov, 1933). Berikut adalah sebuah ilustrasi tegangan normal yang bekerja pada sebuah *tubular member*.



Gambar 2.2 Pembebanan aksial pada batang *tubular*

(Sumber: Popov, 1933)

Pada gambar tersebut terlihat beban aksial sebesar S_x bekerja pada sebuah *tubular member* yang memiliki luas penampang A . Maka tegangan yang terjadi pada batang tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

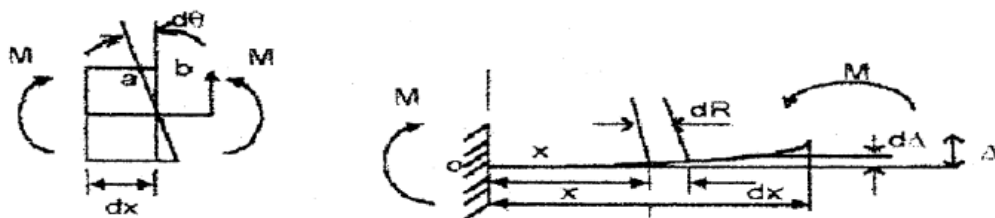
$$F = \frac{S_x}{A} \quad (2.7)$$

Dimana,

S_x = Gaya aksial (kN)

A = luas penampang melintang (m^2)

Selain diakibatkan oleh beban aksial, tegangan aksial juga dapat diakibatkan oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi pada tiap ujungnya. Tegangan yang diakibatkan karena adanya momen disebut sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.

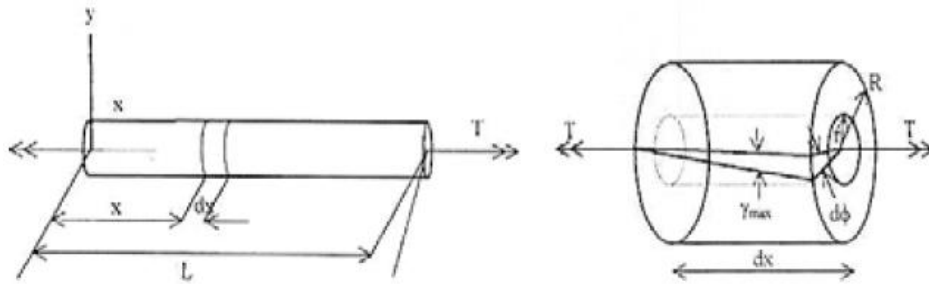


Gambar 2.3 Pembebanan momen kopel pada batang *tubular*

(Sumber: Popov, 1933)

2.2.2.2 Tegangan Geser

Tubular member juga dapat mengalami tegangan geser walau pun nilainya sangat kecil (Popov, 1933). Timbulnya tegangan geser pada *tubular member* biasanya disebabkan oleh momen puntiran aksial. Gambar 2.4 menunjukkan sebuah *tubular member* yang mengalami pembebanan puntiran T pada kedua ujungnya.



Gambar 2.4 Gaya puntiran pada batang silinder

(Sumber: Popov, 1933)

Tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan luar batang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{T.R}{J} \quad (2.8)$$

Dimana,

J = Momen inersia kutub

T = Momen torsi terkonsentrasi

R = Jari-jari penampang batang

Nilai J :

$$J = \frac{\pi}{2} (R_0^4 - R_1^4) \text{ untuk circular ring}$$

$$J = \frac{\pi}{2} (R^4) \text{ untuk round bar}$$

Menurut Yudhistira (2008) Tegangan geser yang bekerja pada *tubular member* atau penampang melintang yang berbentuk lingkaran selalu berarah tegak lurus jari-jari dan mempunya arah yang sama dengan momen puntir.

2.2.2.3 Kriteria Tegangan Ijin

1. Axial Tension (Tegangan Tarik)

Berdasarkan NORSOK N004 Rev. 2, *dented tubular member* yang mengalami tegangan tarik harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$N_{sd} \leq N_{dent,t,Rd} = \frac{f_y A_0}{\gamma_M} \quad (2.9)$$

N_{sd} = design axial force

$N_{dent,t,Rd}$ = Kapasitas tegangan tarik desain pada *dented section*

A_0 = Luasan penampang melintang dari *undamaged section*

γ_M = Material factor

2. Axial Compression (Tegangan Tekan)

Berdasarkan NORSOK N004 Rev. 2, *dented tubular member* yang mengalami tegangan tekan harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$N_{sd} \leq N_{dent,c,Rd} = \frac{N_{dent,c}}{\gamma_M} \quad (2.10)$$

$$N_{dent,c} = \begin{cases} (1,0 - 0,28\bar{\lambda}_d^2) \cdot \xi_c \cdot f_y A_0 & \text{untuk } \bar{\lambda}_d \leq 1,34 \\ \frac{0,9}{\bar{\lambda}_d^2} \cdot \xi_c \cdot f_y A_0 & \text{untuk } \bar{\lambda}_d > 1,34 \end{cases} \quad (2.11)$$

$N_{dent,c,Rd}$ = Kapasitas tegangan tekan desain pada *dented section*

$N_{dent,c}$ = Kapasitas tegangan tekan karakteristik *dented member*

$\bar{\lambda}_d$ = Pengurangan *slenderness* pada *dented member*

$$= \sqrt{\frac{N_{dent,c}}{N_{E,dent}}} = \sqrt{\frac{\xi_c}{\xi_M}} \cdot \bar{\lambda}_0 \quad (2.12)$$

$\bar{\lambda}_0$ = Pengurangan *slenderness* pada *undamaged member*

$$\xi_c = \exp(-0,08 \frac{\delta}{t}) \quad \text{untuk } \frac{\delta}{t} < 10 \quad (2.13)$$

$$\xi_M = \exp(-0,06 \frac{\delta}{t}) \quad \text{untuk } \frac{\delta}{t} < 10 \quad (2.14)$$

δ = Kedalaman *dent*

t = Ketebalan *member*

γ_M = Resistance factor

3. Bending

Berdasarkan NORSOK N004 Rev. 2, *dented tubular member* yang mengalami beban bending harus memenuhi persyaratan sebagai berikut

$$M_{sd} \leq M_{dent,Rd} = \begin{cases} \xi_M \cdot M_{Rd} & \text{jika } \textit{dented area} \text{ terkena tekanan} \\ M_{Rd} & \text{jika sebaliknya} \end{cases} \quad (2.15)$$

M_{sd} = *Design bending moment*

$M_{dent,Rd}$ = *Design bending capacity pada dented section*

M_{Rd} = *Design bending capacity pada undamaged sections*

4. Combined Load

Berdasarkan NORSOK N004 Rev. 2, *dented tubular member* yang mengalami *combined load* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Untuk N dalam *compression* (tekanan):

$$\frac{N_{sd}}{N_{dent,c,RD}} + \sqrt{\left[\frac{N_{sd}\Delta y_2 + C_{m1}M_{1,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{sd}}{N_{E,dent}}\right)M_{dent,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{N_{sd}\Delta y_1 + C_{m2}M_{2,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{sd}}{N_E}\right)M_{Rd}} \right]^2} \leq 1 \quad (2.16)$$

Untuk N dalam *tension*:

$$\frac{N_{sd}}{N_{dent,t,Rd}} + \sqrt{\left[\frac{M_{1,Sd}}{M_{dent,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{2,Sd}}{M_{Rd}} \right]^2} \leq 1 \quad (2.17)$$

Dimana:

$$\alpha = \begin{cases} 2-3\frac{\delta}{D} & \text{Jika } \textit{dented area} \text{ dalam tekanan} \\ 2 & \text{Jika sebaliknya} \end{cases} \quad (2.18)$$

N_{sd} = *Design axial force* pada *dented section*

$M_{1,Sd}$ = *Design bending moment* terhadap sumbu sejajar *dent*

$M_{2,Sd}$ = *Design bending moment* terhadap sumbu tegak lurus *dent*

$N_{E,dent}$ = *Euler buckling strength* pada *dented section*

$$= \pi^2 \frac{EI_{dent}}{(kl)^2} \quad (2.19)$$

k = *Effective length factor* (lihat NORSOK N004 Tabel 6-2)

I_{dent} = *Momen inersia* dari penampang melintang *dent*

$$= \xi_M \cdot I \quad (2.20)$$

I = Momen inersia dari *undamaged section*

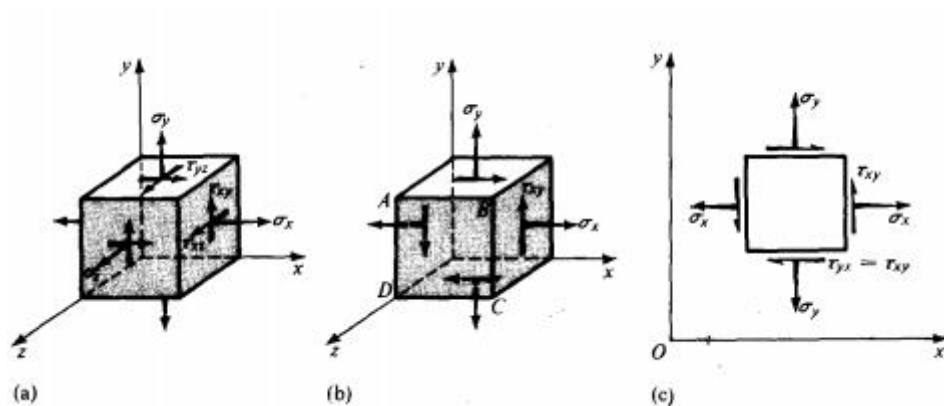
Δy_1 = *Member out-of-straightness* tegak lurus terhadap *dent*

Δy_2 = *Member out-of-straightness* sejajar terhadap *dent*

C_{m1}, C_{m2} = *Moment reduction factor* (lihat NORSOK N004 Tabel 6-2)

2.2.3 Teori Tegangan Von Mises

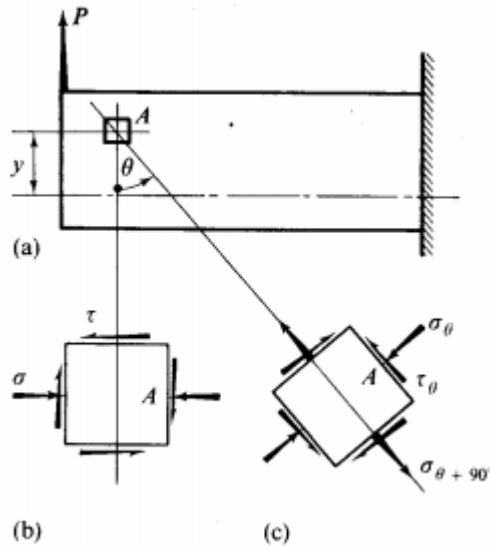
Kusumalarnanto (2004) menyatakan bahwa tegangan-tegangan normal dan geser maupun regangan dapat mengalami penggabungan atau superposisi dan bekerja serempak sebuah elemen. Gambar 2.5 berikut memberikan ilustrasi untuk tegangan yang bekerja pada sebuah elemen.



Gambar 2.5 Tegangan yang terjadi pada suatu elemen kecil tak hingga

(Sumber: Popov, 1933)

Dalam kasus ini, baik tegangan normal, tegangan geser maupun regangan yang terjadi perlu dilibatkan untuk menggambarkan semua tegangan yang berlaku pada sebuah elemen kecil tak berhingga dengan lengkap untuk menentukan status tegangan (Popov, 1933). Gambar 2.6 mengilustrasikan status tegangan pada sebuah elemen kecil tak berhingga A.



Gambar 2.6 Status tegangan pada suatu elemen kecil tak hingga

(Sumber: Popov, 1933)

Komponen-komponen tegangan yang bekerja pada sebuah bidang maupun titik pada dasarnya bersifat vektorial, tetapi komponen-komponen tegangan tersebut bukan termasuk vektor yang biasa karena secara matematis mereka tidak mematuhi hukum-hukum penjumlahan dan pengurangan vektor. Tegangan termasuk vektor orde tinggi karena selain memiliki besar dan arah, tegangan juga berhubungan dengan satuan luas dimana tegangan tersebut bekerja. Karena itu untuk menggabungkan tegangan-tegangan normal dan geser maupun regangan, semua komponen tegangan tersebut harus diubah terlebih dahulu menjadi gaya, yang dapat ditambahkan dan dikurangkan secara vektorial agar dapat diselesaikan.

R. von Mises dan H. Hencky mengajukan suatu teori yang disebut teori distorsi energi maksimum untuk menyelesaikan hal tersebut. Dalam teori tersebut, kriteria luluh untuk tegangan gabungan didapat dengan menyamakan energi distorsi geser pada titik luluh dalam pengaruh tegangan tarik sederhana dengan yang di bawah pengaruh tegangan gabungan kriteria luluh untuk tegangan gabungan. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut :

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_{yp}^2 \quad (2.21)$$

Untuk tegangan bidang $\sigma_3 = 0$, maka persamaan tersebut menjadi dalam bentuk tanpa dimensi seperti berikut :

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{yp}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_{yp} \sigma_{yp}}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{yp}}\right)^2 = 1 \quad (2.22)$$

Dimana :

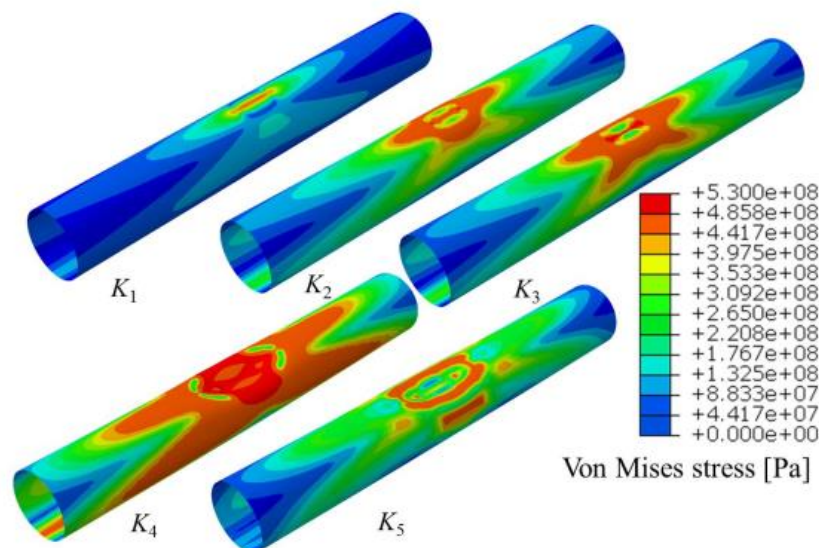
$\sigma_1 = \sigma_x =$ tegangan normal sumbu-x (psi)

$\sigma_2 = \sigma_y =$ tegangan normal sumbu-y (psi)

$\sigma_3 = \sigma_z =$ tegangan normal sumbu-z (psi)

$\sigma_{yp} =$ tegangan luluh (yield stress) (psi)

Han (2018) melakukan simulasi pada *tubular member* yang dikenai *indenter* hingga terjadi *dent*, Tegangan von Mises *tubular member* dalam berbagai tahap ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Distribusi tegangan yang terjadi pada *dent tubular member*

(Sumber: Han *et al*, 1933)

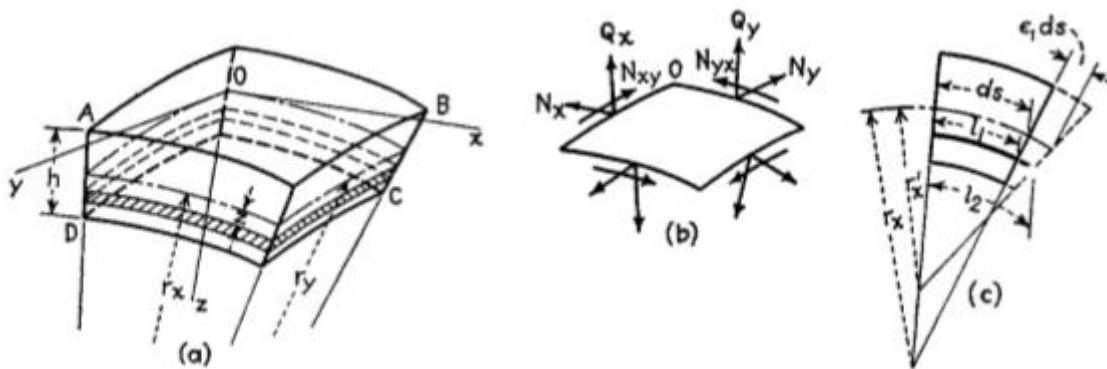
Pada tahap elastis, area tegangan tinggi hanya muncul pada antarmuka kontak antara *indenter* dan dinding *tubular member*. Area tegangan tinggi ini terutama di bagian atas *tubular member*, dan meningkat di sepanjang arah aksial dan melingkar dengan peningkatan perpindahan *indenter*. Ada dua area dengan tegangan rendah yang terjadi di dalam area dengan tegangan tinggi pada *dent*. Ketika kedalaman *dent* mencapai nilai maksimum, tegangan maksimum muncul di area *dent*. Setelah

indenter diangkat, area tegangan tinggi dan tegangan maksimum menurun. Area tegangan tinggi muncul di tepi luar *dent*.

2.2.4 Shell element

Menurut Timoshenko (1959) ketebalan dinding *shell* (h) memiliki dimensi yang relatif lebih kecil dibanding dimensi *shell* yang lain termasuk juga dengan jari-jari kelengkungannya.

Analisa *internal force* dilakukan dengan memotong suatu elemen yang kecilnya tak berhingga dari *shell* tersebut yang dibentuk oleh dua pasang bidang yang berdekatan dan tegak lurus terhadap permukaan tengah (*middle surface*) *shell* tersebut, dan yang mengandung kelengkungan utama *shell* (gambar 2.1).



Gambar 2.8 Potongan kecil tak berhingga dari elemen *shell*

(Sumber:Timoshenko, 1959)

Dalam gambar tersebut terlihat sumbu koordinat x dan y yang menyinggung garis kelengkungan utama pada titik O dan sumbu z yang tegak lurus pada permukaan tengah. Jari-jari kelengkungan utama yang terletak pada bidang xz dan yz dilambangkan dengan notasi r_x dan r_y . Tegangan yang bekerja pada permukaan bidang elemen diuraikan dalam sumbu-sumbu koordinat. dan komponen tegangan pada tiap sumbu dilambangkan dengan σ_x , σ_y , $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, τ_{xz} . Dengan notasi ini, gaya resultan persatuan panjang penampang melintang normal seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8 b adalah:

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2.23)$$

$$N_{yx} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yx} \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad (2.24)$$

$$Q_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad Q_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yz} \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2.25)$$

Dari persamaan diatas terlihat walau kuantitas z/r_x dan z/r_y sangat kecil tetapi masih dimunculkan dalam persamaan tersebut karena sisi lateral dan elemen yang diperlihatkan dalam gambar 2.8 a memiliki bentuk trapezoidal akibat dari kelengkungan *shell*. Hal tersebut menyebabkan gaya geser N_{xy} dan N_{yx} selalu memiliki nilai yang tidak sama satu sama lain meskipun terdapat hubungan $\sigma_x = \sigma_x$. berikutnya diasumsikan bahwa ketebalan (h) sangat kecil dibanding r_x , r_y , dan juga istilah z/r_x dan z/r_y dalam persamaan 2.21, 2.22, 2.23 dihilangkan. Kemudian $N_{xy} = N_{yx}$ dan persamaan gaya geser yang digunakan sama dengan kasus pada pelat yaitu:

$$Q_x = \frac{\partial M_{yx}}{\partial Y} + \frac{\partial M_x}{\partial X} = -D \frac{\partial}{\partial X} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} \right] \quad (2.26)$$

$$Q_y = \frac{\partial M_y}{\partial Y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial X} = -D \frac{\partial}{\partial Y} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} \right] \quad (2.27)$$

atau jika disederhanakan menjadi :

$$Q_x = -D \frac{\partial}{\partial X} (\Delta W) \quad Q_y = -D \frac{\partial}{\partial Y} (\Delta W) \quad (2.28)$$

Bending dan momen puntir per unit panjang dirumuskan sebagai berikut :

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xz} \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{yz} \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2.29)$$

$$M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xyz} \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad M_{yx} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xyz} \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2.30)$$

Dalam pembahasan lebih lanjut besaran z/r_x dan z/r_y akan diabaikan, sebagai akibat dari keseimbangan *shell*.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 a., dalam mempertimbangkan bending dari *shell*, diasumsikan AD dan BC relatif kecil, yang mana AD dan BC merupakan normal dari deformasi *middle surface shell*.

Jika selama bending permukaan lateral elemen ABCD berotasi menurut garis-garis perpotongan dengan middle surface, r_x' dan r_y' adalah jari-jari kelengkungan setelah mengalami deformasi, satuan regangan pada lapisan tipis pada jarak z dari middle surface adalah :

$$\varepsilon x = -\frac{z}{1-\frac{z}{rx}} \left[\frac{1}{rx'} - \frac{1}{rx} \right] \quad \varepsilon y = -\frac{z}{1-\frac{z}{ry}} \left[\frac{1}{ry'} - \frac{1}{ry} \right] \quad (2.31)$$

Saat rotasi, sisi lateral dari elemen ditempatkan paralel satu sama lain, dan bila rotasi regangan dari middle surface pada arah x dan y dilambangkan dengan ε_1 dan ε_2 maka regangan kearah x dari lapisan tipis tersebut adalah :

$$\varepsilon x = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \quad (2.32)$$

Dengan

$$l_1 = ds \left(1 - \frac{z}{rx} \right)$$

$$l_2 = ds \left(1 + \varepsilon_1 \right) \left(1 - \frac{z}{rx'} \right)$$

Maka persamaan 2.30 menjadi :

$$\varepsilon x = \frac{\varepsilon_1}{1-\frac{z}{rx}} - \frac{1}{1-\frac{z}{rx}} \left[\frac{1}{(1-\varepsilon_1)rx'} - \frac{1}{rx} \right] \quad (2.33)$$

Cara yang sama dapat digunakan untuk mencari nilai ε_y .

Karena tebal dinding dari *shell* yang selalu dianggap kecil disbanding jari-jari kelengkungan maka z/rx dan z/ry dapat diabaikan serta efek dari ε_1 dan ε_2 juga akan diabaikan pada kelengkungan sehingga persamaan 2.31 menjadi :

$$\varepsilon x = \varepsilon_1 - z \left(\frac{1}{rx'} - \frac{1}{rx} \right) = \varepsilon_1 - X_y z \quad \varepsilon y = \varepsilon_2 - z \left(\frac{1}{ry'} - \frac{1}{ry} \right) = \varepsilon_2 - X_y z \quad (2.34)$$

dimana X_x dan X_y menunjukkan perubahan dari kelengkungan. Dengan menggunakan persamaan tersebut untuk komponen regangan dari lapisan tipis dan mengasumsikan bahwa $\sigma_z = 0$, maka persamaan untuk tegangan di dapat :

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} [\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2 - z(X_x + \nu X_y)] \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} [\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1 - z(X_y + \nu X_x)] \quad (2.35)$$

substitusi persamaan di atas dalam persamaan 2.21 dan 2.22 dengan mengabaikan z/r_x dan z/r_y :

$$N_x = \frac{Eh}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \quad N_y = \frac{Eh}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \quad (2.36)$$

$$M_x = -D(X_x + \nu X_y) \quad M_y = -D(X_y + \nu X_x) \quad (2.37)$$

dimana D menunjukkan $\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ dan menunjukkan flexural rigidity dari *shell*.

Dalam kasus deformasi elemen yang lebih umum akan dapat diperoleh jika mengasumsikan bahwa selain tegangan normal, tegangan gesernya juga bekerja pada sisi-sisi lateral dari elemen. Jika regangan geser pada middle surface dinotasikan dengan γ dan rotasi-rotasi pada tepi BC relatif terhadap σz sekitar sumbu x dinotasikan dengan $\gamma_{xy} dx$, maka akan diperoleh :

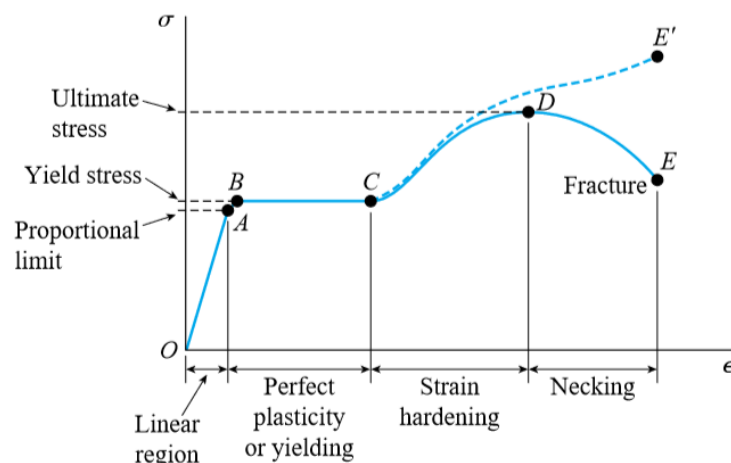
$$\tau_{xy} = (\gamma - 2zX_{xy})G \quad (2.38)$$

Substitusi pada persamaan 2.23 dan 2.28 menggunakan penyederhanaan sebelumnya kita dapatkan :

$$N_{xy} = N_{yx} = \frac{\gamma h E}{2(1+\nu)} \quad M_{xy} = -M_{yx} = D(1-\nu)X_{xy} \quad (2.39)$$

2.2.5 Ultimate Limit State

Analisa *Ultimate Limit State* (ULS) adalah suatu Analisa yang dilakukan untuk mendapatkan kekuatan suatu struktur atau member dalam menahan beban yang terjadi. Dalam konsep ULS digunakan metode *non-linear collapse analysis* (*pushover analysis*) dengan penambahan beban lateral sampai struktur atau member tersebut *collapse*



Gambar 2.9 Stress-strain diagram untuk struktur baja

(Sumber: Gere, 1990)

Dari gambar 2.9 tersebut, terlihat bahwa *ultimate strength* terletak di daerah saat material mengalami fase deformasi plastis dan menuju fase *fracture*. Oleh karena itu, Analisa untuk mengetahui kekuatan sisa cadangan dari suatu struktur dilakukan hingga mencapai *ultimate strength*.

2.2.6 Analisa *Pushover*

Salah satu cara untuk mengetahui ultimate strength dari suatu struktur atau member adalah dengan melakukan analisa *pushover* yang merupakan analisa statis non linier untuk mengetahui besarnya kekuatan maksimum struktur dalam menerima beban. Dalam Analisa *Pushover*, elemen-elemen struktur diberi beban yang melebihi kapasitasnya. Ketika beban mencapai batas yield strength material, struktur atau member tidak akan langsung mengalami kegagalan, karena itu Analisa pembebanan hingga mencapai yield strength tidak menggambarkan kapasitas dari struktur (Masykur, 2015). Oleh karena itu diperlukan Analisa menggunakan *Pushover Analysis* dimana beban yang bekerja pada struktur atau member akan ditingkatkan secara bertahap (*incremental load*) sampai struktur mengalami keruntuhan (Nuriman, 2012).

2.2.7 Reserve Strength Ratio (RSR)

RSR (*Reserve Strength Ratio*) didefinisikan sebagai rasio dari beban pada saat struktur atau member tersebut collapse dengan beban kondisi awal struktur atau member. Struktur atau member akan memiliki harga RSR yang berbeda-beda untuk setiap kondisi arah pembebanan sehingga harga yang diambil adalah harga RSR yang paling minim/kecil (Masykur, 2015). RSR dapat dihitung menggunakan persamaan yang terdapat dalam prosedur rekomendasi API RP 2A-LFRD (2000) sebagai berikut:

$$RSR = \frac{\text{Beban pada saat struktur collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \quad (2.40)$$

Kriteria penilaian menurut API RP 2A-WSD dibedakan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kriteria penilaian bangunan lepas pantai

(Sumber: API RP 2A-WSD, 2000)

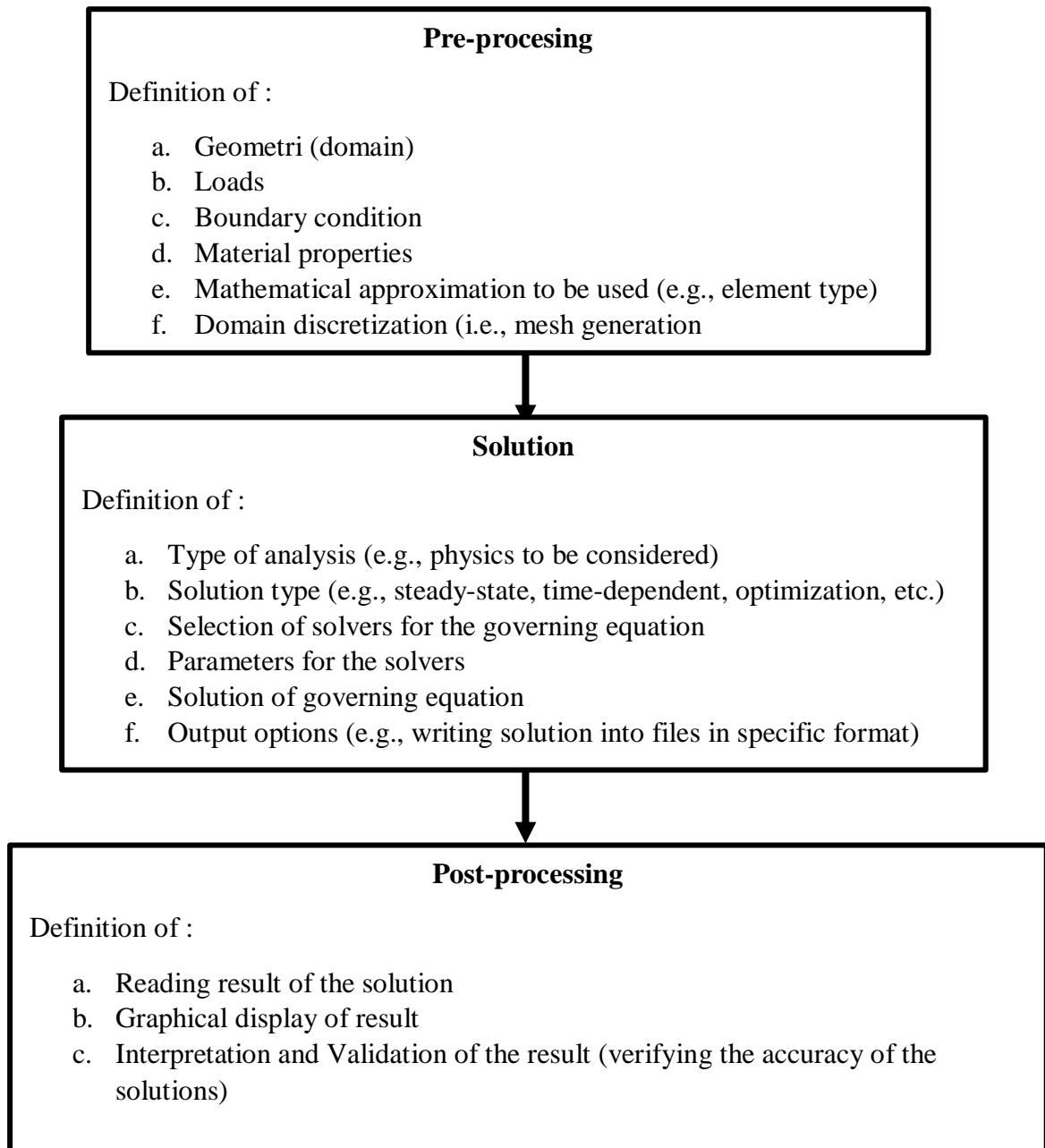
Level	Exposure Category		Design Level Analysis	Ultimate Strength Analysis
L-1	High Consequence	Manned-Nonevacuated (Personel tanpa evakuasi)	85% beban lateral (beban lingkungan) selama 100 tahun	Reserve Strength Ratio (RSR) ≥ 1.6
		Unmanned		
L-3	Low Consequence	Unmanned	50% beban lateral (beban lingkungan) selama 100 tahun	Reserve Strength Ratio (RSR) ≥ 0.8

2.2.8 Prosedur Analisa Metode Elemen Hingga

FEM (Finite Element Method) atau Metode Elemen Hingga merupakan metode solusi numerik yang dikembangkan secara luas seiring berkembangnya teknologi komputer dan digunakan dalam berbagai bidang meliputi teknik dan ilmu pengetahuan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks menggunakan persamaan-persamaan diferensial parsial yang rumit.

Dalam FEM ini, akar permasalahan dibagi menjadi beberapa sub-region kecil yang disebut elemen dan kemudian persamaan-persamaan yang memiliki pengaruh dalam sub-region tersebut akan diselesaikan secara terpisah. Lalu persamaan-persamaan kecil dalam sub-region yang telah diselesaikan sebelumnya akan disatukan secara matematis kedalam matriks-matriks persamaan yang disusun dengan mengaplikasikan batasan-batasan agar tiap elemen dalam matriks tersebut memiliki karakteristik yang sama.

Software Analisa Numerik merupakan salah satu *software* komputer dibuat dan bekerja berdasarkan prinsip elemen hingga untuk menyelesaikan segala permasalahan multifisika. *Software* ini memiliki berbagai modul yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan struktural yang bersifat linear, nonlinear, statis dan dinamis. Diagram alir umum yang digunakan dalam pemodelan FEM diperlihatkan pada Gambar 2.10 berikut ;



Gambar 2.10 Diagram alir permodelan metode elemen hingga

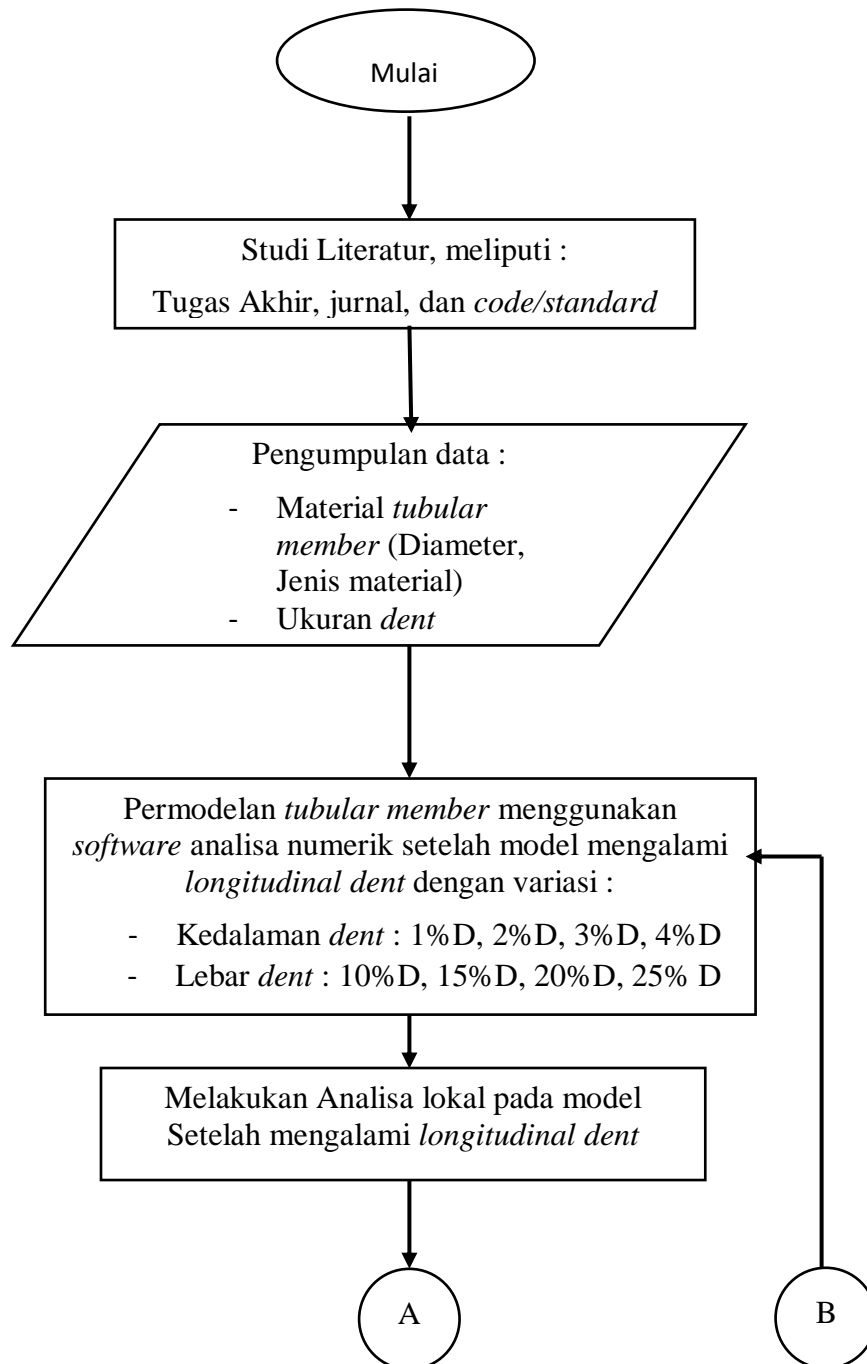
(Sumber: Doretha, 2007)

Persamaan umum dari model FEM adalah $\{F\} = [K] \bullet \{d\}$ dimana F merupakan matriks beban, K adalah matriks domain atau yang biasa disebut matriks kekakuan dan d sebagai matriks respons. Sifat operasi antara F dan d dapat dipertukarkan setelah melampaui konvergensi matematis dari penyelesaian operasi matriks (Doretha, 2007)

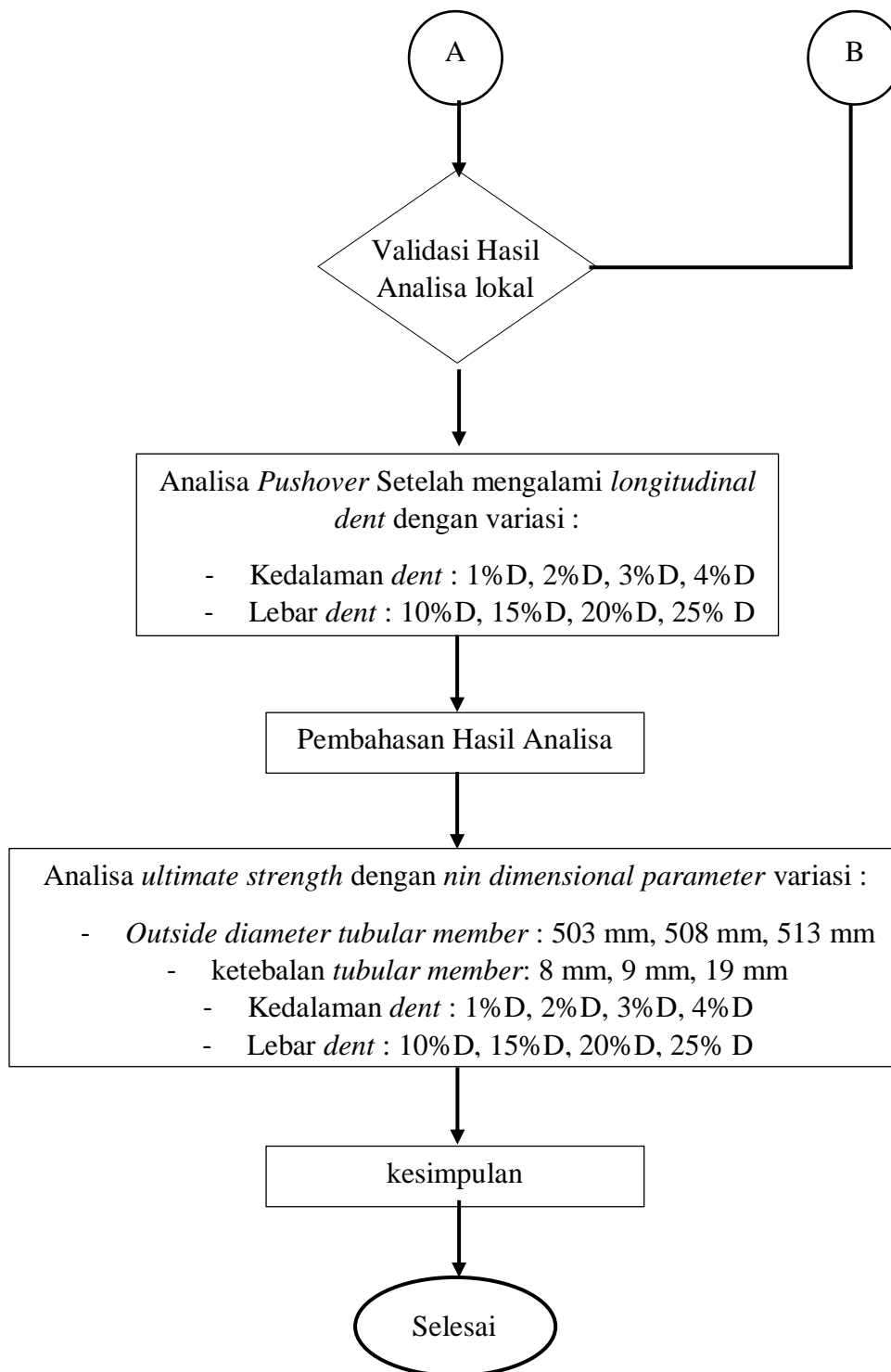
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur.

Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian – penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya serta jurnal dan tugas akhir yang berkaitan dengan topik penelitian tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data - data yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir. Data – data yang diperlukan yaitu terkait data dimensi *tubular member*, *material properties*, dimensi *dent* (lebar, panjang dan kedalaman *dent* pada *tubular member*), serta data *ultimate strength* dari hasil eksperimen yang pernah dilakukan

3. Permodelan *tubular member* menggunakan Software Analisa Numerik

Memodelkan member yang mengalami *Longitudinal denting* menggunakan *software* Analisa Numerik. Hasil permodelan meliputi dua kondisi yaitu sebelum mengalami *longitudinal dent* dan setelah mengalami *longitudinal dent*. Geometri *tubular member* serta dimensi dari *dent* dimodelkan berdasarkan data yang diperoleh.

4. Analisa lokal pada model

Setelah hasil pemodelan *tubular member* dalam kondisi sebelum dan setelah mengalami *longitudinal dent* selesai, dilakukan Analisa lokal pada *tubular member* dengan kedua kondisi tersebut untuk mengetahui distribusi tegangan dan *bending moment*. Analisa dilakukan menggunakan bantuan Software Analisa Numerik.

5. Validasi hasil Analisa lokal

Validasi dilakukan dengan cara membandingkan *bending moment* yang terjadi pada model dengan data yang telah diperoleh dari jurnal referensi saat tahap pengumpulan data. Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa hasil permodelan yang telah dibuat dalam tahap pemodelan *tubular member* sudah sesuai dengan data dan kondisi aktual yang dipakai oleh jurnal referensi.

6. Analisa *Pushover*

Memberikan pembebanan yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental load*) pada *tubular member* pada masing-masing kondisi hingga *tubular member* mencapai kondisi *ultimate stress* dan setelah itu mengalami *collapse* untuk mengetahui *ultimate strength* dari *tubular member*

7. Pembahasan hasil Analisa

Dilakukan pembahasan mengenai hasil analisa yang telah dilakukan di tahap sebelumnya yaitu tahap Analisa *pushover*. Dalam tahap pembahasan hasil Analisa, hasil dari Analisa *pushover* pada *tubular member* sebelum mengalami *longitudinal dent* dan *tubular member* yang telah mengalami *longitudinal dent* akan dibandingkan dengan menggunakan grafik yang didapat dari hasil Analisa *pushover* kedua kondisi tersebut

8. Analisa *non dimensional parameter*

Analisa *non dimensional parameter* ini digunakan untuk mengetahui hubungan dari variabel pada dimensi geometri *dent* terhadap variabel pada dimensi *tubular member*. Variabel dimensi geometri *dent* yang digunakan pada analisa ini adalah variabel kedalaman (d) dan lebar (w) dari *dent*, sementara variabel dimensi *tubular member* yang digunakan dalam analisa berikut adalah *Outside diameter* (D) dan ketebalan (t) pada *tubular member*.

9. Kesimpulan

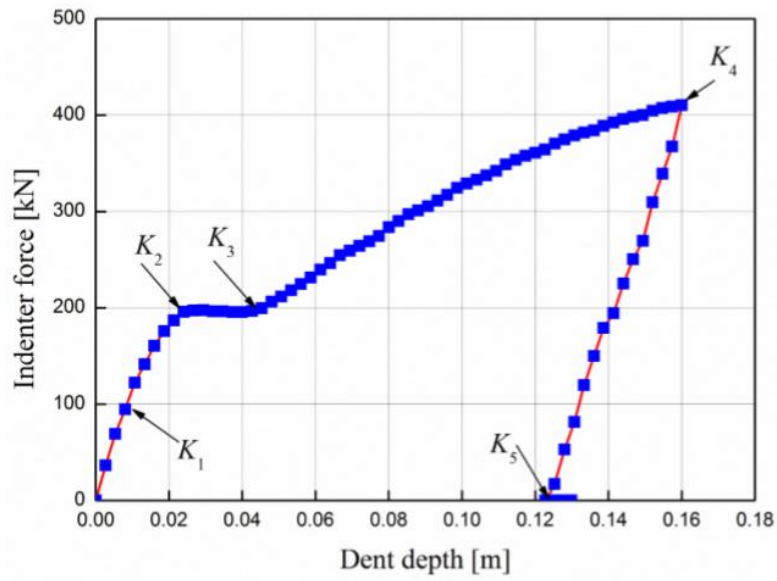
Kesimpulan berisi tentang hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah dan tujuan, yaitu tentang bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada *longitudinal dented tubular member* dan pengaruh panjang dan lebar pada penurunan kapasitas ultimate dari *longitudinal dented tubular member*

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini didapatkan dari jurnal yang terbit pada tahun 2019 yang berjudul “*Simulation Investigation of dent behavior of steel pipe under external load*”. Dalam jurnal tersebut, dilakukan eksperimen untuk meneliti tegangan dan regangan dari *tubular member* yang mengalami *dent* dengan orientasi arah yang berbeda-beda yaitu *transversal, longitudinal dan tilt* .Data yang diperoleh berupa n dimensi *tubular member* dan juga dimensi *indenter* serta grafik *Force-displacement longitudinal bending*

Tabel 3.1 *Material properties, dimensi tubular member dan dimensi indenter*

<i>Material tubular member</i>	X65
<i>Yield stress</i>	488 MPa
<i>Young modulus</i>	210 GPa
<i>Poisson ratio</i>	0.3
<i>Density</i>	7800 kg/m ³
<i>Dimensi tubular member dan indenter</i>	
<i>panjang tubular member</i>	3048 mm
<i>outside diameter tubular member</i>	508 mm
<i>Thickness</i>	8 mm
<i>radius indenter</i>	100 mm
<i>panjang indenter</i>	510 mm
<i>radius head of indenter</i>	2 mm

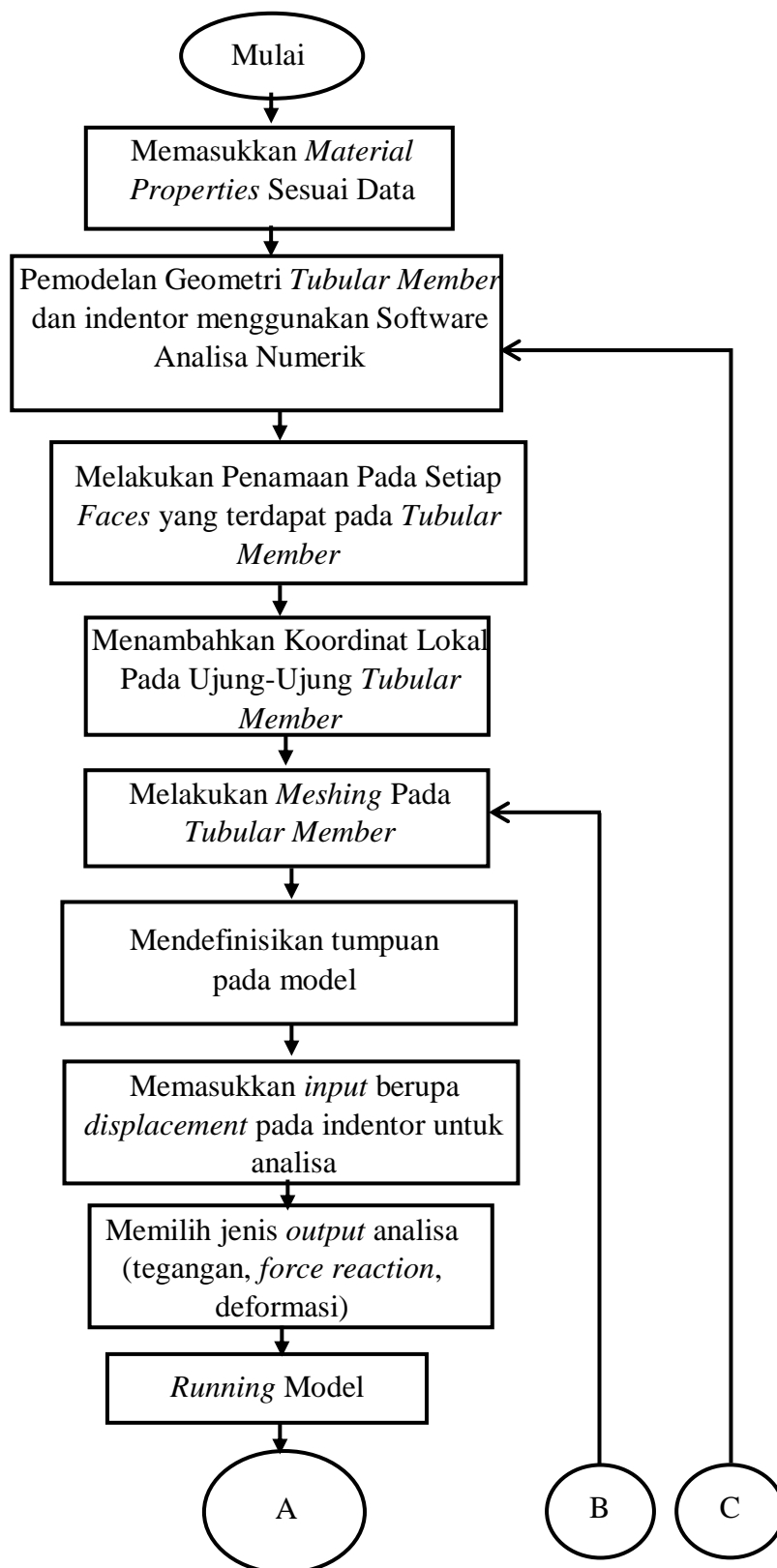


Gambar 3.2 grafik *Force-displacement under longitudinal bending*

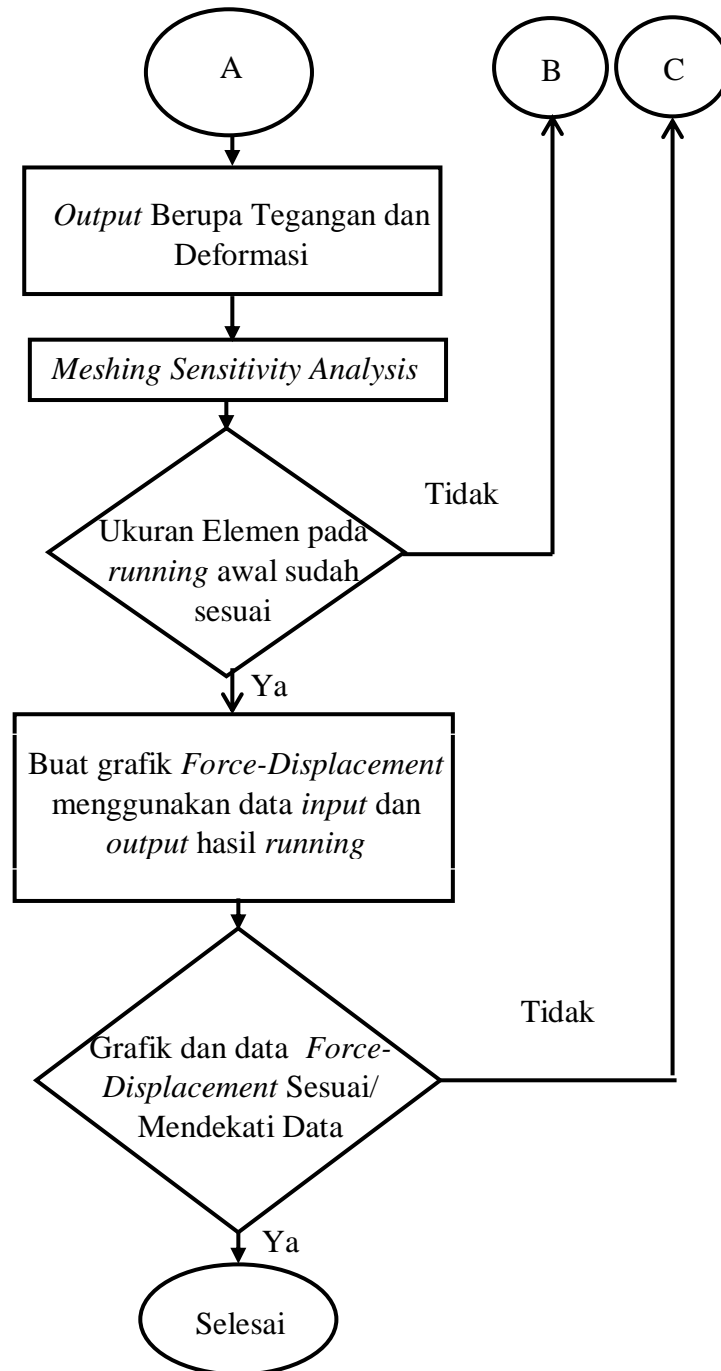
Tabel 3.2 *Force-displacement under longitudinal bending*

Dent Depth	Force indentor (kN) data
0	0
0.02	179.709473
0.04	192.3085576
0.06	250.7035365
0.08	296.6657936
0.1	337.4370977
0.12	369.0910473
0.14	383.3077805
0.16	427.9669624
0.14	192.9125747

3.4 Alur Validasi Model Menggunakan Software Analisa Numerik



Gambar 3.3 Diagram Alir validasi model dengan Software Analisa Numerik



Gambar 3.3 Diagram Alir validasi model dengan Software Analisa Numerik (lanjutan)

3.5 Penjelasan diagram alir Validasi Model dengan Software Analisa Numerik

1. Memasukkan *Material Properties* Sesuai Data.

Tahap pertama adalah memasukkan *material properties* yang sudah didapat dari data ke dalam *engineering data* pada Software Analisa Numerik.

2. Pemodelan Geometri *Tubular Member* dan *Indentor* menggunakan Software Analisa Numerik

Tahap selanjutnya adalah memodelkan *tubular member* sebelum mengalami *dent* dan juga *indentor* menggunakan Software Analisa Numerik. Dalam tahap ini, dimensi *tubular member* dan juga *indentor* disesuaikan dengan data yang telah diperoleh. Data yang digunakan dalam memodelkan *tubular member* dan juga *indentor* adalah panjang *tubular member* dan *indentor*, diameter *tubular member*, *wall thickness* (ketebalan), radius *indentor*, dan radius *head of the indentor* dari *tubular member*.

3. Melakukan Penamaan pada Setiap *Faces Tubular Member*.

Tahap selanjutnya adalah masuk ke opsi “model”. Kemudian memberi nama pada tiap *faces* (permukaan) pada *tubular member*. Fungsi dari penamaan ini adalah untuk mempermudah Analisa terutama dalam melakukan *meshing*, mengubah ukuran *mesh* pada area tertentu, menambahkan koordinat lokal, maupun sebagai titik acuan dalam mengamati tegangan pada titik tertentu.

4. Melakukan *Meshing* pada *Tubular Member*.

Setelah memberi nama pada tiap *face*, tahap selanjutnya adalah melakukan *meshing*. Dalam metode Analisa menggunakan *finite element*, metode yang digunakan adalah membagi suatu objek yang akan dianalisa menjadi bagian-bagian kecil (*elements*) yang saling terhubung dengan titik-titik (*nodes*). Hal ini disebut dengan *mesh*. Analisa terkait tegangan, regangan, maupun deformasi yang terjadi pada objek yang dianalisa (dalam penelitian ini yaitu *dented tubular member*) dilakukan pada setiap titik (*nodes*). Sehingga, semakin banyak jumlah *element* yang terbentuk, semakin banyak pula jumlah *nodes* yang terbentuk, maka hasil analisa juga akan semakin akurat. Untuk menentukan ukuran elemen (*element sizing*).

5. Menambahkan Koordinat Lokal Pada Ujung-Ujung *Tubular Member*.

Setelah dilakukan *meshing*, langkah selanjutnya adalah menambahkan koordinat lokal pada masing-masing ujung *tubular member*. Langkah-langkah dalam menambahkan koordinat lokal adalah: klik kanan pada opsi *coordinate system* – pilih *insert* – pilih *coordinate system* – muncul sub menu baru pada opsi *coordinate system* – klik pada sub menu tersebut – ubah *define by* menjadi *named selection* – pilih *named selection* sesuai dengan penamaan *face* pada ujung *tubular member* – ubah *origin* x, y dan z sesuai lokasi koordinat lokal pada ujung *tubular member* terhadap koordinat global. Tujuan dari penambahan koordinat lokal pada masing-

masing ujung *tubular member* adalah untuk mempermudah dalam mendefinisikan lokasi tumpuan, beban, serta mendefinisikan arah pembebanan pada saat analisa

6. Mendefinisikan Tumpuan pada Model.

Setelah melakukan *meshing* pada model, tahap berikutnya adalah mendefinisikan tumpuan pada model. Jenis tumpuan yang digunakan adalah pin dan roll yang terletak pada masing-masing ujung dari *tubular member*. Berikut adalah langkah-langkah dalam memasukkan tumpuan pada Software Analisa Numerik

7. Memasukkan *Output* Berupa Tegangan, *force reaction* dan Deformasi

Tahap selanjutnya adalah menentukan jenis *output* yang diharapkan dari hasil analisa yang akan dilakukan. Pada penelitian ini, jenis *output* yang akan ditinjau meliputi tegangan ekuivalen (*von Misses*) dan deformasi. Tahap ini akan menentukan jenis *output* yang dapat ditinjau setelah dilakukan *running* model.

8. *Running* Model

Langkah selanjutnya adalah melakukan *running* model. Pada tahap ini, dilakukan analisa pada *tubular member* sesuai jenis *output* yang telah ditentukan sebelumnya (tegangan von-Misses, regangan, deformasi). *Output* Berupa Tegangan, Regangan dan Deformasi. Pada tahap ini, didapatkan *output* dari hasil *running* model sesuai dengan jenis *output* yang telah ditentukan pada tahap selanjutnya. Untuk *output running* model pada penelitian ini, hasilnya akan ditampilkan pada bab selanjutnya.

9. *Meshing Sensitivity Analysis*.

Setelah didapatkan *output running* modelnya, kemudian perlu dilakukan *meshing sensitivity analysis* untuk menentukan ukuran elemen *mesh* yang tepat. Caranya adalah dengan meninjau tegangan di satu titik pada *tubular member*, kemudian mengubah ukuran elemen secara bertahap hingga didapatkan *range* ukuran elemen dengan *output* tegangan yang mulai konstan pada titik tinjauan tersebut. Sehingga dapat ditarik asumsi bahwa pada *range* ukuran elemen tersebut sudah dapat merepresentasikan tegangan sebenarnya yang terjadi pada *tubular member*. Kemudian dapat ditentukan ukuran elemen yang tepat dalam *range* tersebut. Ukuran elemen yang telah ditentukan pada tahap ini, akan dijadikan acuan ukuran elemen untuk analisa tahap selanjutnya.

10. Validasi Ukuran Elemen.

Setelah diketahui *range* ukuran elemen kemudian ditentukan ukuran elemen yang tepat, selanjutnya adalah mencocokkan ukuran elemen hasil *meshing sensitivity analysis* dengan ukuran elemen yang digunakan pada saat *meshing* dan *running* pada tahap sebelumnya. Apabila ukuran elemen pada saat *meshing* dan *running* pada tahap sebelumnya belum sesuai dengan ukuran elemen hasil *meshing sensitivity analysis*, maka perlu dilakukan *meshing* dan *running* model ulang.

11. Membuat grafik *Force-Displacement* menggunakan data *input* dan *output* hasil *running*.

Setelah dilakukan *running* ulang dengan ukuran elemen yang telah ditentukan pada tahap *meshing sensitivity analysis*, langkah selanjutnya adalah Membuat grafik *Force-Displacement* menggunakan data *input* dan *output* hasil *running*. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui berapa *Force* yang dibutuhkan *indenter* untuk membentuk kedalaman *dent* pada ukuran tertentu. Langkah-langkah dalam membuat grafik pada Software Analisa Numerik adalah sebagai berikut :

12. Validasi Beban dan Tegangan Maksimal.

Setelah dilakukan *increment* dan didapatkan beban serta tegangan maksimalnya (dalam penelitian ini yang ditinjau adalah tegangan von Mises), kemudian dicocokkan dengan beban maksimal pada data (P_{exp} / *Peak Experimental Load*) dan tegangan *ultimate* pada data. Apabila beban maksimal maupun tegangan maksimal yang didapat belum sesuai/ mendekati data yang ada, maka perlu dilakukan pengecekan ulang dari tahap pemodelan geometri *dented tubular member*. Apabila beban maksimal dan tegangan maksimal telah sesuai/ mendekati, maka tahap validasi dapat dinyatakan selesai.

Untuk hasil validasi beban dan tegangan dalam penelitian ini, akan ditampilkan pada bab selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis

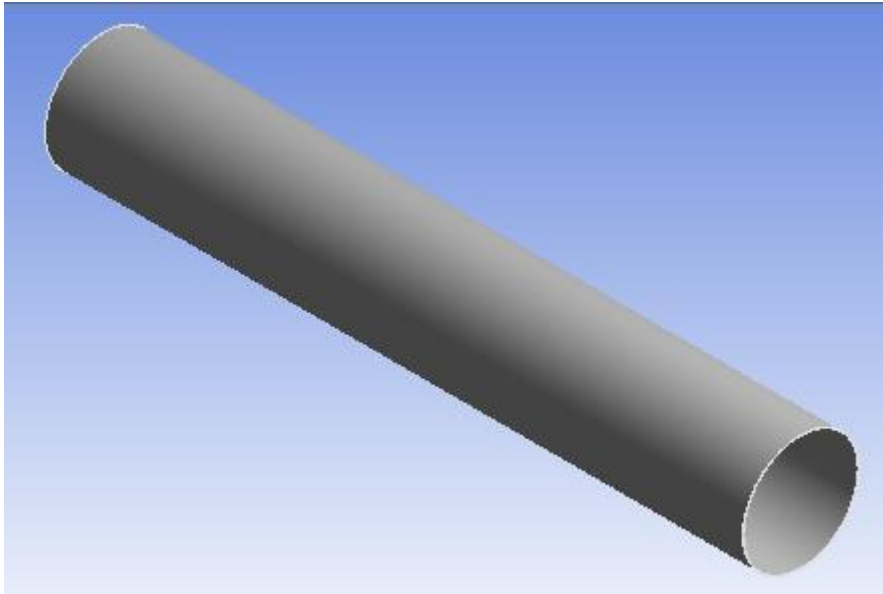
Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis mengenai *ultimate strength* dari *tubular member* dalam kondisi mengalami *longitudinal dent*. Hasil analisis dari kondisi tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui berapa penurunan kapasitas *ultimate strength* dari *dented tubular member* setelah mengalami *longitudinal dent*. kemudian dapat diketahui berapa toleransi yang diperbolehkan untuk dimensi *dent* agar penurunan *ultimate strength* tidak terlalu signifikan. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis *pushover* pada *dented tubular member* untuk mendapatkan kapasitas maksimalnya dalam kondisi mengalami *longitudinal dent*

4.2 Pemodelan *Dented Tubular Member*

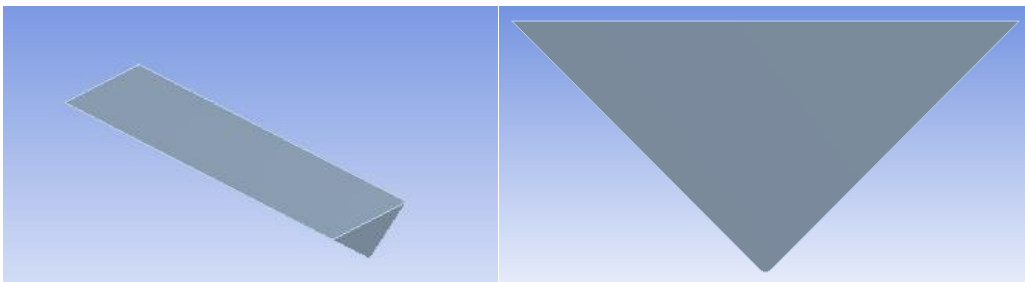
Pemodelan *dented tubular member* dilakukan menggunakan *software* Software Analisa Numerik. Geometri dari *tubular member* serta area *dent* disesuaikan dengan data yang telah didapatkan. Data didapatkan dari *thesis* tahun 1995 yang berjudul “*Assessment of the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing*” yang ditulis oleh William Michael Bruin. Beberapa data geometri yang diketahui adalah:

<i>Material tubular member</i>	: X65
<i>Yield stress</i>	: 488 MPa
<i>Young modulus</i>	: 210 GPa
<i>Poisson ratio</i>	: 0.3
<i>Density</i>	: 7800 kg/m ³

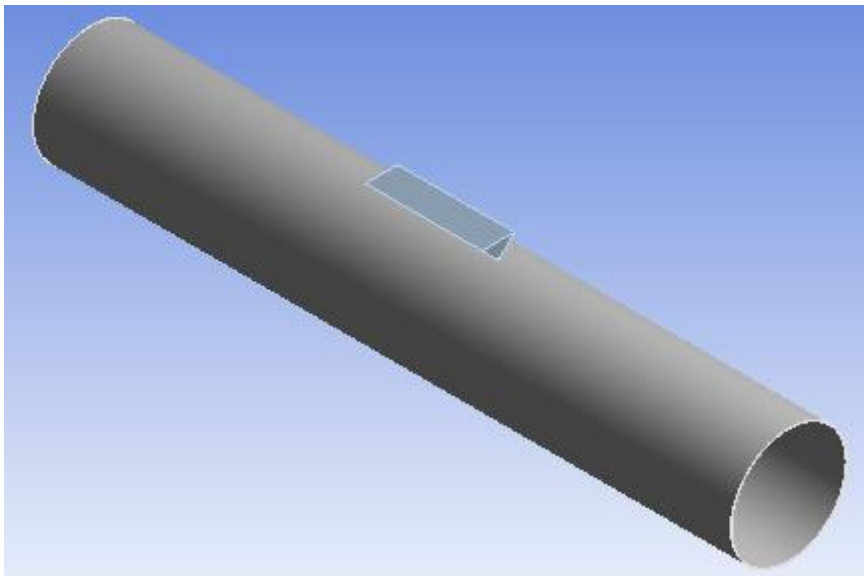
<i>Dimensi tubular member</i>	
<i>panjang tubular member</i>	: 3048 mm
<i>outside diameter tubular member</i>	: 508 mm
<i>thickness</i>	: 8 mm
<i>radius indenter</i>	: 100 mm
<i>panjang indenter</i>	: 510 mm
<i>radius head of indenter</i>	: 2 mm



Gambar 4.1 Hasil permodelan *tubular member* dengan Software Analisa Numerik



Gambar 4.2 Hasil permodelan *indentor* dengan Software Analisa Numerik



Gambar 4.3 Hasil permodelan keseluruhan geometri

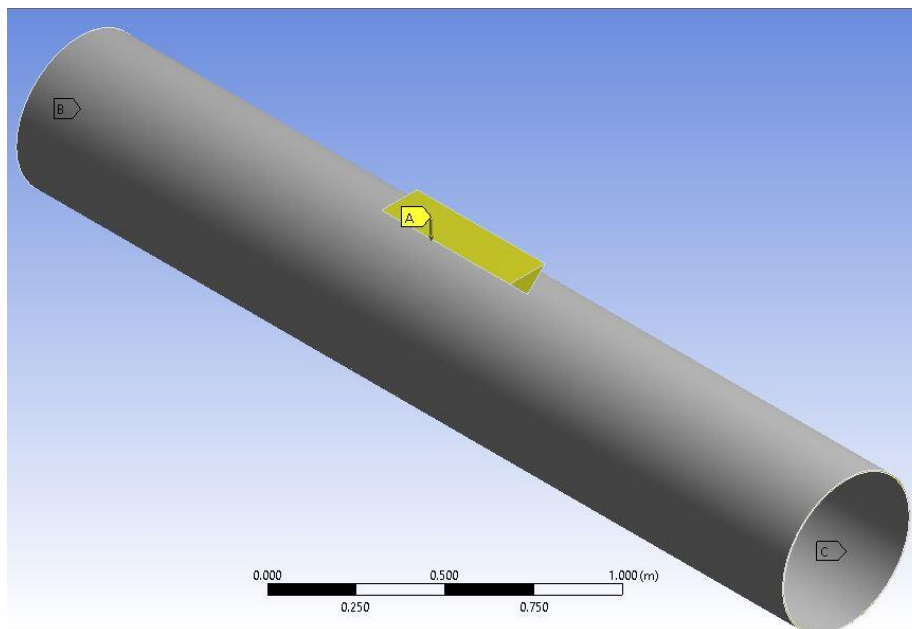
4.3 Tumpuan pada *Tubular Member* dan *Displacement Indentor*

Untuk membuat model dari *dented tubular member* pada *software* Software Analisa Numerik, diperlukan pendefinisian tumpuan yang meliputi jenis dan lokasi tumpuan, serta memberikan *displacement* pada *indentor* untuk membentuk *dent* pada *tubular member*. Pada penelitian ini, kondisi tumpuan dan pemberian *displacement* disesuaikan dengan data yang telah didapatkan.

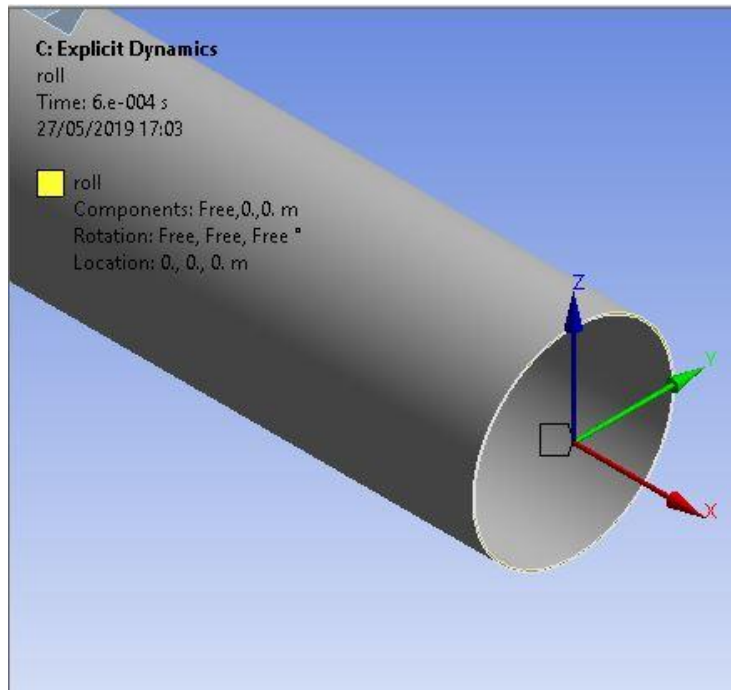
Jenis tumpuan : Pin dan Roll

Lokasi tumpuan : Masing-masing ujung pada *tubular member*

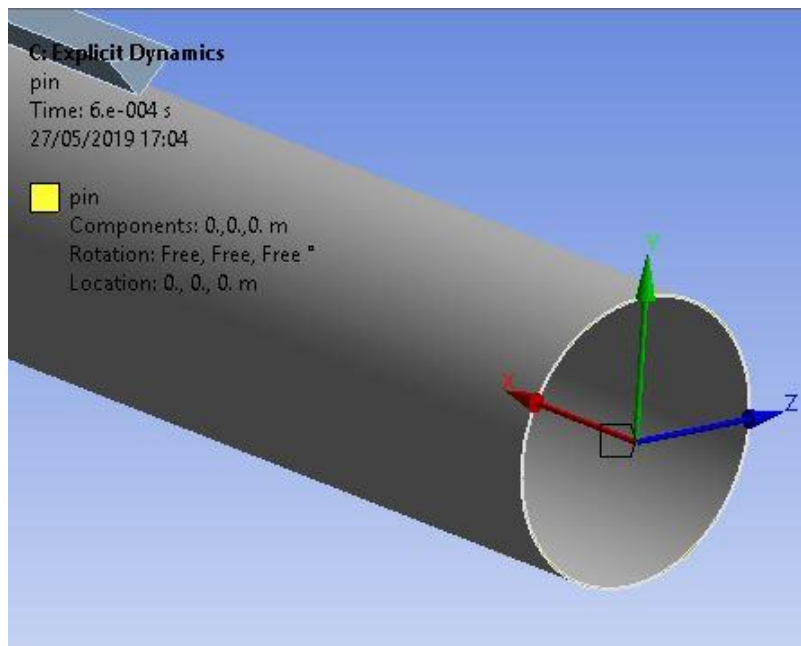
Lokasi *displacement* : *Indentor*



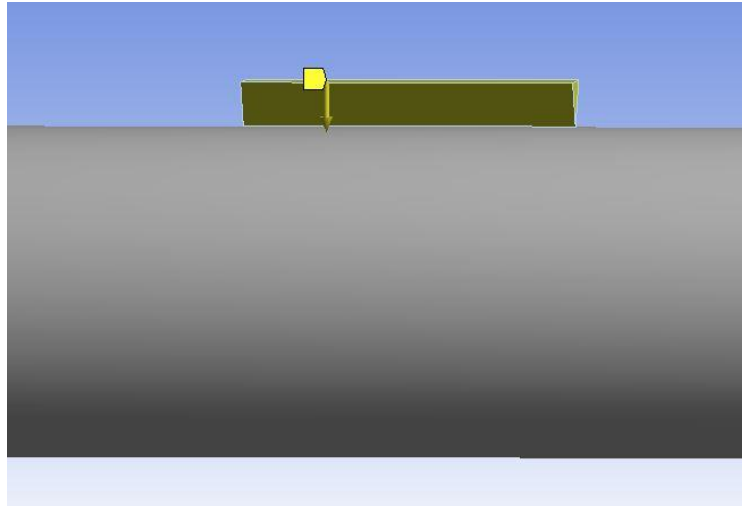
Gambar 4.4 Kondisi Tumpuan dan *Indentor* sebelum analisa



Gambar 4.5 Tumpuan *roll* pada *tubular member*



Gambar 4.6 Tumpuan *pin* pada *tubular member*



Gambar 4.7 *Displacement* pada *indenter*

4.4 *Meshing Sensitivity Analysis*

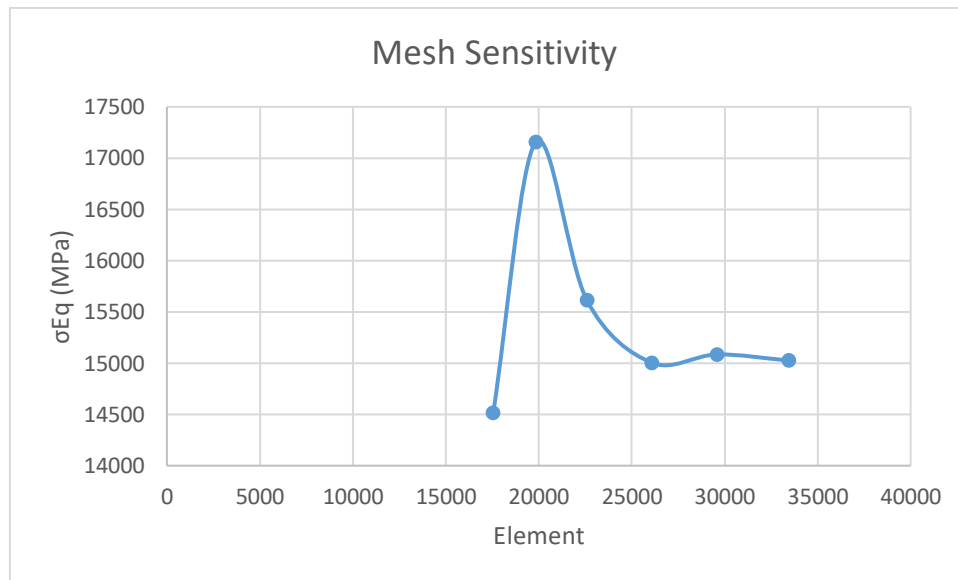
Tujuan dari dilakukannya *meshing sensitivity analysis* ini adalah untuk mendapatkan ukuran elemen sesuai dengan model. Yaitu ukuran elemen yang dinyatakan dapat merepresentasikan besar tegangan yang sesungguhnya terjadi pada *tubular member*. Pada saat melakukan analisa *meshing sensitivity*, input *displacement* yang digunakan adalah tetap. Ukuran elemen akan diubah secara bertahap hingga didapatkan *range* ukuran elemen yang dapat menampilkan tegangan yang cenderung konstan. Dalam melakukan analisa ini, perlu ditentukan terlebih dahulu titik yang akan dijadikan sebagai titik acuan yang akan ditinjau untuk mengetahui *output* tegangan. Hasil dari variasi ukuran elemen dan output tegangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Lokasi titik tinjau (*probe*) terhadap koordinat global

Probe Position	
Direction	Coordinate (m)
X	1.269
Y	0.508
Z	0

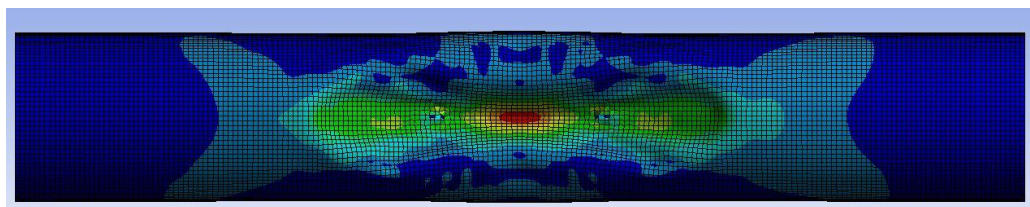
Tabel 4.2 Hasil analisa *Meshing Sensitivity*

Step	Mesh Size (m)	σ_{Eq} (MPa)	element	nodes	P model (kN)	Running Time
1	0.017	14514	17548	34674	400	33 m 15 s
2	0.016	17156	19840	39246		36 m 52 s
3	0.015	15614	22588	44318		48 m 36 s
4	0.014	15005	26071	51026		54 m 18 s
5	0.013	15085	29588	58466		1 h 7 m 21 s
6	0.012	15026	33456	66638		1 h 19 m 6 s

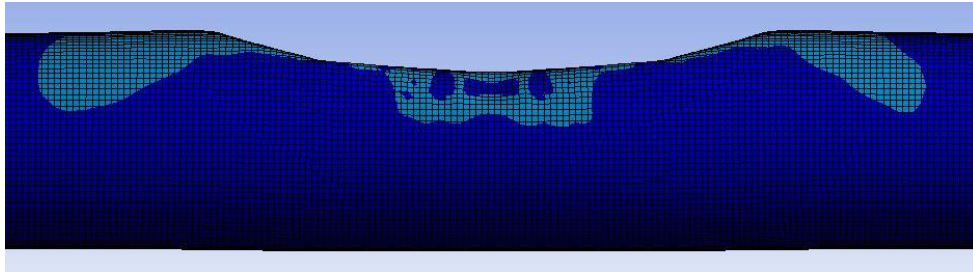


Gambar 4.8 Grafik analisa *Meshing Sensitivity*

Berdasarkan tabel 4.2 dan gambar 4.8 di atas, dapat dilihat bahwa *output* tegangan mulai cendeung konstan pada *range* jumlah elemen 26071 hingga 33456. Sehingga berdasarkan hasil di atas dapat dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya dengan menggunakan jumlah elemen 29588 (ukuran elemen 0,013 m).



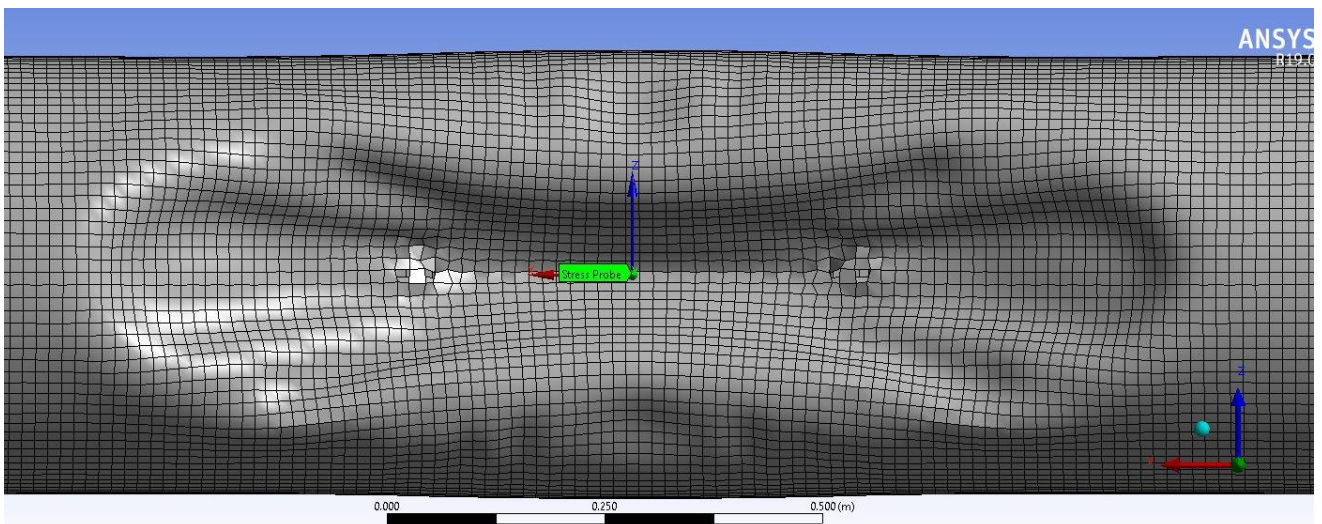
Gambar 4.9 Hasil distribusi tegangan pada *dent area*



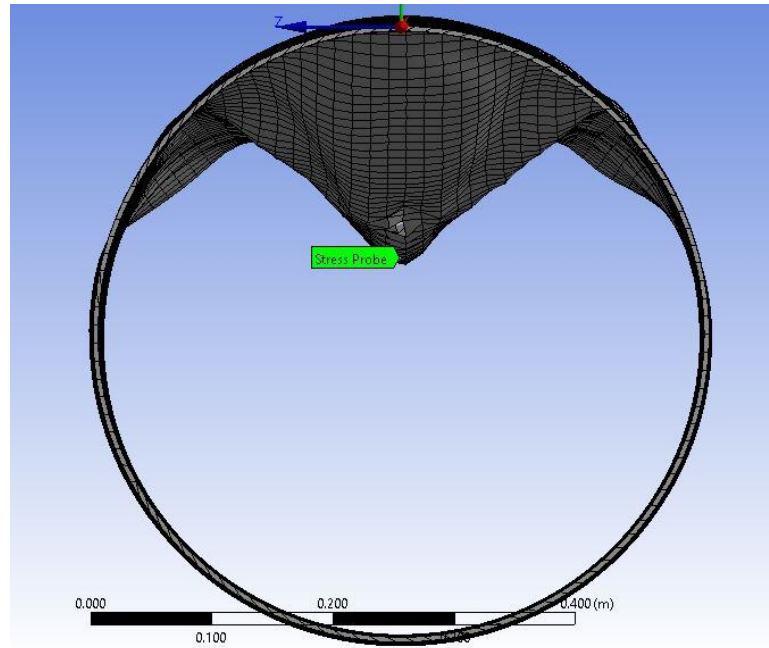
Gambar 4.10 Hasil distribusi tegangan pada *tubular member*

Tabel 4.3 indikator warna tegangan

Indikator warna	Harga tegangan
	$1.38 \times 10^{10} - 1.57 \times 10^{10}$
	$1.18 \times 10^{10} - 1.38 \times 10^{10}$
	$9.84 \times 10^9 - 1.18 \times 10^{10}$
	$7.87 \times 10^9 - 9.84 \times 10^9$
	$5.9 \times 10^9 - 7.87 \times 10^9$
	$3.93 \times 10^9 - 5.9 \times 10^9$
	$0 - 3.93 \times 10^9$



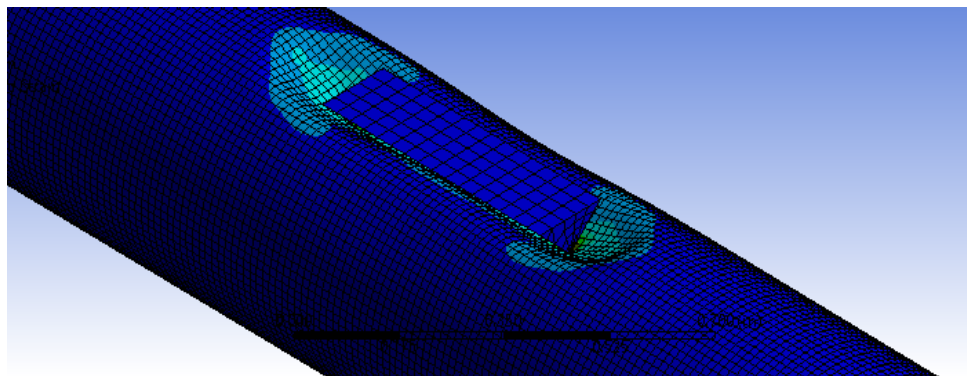
Gambar 4.11 Lokasi *Probe* pada area *dent*



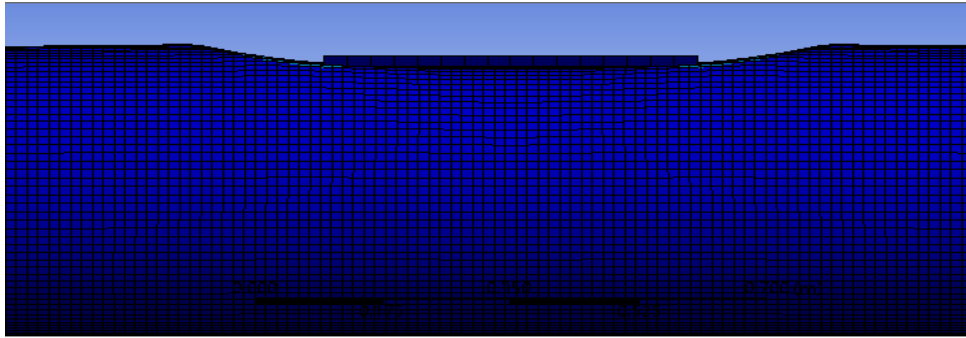
Gambar 4.11 Lokasi *Probe* pada area *dent* (Tampak depan)

4.5 Validasi Model *Dented Tubular Member*

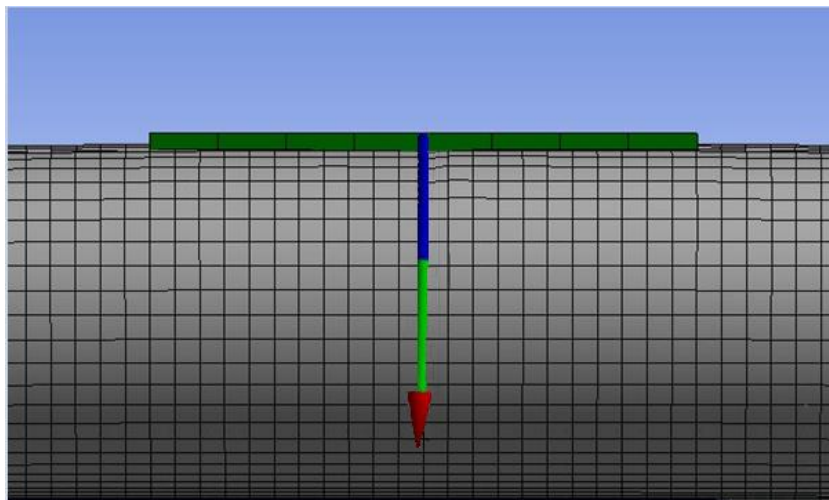
Dalam tahap validasi, *indenter* diberikan displacement secara bertahap. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kedalaman *dent* yang pasti pada *tubular member*. Output yang diharapkan dalam Analisa ini berupa tegangan von mises, *indenter force reaction* dan deformasi pada tubular member. Dalam Analisa, akan ditinjau *indenter force reaction* pada tiap kedalaman dent yang nantinya data tersebut akan dibuat grafik yang menyatakan *indenter force* pada tiap kedalaman *dent*. Grafik tersebut nantinya akan dibandingkan dengan grafik pada data sehingga menjadi acuan untuk validasi model *longitudinal dented tubular member*. Berikut ini adalah hasil dari *running* pada *software* numerik



Gambar 4.12 Proses pembentukan *dent* pada *tubular member*



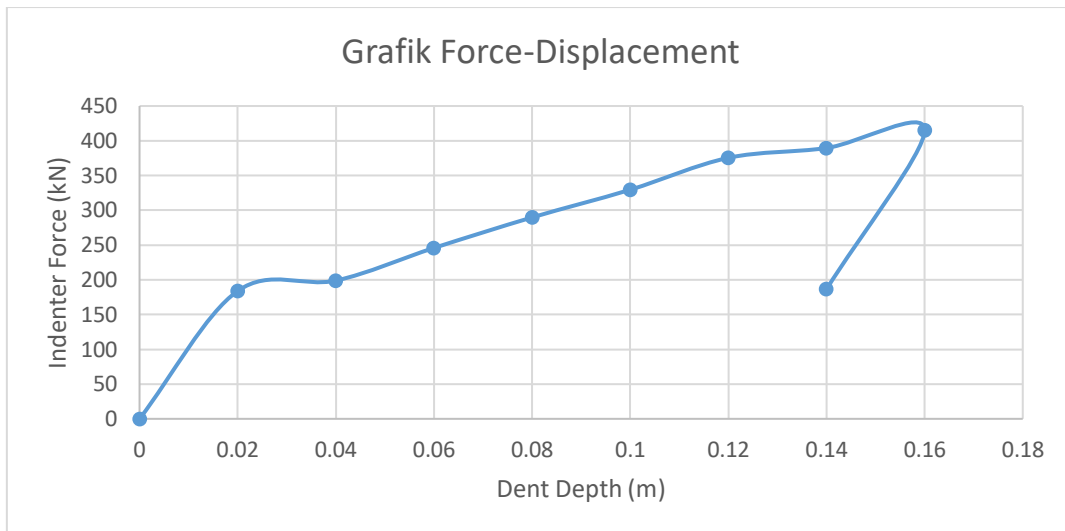
Gambar 4.13 Proses pembentukan *dent* pada *tubular member* (tampak samping)



Gambar 4.14 *Output Force reaction* pada indentor

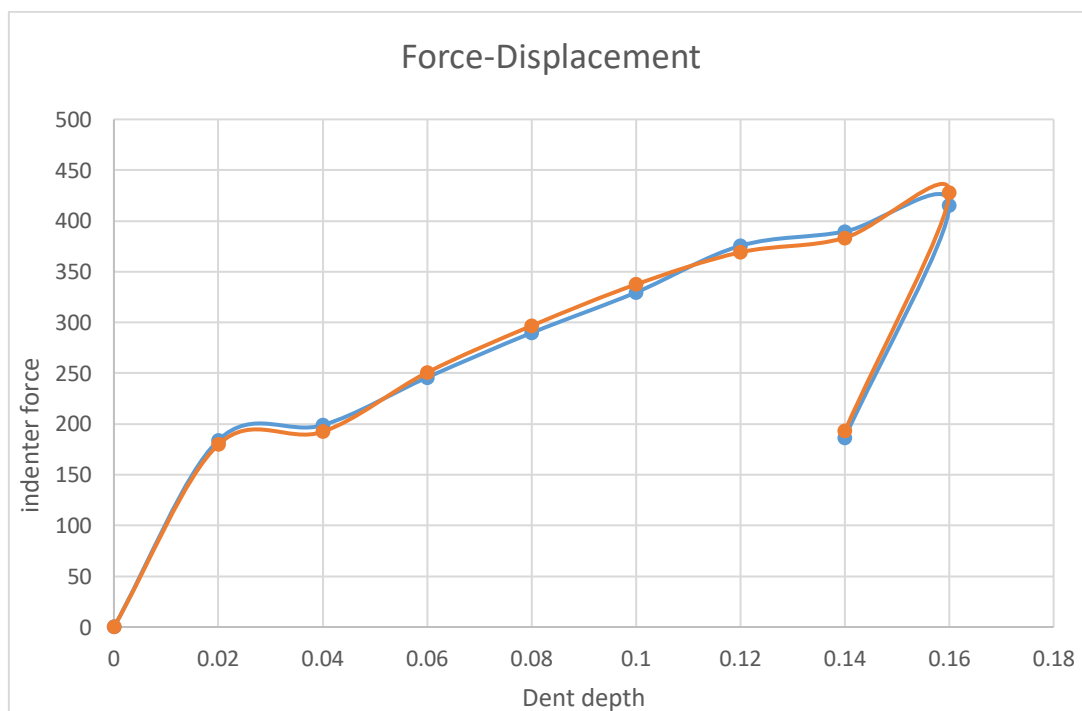
Tabel 4.4 *Output Force reaction* pada indentor

Dent Depth	Force indentor (kN)
0	0
0.02	183.92
0.04	198.85
0.06	245.82
0.08	289.74
0.1	329.56
0.12	375.47
0.14	389.54
0.16	415.32
0.14	186.39



Gambar 4.15 Grafik *Force reaction-Displacement*

Berdasarkan hasil *running* di atas, didapatkan suatu data yang merepresentasikan gaya yang dibutuhkan indenter untuk mencapai kedalaman *dent* tertentu. Hasil tersebut kemudian akan dibandingkan dengan data yang telah diperoleh untuk mengetahui persentase *error* nya. Berikut ini adalah perbandingan grafik dan tabel persentase *error* nya:



Gambar 4.16 Perbandingan Grafik *Force reaction-Displacement* pada data Dengan hasil analisa numerik

Tabel 4.5 Perbandingan data *Force reaction-Displacement* pada jurnal
Dengan hasil analisa numerik

Dent Depth	Force indentor (kN) analisa numerik	Force indentor (kN) data	error %
0	0	0	0
0.02	183.92	179.709473	2.28932524
0.04	198.85	192.308558	3.28963663
0.06	245.82	240.936464	1.98663107
0.08	289.74	282.814206	2.39034776
0.1	329.56	321.682902	2.39018623
0.12	375.47	369.091047	1.69892473
0.14	389.54	383.307781	1.59989205
0.16	415.32	402.673038	3.04511278
0.14	186.39	179.867425	3.49942311

Berdasarkan tabel di atas, didapatkan nilai *error* tertinggi terjadi pada kedalaman dent 0.14 m pada kondisi *rebound* yaitu sebesar 3.5%. karena kondisi *error* yang sangat kecil maka model tersebut sudah dapat dinyatakan mendekati valid

4.6 Permodelan Tubular Member dengan Variasi

Setelah model dinyatakan valid, maka dapat dilakukan permodelan tubular member dengan variasi dimensi kedalaman dan lebar dent yang akan ditentukan. Penentuan variasi dari dimensi kedalaman mengacu pada DnV OS-F101. Dalam DnV OS-F101 telah dibahas kriteria *permanent plastic dent depth* yang diizinkan pada *tubular member*. Persamaan yang digunakan dalam menentukan kriteria *permanent plastic dent depth* yang diizinkan pada *tubular member* menurut DnV OS-F101 adalah sebagai berikut :

$$\frac{H_p}{D} \leq 0.05\eta \quad (3.1)$$

Dengan :

H_p = Permanent plastic dent depth

η = Usage factor

Tabel 4.6 Usage factor (η) for impact

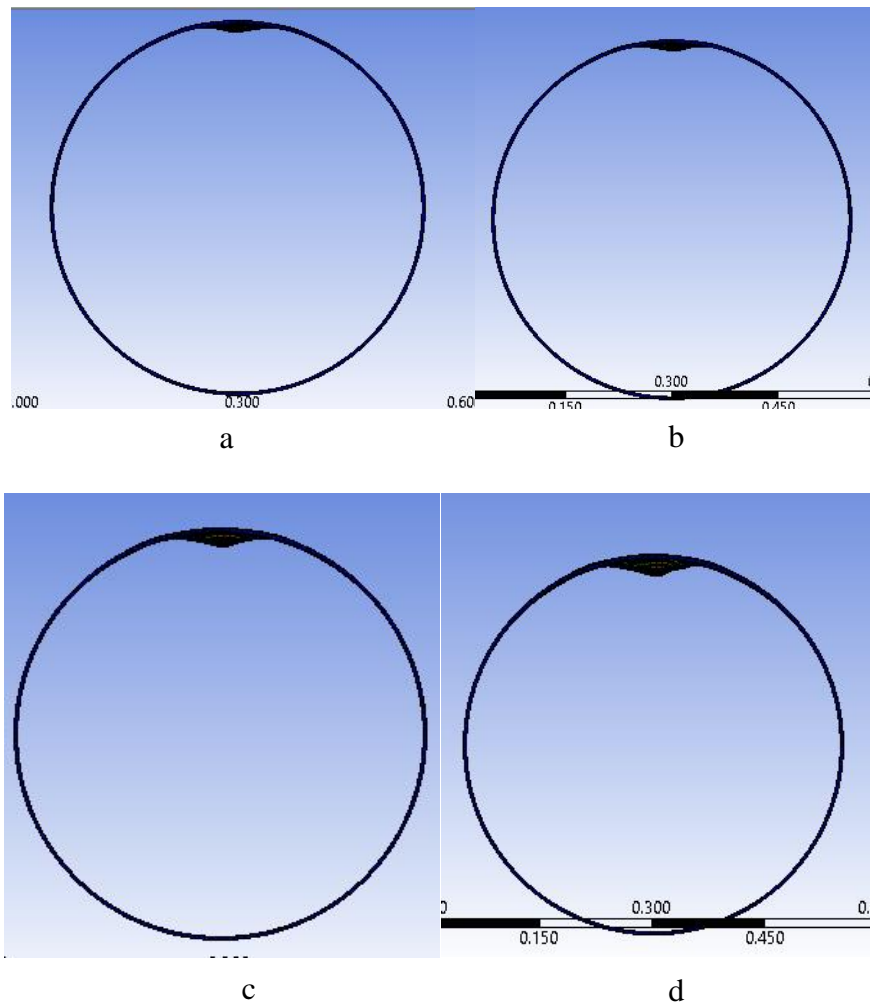
Usage factor (η) for impact	
Impact frequency (per year per km)	Usage factor (η)
>100	0
1-100	0.3
$(10^{-4}) - 1$	0.7

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan harga dari $H_p \leq 0.05D$. oleh karena itu dalam penelitian ini variasi dari kedalaman dent yang digunakan sebesar 1% D sampai 4% D

Tabel 4.7 Variasi Dimensi Kedalaman *Dent*

persentase D	Kode variasi	kedalaman (mm)	lebar (mm)	%error lebar
1%	1D	5.08	121.513	5.079833771
2%	2D	1.016	121.91	4.769716285
3%	3D	1.524	123.243	3.728440195
4%	4D	2.032	128.016	0

Dengan harga $D = 508$ mm

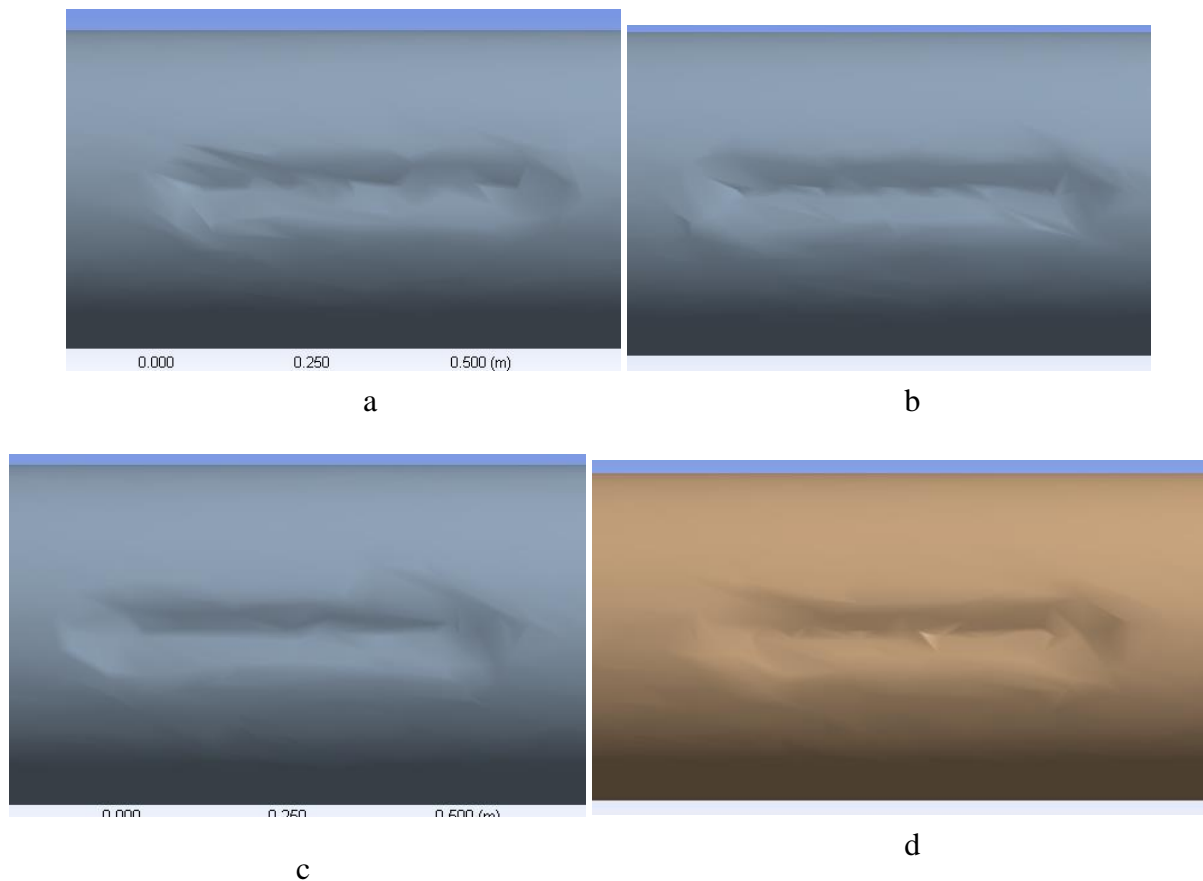


Gambar 4.17 Hasil permodelan dengan variasi kedalaman *dent* (a) 1% D ;
(b) 2% D ; (c) 3% D ; (d) 4% D

Untuk dimensi lebar dent, variasi yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 4.8 Variasi Dimensi Lebar *Dent*

persentase D	Kode variasi	lebar (mm)	kedalaman (mm)
10%	10D	51.188	2.032
15%	15D	79.743	2.032
20%	20D	101.19	2.032
25%	25D	128.016	2.032



Gambar 4.18 Hasil permodelan dengan variasi lebar *dent* (a) 10% D ;
(b) 15% D ; (c) 20% D ; (d) 25% D

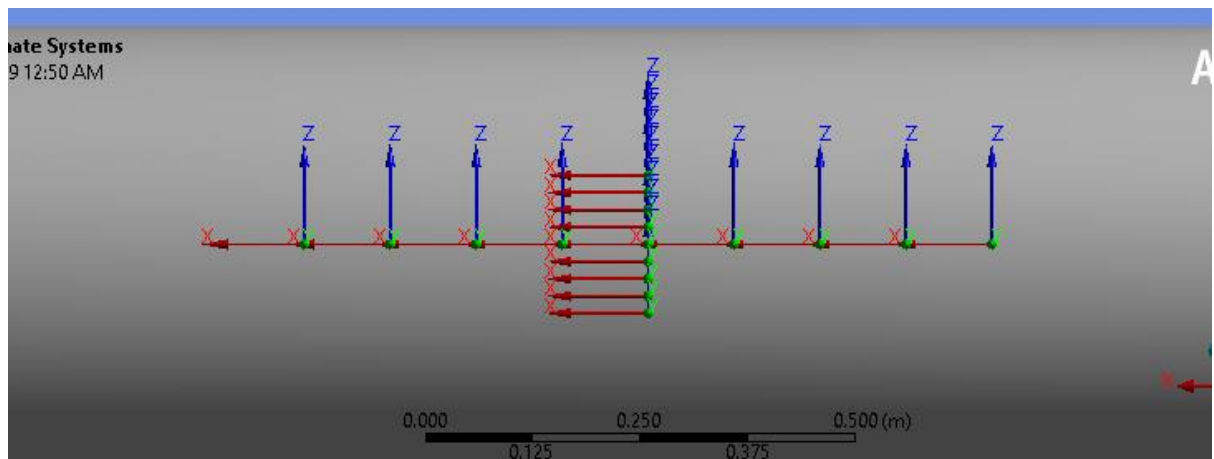
4.7 Analisa Distribusi tegangan dan regangan dari *longitudinal dent tubular member*

Hasil permodelan tersebut kemudian dianalisa agar dapat diketahui distribusi tegangan dan regangan yang terjadi pada model dengan masing-masing variasi. Analisa dilakukan dengan meletakkan beberapa probe untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada lokasi probe diletakan. Probe ditempatkan disepanjang sumbu x dan y untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi disepanjang kedua sumbu tersebut

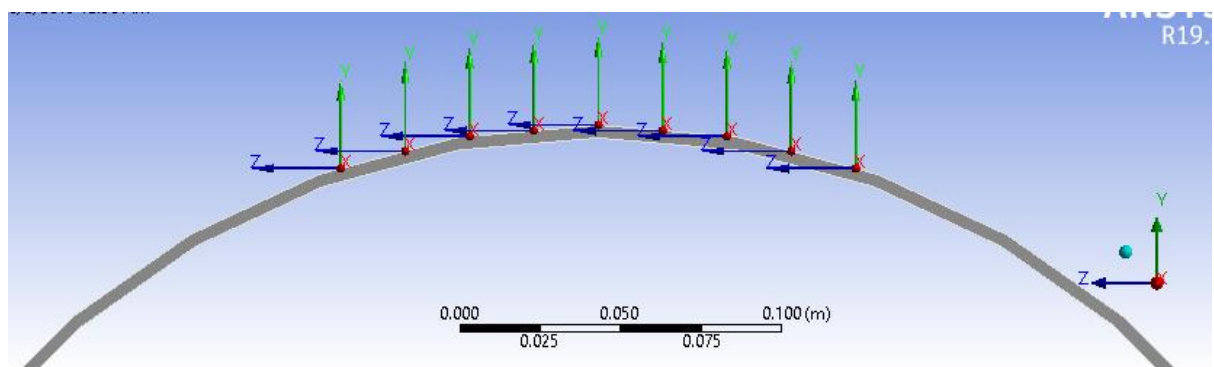
Output tegangan dan regangan yang terjadi pada masing-masing probe akan dibuat grafik berdasarkan posisi probe terhadap sumbu x dan y

Tabel 4.9 Lokasi probe pada sumbu X dan Y

Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)
-0.4	-0.08
-0.3	-0.06
-0.2	-0.04
-0.1	-0.02
0 (pusat <i>dent</i>)	
0.1	0.02
0.2	0.04
0.3	0.06
0.4	0.08



Gambar 4.19 Lokasi Probe pada *Tubular Member* (Tampak Atas)



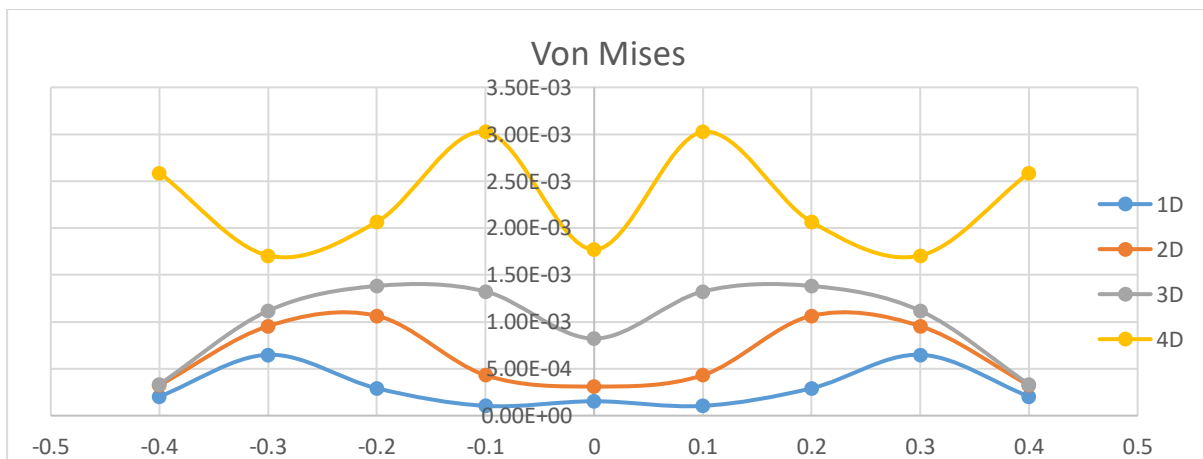
Gambar 4.20 Lokasi Probe pada *Tubular Member* (Tampak Depan)

4.7.1 Hasil Analisa Regangan Berdasarkan Sumbu X

Berikut ini adalah hasil output analisa regangan berdasarkan sumbu X pada variasi kedalaman *dent* :

Tabel 4.10 Output Regangan terhadap sumbu X pada variasi 4D

Lokasi (m)	Normal X (m/m)	Normal Y (m/m)	Normal Z (m/m)	Von mises (m/m)	Max Principal (m/m)	Mid Principal (m/m)	Min Principal (m/m)
-0.4	1.16E-03	1.14E-03	-1.79E-03	2.59E-03	1.19E-03	1.16E-03	-1.83E-03
-0.3	6.40E-04	7.99E-05	-2.76E-04	1.71E-03	1.43E-03	-2.36E-04	-7.54E-04
-0.2	1.42E-03	2.41E-04	-1.05E-03	2.07E-03	1.45E-03	2.63E-04	-1.10E-03
-0.1	3.03E-03	-8.93E-04	-8.84E-04	3.03E-03	3.03E-03	-8.59E-04	-9.18E-04
0	1.02E-03	5.04E-04	-1.05E-03	1.77E-03	1.02E-03	5.22E-04	-1.07E-03
0.1	3.03E-03	-8.93E-04	-8.84E-04	3.03E-03	3.03E-03	-8.59E-04	-9.18E-04
0.2	1.42E-03	2.41E-04	-1.05E-03	2.07E-03	1.45E-03	2.63E-04	-1.10E-03
0.3	6.40E-04	7.99E-05	-2.76E-04	1.71E-03	1.43E-03	-2.36E-04	-7.54E-04
0.4	1.16E-03	1.14E-03	-1.79E-03	2.59E-03	1.19E-03	1.16E-03	-1.83E-03



Gambar 4.21 Grafik regangan Von Mises sumbu X variasi kedalaman

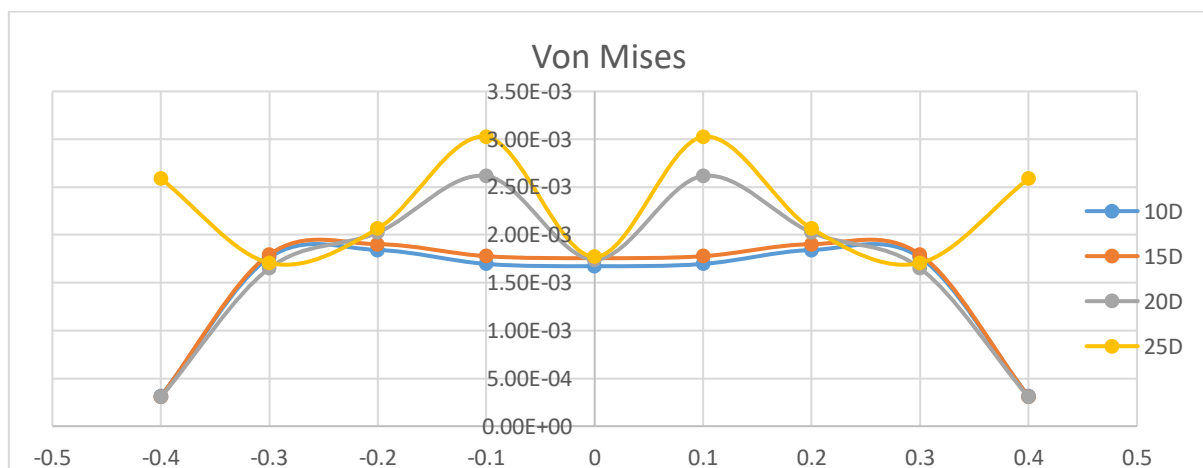
Dalam gambar 4.21 tersebut dapat diketahui bahwa regangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 4D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.1 m dari pusat *dent* sebesar 3.03E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.3 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 1.71E-03 m/m. Regangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 1D terletak pada lokasi 0.1 m dari pusat *dent* sebesar 6.49E-04 m/m, harga regangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.3 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 1.04E-04 m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 2D, regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 1.08E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak pada pusat *dent* yaitu sebesar 12.61E-04 m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 3D, regangan terbesar

terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar $1.28E-03$ m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $3.30E-04$ m/m. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman *dent*, maka tegangan Von Mises maksimal akan semakin mendekati pusat *dent*

Berikut ini adalah hasil output analisa regangan berdasarkan sumbu X pada variasi lebar *dent* :

Tabel 4.11 Output Regangan terhadap sumbu X pada variasi 25D

Lokasi (m)	Normal X (m/m)	Normal Y (m/m)	Normal Z (m/m)	Von mises (m/m)	Max Principal (m/m)	Mid Principal (m/m)	Min Principal (m/m)
-0.4	1.16E-03	1.14E-03	-1.79E-03	2.59E-03	1.19E-03	1.16E-03	-1.83E-03
-0.3	6.40E-04	7.99E-05	-2.76E-04	1.71E-03	1.43E-03	-2.36E-04	-7.54E-04
-0.2	1.42E-03	2.41E-04	-1.05E-03	2.07E-03	1.45E-03	2.63E-04	-1.10E-03
-0.1	3.03E-03	-8.93E-04	-8.84E-04	3.03E-03	3.03E-03	-8.59E-04	-9.18E-04
0	1.02E-03	5.04E-04	-1.05E-03	1.77E-03	1.02E-03	5.22E-04	-1.07E-03
0.1	3.03E-03	-8.93E-04	-8.84E-04	3.03E-03	3.03E-03	-8.59E-04	-9.18E-04
0.2	1.42E-03	2.41E-04	-1.05E-03	2.07E-03	1.45E-03	2.63E-04	-1.10E-03
0.3	6.40E-04	7.99E-05	-2.76E-04	1.71E-03	1.43E-03	-2.36E-04	-7.54E-04
0.4	1.16E-03	1.14E-03	-1.79E-03	2.59E-03	1.19E-03	1.16E-03	-1.83E-03



Gambar 4.22 Grafik regangan Von Mises sumbu X variasi lebar

Dalam gambar 4.22 tersebut dapat diketahui bahwa regangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 25D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.1 m dari pusat *dent* sebesar $3.03E-03$ m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.3 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.71E-03$ m/m. Regangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 20D terletak pada lokasi 0.4 m dari pusat *dent* sebesar $3.03E-04$ m/m, harga regangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.1 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $2.62E-03$ m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 10D,

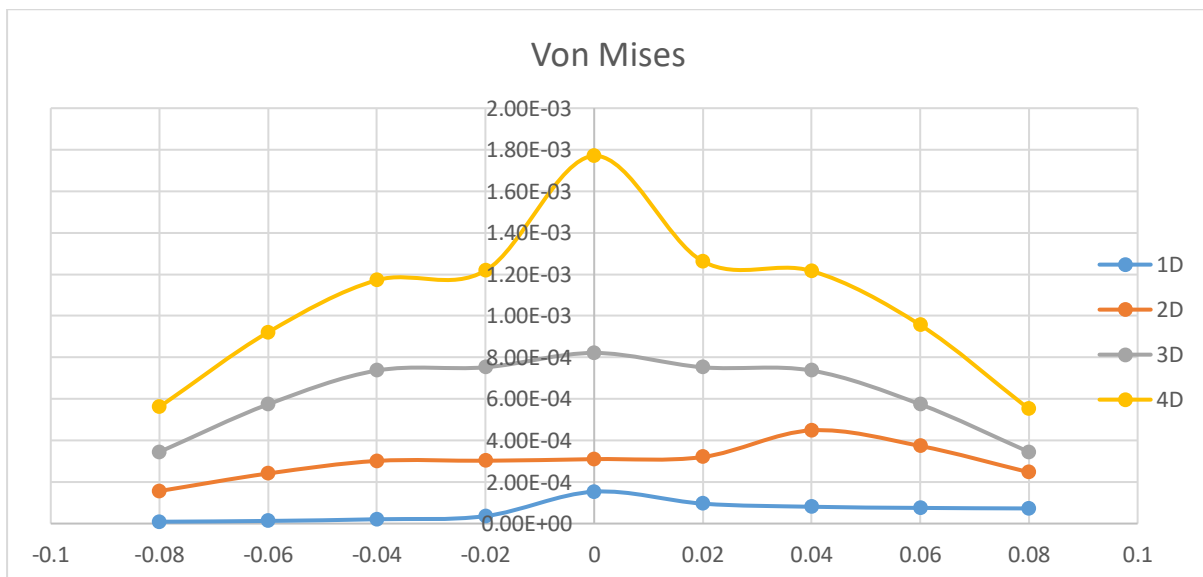
regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 1.84E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.4 dari pusat *dent* yaitu sebesar 3.14E-04 m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 15D, regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 1.90E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 3.09E-04 m/m. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman *dent*, maka tegangan Von Mises maksimal akan semakin mendekati pusat *dent*

4.7.2 Hasil Analisa Regangan Berdasarkan Sumbu Y

Berikut ini adalah hasil output analisa regangan berdasarkan sumbu Y pada variasi kedalaman *dent* :

Tabel 4.12 Output Regangan terhadap sumbu Y pada variasi 4D

Lokasi (m)	Normal X (m/m)	Normal Y (m/m)	Normal Z (m/m)	Von mises (m/m)	Max Principal (m/m)	Mid Principal (m/m)	Min Principal (m/m)
-0.08	5.51E-04	-1.72E-04	-1.48E-04	5.62E-04	5.51E-04	-1.46E-04	-1.74E-04
-0.06	9.15E-04	-2.82E-04	-2.55E-04	9.21E-04	9.15E-04	-2.54E-04	-2.83E-04
-0.04	1.17E-03	-3.67E-04	-3.22E-04	1.17E-03	1.17E-03	-3.19E-04	-3.69E-04
-0.02	1.18E-03	-3.14E-04	-3.80E-04	1.22E-03	1.18E-03	-3.13E-04	-3.81E-04
0	1.02E-03	5.04E-04	-1.05E-03	1.77E-03	1.02E-03	5.22E-04	-1.07E-03
0.02	1.26E-03	-3.75E-04	-3.64E-04	1.26E-03	1.26E-03	-3.58E-04	-3.82E-04
0.04	1.22E-03	-3.61E-04	-3.59E-04	1.22E-03	1.22E-03	-3.50E-04	-3.70E-04
0.06	9.53E-04	-2.89E-04	-2.80E-04	9.56E-04	9.53E-04	-2.80E-04	-2.90E-04
0.08	5.42E-04	-1.63E-04	-1.62E-04	5.52E-04	5.42E-04	-1.58E-04	-1.67E-04



Gambar 4.23 Grafik regangan Von Mises sumbu Y variasi kedalaman

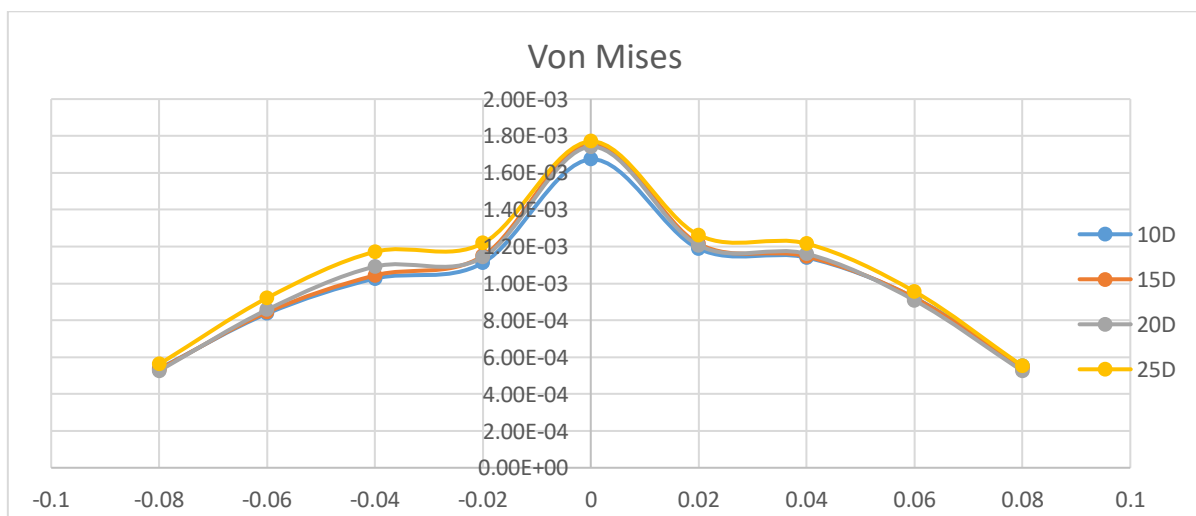
Dalam gambar 4.23 tersebut dapat diketahui bahwa regangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 4D. pada *tubular member* dengan variasi

tersebut, regangan terbesar terletak tepat di pusat *dent* sebesar $1.77\text{E-}03$ m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $5.52\text{E-}04$ m/m. Regangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 1D terletak pada lokasi 0.08 m dari pusat *dent* sebesar $8.80\text{E-}06$ m/m, harga regangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak tepat di pusat *dent* yaitu sebesar $1.54\text{E-}04$ m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 2D, regangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.04 m dari pusat *dent* sebesar $4.49\text{E-}04$ m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.57\text{E-}04$ m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 3D, regangan terbesar terjadi tepat di pusat *dent* sebesar $8.22\text{E-}04$ m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $3.45\text{E-}04$ m/m. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa regangan terbesar cenderung terjadi di pusat *dent*.

Berikut ini adalah hasil output analisa regangan berdasarkan sumbu Y pada variasi lebar *dent* :

Tabel 4.13 Output Regangan terhadap sumbu Y pada variasi 25D

Lokasi (m)	Normal X (m/m)	Normal Y (m/m)	Normal Z (m/m)	Von mises (m/m)	Max Principal (m/m)	Mid Principal (m/m)	Min Principal (m/m)
-0.08	5.51E-04	-1.72E-04	-1.48E-04	5.62E-04	5.51E-04	-1.46E-04	-1.74E-04
-0.06	9.15E-04	-2.82E-04	-2.55E-04	9.21E-04	9.15E-04	-2.54E-04	-2.83E-04
-0.04	1.17E-03	-3.67E-04	-3.22E-04	1.17E-03	1.17E-03	-3.19E-04	-3.69E-04
-0.02	1.18E-03	-3.14E-04	-3.80E-04	1.22E-03	1.18E-03	-3.13E-04	-3.81E-04
0	1.02E-03	5.04E-04	-1.05E-03	1.77E-03	1.02E-03	5.22E-04	-1.07E-03
0.02	1.26E-03	-3.75E-04	-3.64E-04	1.26E-03	1.26E-03	-3.58E-04	-3.82E-04
0.04	1.22E-03	-3.61E-04	-3.59E-04	1.22E-03	1.22E-03	-3.50E-04	-3.70E-04
0.06	9.53E-04	-2.89E-04	-2.80E-04	9.56E-04	9.53E-04	-2.80E-04	-2.90E-04
0.08	5.42E-04	-1.63E-04	-1.62E-04	5.52E-04	5.42E-04	-1.58E-04	-1.67E-04



Gambar 4.24 Grafik regangan Von Mises sumbu Y variasi lebar

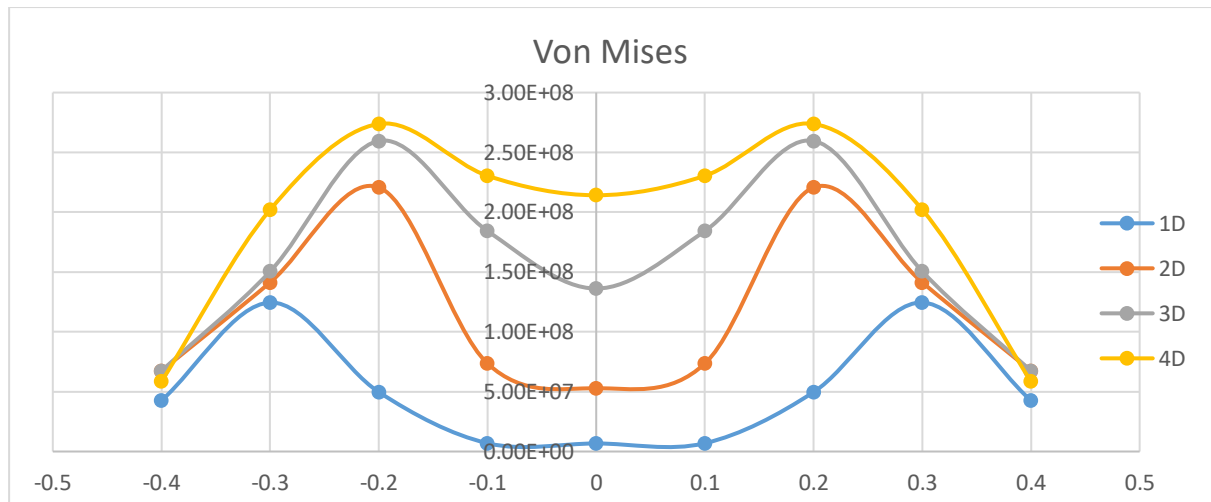
Dalam gambar 4.24 tersebut dapat diketahui bahwa regangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 25D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, regangan terbesar terletak tepat di pusat *dent* sebesar 1.77E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 5.52E-04 m/m. Regangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 20D terletak pada lokasi 0.08 m dari pusat *dent* sebesar 5.25E-04 m/m, harga regangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak tepat di pusat *dent* yaitu sebesar 1.74E-03 m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 10D, regangan terbesar terjadi tepat di pusat *dent* sebesar 1.67E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 dari pusat *dent* yaitu sebesar 5.37E-04 m/m. Pada *tubular member* dengan variasi 15D, regangan terbesar terjadi tepat di pusat *dent* sebesar 1.76E-03 m/m, sedangkan regangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 5.33E-04 m/m. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa regangan terbesar cenderung terjadi di pusat *dent*.

4.7.3 Hasil Analisa Tegangan Berdasarkan Sumbu X

Berikut ini adalah hasil output analisa tegangan berdasarkan sumbu X pada variasi kedalaman *dent* :

Tabel 4.14 Output Tegangan terhadap sumbu X pada variasi 4D

Lokasi (m)	Normal X (Pa)	Normal Y (Pa)	Normal Z (Pa)	Von mises (Pa)	Max Principal (Pa)	Mid Principal (Pa)	Min Principal (Pa)
-0.4	6.72E+07	1.39E+05	4.02E+07	5.86E+07	6.74E+07	4.00E+07	1.22E+05
-0.3	1.96E+08	1.37E+07	1.19E+07	2.02E+08	2.09E+08	1.17E+07	1.78E+06
-0.2	2.84E+08	1.45E+06	2.04E+07	2.74E+08	2.84E+08	2.03E+07	1.40E+06
-0.1	2.40E+08	7.08E+06	1.29E+07	2.30E+08	2.40E+08	1.54E+07	4.51E+06
0	2.22E+08	6.58E+06	8.68E+06	2.14E+08	2.22E+08	1.27E+07	2.60E+06
0.1	2.40E+08	7.08E+06	1.29E+07	2.30E+08	2.40E+08	1.54E+07	4.51E+06
0.2	2.84E+08	1.45E+06	2.04E+07	2.74E+08	2.84E+08	2.03E+07	1.40E+06
0.3	1.96E+08	1.37E+07	1.19E+07	2.02E+08	2.09E+08	1.17E+07	1.78E+06
0.4	6.72E+07	1.39E+05	4.02E+07	5.86E+07	6.74E+07	4.00E+07	1.22E+05



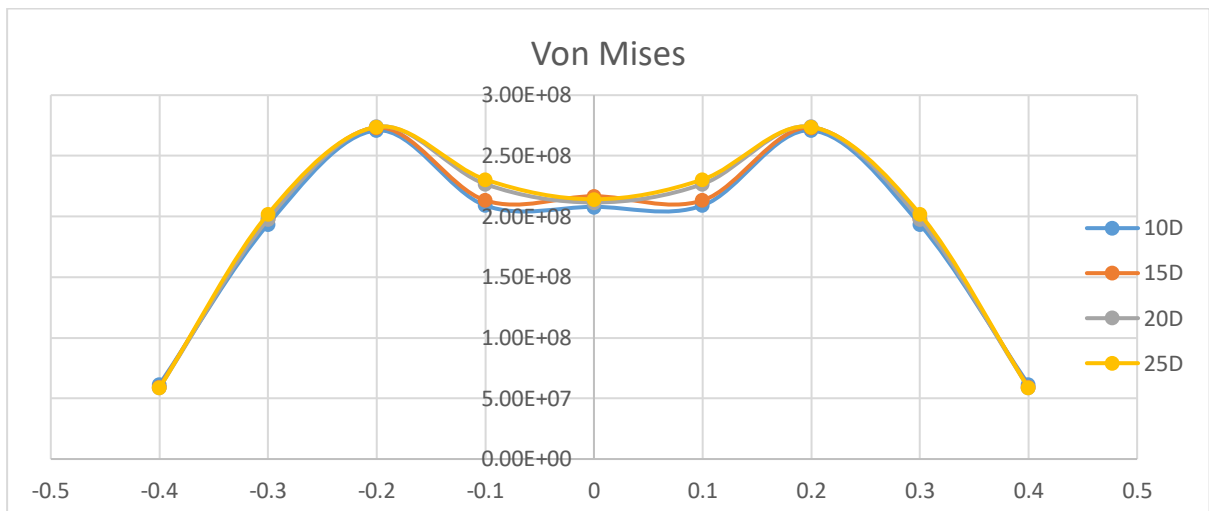
Gambar 4.25 Grafik tegangan Von Mises sumbu X variasi kedalaman

Dalam gambar 4.25 tersebut dapat diketahui bahwa tegangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 4D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar $2.74E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $5.86E+07$ Pa. Tegangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 1D terletak pada lokasi 0.4 m dari pusat *dent* sebesar $4.26E+07$ Pa, harga tegangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.3 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.25E+08$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 2D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar $2.21E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak pada pusat *dent* yaitu sebesar $5.29E+07$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 3D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar $2.60E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $6.75E+07$ Pa. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman *dent*, maka tegangan Von Mises maksimal akan semakin mendekati pusat *dent*

Berikut ini adalah hasil output analisa tegangan berdasarkan sumbu X pada variasi lebar *dent* :

Tabel 4.15 Output Tegangan terhadap sumbu X pada variasi 25D

Lokasi (m)	Normal X (Pa)	Normal Y (Pa)	Normal Z (Pa)	Von mises (Pa)	Max Principal (Pa)	Mid Principal (Pa)	Min Principal (Pa)
-0.4	6.72E+07	1.39E+05	4.02E+07	5.86E+07	6.74E+07	4.00E+07	1.22E+05
-0.3	1.96E+08	1.37E+07	1.19E+07	2.02E+08	2.09E+08	1.17E+07	1.78E+06
-0.2	2.84E+08	1.45E+06	2.04E+07	2.74E+08	2.84E+08	2.03E+07	1.40E+06
-0.1	2.40E+08	7.08E+06	1.29E+07	2.30E+08	2.40E+08	1.54E+07	4.51E+06
0	2.22E+08	6.58E+06	8.68E+06	2.14E+08	2.22E+08	1.27E+07	2.60E+06
0.1	2.40E+08	7.08E+06	1.29E+07	2.30E+08	2.40E+08	1.54E+07	4.51E+06
0.2	2.84E+08	1.45E+06	2.04E+07	2.74E+08	2.84E+08	2.03E+07	1.40E+06
0.3	1.96E+08	1.37E+07	1.19E+07	2.02E+08	2.09E+08	1.17E+07	1.78E+06
0.4	6.72E+07	1.39E+05	4.02E+07	5.86E+07	6.74E+07	4.00E+07	1.22E+05



Gambar 4.26 Grafik tegangan Von Mises sumbu X variasi lebar

Dalam gambar 4.26 tersebut dapat diketahui bahwa tegangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 20D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 2.74E+08 Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 5.89E+07 Pa. Tegangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular member* dengan variasi 25D terletak pada lokasi 0.4 m dari pusat *dent* sebesar 5.86E+07 Pa, harga tegangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.2 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 2.74E+08. Pada *tubular member* dengan variasi 10D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 2.71E+08 Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini lokasi dengan jarak 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 6.14E+07 Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 15D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.2 m dari pusat *dent* sebesar 2.73E+08 Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.4 m dari pusat *dent* yaitu sebesar

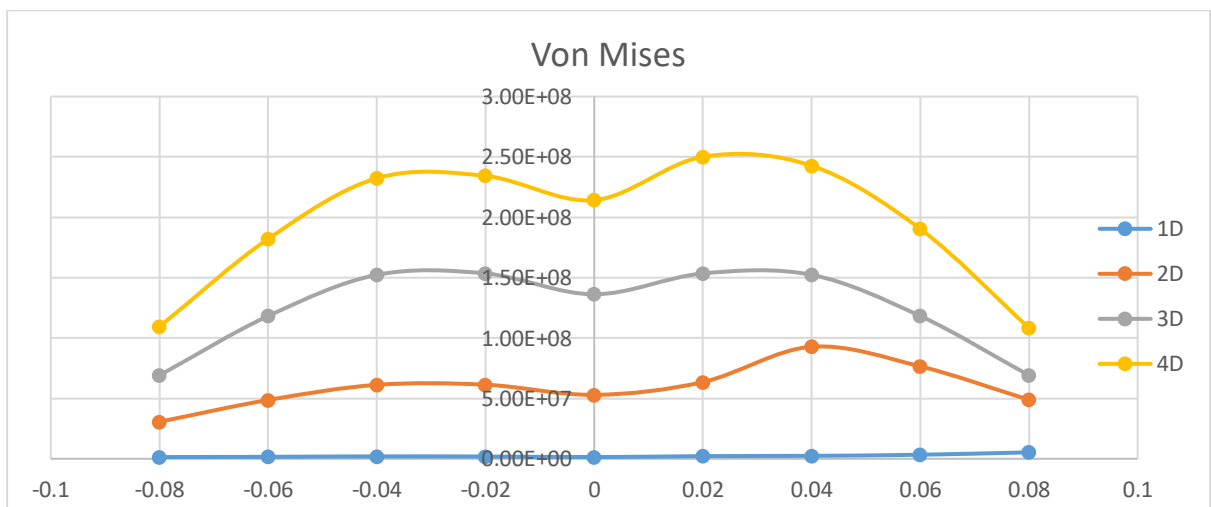
5.96E+07 Pa. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semua variasi memiliki pola yang hamper mirip satu sama lain yaitu tegangan maksimal terletak pada posisi 0.2 m dari pusat *dent*, sedangkan tegangan minimal yang terjadi terletak pada posisi 0.4 m dari pusat *dent*

4.7.4 Hasil Analisa Tegangan Berdasarkan Sumbu Y

Berikut ini adalah hasil output analisa tegangan berdasarkan sumbu Y pada variasi kedalaman *dent* :

Tabel 4.16 Output Tegangan terhadap sumbu Y pada variasi 4D

Lokasi (m)	Normal X (Pa)	Normal Y (Pa)	Normal Z (Pa)	Von mises (Pa)	Max Principal (Pa)	Mid Principal (Pa)	Min Principal (Pa)
-0.08	1.12E+08	2.15E+05	3.92E+06	1.10E+08	1.12E+08	4.18E+06	-4.69E+04
-0.06	1.84E+08	2.44E+05	4.46E+06	1.82E+08	1.84E+08	4.61E+06	9.49E+04
-0.04	2.34E+08	-1.48E+06	5.50E+06	2.32E+08	2.34E+08	5.86E+06	-1.84E+06
-0.02	2.36E+08	1.85E+05	4.16E+06	2.34E+08	2.36E+08	5.02E+06	-6.71E+05
0	2.22E+08	6.58E+06	8.68E+06	2.14E+08	2.22E+08	1.27E+07	2.60E+06
0.02	2.53E+08	1.73E+06	3.85E+06	2.50E+08	2.53E+08	5.50E+06	7.10E+04
0.04	2.45E+08	1.85E+06	2.13E+06	2.43E+08	2.45E+08	3.50E+06	4.85E+05
0.06	1.91E+08	-2.54E+05	1.17E+06	1.90E+08	1.91E+08	1.22E+06	-3.06E+05
0.08	1.09E+08	4.28E+04	1.55E+05	1.08E+08	1.09E+08	7.59E+05	-5.61E+05



Gambar 4.27 Grafik tegangan Von Mises sumbu Y variasi kedalaman

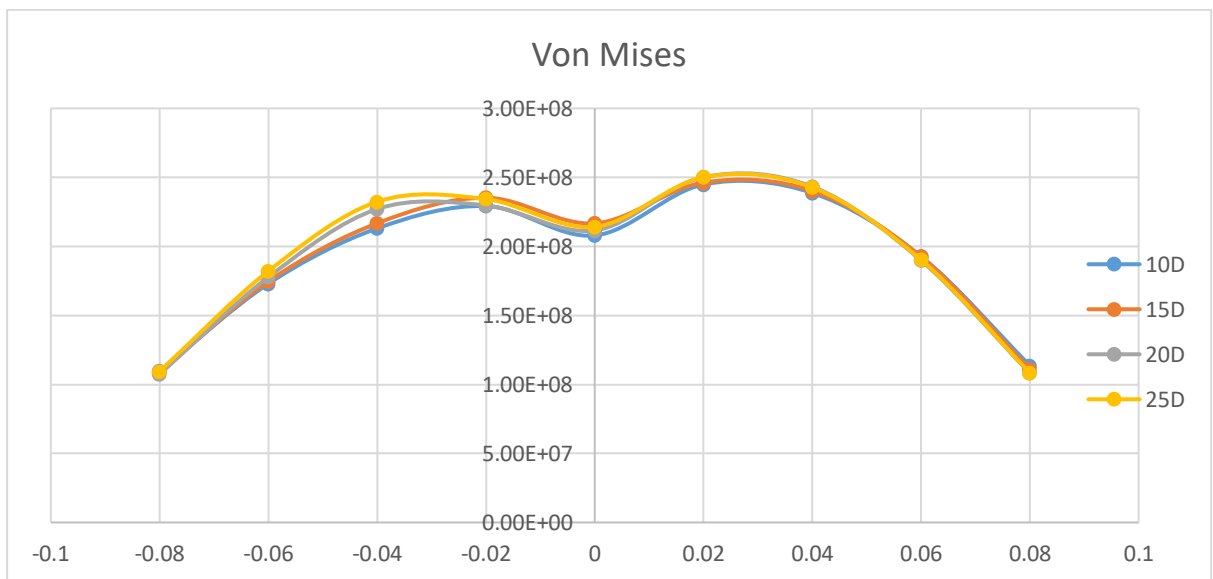
Dalam gambar 4.27 tersebut dapat diketahui bahwa tegangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 4D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar 2.34E+08 Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar 1.10E+08 Pa. Tegangan dengan harga terkecil dimiliki oleh *tubular*

member dengan variasi 1D terletak di pusat *dent* sebesar $1.41E+06$ Pa, harga tegangan terbesar yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $5.31E+06$. Pada *tubular member* dengan variasi 2D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.04 m dari pusat *dent* sebesar $9.28E+07$, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak pada lokasi 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $3.07E+07$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 3D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar $1.54E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $6.92E+07$ Pa. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman *dent*, maka tegangan Von Mises maksimal akan semakin mendekati pusat *dent*

Berikut ini adalah hasil output analisa tegangan berdasarkan sumbu X pada variasi lebar *dent* :

Tabel 4.17 Output Tegangan terhadap sumbu Y pada variasi 25D

Lokasi (m)	Normal X (Pa)	Normal Y (Pa)	Normal Z (Pa)	Von mises (Pa)	Max Principal (Pa)	Mid Principal (Pa)	Min Principal (Pa)
-0.08	1.12E+08	2.15E+05	3.92E+06	1.10E+08	1.12E+08	4.18E+06	-4.69E+04
-0.06	1.84E+08	2.44E+05	4.46E+06	1.82E+08	1.84E+08	4.61E+06	9.49E+04
-0.04	2.34E+08	-1.48E+06	5.50E+06	2.32E+08	2.34E+08	5.86E+06	-1.84E+06
-0.02	2.36E+08	1.85E+05	4.16E+06	2.34E+08	2.36E+08	5.02E+06	-6.71E+05
0	2.22E+08	6.58E+06	8.68E+06	2.14E+08	2.22E+08	1.27E+07	2.60E+06
0.02	2.53E+08	1.73E+06	3.85E+06	2.50E+08	2.53E+08	5.50E+06	7.10E+04
0.04	2.45E+08	1.85E+06	2.13E+06	2.43E+08	2.45E+08	3.50E+06	4.85E+05
0.06	1.91E+08	-2.54E+05	1.17E+06	1.90E+08	1.91E+08	1.22E+06	-3.06E+05
0.08	1.09E+08	4.28E+04	1.55E+05	1.08E+08	1.09E+08	7.59E+05	-5.61E+05



Gambar 4.28 Grafik tegangan Von Mises sumbu Y variasi lebar

Dalam gambar 4.28 tersebut dapat diketahui bahwa tegangan Von Mises terbesar terjadi pada *tubular member* dengan variasi 20D. pada *tubular member* dengan variasi tersebut, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar $2.50E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini terletak sejauh 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.07E+08$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 10D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar $2.45E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini lokasi dengan jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.10E+08$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 15D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar $2.46E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini lokasi dengan jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.09E+08$ Pa. Pada *tubular member* dengan variasi 25D, tegangan terbesar terjadi pada lokasi dengan jarak 0.02 m dari pusat *dent* sebesar $2.50E+08$ Pa, sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada variasi ini pada jarak 0.08 m dari pusat *dent* yaitu sebesar $1.08E+08$ Pa. Dari grafik serta penjelasan ini, dapat diketahui bahwa semua variasi memiliki pola yang hamper mirip satu sama lain yaitu tegangan maksimal terletak pada posisi 0.2 m dari pusat *dent*, sedangkan tegangan minimal yang terjadi terletak pada posisi 0.4 m dari pusat *dent*

4.8 Analisa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member*

Setelah hasil permodelan variasi *longitudinal dent tubular member* selesai dibuat, Tahap selanjutnya adalah melauan *pushover analysis* untu mengetahui *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member*. Analisa dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap (*incremental*) pada *longitudinal dent tubular member* hingga model mengalami *error*

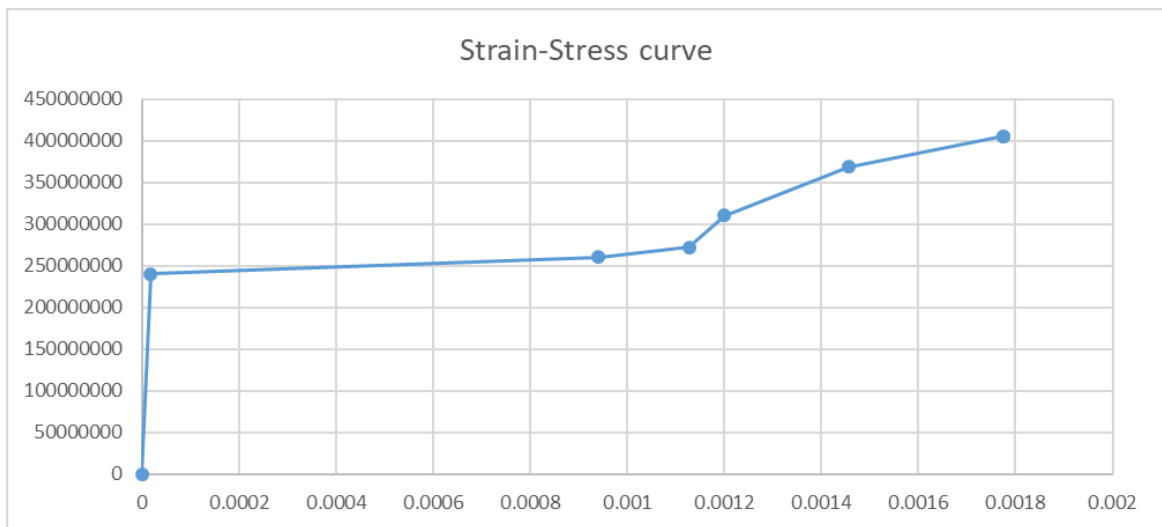
4.8.1 Variasi Kedalaman *Dent* 1D (5.08 mm)

Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan kedalaman 1D (5.08 mm) akan diberikan beban awal sebesar 9927 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan kedalaman *Dent* 1D (5.08 mm) adalah sebagai berikut :

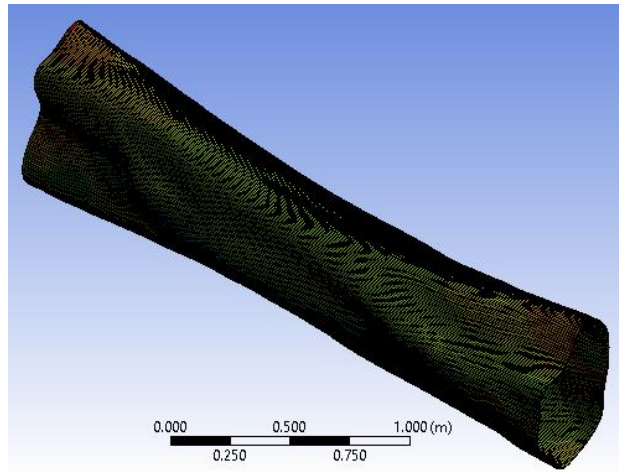
Tabel 4.18 *Output incremental load pada Variasi Dimensi Lebar Dent 1D (5.08 mm)*

variasi kedalaman 5.08 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
9927	1.78E-05	240
10927	9.41E-04	260
11927	1.13E-03	272
12927	1.20E-03	310
13927	1.46E-03	368
14027	1.78E-03	405
14127	1.78E-03	405

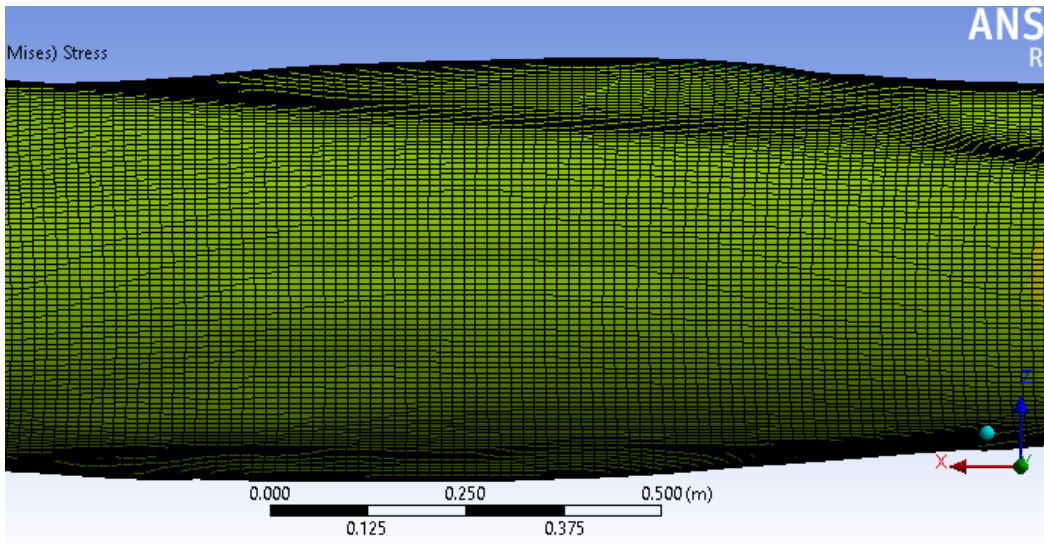
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 14127$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 14127 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 450 Mpa



Gambar 4.29 *Strain-Stress Curve untuk Variasi Kedalaman Dent 1D (5.08 mm)*



Gambar 4.30 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 1D (5.08 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.31 Distribusi tegangan pada area *Dent* dengan Variasi Kedalaman *Dent* 1D (5.08 mm) saat akan mengalami *Collapse*

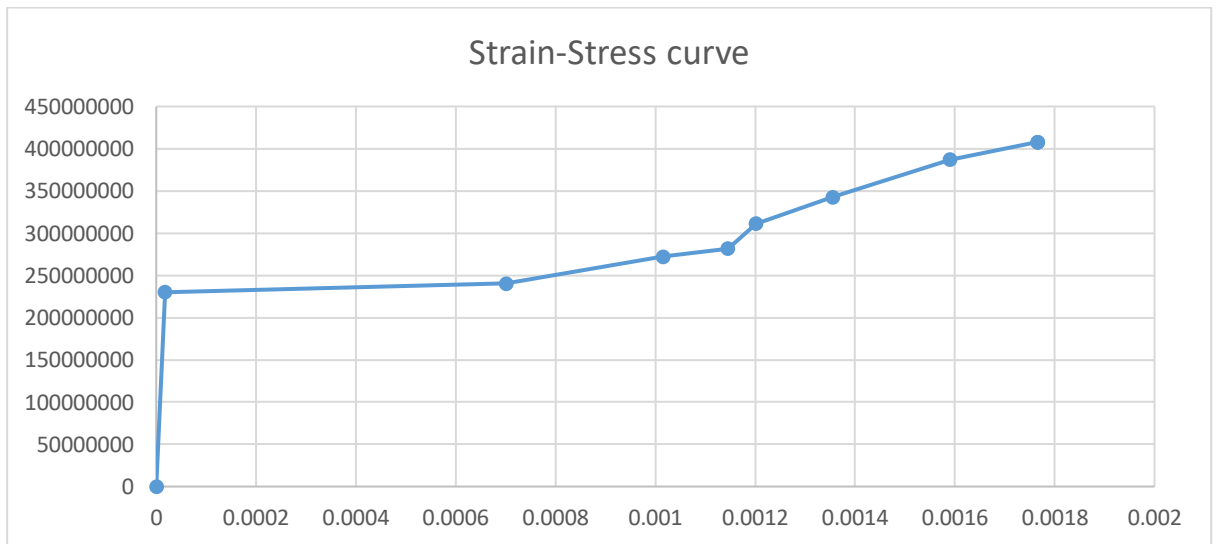
4.8.2 Variasi Kedalaman *Dent* 2D (10.16 mm)

Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan kedalaman 2D (10.16 mm) akan diberikan beban awal sebesar 9168 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan kedalaman *Dent* 2D (10.16 mm) adalah sebagai berikut :

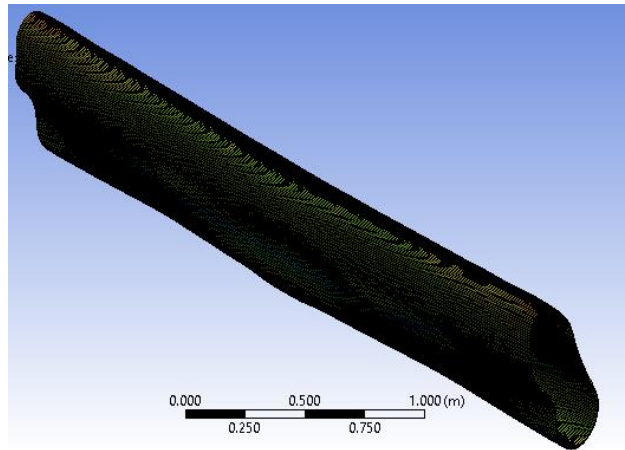
Tabel 4.19 *Output incremental load pada Variasi Dimensi Lebar Dent 2D (10.16 mm)*

variasi kedalaman 10.16 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
9168	1.77E-05	230
10168	7.01E-04	240
11168	1.02E-03	272
12168	1.15E-03	282
13168	1.20E-03	311
13268	1.36E-03	343
13368	1.59E-03	387
13468	1.77E-03	408
13568	1.77E-03	408

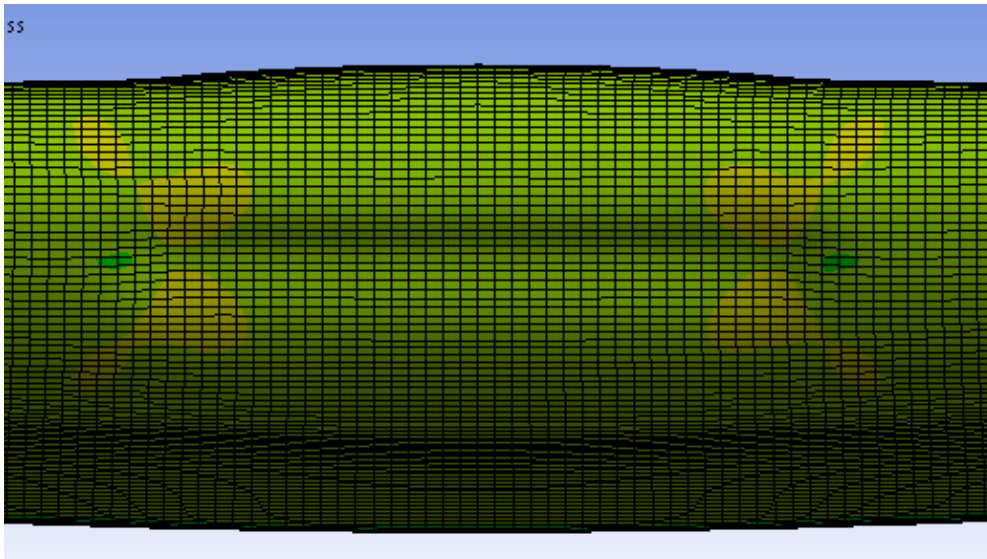
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 13568$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 13568 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 408 Mpa



Gambar 4.32 *Strain-Stress Curve untuk Variasi Kedalaman Dent 2D (10.16 mm)*



Gambar 4.33 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 2D (10.16 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.34 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 2D (10.16 mm) saat akan mengalami *Collapse*

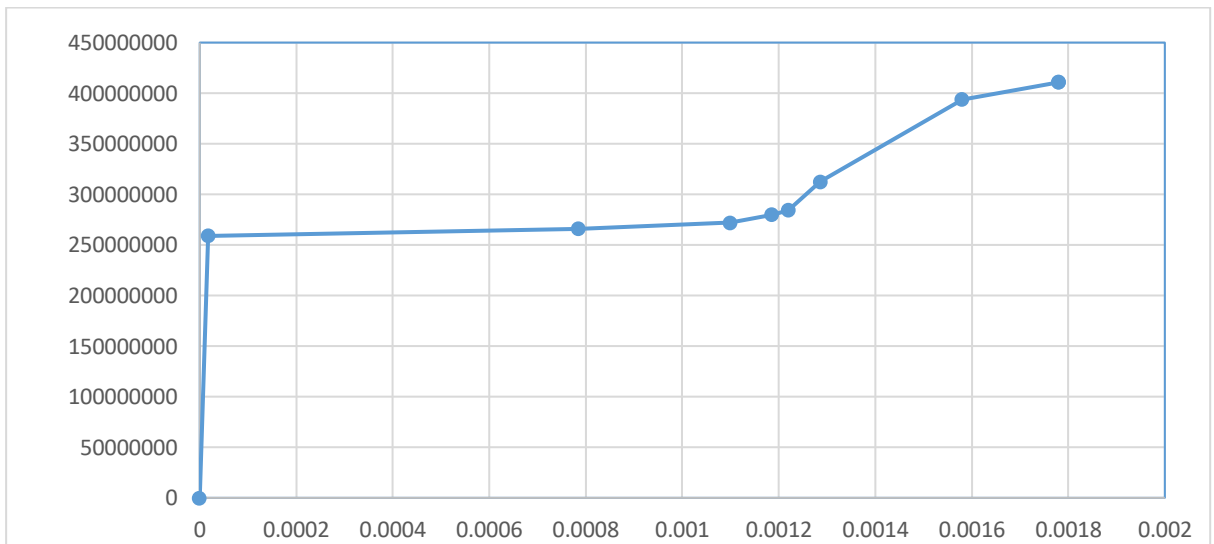
4.8.3 Variasi Kedalaman *Dent* 3D (15.24 mm)

Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan kedalaman 3D (15.24 mm) akan diberikan beban awal sebesar 7728 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan kedalaman *Dent* 3D (15.24 mm) adalah sebagai berikut :

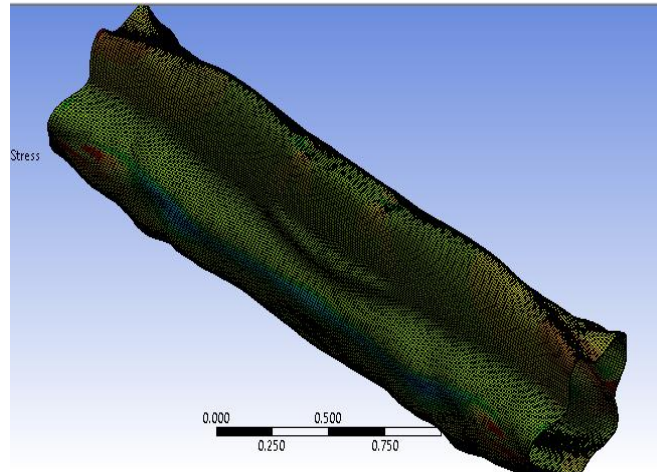
Tabel 4.20 *Output incremental load pada Variasi Dimensi Lebar Dent 3D (15.24 mm)*

variasi kedalaman 15.24 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
7728	1.78E-05	259
8728	7.84E-04	266
9728	1.10E-03	272
10728	1.19E-03	280
11728	1.22E-03	284
11828	1.29E-03	313
11928	1.58E-03	394
12028	1.78E-03	411
12128	1.78E-03	411

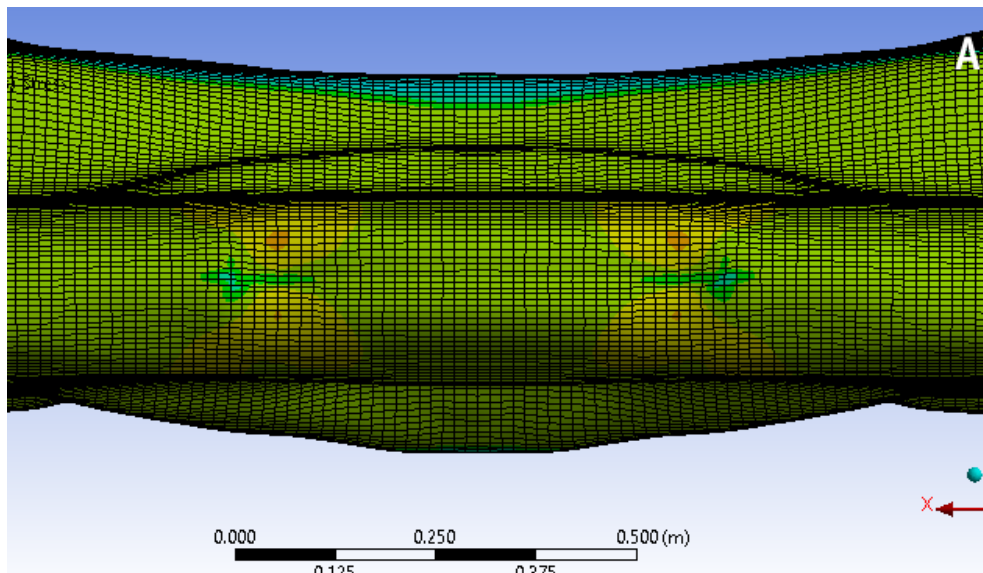
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 12128$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 12128 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 411 Mpa



Gambar 4.35 *Strain-Stress Curve untuk Variasi Kedalaman Dent 3D (15.24 mm)*



Gambar 4.36 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 3D (15.24 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.37 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 3D (15.24 mm) saat akan mengalami *Collapse*

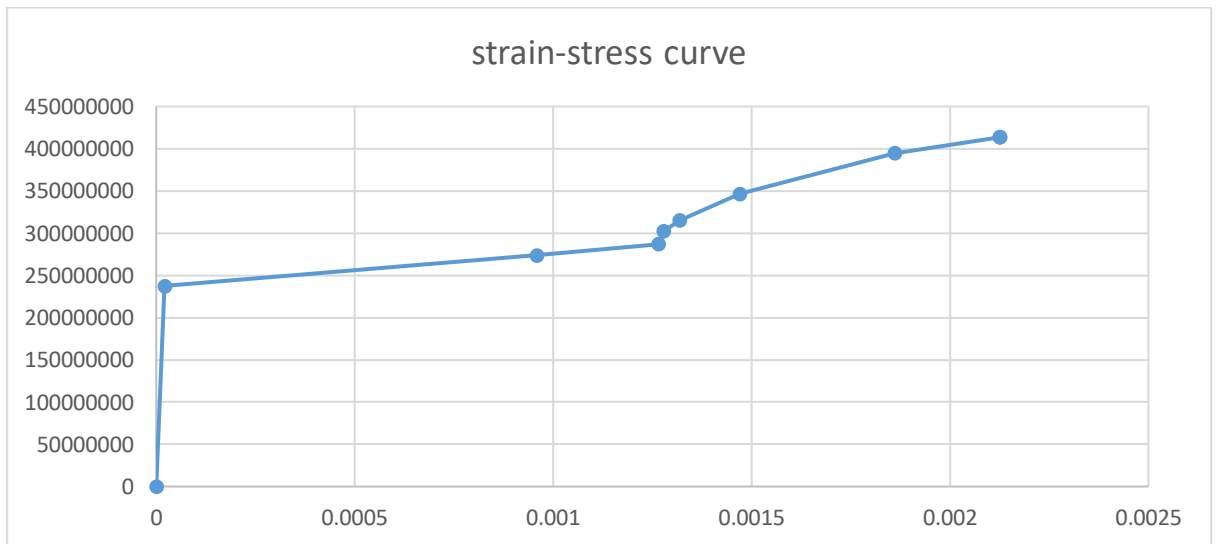
4.8.4 Variasi Kedalaman *Dent* 4D (20.32 mm)

Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan kedalaman 4D (20.32 mm) akan diberikan beban awal sebesar 6674 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan Kedalaman *Dent* 4D (20.32 mm) adalah sebagai berikut :

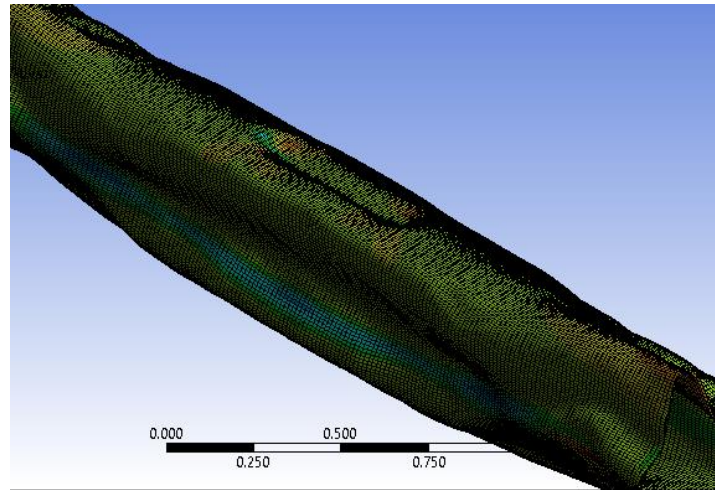
Tabel 4.21 *Output incremental load pada Variasi Dimensi Lebar Dent 4D (20.32 mm)*

variasi kedalaman 20.32 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
6774	2.13E-05	237
7774	9.59E-04	274
8774	1.27E-03	287
9774	1.28E-03	302
10774	1.32E-03	315
10874	1.47E-03	347
10974	1.86E-03	395
11074	2.13E-03	414
11174	2.13E-03	414

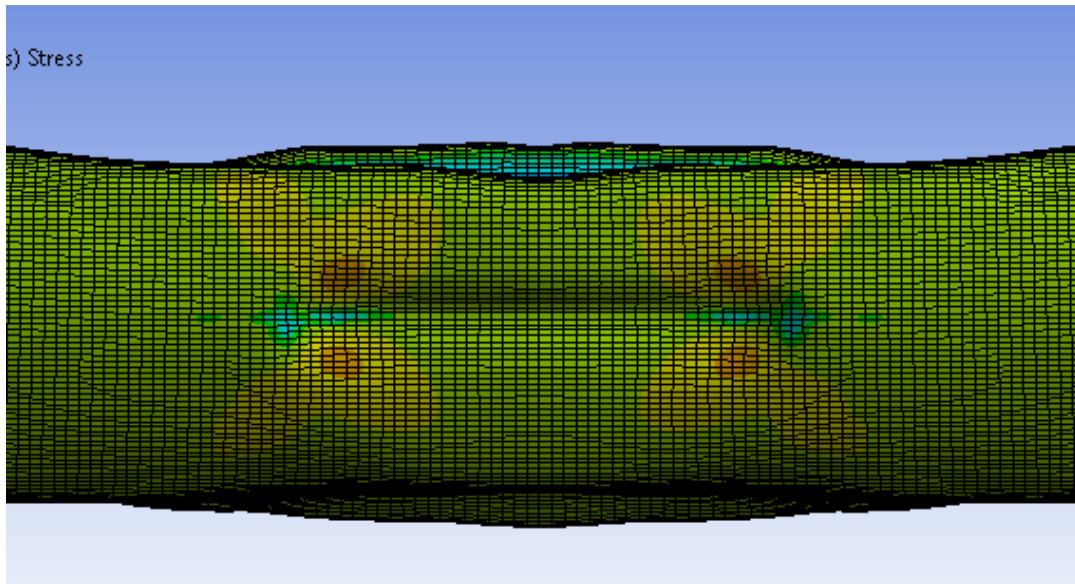
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 11174$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 11174 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 414 Mpa



Gambar 4.38 *Strain-Stress Curve untuk Variasi Kedalaman Dent 4D (20.32 mm)*



Gambar 4.39 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 4D (20.32 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.40 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 4D (20.32 mm) saat akan mengalami *Collapse*

4.8.5 Variasi Lebar *Dent* 10D (51.188 mm)

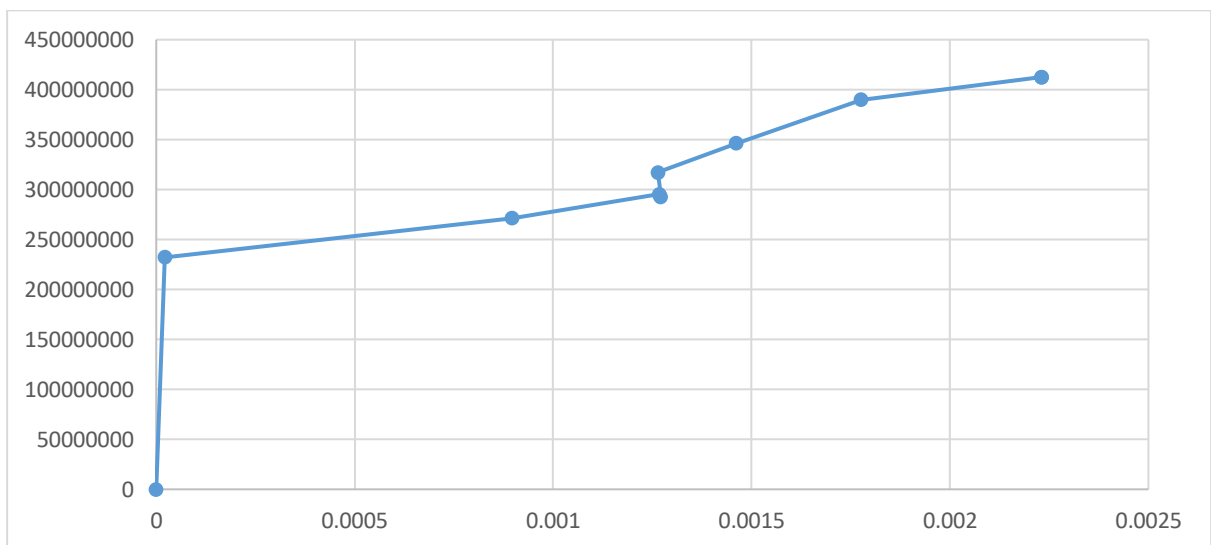
Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan Lebar *Dent* 10D (51.188 mm) adalah sebagai berikut : Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan lebar 10D (51.188 mm) akan diberikan beban awal sebesar 9435 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis*

pada model variasi dengan Lebar *Dent* 10% D (51.188 mm) adalah sebagai berikut :

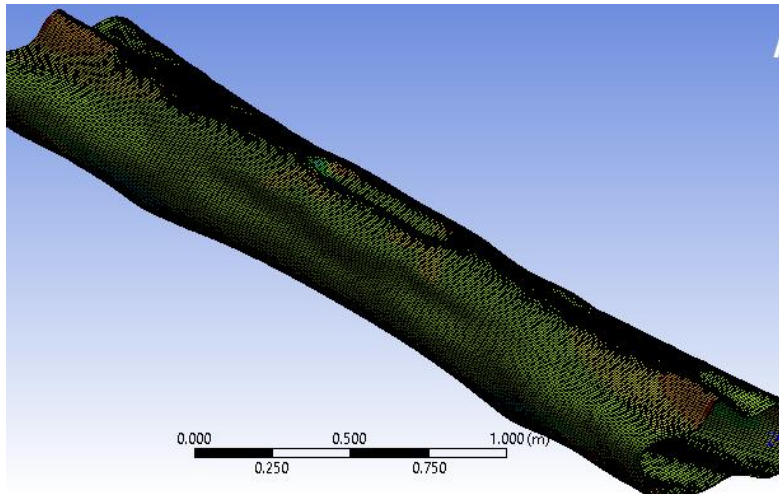
Tabel 4.22 *Output incremental load* pada Variasi Dimensi Lebar *Dent* 10D (51.188 mm)

variasi lebar 51.188 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
9435	2.23E-05	232
10435	8.97E-04	271
11435	1.27E-03	295
12435	1.27E-03	293
13435	1.26E-03	317
13535	1.46E-03	346
13635	1.78E-03	390
13735	2.23E-03	413
13835	2.23E-03	413

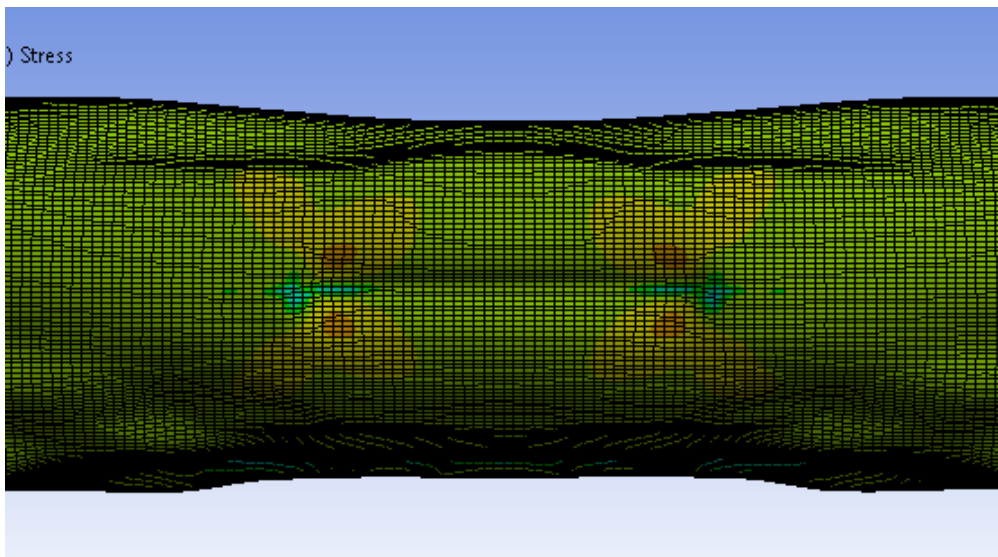
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 13835$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 13835 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 413 Mpa



Gambar 4.41 *Strain-Stress Curve* untuk Variasi Kedalaman *Dent* 10D (51.188 mm)



Gambar 4.42 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 10D (51.188 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.43 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 10D (51.188 mm) saat akan mengalami *Collapse*

4.8.6 Variasi Lebar *Dent* 15D (79.743 mm)

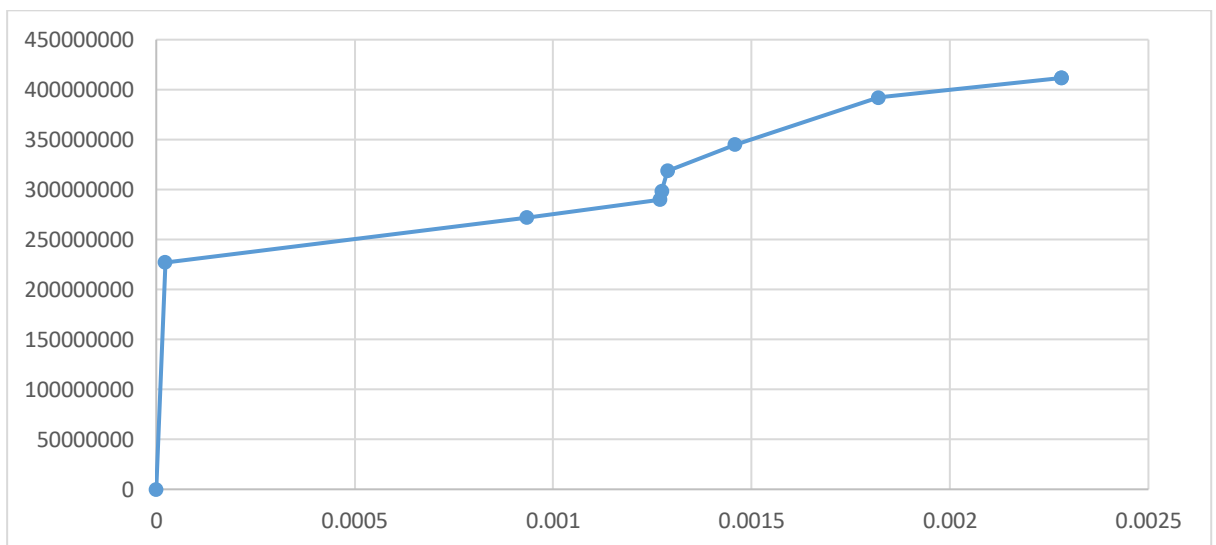
Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan Lebar *Dent* 15D (79.743 mm) adalah sebagai berikut : Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan lebar 15D (79.743 mm) akan diberikan beban awal sebesar 9037 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis*

pada model variasi dengan Lebar *Dent* 15D (79.743 mm) adalah sebagai berikut :

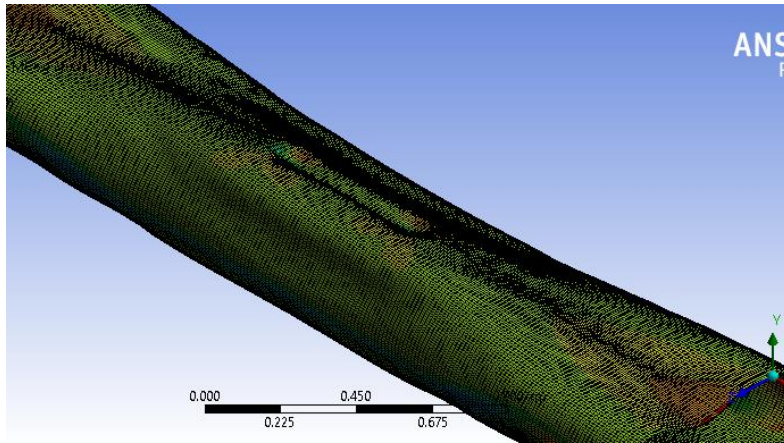
Tabel 4.23 *Output incremental load* pada Variasi Dimensi Lebar *Dent* 15D (79.743 mm)

variasi lebar 79.743 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
9037	2.23E-05	229
10037	9.28E-04	273
11037	1.27E-03	290
12037	1.28E-03	300
13037	1.30E-03	319
13137	1.46E-03	345
13237	1.83E-03	393
13337	2.29E-03	412
13437	2.29E-03	412

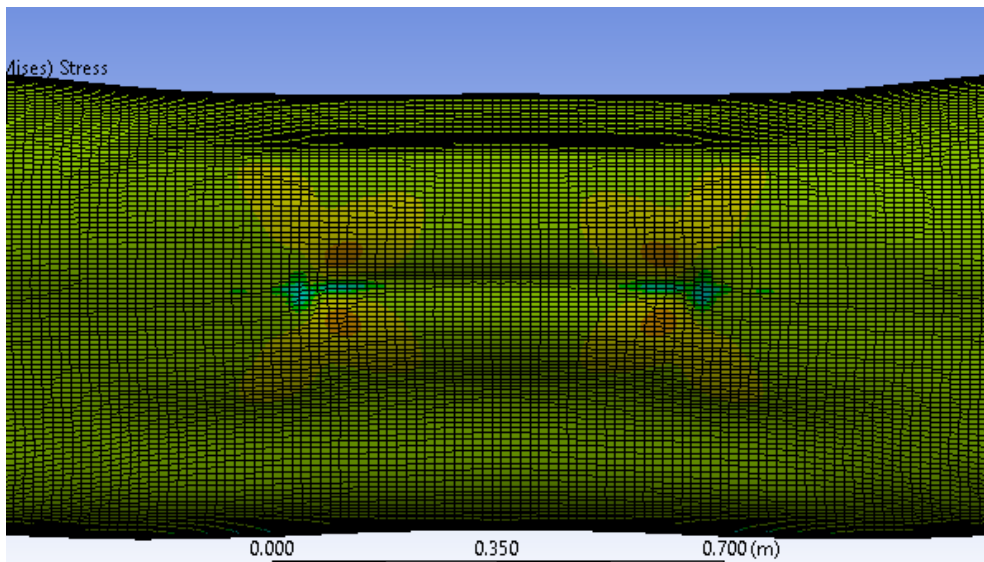
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 13473$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 13473 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 412 Mpa



Gambar 4.44 *Strain-Stress Curve* untuk Variasi Kedalaman *Dent* 15D (79.743 mm)



Gambar 4.45 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 15D (79.743 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.46 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 15D (79.743 mm) saat akan mengalami *Collapse*

4.8.7 Variasi Lebar *Dent* 20D (101.19 mm)

Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan Lebar *Dent* 20D (101.19 mm) adalah sebagai berikut : Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan lebar 20D (101.19 mm) akan diberikan beban awal sebesar 8461 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis*

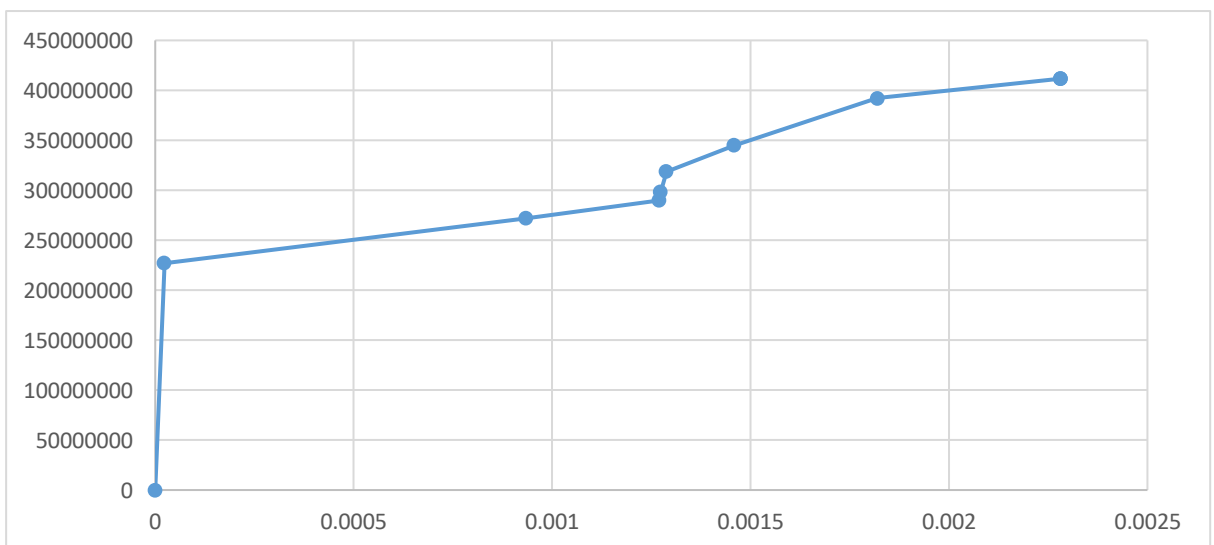
pada model variasi dengan Lebar *Dent* 20D (101.19 mm) adalah sebagai berikut :

:

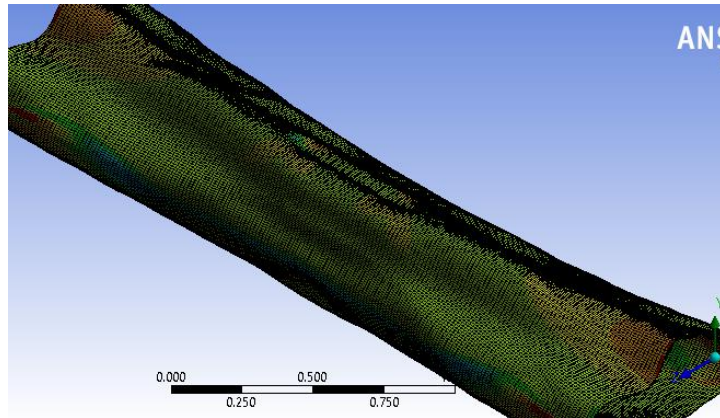
Tabel 4.24 *Output incremental load* pada Variasi Dimensi Lebar *Dent* 20D (101.19 mm)

variasi lebar 101.19 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (MPa)
0	0	0
8461	2.28E-05	227
9461	9.34E-04	272
10461	1.27E-03	290
11461	1.27E-03	299
12461	1.29E-03	319
12561	1.46E-03	345
12661	1.82E-03	392
12761	2.28E-03	412
12861	2.28E-03	412

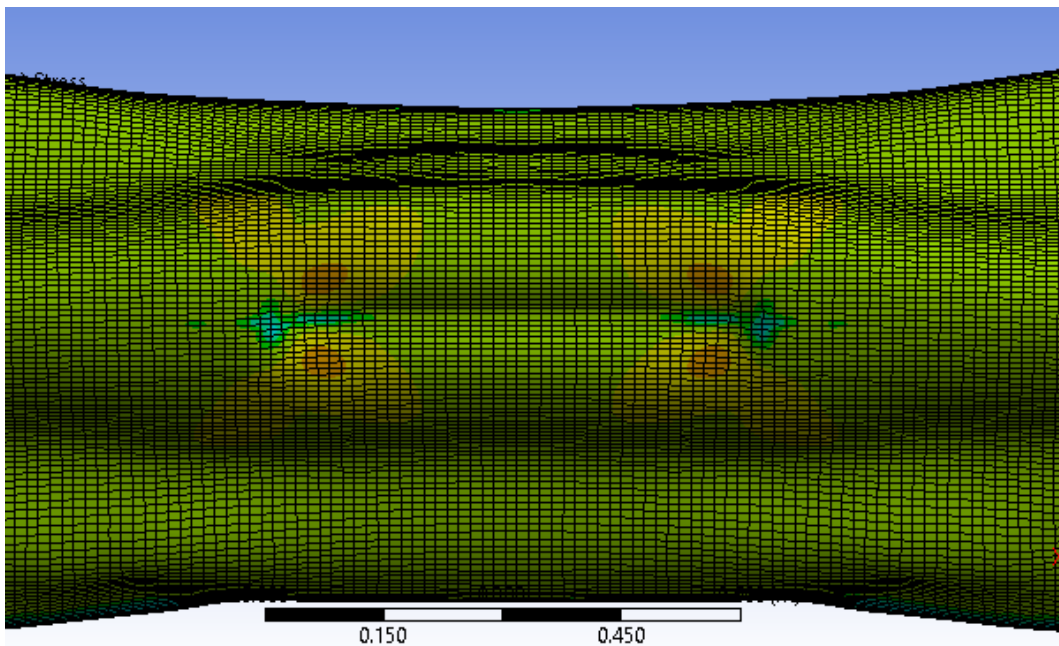
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 12861$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 12861 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 412 Mpa



Gambar 4.47 *Strain-Stress Curve* untuk Variasi Kedalaman *Dent* 20D (101.19 mm)



Gambar 4.48 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 20D (101.19 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.49 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 20D (101.19 mm) saat akan mengalami *Collapse*

4.8.8 Variasi Lebar *Dent* 25D (128.016 mm)

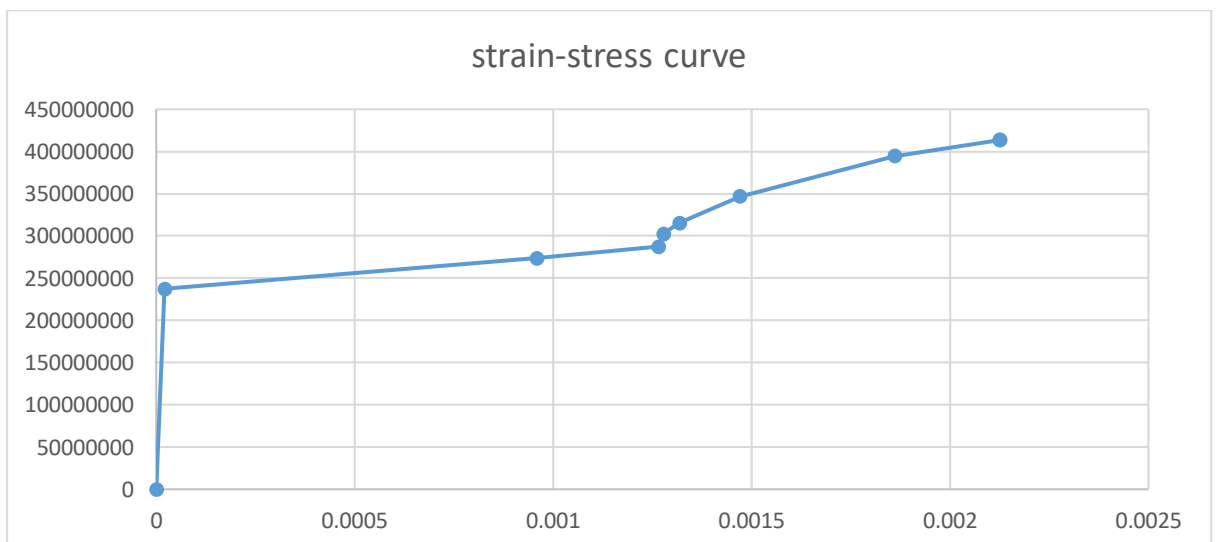
Hasil permodelan dari *tubular member* yang mengalami *longitudinal dented* dengan lebar 25D (128.016 mm) akan diberikan beban awal sebesar 6774 kN, kemudian beban akan ditambahkan secara bertahap hingga model mengalami *error* yang berarti model tersebut telah

mengalami *collapse*. Hasil dari *pushover analysis* pada model variasi dengan Lebar *Dent* 25D (128.016 mm) adalah sebagai berikut :

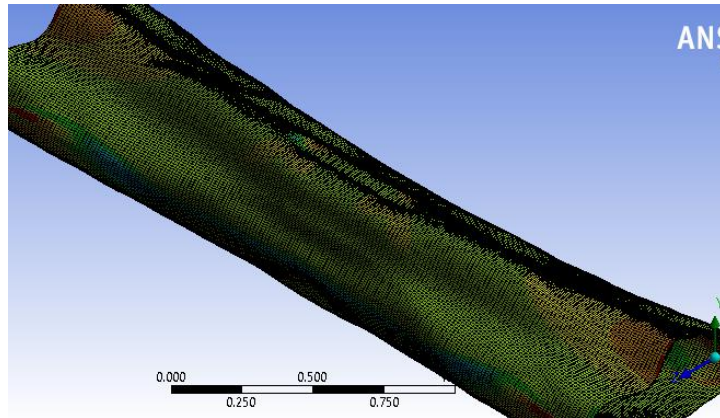
Tabel 4.25 *Output incremental load* pada Variasi Dimensi Lebar *Dent* 25D (128.016 mm)

variasi lebar 128.016 mm		
Fu (kN)	ϵ_{eq} plastic max (m/m)	σ_{eq} max (Pa)
0	0	0
6774	2.13E-05	237
7774	9.59E-04	274
8774	1.27E-03	287
9774	1.28E-03	302
10774	1.32E-03	315
10874	1.47E-03	3.47
10974	1.86E-03	395
11074	2.13E-03	414
11174	2.13E-03	414

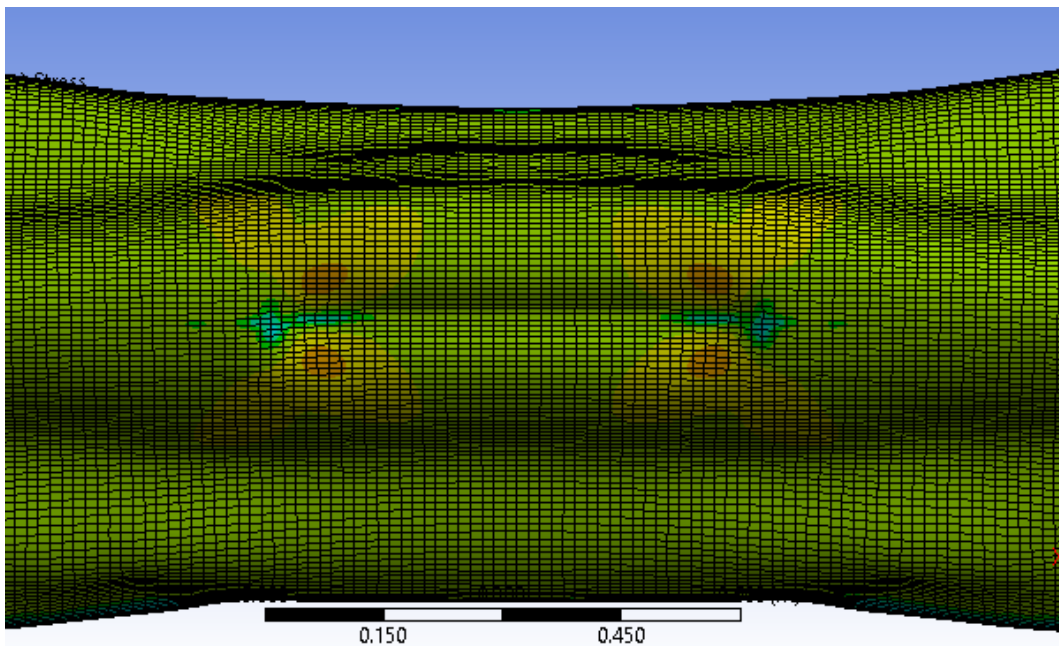
Saat dilakukan *pushover analysis*. Model akan mengalami *error* pada saat $F_u = 11174$ kN. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa *Ultimate strength* dari *longitudinal dent tubular member* variasi tersebut adalah adalah 11174 kN dengan tegangan ekuivalen maksimal (σ_{eq} max) adalah 414 Mpa



Gambar 4.50 *Strain-Stress Curve* untuk Variasi Kedalaman *Dent* 25D (128.016 mm)



Gambar 4.51 Hasil Permodelan untuk Variasi Kedalaman *Dent* 25D (128.016 mm) saat akan mengalami *Collapse*



Gambar 4.52 Distribusi tegangan pada area Variasi Kedalaman *Dent* 25D (128.016 mm) saat akan mengalami *Collapse*

4.9 Analisa Persentase Penurunan *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member*

Setelah *pushover analysis* dilakukan, didapatkan *ultimate strength* dari masing-masing variasi pada *Longitudinal Dent Tubular Member*. Dengan demikian dapat diketahui persentase penurunan *ultimate strength* dari masing-masing variasi pada *Longitudinal Dent Tubular Member* dengan cara membandingkan *ultimate strength* dari masing-masing

variasi pada *Longitudinal Dent Tubular Member* dengan *tubular member* yang belum mengalami *dent*. Berikut adalah persentase penurunan *ultimate strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member* dengan variasi kedalaman *dent* :

Tabel 4.26 Persentase Penurunan *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member* dengan variasi kedalaman *dent*

kedalaman	Fu	% penurunan ultimate strength
0	14451	0
5.08	14127	2.242059373
10.32	13568	6.110303785
15.24	12128	16.07501211
20.32	11174	22.67663137

Berdasarkan **Tabel 4.26** dapat diketahui pengaruh kedalaman *dent* terhadap *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member*. Semakin besar kedalaman *dent* maka semakin besar persentase penurunan *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member*. Sedangkan pengaruh lebar *dent* terhadap *ultimate strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member* adalah sebagai berikut

Tabel 4.27 Persentase Penurunan *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member* dengan variasi kedalaman *dent*

lebar	Fu	% penurunan ultimate strength
0	14451	0
51.188	13835	4.262680783
79.743	13437	7.016815445
101.19	12861	11.00269878
128.016	11174	22.67663137

Berdasarkan **Tabel 4.27** dapat diketahui pengaruh lebar *dent* terhadap *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member*. Semakin besar lebar *dent* maka semakin besar persentase penurunan *Ultimate Strength* pada *Longitudinal Dent Tubular Member*

4.10 Analisa Non Dimensional Parameter

Analisa non dimensional parameter ini digunakan untuk mengetahui hubungan dari variabel pada dimensi geometri *dent* terhadap variabel pada dimensi *tubular member*.

Variabel dimensi geometri *dent* yang digunakan pada analisa ini adalah variabel kedalaman (d) dan lebar (w) dari *dent*, sementara variabel dimensi *tubular member* yang digunakan dalam analisa berikut adalah *Outside diameter* (D) dan ketebalan (t) pada *tubular member*. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan masing-masing variabel geometri *dent* dengan masing-masing variabel dimensi *tubular member*, kemudian hasil perbandingan tersebut akan dibuat menjadi grafik yang berhubungan dengan *ultimate strength*.

Tabel 4.28 Variasi Dimensi *Dent*

kedalaman (mm)	lebar (mm)
5.08	51.188
1.016	79.743
1.524	101.19
2.032	128.016

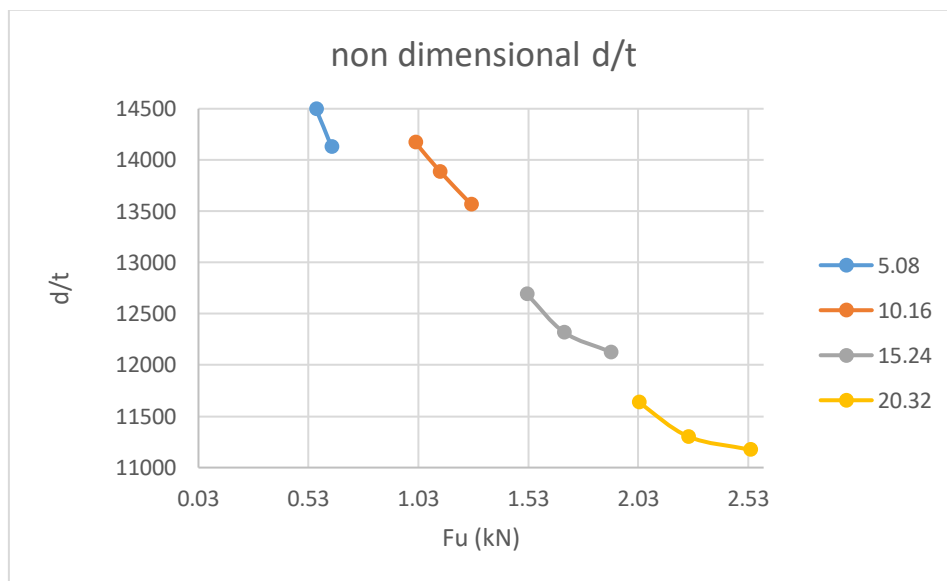
Tabel 4.29 Variasi Dimensi *Tubular Member*

<i>Outside diameter</i> (mm)	ketebalan (mm)
503	8
508	9
513	10

Hasil yang didapatkan dari analisa ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.30 *Output ultimate strength* variasi kedalaman *dent*
Dan ketebalan *tubular member*

d (mm)	t(mm)	d/t	Fu (kN)
5.08	8	0.635	14127
	9	0.564444444	14496
	10	0.508	14732
10.16	8	1.27	13568
	9	1.12888889	13887
	10	1.016	14172
15.24	8	1.905	12128
	9	1.69333333	12319
	10	1.524	12691
20.32	8	2.54	11174
	9	2.25777778	11303
	10	2.032	11637

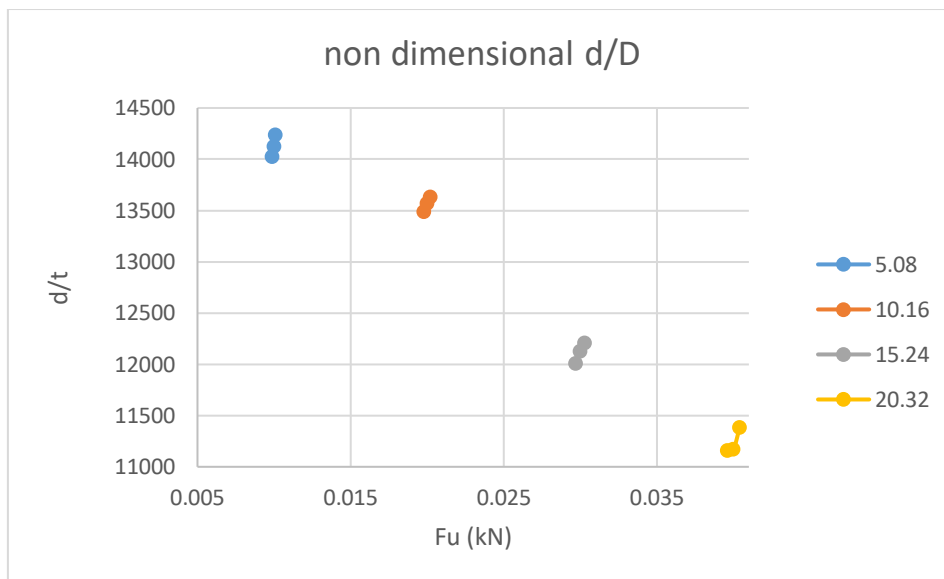


Gambar 4.53 Grafik Non Dimensional Parameter d/t

Hasil untuk *tubular member* yang divariasikan *outside* diameter dan kedalaman dent nya yang didapatkan dari analisa ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.31 *Output ultimate strength* variasi kedalaman *dent* Dan *outside diameter tubular member*

d (mm)	D(mm)	d/t	Fu (kN)
5.08	503	0.010099	14240
	508	0.01	14127
	513	0.009903	14027
10.16	503	0.020199	13630
	508	0.02	13568
	513	0.019805	13490
15.24	503	0.030298	12205
	508	0.03	12128
	513	0.029708	12009
20.32	503	0.040398	11381
	508	0.04	11174
	513	0.03961	11160

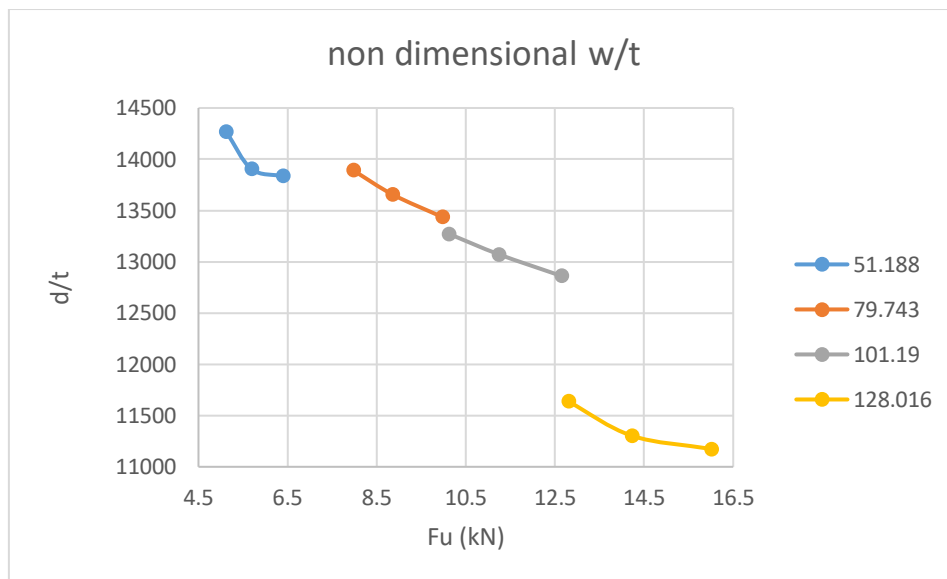


Gambar 4.54 Grafik Non Dimensional Parameter d/D

Hasil untuk *tubular member* yang divariasikan ketebalan dan lebar *dent* nya yang didapatkan dari analisa ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.32 *Output ultimate strength variasi lebar dent*
Dan ketebalan *tubular member*

w (mm)	t(mm)	w/t	Fu (kN)
51.188	8	6.3985	13835
	9	5.68755556	13905
	10	5.1188	14271
79.743	8	9.967875	13437
	9	8.86033333	13655
	10	7.9743	13891
101.19	8	12.64875	12861
	9	11.24333333	13072
	10	10.119	13272
128.016	8	16.002	11174
	9	14.224	11303
	10	12.8016	11637

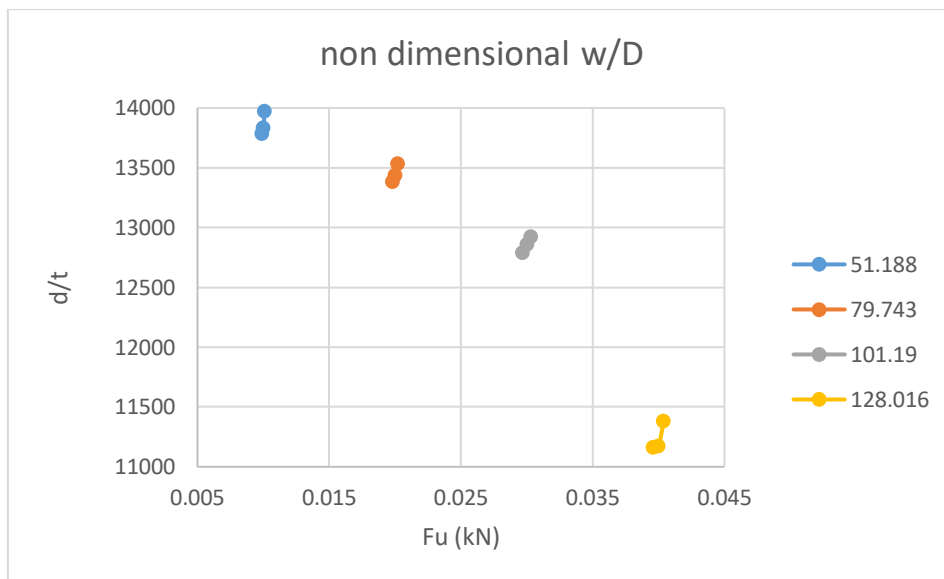


Gambar 4.55 Grafik Non Dimensional Parameter w/t

Hasil untuk *tubular member* yang divariasikan *outside* diameter dan lebar dent nya yang didapatkan dari analisa ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.33 *Output ultimate strength variasi lebar dent*
Dan *outside diameter tubular member*

w (mm)	D(mm)	w/D	Fu (kN)
51.188	503	0.010099	13971
	508	0.01	13835
	513	0.009903	13784
79.743	503	0.020199	13532
	508	0.02	13437
	513	0.019805	13383
101.19	503	0.030298	12923
	508	0.03	12861
	513	0.029708	12790
128.016	503	0.040398	11381
	508	0.04	11174
	513	0.03961	11160



Gambar 4.56 Grafik Non Dimensional Parameter w/D

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yaitu:

1. Secara *radial* dan *longitudinal*, tegangan Von-Mises paling rendah pada area *dent* terletak tepat di pusat *dent*. Semakin jauh dari pusat *dent*, tegangan Von-Mises akan semakin meningkat dan puncaknya tegangan Von-Mises tertinggi terjadi tepat pada batas antara area yang terkena *dent* dan tidak terkena *dent*. tegangan Von-Mises akan kembali semakin turun ketika menjauhi area *dent*.
2. *Tubular member* yang mengalami *longitudinal dent* dengan kedalaman *dent* 5.08 mm memiliki *ultimate strength* sebesar 14127 kN dan *ultimate strength* pada *longitudinal dent tubular member* dengan kedalaman *dent* 10.16 mm adalah sebesar 13568 kN. Untuk *longitudinal dent tubular member* dengan kedalaman *dent* 15.24 mm, *ultimate strengthnya* adalah sebesar 12128 kN. Lalu *ultimate strength* pada *longitudinal dent tubular member* dengan kedalaman *dent* 20.32 mm adalah sebesar 11174 kN. Dari sini dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari kedalaman *longitudinal dent* terhadap kapasitas maksimal (*ultimate strength*) dari *tubular member* adalah semakin besar kedalaman dari *longitudinal dent* maka *ultimate strength* dari *tubular member* akan semakin kecil.
3. Presentase penurunan *ultimate strength longitudinal dented member* pada kedalaman 5.08 mm adalah sebesar 2.24 % dan untuk kedalaman 10.16 mm presentase penurunan *ultimate strength* mencapai 6.11 %. Lalu terjadi kenaikan drastis pada presentase penurunan untuk kedalaman 15.24 mm hingga presentase penurunannya mencapai 16.08 %. Dan yang terakhir presentase penurunan pada kedalaman 20.32 mm sebesar 22.67 %. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat penurunan *ultimate strength* semakin besar seiring bertambahnya kedalaman dari *longitudinal dent* pada *tubular member*.
4. *Tubular member* yang mengalami *longitudinal dent* dengan lebar *dent* 58.188 mm memiliki *ultimate strength* sebesar 13835 kN dan *ultimate strength* pada *longitudinal dent tubular member* dengan lebar *dent* 79.743 mm adalah sebesar 13437 kN. Untuk *longitudinal dent tubular member* dengan lebar *dent* 101.19 mm, *ultimate strengthnya* adalah sebesar 12861 kN. Lalu *ultimate strength* pada *longitudinal dent tubular*

member dengan lebar *dent* 128.016 mm adalah sebesar 11174 kN. Dari sini dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari lebar *longitudinal dent* terhadap kapasitas maksimal (*ultimate strength*) dari *tubular member* adalah semakin besar lebar dari *longitudinal dent* maka *ultimate strength* dari *tubular member* akan semakin kecil.

5. Presentase penurunan *ultimate strength longitudinal dented member* pada lebar 51.188 mm adalah sebesar 4.26 % dan untuk lebar 79.743 mm presentase penurunan *ultimate strength* mencapai 7.01 %. Lalu presentase penurunan untuk lebar 101.19 mm hingga adalah sebesar 11 %. Dan yang terakhir terjadi kenaikan presentase penurunan pada lebar 128.016 mm hingga presentase penurunannya mencapai 22.67 %. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat penurunan *ultimate strength* semakin besar seiring bertambahnya lebar dari *longitudinal dent* pada *tubular member*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya agar:

1. Dilakukan analisa terkait *Ultimate Strength Longitudinal dented tubular member* dengan variasi yang menyebabkan *Large Deflection*. karena terjadinya *Large Deflection* pada *member* juga akan berpengaruh pada *Ultimate Strength* dari *member* tersebut
2. Dilakukan analisa terkait *Ultimate Strength Longitudinal dented tubular member* dengan variasi bentuk/geometri *indenter* yang berbeda karena luas permukaan kontak dari *indenter* akan mempengaruhi bentuk dari *dent* yang terjadi. bentuk dari *dent* yang terjadi pada *member* akan mempengaruhi distribusi tegangannya sehingga perlu dilakukan analisa terkait
3. Dilakukan analisis terkait perbandingan umur kelelahan *member* dalam kondisi *undamaged* dan *damaged (dent)*.

Daftar Pustaka

- Allouti, M. Schmitt, C. Pluvineau, G. Gilgert, J. Hariri, S. 2012. **Study of the influence of dent depth on the critical pressure of pipeline**. Amsterdam: Elsevier
- API RP 2A LRFD. 2000. **Recommended Practice For Planning, Designing & Constructing Fixed Offshore Platforms-Load and Resistance Factor Design**, 21th Edition, American Petroleum Institute
- API RP 2A WSD. 2000. **Recommended Practice For Planning, Designing & Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design**, 21th Edition, American Petroleum Institute
- Arianto, Dedie. 2010. **Analisa Keandalan pada Dented Pipe di Sisi NUBI Field Total E&P Indonesia**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Azadeh, Mohamad & Taheri, Farid . 2016. **On the response of dented stainless-steel pipes subject to cyclic bending moments and its prediction** Amsterdam: Elsevier
- Cai, Jie. Jiang, Xiaoli. Lodewijks, Gabriel. Pei, Zhiong. Zhu, Ling. 2019. **Experimental Investigation of Residual Ultimate Strength of Damaged Metallic Pipelines**. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering
- Chakrabarti, S. K. 2005. **Handbook of Offshore Engineering**. Amsterdam: Elsevier.
- Det Norske Veritas. 2000. **Dnv-OS-F101: Submarine Pipeline System**.
- Doretha. 2007. **Analisa Pengaruh Dent pada Struktur Pipa Bawah Laut terhadap Integritas Pipa**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Durkin, S. An Analytical Method for Predicting the Ultimate Capacity of *dented Tubular member*, **Intern. Journal of Mach. Sciences**, Vol. 29, no 7, 1987, pp 449-469
- Gere, James M & Timoshenko, S. 1990. **Mechanics of Materials**, 3rd Edition . UK :PWS-ENG
- Han, Chuanjun. Tan, Sisi. Zhang, Jie. Zhang, Chuan. 2018. **Simulation Investigation of Dent Behavior of Steel Pipe Under External Load**. Amsterdam: Elsevier.
- Kusumalarnanto. 2004. **Analisa Dent yang Terjadi Pada Tubular member Bracing Jacket SWP K**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Masykur, M.A. 2015. **Analisa Resiko Kegagalan Struktur Fixed Jacket Platform dalam Damaged Condition**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- NORSOK N-004. 2004. **Design of Steel Structures**. The Norwegian Oil Industry Association, Norway
- Nuriman, Fahmi. 2012. **Analisis Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform akibat Penambahan Conductor dan Deck Extension**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pacheco, L.A. & S. Durkin. 1986 .**Denting And Collapse Of Tubular members - A Numerical And Experimental Study**. Netherland. Koninklijke/Shell Exploratie en Productie.
- Pinheiro, B. Pasqualino, I. Cunha, S. 2014. **Fatigue Life Assessment of Damaged Pipelines Under Cyclic Internal Pressure: Pipelines with Longitudinal and Transverse Plain Dents**. Amsterdam: Elsevier.
- Popov, E.P., 1984. **Mekanika Teknik (*Mechanics of Materials*) Edisi Kedua**. Berkeley, California: Erlangga.
- Prakoso, A.B. 2016. **Analisa Pushover pada Pile ULA Jacket Platform Berdasarkan Beban Gempa SNI 2012**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ricles, J.M. Sooi, T.K. Bruin, W.M. 1994 **Experimental and Analytical Studies on the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Platform Bracing**. Texas : OTC
- Timoshenko, S., S. Woinowsky-Krieger. 1989. **Theory of Plates and Shells**. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Yudhistira. 2008. **Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket LWA Berbasis Resiko Dengan Microsas**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

LANGKAH-LANGKAH PEMODELAN

DAN ANALISIS MODEL *DENTED*

TUBULAR MEMBER

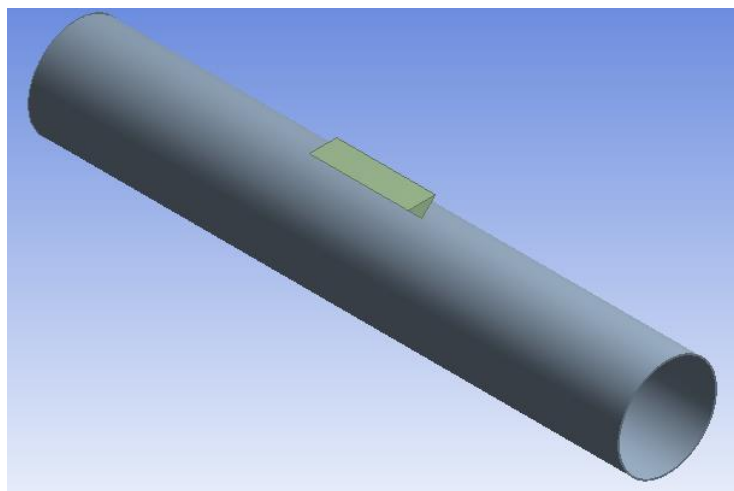
Outline of Schematic A2, B2, C2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
3	new material			
4	Structur Steel		General_Materials.xml	

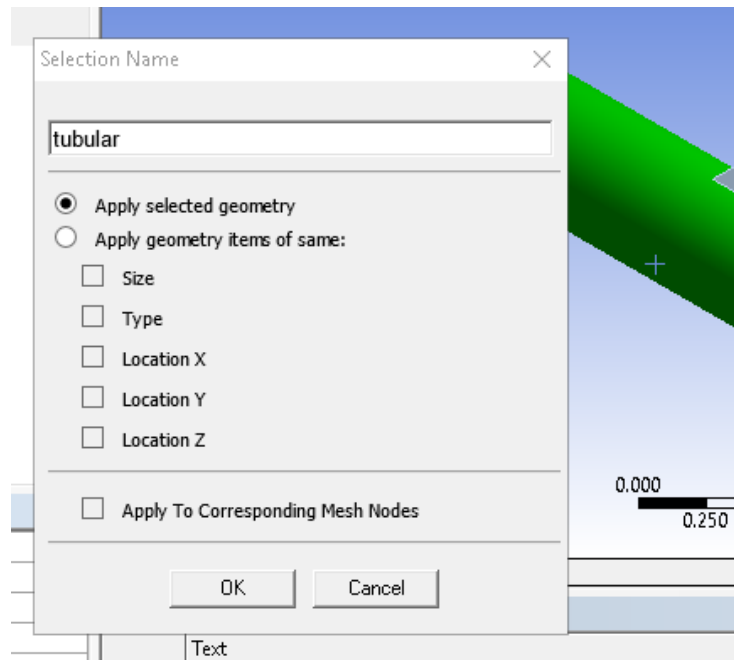
Properties of Outline Row 5: new material

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
5	Derive from	Young's Modu...			
6	Young's Modulus		Pa		
7	Poisson's Ratio				
8	Bulk Modulus		Pa		
9	Shear Modulus		Pa		
10	Bilinear Isotropic Hardening				
11	Yield Strength		Pa		
12	Tangent Modulus		Pa		
13	Tensile Yield Strength		Pa		
14	Compressive Yield Strength		Pa		
15	Tensile Ultimate Strength		Pa		
16	Compressive Ultimate Strength		Pa		

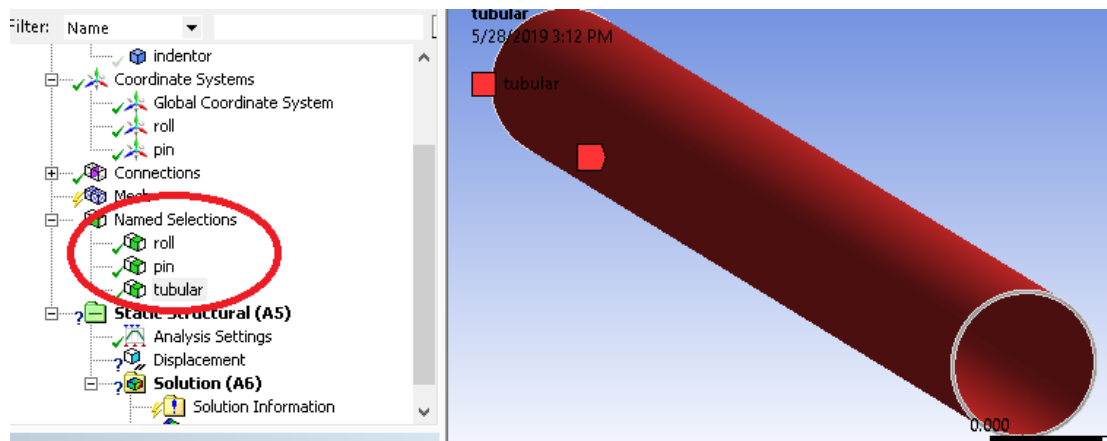
input material properties sesuai data



Hasil permodelan dengan Software Analisa Numerik



Tahap *Named Selection* pada *faces*



Hasil *Named Selection* pada *tubular member*

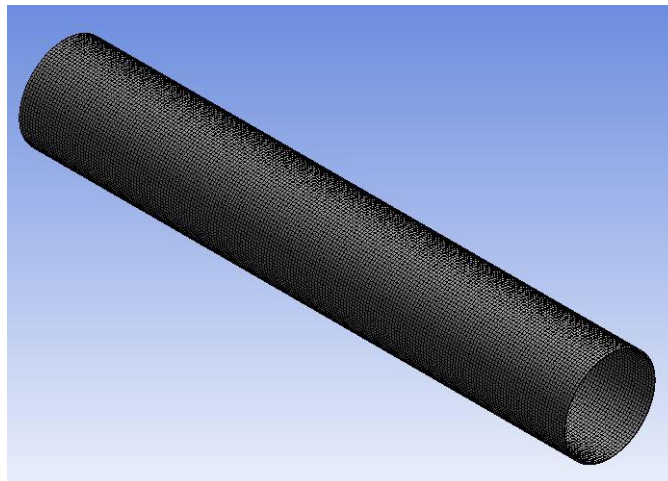
Mesh

- Face Sizing
- Named Selections
- Explicit Dynamics (B5)
 - Initial Conditions
 - Analysis Settings
 - Solution (B6)
 - Solution Information

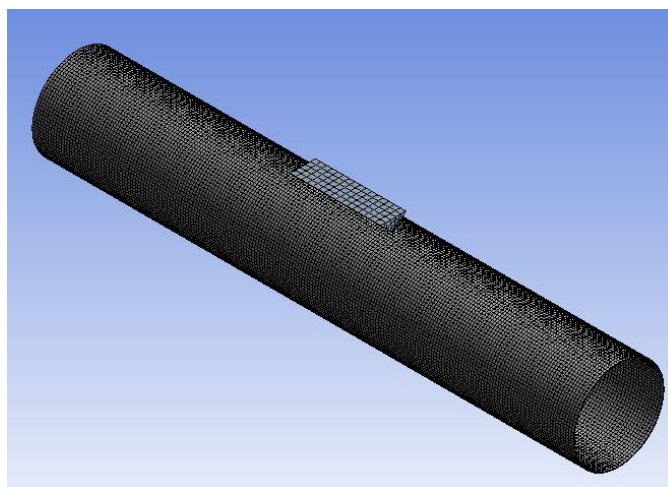
tails of "Face Sizing" - Sizing

Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	tubular
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	1.2e-002 m
Behavior	Soft

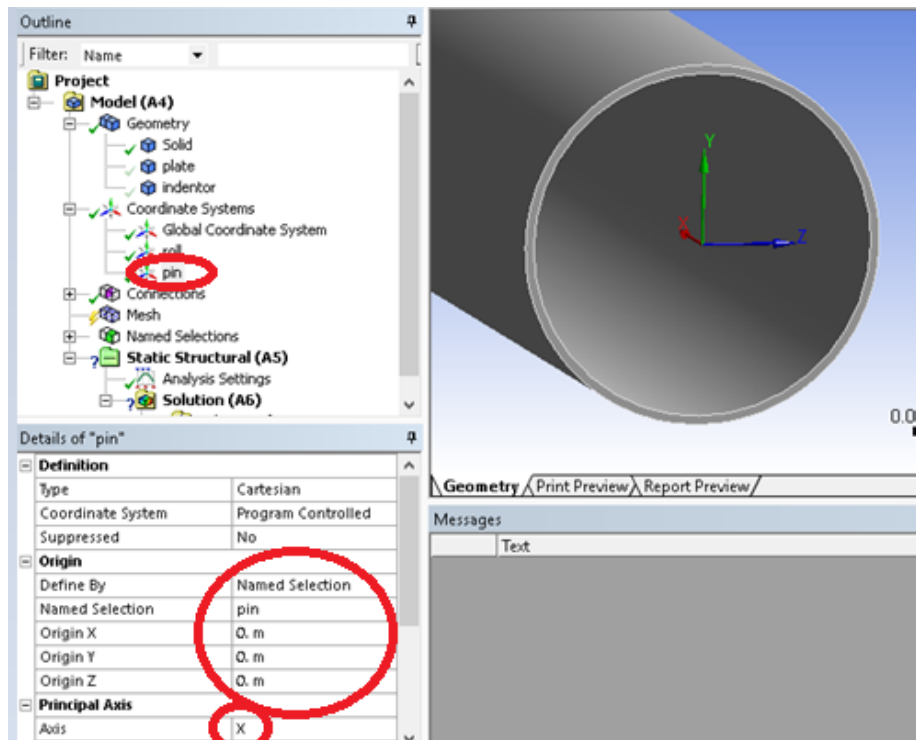
Menentukan ukuran element untuk *meshing*



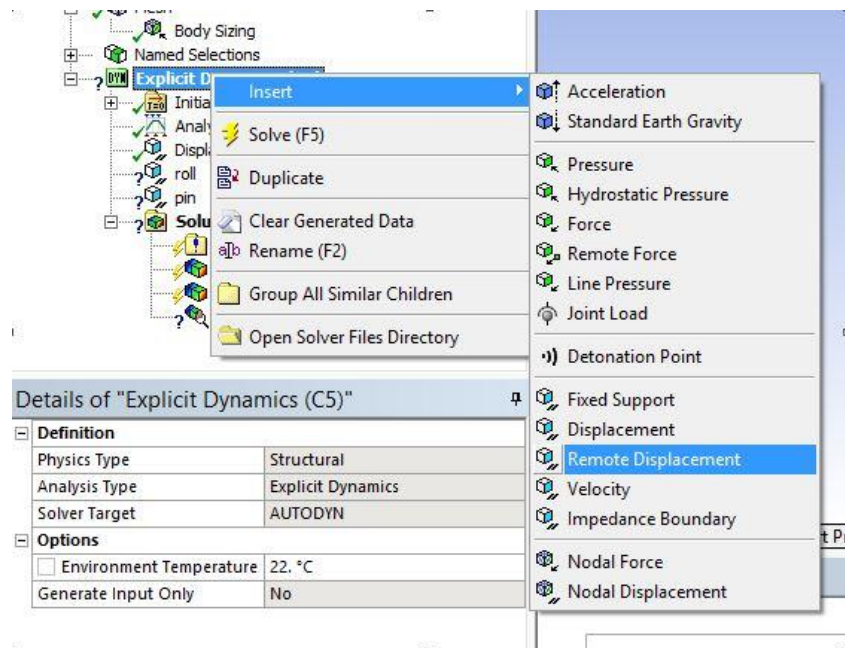
Hasil *Mesing* pada *tubular member*



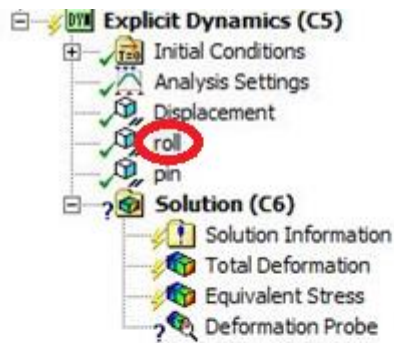
Hasil *Mesing* pada seluruh geometri



Penambahan koordinat pada ujung *tubular member*



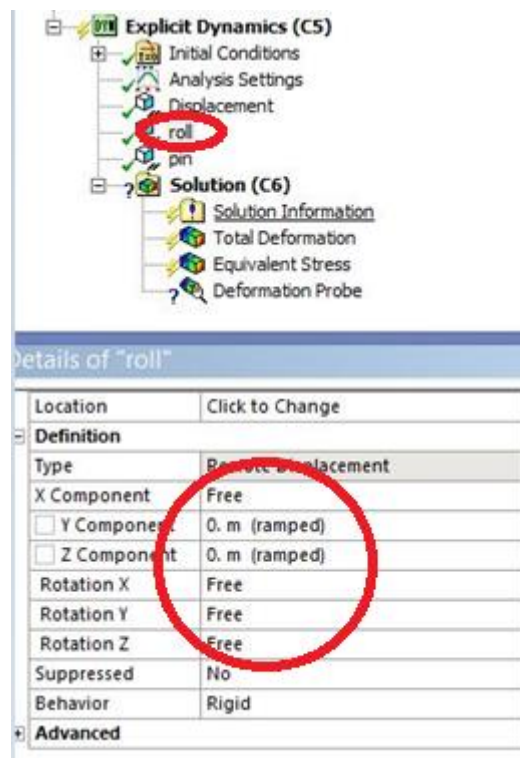
Memberi tumpuan (*remote displacement*) pada ujung *tubular member*



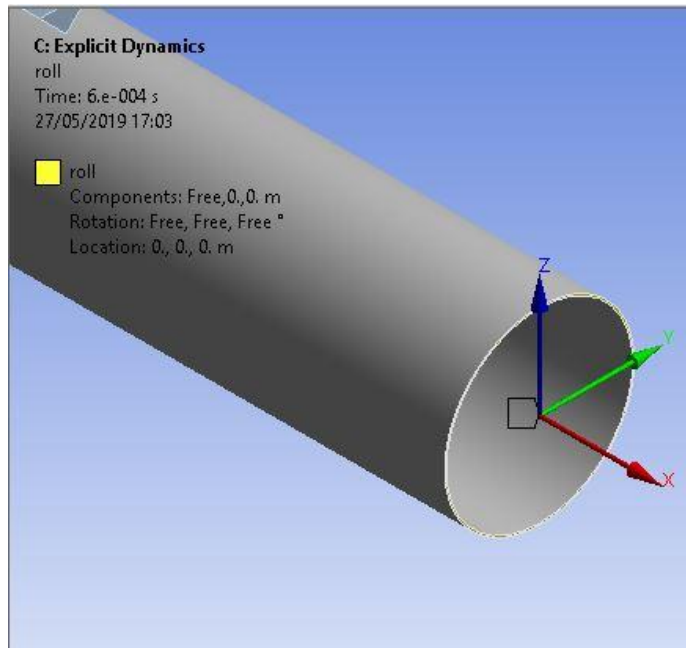
Details of "roll"

Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	roll
Coordinate System	roll
<input type="checkbox"/> X Coordinate	3.048 m
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	0. m
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	0. m
Location	Click to Change
Definition	
Type	Remote Displacement
X Component	Free
<input type="checkbox"/> Y Component	0. m (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. m (ramped)

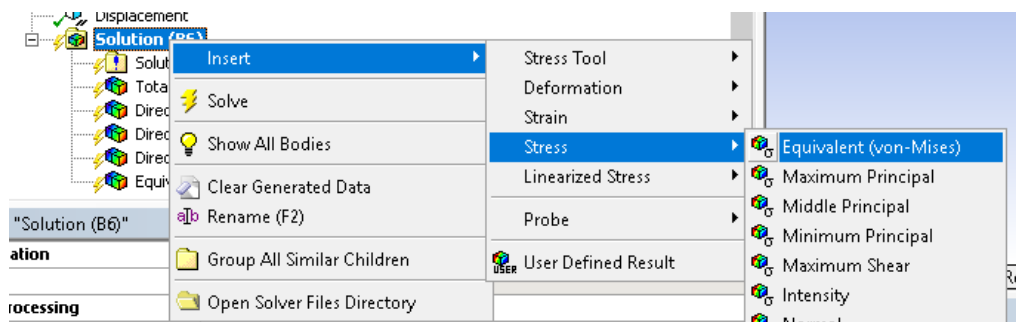
Mengatur posisi tumpuan pada *tubular member*



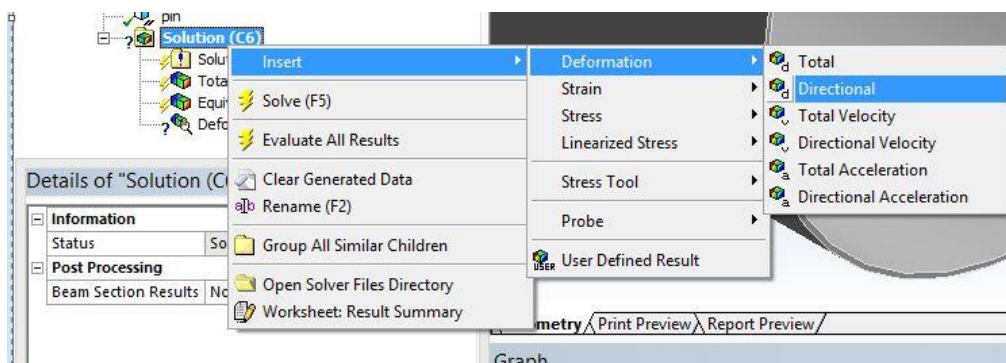
Mengatur definisi tumpuan pada *tubular member*



Hasil pendefinisian tumpuan pada *tubular member*



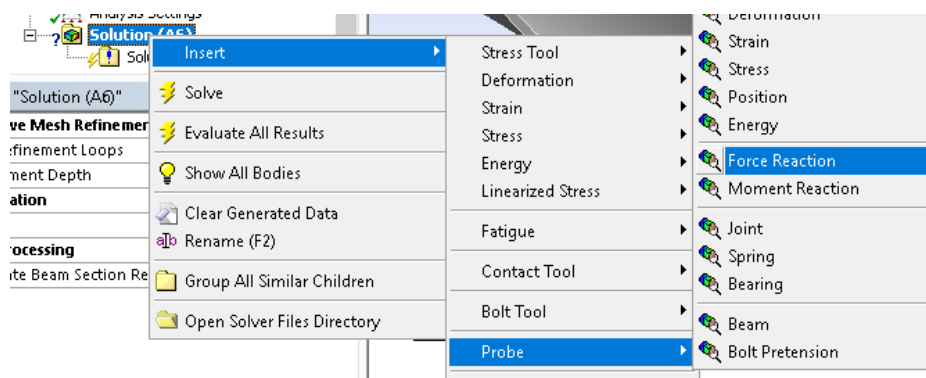
Memasukkan *Output* berupa *equivalent stress*



Memasukkan *Output* berupa *directional deformation*

Details of "Directional Deformation"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Directional Deformation
Orientation	X Axis
By	Time
<input type="checkbox"/> Display Time	Last
Coordinate System	Global Coordinate System
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No

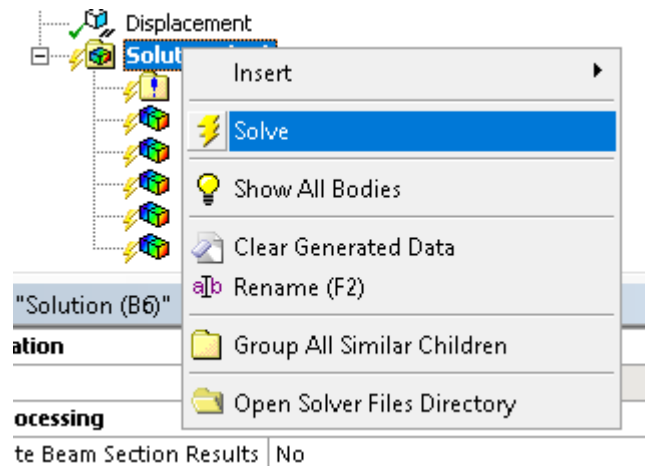
Mengatur *orientation axis* pada *directional deformation*



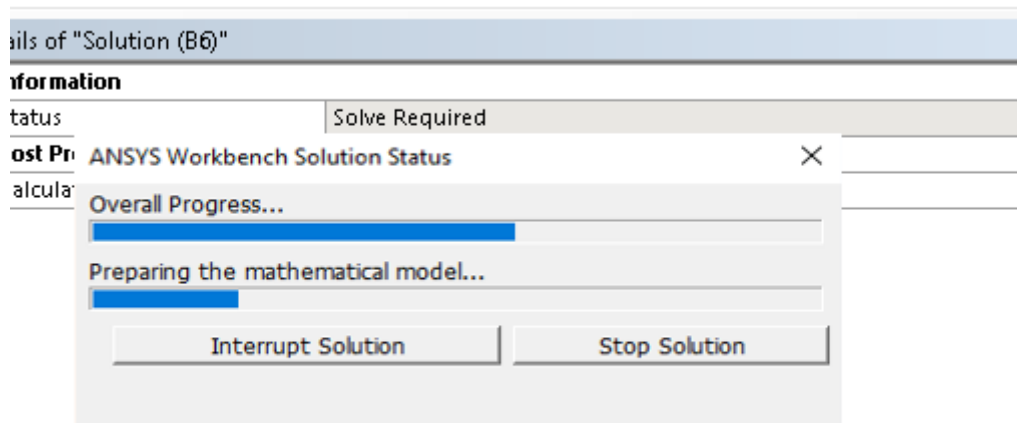
Memasukkan *Output* berupa *force reaction*

Definition	
Type	Force Reaction
Location Method	Boundary Condition
Boundary Condition	Displacement
Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
Options	
Result Selection	Y Axis
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Y Axis	

Mengatur *boundary condition* dan *orientation axis* pada *force reaction*



Melakukan *running* pada model



Proses *running* pada model