



TUGAS AKHIR - MO184804

ANALISIS TILTED DENTING PADA TUBULAR MEMBER

Dimas Rasena Rakadyawan

NRP. 0431154000036

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

2019



FINAL PROJECT - MO184804

ANALYSIS OF TILTED DENTING ON TUBULAR MEMBER

Dimas Rasena Rakadyawan

NRP. 0431154000036

Supervisors:

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

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

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

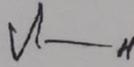
2019

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS *TILTED 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 Surabaya

Oleh:
DIMAS RASENA RAKADYAWAN
NRP. 04311540000036

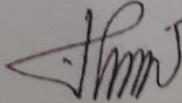
Disetujui oleh:

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


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

3. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc (Penguji 1)

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


- Dirta Marina ST, MT (Penguji 3)


Surabaya, Juli 2019

ANALISIS *TILTED DENTING* PADA *TUBULAR MEMBER*

Nama Mahasiswa : Dimas Rasena Rakadyawan

NRP : 0431154000036

Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS

Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

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

Abstrak Penelitian

Tubular member yang mengalami kerusakan akibat *dent* pada lokal member akan menurunkan kekuatan dari *member* baik secara lokal maupun global. Ketidakteraturan dari luas penampang silinder karena adanya *dent* menyebabkan gaya terpakai benar – benar diberikan pada suatu daerah dengan luas penampang yang kecil. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan tegangan yang terjadi pada daerah *dent*. Dengan Metode Elemen Hingga (FEM), telah dikembangkan cara untuk menentukan kekuatan maksimal pada struktur menerima *dent*. Pada tugas akhir ini, akan dijelaskan analisa dari sebuah *tubular member* yang mengalami *tilt denting*. Hasil dari analisa diketahui bahwa kapasitas maksimal pada *tubular member* jenis *tilt* memiliki kekuatan maksimal lebih banyak dari *dent* jenis *transverse*. Hal ini dikarenakan beban maksimal yang ada pada *transverse dent* adalah 84.5 kips sedangkan beban maksimal pada *tilt dent* adalah 91 kips walaupun memiliki dimensi *dent* yang sama.

Hasil dari analisa juga menyatakan Bila dimensi panjang, lebar dan kedalaman *dent* divariasikan. Dapat diketahui bila lebar memiliki pengaruh paling besar terhadap kapasitas maksimal. Pada panjang *dent*, memiliki pengaruh yang sama daripada kedalaman *dent*. Namun apabila besar variasi kedalaman *dent* disamakan dengan panjang *dent* tidak menutup kemungkinan kedalaman *dent* memiliki pengaruh lebih besar daripada panjang *dent*.

Kata kunci: tubular member, dent, tilt, kapasitas maksimal

ANALYSIS OF TILTED DENTING ON TUBULAR MEMBER

Name : Dimas Rasena Rakadyawan
NRP : 0431154000036
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

A tubular member with a dented part on the surface, will reduce the strength of the tubular member significantly. The surface area of dented tubular member forces the force to be focused on the specific part of dented tubular member with a small surface area. This creates a change on the stress near the dented part. With Finite Element Method (FEM), a method has been developed to determine the maximum capacity of tubular member. This research will analyze tubular member with the dented part. The result of this research, the maximum capacity of a tubular member with tilted denting has more capacity than the maximum capacity of a tubular member with a transverse dent. The maximum capacity of tubular member with transverse dent is 84.5 kips and the maximum capacity of tubular member with tilted dent is 91 kips. Also a tubular member with variation of its depth, length and width on tilted dent also will be analyzed. The result is the width of tilt dent has more significance on the maximum capacity than the length and depth. While the length has more or less the same maximum capacity with each variation.

Key words: tubular member, dent, tilt, maximum capacity.

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 “Analisis *Tilted 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 kapasitas *dented 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, Juli 2019

Dimas Rasena Rakadyawan

NRP. 0431154000036

UCAPAN TERIMAKASIH

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, Brian, Gopal) 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, Juli 2019

Dimas Rasena R.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
NOTASI RUMUS	xii
BAB 1.	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB II	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 <i>Dented Member</i>	7
2.2.2. Gaya Denting	11
2.2.3. Elemen <i>Shell</i>	11
2.2.4. Konsep Tegangan.....	16
2.2.5. Tegangan Normal (<i>Normal Stress</i>)	17
2.2.6. Teori Tegangan Von Mises.....	19
2.2.7. Kekuatan Ultimat (<i>Ultimate Strength</i>)	20
2.2.8. <i>Analisa Pushover</i>	20
2.2.9. <i>Reserve Strength Ratio (RSR)</i>	21
BAB III	23
3.1. Diagram Alur Metodologi Penelitian.....	23
3.2. Prosedur Penelitian	24
3.3 Diagram Alur Pemodelan	30
3.3 Prosedur Pemodelan dan Analisa.....	32
BAB IV	41
4.1 Pembahasan.....	41

4.2 Hasil <i>Running</i> Validasi Data.....	41
4.3 Hasil <i>Running Meshing Sensitivity Analysis</i>	43
4.4 Hasil <i>Running</i> Penambahan Beban	45
4.5 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member Tanpa Dent.....	48
4.6 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member dengan Tilt Dent.	49
4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member dengan Variasi Tilt Dent.....	52
BAB V	60
5.1 Kesimpulan	60
5.1 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

Daftar Gambar

Gambar 2.1. Gambar <i>Dent</i> secara umum	7
Gambar 2.2. Transverse Denting, Longitudinal Denting dan Tilted Denting	8
Gambar 2.3. Kerusakan tanpa pengaruh bending atau pembengkokan	9
Gambar 2.4. Adanya pengaruh pembengkokan tanpa kerusakan lokal	9
Gambar 2.5. Kombinasi antara kerusakan lokal dan pengaruh bending	10
Gambar 2.6. Elemen <i>shell</i> yang dipotong menjadi kecil	12
Gambar 2.7. Diagram grafik tegangan	16
Gambar 2.8. Gambar Ilustrasi Tegangan Normal	17
Gambar 2.9 Gambar tegangan geser dalam bidang silindris.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	23
Gambar 3.2 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	24
Gambar 3.3 Diagram Alur Pemodelan.....	30
Gambar 3.4 Diagram Alur Pemodelan.....	31
Gambar 3.5 Tubular Member.....	32
Gambar 3.6 Indenter.....	33
Gambar 3.7 <i>Tubular Member</i> yang sudah terkena <i>dent</i>	33
Gambar 3.8 Tampak depan <i>tubular Member</i> yang sudah terkena <i>dent</i>	34
Gambar 3.9 Hasil <i>Meshing</i>	36
Gambar 3.10 Koordinat Pembebanan dan Tumpuan.	36
Gambar 3.11 Probe untuk meshing sensitivity analysis.....	39
Gambar 4.1 <i>Running Stress Von Misses</i>	42
Gambar 4.2 Hasil <i>Running Stress Von Misses</i>	43
Gambar 4.3 Hasil <i>Running Equivalent Plastic Strain</i>	43
Gambar 4.4 Grafik Hasil <i>Running Meshing Sensitivity Analysis</i>	44
Gambar 4.5 Hasil <i>Running</i> pada beban 84 kips.....	45
Gambar 4.6 Grafik Kurva Stress-Strain pada beban 84 kips.	46
Gambar 4.7 Hasil <i>Running</i> pada beban 84.5 kips.....	46
Gambar 4.8 Grafik Kurva Stress-Strain pada beban 84.5 kips.	47
Gambar 4.9 Hasil <i>Running</i> pada Beban 84.5 kips.	47

Gambar 4.10 Hasil <i>Running</i> pada Beban 85 kips.	48
Gambar 4.11 Hasil <i>Running</i> pada Beban 230 kips.	49
Gambar 4.12 Model <i>Tubular Member</i> dengan <i>Tilt dent</i> pada <i>tubular member</i>	51
Gambar 4.13 Hasil <i>Running</i> dengan <i>Tilt dent</i> pada <i>tubular member</i>	51
Gambar 4.14 grafik beban makismal pada variasi kedalaman <i>dent</i>	54
Gambar 4.15 grafik beban makismal pada variasi panjang <i>dent</i>	55
Gambar 4.16 Grafik beban maksimal pada variasi lebar <i>dent</i>	57

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Data Spesimen dan Kedalaman <i>dent</i>	26
Tabel 3.2. Data Spesimen	26
Tabel 3.3 Data Spesimen dan Lebar Dent	27
Table 3.4. Tabel Analisa Material	27
Tabel 4.1 Hasil <i>Running Meshing Sensitivity Analysis</i>	43
Tabel 4.2 von Misses <i>Stress</i> dan <i>Equivalent Strain</i> pada Pembebanan 84 kips	45
Tabel 4.3 von Misses <i>Stress</i> dan <i>Equivalent Strain</i> pada Pembebanan 84.5 kips	47
Tabel 4.4 Perbandingan Beban Makismal	52
Tabel 4.5 Perbandingan beban maksimal pada variasi kedalaman <i>dent</i>	53
Tabel 4.6 Perbandingan beban maksimal pada variasi panjang <i>dent</i>	55
Tabel 4.7 Perbandingan beban maksimal pada variasi lebar <i>dent</i>	56
Tabel 4.7 Perbandingan beban maksimal pada variasi lebar <i>dent</i>	57

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	LANGKAH-LANGKAH PEMODELAN DAN ANALISIS MODEL DENTED TUBULAR MEMBER
LAMPIRAN B	HASIL PEMODELAN DAN ANALISIS MODEL DENTED TUBULAR MEMBER

Notasi Rumus

A	= Luas penampang
D	= Diameter <i>tubular member</i>
d	= Kekakuan lentur
E	= Modulus Young
F	= Gaya
F_d	= Gaya yang bekerja pada <i>denting</i>
F_y	= <i>Yield strength</i>
L	= Panjang <i>tubular member</i>
l	= Panjang sudut
l_d	= Panjang <i>dent</i>
M_x	= Momen tekan yang bekerja pada sumbu x
M_y	= Momen tekan yang bekerja pada sumbu y
M_{xy}	= Momen puntir yang bekerja pada sumbu x
M_{yx}	= Momen puntir yang bekerja pada sumbu y
N_x	= Gaya yang bekerja pada sumbu x
N_y	= Gaya yang bekerja pada sumbu y
N_{xy}	= Gaya geser yang bekerja pada sumbu y terhadap sumbu x
N_{yx}	= Gaya geser yang bekerja pada sumbu x terhadap sumbu y
R	= Jari-jari
T	= Momen Puntir
t	= Ketebalan
ν	= Poisson's <i>ratio</i>
w_d	= Lebar <i>dent</i>
x	= Kedalaman <i>dent</i>
σ	= Tegangan normal
σ_{HVM}	= Tegangan von Mises
τ	= Tegangan geser
τ_{max}	= Tegangan geser maksimum

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan pada struktur merupakan hal yang sering terjadi dan umumnya bersifat signifikan pada struktur. Hal ini diperparah dengan banyaknya jumlah kecelakaan yang tidak diketahui saat struktur beroperasi. Tidak selalu bangunan lepas pantai yang telah didesain mampu tahan terhadap dampak kerusakan yang telah terjadi. Kerusakan pada struktur memiliki pengaruh penting dalam kondisi operasional struktur. Misalnya, apabila dalam struktur kerusakan yang ditimbulkan kecil tetapi terletak pada daerah kritis, dengan adanya kerusakan pada daerah ini ditambah beban lingkungan yang mengenai struktur secara terus menerus maka kekuatan struktur dapat terganggu.

Kerusakan pada struktur tidak hanya mungkin terjadi pada *deck*, namun juga mampu terjadi pada bagian *pile*, *brace* dan *leg* pada struktur. *Tubular member* pada struktur bangunan lepas pantai merupakan salah satu bagian yang memiliki peluang untuk mengalami kerusakan yang tidak terprediksi selama masa instalasi dan operasi yang dapat berdampak pada kerusakan *tubular member* (Pacheco dan Durkin, 1986). *Tubular member* pada bangunan lepas pantai seringkali mengalami kerusakan karena terkena tumbukan atau tekanan dari benda luar, seperti dari kapal atau benda yang terjatuh dari anjungan (S. Durkin, 1965). Salah satu kerusakan yang mungkin terjadi adalah *dent* atau penyok. Kusulamanarto (2004), mendefinisikan *dent* sebagai perubahan bentuk pada bagian struktur yang disebabkan oleh suatu kejadian sehingga menimbulkan kerusakan pada daerah kelengkungan *tubular member* atau komponen. Menurut Durkin (1965), kerusakan akibat pukulan atau *impact* tersebut secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga macam:

1. Kerusakan lokal tanpa pengaruh *bending*

2. Adanya pengaruh *bending* tanpa kerusakan lokal
3. Kombinasi dari kerusakan lokal dan pengaruh *bending*

Sedangkan menurut Kusulamanarto (2004), *dent* merupakan salah satu dari kerusakan fisik struktural dimana biasanya diakibatkan oleh:

1. *Boat impact* pada bagian atas struktur bangunan pantai seperti *bracing* dan kaki.
2. *Dropped impact* pada bagian operasional bangunan lepas pantai.

Menurut Han (2017), jenis-jenis *dent* dapat dibagi menjadi tiga macam tergantung dari arahnya, yaitu *transverse dent*, *longitudinal dent* dan *tilted dent*. *Transverse dent* merupakan jenis *dent* yang memiliki arah berpotongan atau tegak lurus terhadap *tubular member*. *Longitudinal dent* merupakan jenis *dent* yang memiliki arah sejajar terhadap *tubular member*. Sedangkan *tilted dent* merupakan jenis *dent* yang memiliki arah diagonal terhadap *tubular member*. Jenis-jenis *denting* ini menyebabkan efek yang berbeda-beda pada terhadap *tubular member*. Misalnya, pada *transverse denting* kedua ujung *dent* memiliki daerah paling kritis daripada bagian tengahnya.

Dent dapat ditimbulkan oleh ketidakmampuan struktur dalam menahan dalam menahan tekanan, baik yang terjadi akibat aktifitas dari luar struktur maupun dari dalam struktur. Meskipun *dent* bukanlah merupakan satu-satunya faktor kegagalan pada struktur, namun akibat yang ditimbulkan cukup fatal karena dapat menimbulkan *initial crack* yang memicu kegagalan pada struktur. Adanya *dent* pada *tubular member* menyebabkan terjadinya deformasi plastis di bagian tersebut, dimana timbulnya konsentrasi tegangan lokal pada bagian *tubular member* yang mengalami *denting*. Hal ini dapat menyebabkan ketahanan struktur terhadap beban statis dan beban siklis berkurang. Hal ini juga mampu menurunkan ketahanan *tubular member* terhadap kepecahan (*burst strength*).

Dalam hal ini, akan dilakukan analisa terhadap kekuatan *tubular member* dianalisa menggunakan metode peningkatan beban secara bertahap (*pushover*) hingga diketahui kapasitas maksimal pada *tubular member* setelah mengalami *tilt denting*.

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berhubungan terkait analisa *denting*:

1. Analisa Dent yang Terjadi Pada Tubular Member Bracing Jacket SWP K (Kusumalarnanto, 2004).
2. Denting And Collapse Of Tubular Members - A Numerical and Experimental Study (Pacheco dan Durkin, 1986).
3. Ultimate Strength of a Square Plate with A Longitudinal/Transverse Dent Under Axial Compression (Alwardoss dan Alagumurthi, 2011)
4. Experiments on Dented Steel Tubes under Bending (Ghazijani, Jiao dan Holloway, 2014)
5. Assessment of the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing (Bruin, 1995)

Beberapa dari penelitian yang telah disebutkan di atas, hingga saat ini belum pernah ada yang membahas mengenai analisa *tilt denting* pada *tubular member*. Sehingga pada tugas akhir ini dilakukan analisa pada penelitian tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

1. Berapa kapasitas maksimal pada *tubular member* yang tanpa mengalami *dent*?
2. Berapa besarnya pengaruh kapasitas maksimal pada *tubular member* setelah mengalami *tilt dent*?
3. Berapa besar pengaruh kapasitas maksimal pada kedalaman, panjang dan lebar *dent* pada *tubular member* yang mengalami *tilt dent*?

1.3. Tujuan

1. Mendapatkan besarnya kapasitas maksimal pada *tubular member* yang tanpa mengalami *dent*.
2. Mendapatkan besarnya pengaruh kapasitas maksimal pada *tubular member* setelah mengalami *tilt dent*.

3. Mendapatkan besarnya pengaruh kedalaman, panjang dan lebar *dent* terhadap kapasitas maksimal pada *tubular member* yang mengalami *tilt dent*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah adanya pemahaman terhadap pengaruh yang ditimbulkan *dent* jenis *tilt denting* terhadap kapasitas maksimal pada *tubular member*. Hal ini juga mampu mengetahui lebih lanjut besarnya pengaruh kedalaman, panjang dan lebar *dent* terhadap kapasitas maksimal pada *tubular member*. Selain itu, manfaat yang lain adalah mampu mengetahui besarnya perbandingan pengaruh kapasitas maksimal antara *tubular member* yang mengalami *dent* dan yang tidak.

1.5. Batasan Masalah

1. *Member* yang ditinjau merupakan *tubular member* yang mengalami *denting*.
2. Jenis *dent* yang terjadi adalah *tilt dent*.
3. Analisa pada *tubular member* menggunakan pembebanan aksial tekan dan aksial tarik.
4. *Tubular Member* dianggap sebagai *member* tunggal dalam analisa lokal.
5. Pemodelan dilakukan dengan *software* SolidWorks.
6. Analisa Pemodelan dilakukan dengan *software* ANSYS.
7. Sudut *tilt* ditetapkan 45 derajat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Analisa mengenai *tubular member* yang mengalami *dent* pernah dilakukan sebelumnya. Salah satunya oleh Kusumalarnanto (2004) mengenai kapasitas *tubular member* pada *jacket* akibat *dent*. Kusumalarnanto membandingkan kapasitas member sebelum mengalami *dent* dengan kapasitas *member* setelah mengalami *dent*. Menurut Kusumalarnanto, *tubular member* yang mengalami kerusakan akibat *dent* pada lokal *member* struktur akan mempengaruhi terjadinya penurunan kekuatan dari *member*, baik secara lokal maupun global. Selain itu, *dent* juga mempengaruhi integritas dari struktur dan dapat menyebabkan penurunan umur dari struktur (*fatigue life*). Dengan adanya luas penampang yang berbeda akibat *dent*, daerah *dent* akan mendapatkan gangguan dan perubahan tegangan. Permodelan dari analisa ini digunakan untuk mendapatkan besarnya penurunan kapasitas kekuatan dari suatu *tubular member* yang mengalami kerusakan akibat adanya *dent* yang dibantu dengan menggunakan *software* NASTRAN.

Sedangkan Pachecho dan Durkin (1986) melakukan analisa *denting* dan kompresi aksial pada *tubular member* yang ada pada bangunan lepas pantai seperti *jacket*. Pada analisa Pachecho dan Durkin dilakukan perbandingan hasil eksperimen dengan analisa menggunakan metode elemen hingga (FEM). Pada metode elemen hingga digunakan *software* MARC untuk menghitung efek kerusakan yang diakibatkan oleh tegangan sisa. Eksperimen yang dilakukan Pachecho dan Durkin bertujuan agar bisa membandingkan hasil yang didapat dari metode elemen hingga, baik untuk proses *denting* dan proses kompresi. Hal ini dilakukan agar memiliki hasil tegangan sisa yang akurat.

Pada penelitian yang dilakukan Alwardoss dan Alagumurthi (2011), dilakukan penelitian tentang *ultimate strength* pada belat baja berbentuk persegi. Pelat baja yang dimodelkan dengan *dent* yang memiliki arah *transversal* dan *longitudinal* akan

dianalisa menggunakan *software* ANSYS non-linear FEA dengan variasi panjang, lebar dan kedalaman *dent*. Kesimpulan dari analisisnya menandakan bahwa *ultimate strength* pada *longitudinal dent* lebih bergantung pada lebar pada *dent*. Sedangkan *ultimate strength* pada *transverse dent* lebih bergantung pada panjang dan kedalaman *dent*.

Penelitian yang dilakukan Ghazijahani, Jiao dan Halloway (2014), menguji *bending capacity* dan *bending stress* yang ada pada *steel tube*. Penelitian ini membandingkan *bending capacity steel tube* yang terkena *longitudinal dent* dan *steel tube* yang tidak terkena *dent*. Variasi yang dilakukan adalah panjang, lebar, kedalaman dan letak pada *dent*. Pada hasil analisisnya, specimen yang memiliki *dent* yang terletak tepat di tengah *steel tube*, tidak memiliki dampak yang signifikan bila dibanding dengan specimen yang tidak mengalami *dent*. Hal ini dikarenakan posisi *dent* yang jauh dari daerah yang mengalami *maximum bending stress*. Untuk uji *bending capacity* pada specimen yang memiliki *dent* pada ujung *steel tube* dekat dengan sisi *compression*, besarnya *dent* semakin meningkat seiring besarnya *dent* awal dan pada ujung *dent* tumbuh keluar dari *steel tube*. Untuk uji *bending capacity* pada *steel tube* dengan lokasi *dent* dekat dengan sisi *tensile*, *dent* yang ada pada *steel tube* akan kembali ke kondisi semula. Semakin besar beban *tensile*-nya semakin banyak pula *dent* yang kembali ke kondisi awal.

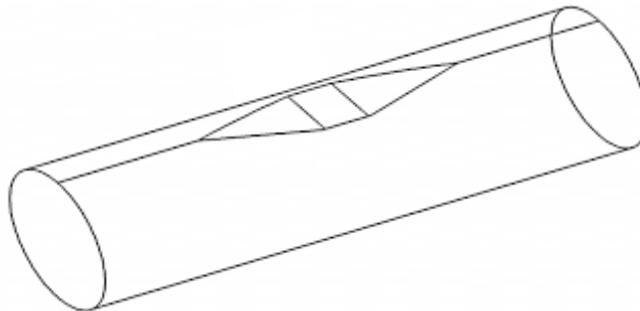
Pada eksperimen yang dilakukan Bruin (1995), dilakukan eksperimen untuk mengetahui kekuatan sisa pada *tubular member brace* yang mengalami *dent*. Pada eksperimen ini, Bruin melakukan analisa pada *residual strength* (kekuatan sisa) pada *brace* yang mengalami *dent* jenis *transverse dent*. Selain itu, eksperimen ini juga menganalisa keefektifan perbaikan pada *brace* berupa *grout*. Variasi yang dilakukan pada eksperimen ini adalah perbedaan kedalaman *dent*. Hasil eksperimennya adalah *ultimate axial strength* pada *member* semakin berkurang dengan dalamnya kedalaman pada *dent*. Hal ini dikarenakan adanya pertumbuhan kedalaman *dent*. Untuk hal itu Bruin menjelaskan *internal grouting* perlu dilakukan untuk melambatkan laju kedalaman *dent* dan mengembalikan *axial capacity* pada *brace*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Dented Member*

Kekuatan dari sebuah struktur ditentukan oleh kemampuan dari struktur tersebut untuk menerima beban. Struktur itu sendiri mempunyai kemampuan untuk menyebarkan dan menguraikan beban yang bekerja ke seluruh bagian struktur. Namun ada kalanya beban yang terjadi pada struktur sangat besar hingga membuat bekas benturan pada bagian struktur. Bekas benturan yang dimaksud adalah *dent*.

Pada *Det Norske Veritas* (DNV, 2000) *dent* adalah suatu *depression gross disturbance* yang terjadi pada kelengkungan dari pipa atau *tubular member*. Berikut merupakan gambar dari *dent* pada *tubular member*:

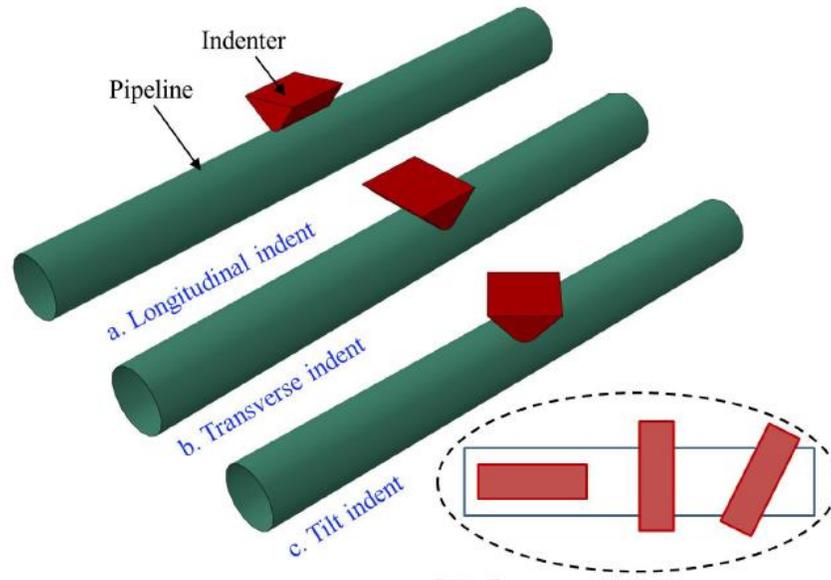


Gambar 2.1. Gambar *Dent* secara umum
(Sumber: Pachecho, 2014)

Tiap-tiap *dent* memiliki kedalaman dan jenis yang berbeda-beda tergantung pada posisinya. Jenis-jenis *dent* pada *tubular member* dapat dibedakan menjadi:

1. *Transverse Dent* : Jenis *dent* yang memiliki arah memotong atau tegak lurus terhadap *tubular member*.

2. *Longitudinal Dent* : Jenis *dent* yang memiliki arah sejajar terhadap *tubular member*.
3. *Tilted Dent* : Jenis *dent* yang memiliki arah diagonal terhadap *tubular member*.



Gambar 2.2. Transverse Denting, Longitudinal Denting dan Tilted Denting (Sumber: Han, 2018)

Beda jenis atau arah *denting* memiliki pengaruh yang berbeda terhadap *tubular member*. Uji analisa yang dilakukan juga harus berbeda untuk tiap-tiap arah *dent*. Analisa *denting* harus mempertimbangkan hal-hal yang berupa:

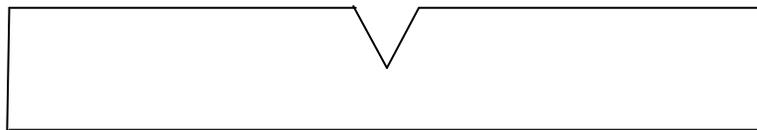
1. Kondisi saat terjadi tumbukan
2. Kondisi setelah terjadi tumbukan

Tubular member yang digunakan oleh bangunan lepas pantai sering kali mengalami kerusakan karena tumbukan dari benda luar. Tumbukan yang sering terjadi pada struktur bangunan lepas pantai ada pada bagian *leg* atau *brace* yang

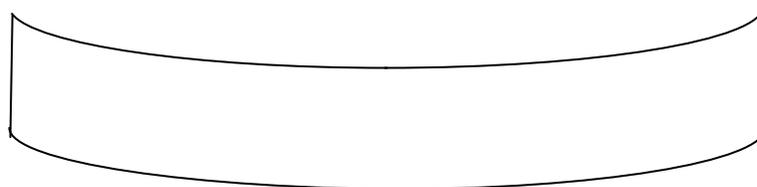
terletak pada permukaan air. *Tubular member* struktur harus disusun dan dikonfigurasi untuk menerima gaya yang terjadi selama tumbukan dan mampu mengendalikan kerusakan setelah tumbukan terjadi. Struktur harus mampu menahan beban dengan kekuatan sisa dalam taraf aman sehingga mampu menahan beban lingkungan terutama pada kondisi ekstrem, misalnya pada saat kondisi cuaca badai.

Bentuk dari tumbukan ini sangat spesifik dimana bentuknya berbeda dari kerusakan yang ditimbulkan saat proses fabrikasi. Kerusakan yang timbul berpengaruh pada kekuatan struktur meskipun kecil, juga dapat memiliki pengaruh yang besar bila terletak pada daerah yang dianggap kritis. Daerah kritis merupakan tempat yang rawan terjadinya tegangan terbesar. Hal ini dikarenakan struktur menerima beban secara terus-menerus sehingga akan menyebabkan integritas struktur terganggu. Dalam hal ini kerusakan akibat tumbukan tersebut dapat dikategorikan menjadi:

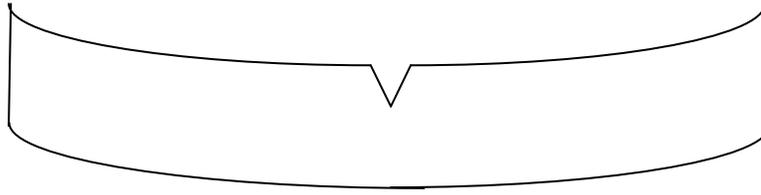
1. Kerusakan tanpa pengaruh *bending* atau pembengkokan.
2. Adanya pengaruh pembengkokan tanpa kerusakan lokal.
3. Kombinasi antara kerusakan lokal dan pengaruh *bending*.



Gambar 2.3. Kerusakan tanpa pengaruh bending atau pembengkokan.



Gambar 2.4. Adanya pengaruh pembengkokan tanpa kerusakan lokal



Gambar 2.5. Kombinasi antara kerusakan lokal dan pengaruh bending.

Karakteristik kerusakan, untuk hal ini, *denting*, dapat dianalisa pada *tubular member* telah mengalami perubahan permanen pada member lokal dimana hal tersebut membuat perubahan tegangan atau konsentrasi tegangan yang mempengaruhi kekuatan *tubular member*, sehingga mengakibatkan *member* mengalami perubahan secara permanen. Tegangan yang terjadi akibat beban atau gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu struktur dapat mengakibatkan terjadinya deformasi.

Tiap-tiap individual *member* harus dianalisa dan dihitung kemampuan menerima tegangannya, bilamana terjadi kasus pengecekan, *tubular member* tidak kaku sehingga harus diperiksa integritas struktur secara keseluruhan sebagai bagian dari beban tumbukan.

Selain itu *denting* juga mempengaruhi proses yang terjadi pada fabrikasi *tubular member*, misalnya hasil pengelasan yang dapat mengakibatkan *crack* bila tidak segera diperbaiki. Hal ini dikarenakan adanya tingginya konsentrasi tegangan pada *tubular member*:

1. Kompresi Aksial
2. *Bending* atau pembengkokan.
3. *Stress* atau tegangan pada *member* struktur.

2.2.2. Gaya Denting

Dalam API RP2A WSD (2000) telah menunjukkan bahwa gaya yang dibutuhkan untuk kerusakan lokal pada *tubular member* didapat hubungan antara gaya dan kedalaman *dent* sebagai berikut:

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

Dimana:

F_d = gaya *denting* (kip)

M_P = *plastic moment capacity* dari *tubular member* (lb/ft.s)

$$= F_y t^2 / 4$$

F_y = *yield strength* (psi)

D = diameter *tubular member* (inci)

R = radius / jari-jari *tubular member* (inci)

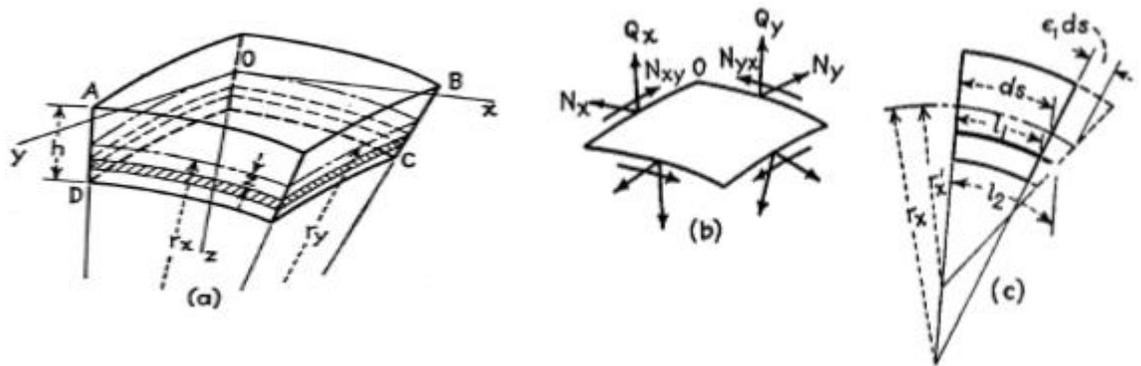
t = *thickness* / ketebalan (inci)

X = *dent depth* / kedalaman *dent* (inci)

2.2.3. Elemen *Shell*

Menurut Timoshenko (1989), untuk memodelkan elemen *shell* secara keseluruhan harus dilakukan pada bentuk *middle surface*. *Middle surface* disini adalah permukaan pada *tubular* membagi tebal pelat. Ketebalan dari elemen *shell* dinotasikan sebagai h . Dalam konstruksi *shell* ketebalan dinding *shell* (h) memiliki dimensi yang relatif lebih kecil dibanding dimensi lainnya termasuk juga dengan radius kelengkungannya. Dengan membedakan antara *middle surface* dan ketebalan *shell*, elemen *shell* dapat dibentuk secara geometris.

Untuk menganalisa *internal force*, dipotong sebagian elemen *shell* hingga menjadi kecil, dari *shell* itu dibentuk dua pasang bidang yang berdekatan dan tegak lurus terhadap *middle surface* yang memiliki kelengkungan utamanya.



Gambar 2.6. Elemen *shell* yang dipotong menjadi kecil
(Sumber: Timoshenko, 1989)

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan elemen *shell* dapat diselesaikan berdasarkan arah sumbunya. Diambil sumbu-sumbu koordinat x dan koordinat y yang menyinggung garis kelengkungan utama pada titik 0 dan sumbu z yang tegak lurus pada permukaan tengah, Jari-jari utama kelengkungan yang terletak pada bidang xz dan yz ditandai masing-masing oleh r_x dan r_y . Untuk komponen tegangan yang bekerja pada permukaan bidang elemen *shell*, dinotasikan dalam sumbu koordinat dan komponen tegangan yang ditunjukkan dengan σ_x , σ_y , τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{xz} . Berdasarkan hal ini, perhitungan resultan gaya per satuan panjang dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$N_x = \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_x \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad (2.2)$$

$$N_{xy} = \int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{xy} \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz \quad (2.3)$$

$$N_y = \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_y \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2.4)$$

$$N_{yx} = \int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{yx} \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz$$

(2.5)

Hal ini berlaku bila diasumsikan bahwa h lebih kecil jika dibandingkan dengan jari-jari r_x dan r_y . Dapat dilihat bahwa z/r_x dan z/r_y walaupun kuantitasnya kecil masih tetap muncul, hal ini dikarenakan sisi lateral dan elemen yang diperlihatkan dalam gambar 6(a) memiliki bentuk jajar genjang yang dibentuk dari kelengkungan *shell* sebagai akibat dari gaya geser N_{xy} dan N_{yx} selalu memiliki nilai yang tidak sama, walaupun terdapat hubungan $\sigma_x = \sigma_x$. Kemudian untuk perhitungan momen *bending* dan momen puntir per unit panjang, dapat digunakan persamaan berikut:

$$M_x = \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_x z \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz$$

(2.6)

$$M_{xy} = -\int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{xy} z \left(1 - \frac{z}{r_y}\right) dz$$

(2.7)

$$M_y = \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_y z \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz$$

(2.8)

$$M_{yx} = \int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{yx} z \left(1 - \frac{z}{r_x}\right) dz$$

(2.9)

Sebagai akibat keseimbangan *shell*, pembahasan selanjutnya besaran z/r_x dan z/r_y akan diabaikan. Apabila mempertimbangkan terjadinya *bending* pada *shell*, dapat diasumsikan bahwa AD hingga BC pada gambar 6.a, atau daerah normal (*neutral axis*) hingga *middle surface* tidak akan berubah. Sehingga jarak z akan tetap meskipun terjadi deformasi akibat *bending*.

Jika selama bending permukaan lateral elemen ABCD berotasi menurut garis-garis perpotongan dengan *middle surface*. Dan apabila r'_x dan r'_y merupakan jari-jari kelengkungan setelah deformasi, maka nilai elongasi (ϵ) pada jarak z diukur dari *middle surface* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_x = -\frac{z}{1-\frac{z}{r_x}} \left(\frac{1}{r'_x} - \frac{1}{r_x} \right)$$

(2.10)

$$\epsilon_y = -\frac{z}{1-\frac{z}{r_y}} \left(\frac{1}{r'_y} - \frac{1}{r_y} \right)$$

(2.11)

Jika dalam rotasi, sisi lateral dari elemen ditempatkan paralel satu sama lain, dan bila rotasi regangan dari *middle surface* unit elongasi pada *middle surface* dalam arah x dan y dinotasikan sebagai ϵ_1 dan ϵ_2 , maka elongasi dari ϵ_x akan menjadi seperti persamaan berikut:

$$\epsilon_x = \frac{l_2 - l_1}{l_1}$$

(2.12)

Bila :

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

(2.13)

$$l_2 = ds(1 + \epsilon_1) \left(1 - \frac{z}{r'_x} \right)$$

(2.14)

Sehingga didapatkan persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_1}{1 - \frac{z}{r_x}} - \frac{z}{1 - \frac{z}{r_x}} \left[\frac{1}{(1 - \epsilon_1)r'_x} - \frac{1}{r_x} \right]$$

(2.15)

Persamaan yang sama dapat digunakan untuk menghitung elongasi pada arah y (ϵ_y). Bila ketebalan dari *shell* (h) akan selalu diasumsikan jauh lebih kecil dibandingkan dengan jari-jari kelengkungannya ($h/r < 0,1$) sehingga dapat diabaikan. Sehingga komponen z/r_x maupun z/r_y juga dapat diasumsikan pula untuk diabaikan. Maka persamaannya akan menjadi:

$$\epsilon_x = \epsilon_1 - z \left(\frac{1}{r'_x} - \frac{1}{r_x} \right) = \epsilon_1 - X_x z$$

(2.16)

$$\epsilon_y = \epsilon_2 - z \left(\frac{1}{r'_y} - \frac{1}{r_y} \right) = \epsilon_2 - X_y z$$

(2.17)

Dimana X_x dan X_y merupakan perubahan dari kelengkungan pada arah x dan y. Kemudian, dengan mengasumsikan bahwa tidak ada tegangan normal ($\sigma_z = 0$), maka akan didapatkan persamaan untuk menghitung tegangan sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} [\epsilon_1 + \nu\epsilon_2 - z(X_x + \nu X_y)]$$

(2.18)

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} [\epsilon_2 + \nu\epsilon_1 - z(X_y + \nu X_x)]$$

(2.19)

Dimana E merupakan *modulus young*, dan ν merupakan *poisson's ratio*. Bila disubstitusikan persamaan diatas ke dalam persamaan (2), (4), (8) dan (10) dan mengabaikan z/r_x dan z/r_y , akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$N_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_1 + \nu\epsilon_2)$$

(2.20)

$$N_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_2 + \nu\epsilon_1)$$

(2.21)

$$M_x = -d(X_x + \nu X_y)$$

(2.22)

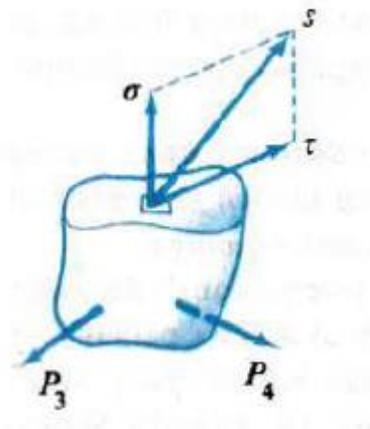
$$M_y = -d(X_y + \nu X_x)$$

(2.23)

Dimana $d = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ dan menunjukkan kekakuan lentur dari *shell*.

2.2.4. Konsep Tegangan

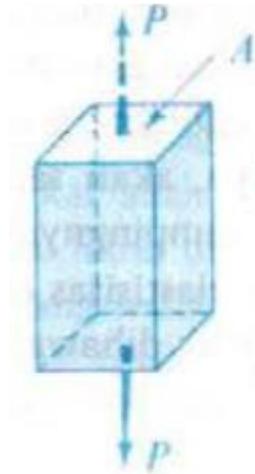
Umumnya, tegangan atau *stress* dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas. Gaya dalam yang bekerja pada luas sebuah permukaan, terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 7.



Gambar 2.7. Diagram grafik tegangan
(Sumber: Popov, 1984)

2.2.5. Tegangan Normal (*Normal Stress*)

Tegangan normal atau *normal stress* adalah intensitas gaya yang bekerja normal atau tegak lurus terhadap irisan yang mengalami tegangan pada sebuah titik dan dilambangkan dengan σ (sigma). Secara matematis definisi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Gambar 2.8. Gambar Ilustrasi Tegangan Normal
(Sumber: Popov, 1984)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.24)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

A = Luas penampang melintang (m^2)

Tegangan normal dibagi menjadi beberapa macam tergantung dari arahnya yang terbagi menjadi:

1. Tegangan tarik (*tensile stress*) = Tegangan normal yang menghasilkan tarikan (*tensile*) pada permukaan sebuah potongan.
2. Tegangan tekan (*compressive stress*) = Tegangan normal yang mendorong pada permukaan sebuah potongan.

3. Tegangan geser (*shearing stress*) = Tegangan normal yang gaya bekerjanya sejajar dengan bidang potongan.

Pada tegangan geser dapat dilambangkan dengan τ (tau). Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

(2.25)

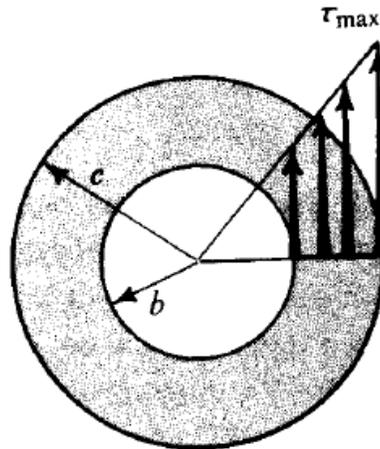
Dimana:

τ = Tegangan geser (N/m²)

F = Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang (N)

A = Luas penampang (m²)

Sedangkan pada benda berbentuk silinder seperti *tubular member*, tegangan geser maksimum (τ_{max}) akan terjadi pada jarak terjauh dari titik tengah diameternya. Penyebab terjadinya tegangan geser pada elemen penampang melingkar adalah momen puntiran aksial. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung tegangan geser maksimal pada penampang luar batang akibat momen puntir adalah:



Gambar 2.9 Gambar tegangan geser dalam bidang silindris
(Sumber: Popov, 1984)

$$\tau_{\max} = \frac{TR}{I_p}$$

(2.26)

Dimana:

τ_{\max} = Tegangan geser maksimal (N/m²)

T = Momen puntir (Nm)

R = Jari-jari penampang melingkar (m)

I_p = Momen inersia kutub (m⁴)

$$= \frac{\pi c^4}{2} - \frac{\pi b^4}{2}$$

2.2.6. Teori Tegangan Von Mises

Tegangan von Mises atau kriteria von Mises merupakan gabungan penentuan dari tegangan-regangan yang terjadi pada *tubular member*. Tegangan dan regangan dapat berupa gaya normal maupun geser. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan von Mises:

$$\sigma_{HVM} = [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy} + \tau_{yz} + \tau_{zx})^2]^{1/2} \quad (2.27)$$

Dimana:

σ_{HVM}	=	tegangan von Mises (Pa)
σ_x	=	tegangan normal sumbu-x (Pa)
σ_y	=	tegangan normal sumbu-y (Pa)
σ_z	=	tegangan normal sumbu-z (Pa)
τ	=	tegangan geser (Pa)

2.2.7. Kekuatan Ultimat (Ultimate Strength)

Ultimate strength atau kekuatan maksimal merupakan kekuatan maksimal yang mampu diterima oleh *member*. Pada dasarnya, *ultimate strength* adalah daerah plastis bagi sebuah material yang memiliki deformasi yang tidak bisa dikendalikan (kembali ke kondisi semula) dan kemudian akan mengalami *buckling* atau *neckling*. *Ultimate limit state* atau kekuatan batas merupakan kondisi *member* tertentu mencapai batas kekuatan maksimalnya (*ultimate strength*).

Biasanya struktur hanya dianalisa sampai *allowable stress* (tegangan ijin). Namun dari hasil analisa biasanya tidak bisa mendapatkan kekuatan sisa dari sebuah struktur. Untuk mencari *residual strength* (kekuatan sisa) dari sebuah *member* tidak cukup jika hanya dilakukan analisa hingga mencapai *yield strength* saja. Namun diperlukan analisa hingga mencapai *ultimate strength* pada *member*.

2.2.8. Analisa Pushover

Analisa *pushover* atau analisa beban dorong adalah satu cara untuk menentukan *ultimate strength* dari *member* agar mampu menahan beban yang sedang terjadi. Ketidakmampuan *member* dalam menerima beban yang terjadi menyebabkan

failure atau kegagalan. Untuk mengetahui *ultimate strength* pada saat *pushover*, beban pada *member* ditingkatkan secara bertahap hingga *member* mengalami *failure*.

2.2.9. Reserve Strength Ratio (RSR)

Reserve strength atau kekuatan sisa adalah kekuatan yang dimiliki *member* ketika dikenai beban diatas batas maksimal atau dalam menahan beban ekstrim sebelum mengalami keruntuhan. Nilai dari *reserve strength* bisa didapat dengan menggunakan *ultimate strength* yang diperoleh melalui analisa *pushover*.

Struktur memiliki *reserve strength ratio* (RSR) yang berbeda untuk setiap arah pembebanan dan RSR yang diambil adalah yang paling kecil atau minimum. Secara dasar analisa ini dilakukan dengan cara menetapkan beban-beban yang akan digunakan biasanya beban vertikal adalah beban yang dianggap tetap sedangkan beban lingkungan adalah beban yang dinaikkan (*incremental load*). Beban lingkungan dalam kondisi ekstrim ini dinaikkan secara perlahan sampai batas kekuatan dari struktur tercapai.

Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *reserve strength ratio* adalah sebagai berikut:

$$\text{RSR} = \frac{\text{Beban pada saat member collapse}}{\text{Beban awal}}$$

(2.28)

$$\text{RSR} = \frac{P_{\text{Awal}} + \text{Total } P \text{ Increment}}{P_{\text{awal}}}$$

(2.29)

Bila diketahui:

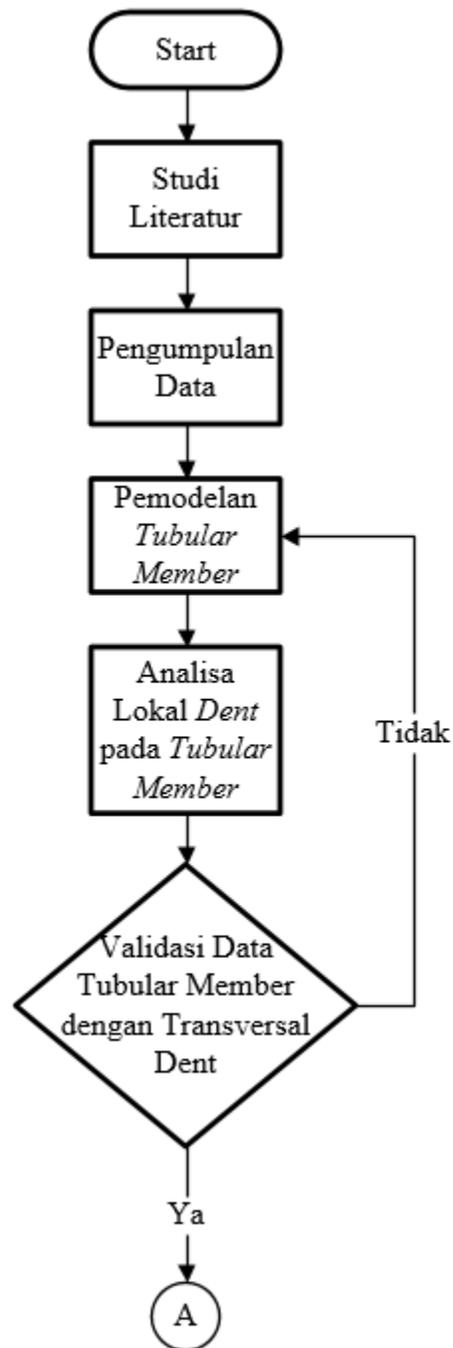
P_{awal} = Beban pada saat desain (ton)

$P_{\text{increment}}$ = Beban saat analisa *pushover* (ton)

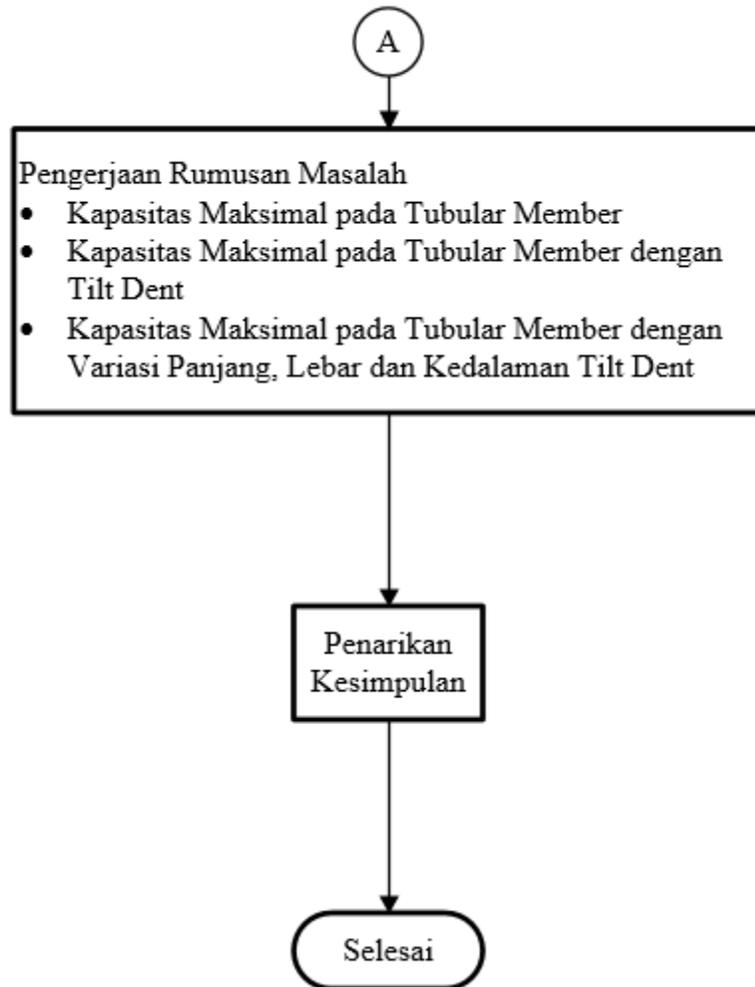
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Prosedur Penelitian

Untuk mempermudah dalam pengerjaan tugas penelitian ini, metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Literatur yang dipelajari untuk penelitian sebagai bahan literatur merupakan penelitian–penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan berkaitan dengan penelitian tugas akhir. Literatur yang dipelajari akan digunakan untuk mencari hubungan dari variabel dalam studi serta untuk mengetahui metode–metode yang dapat digunakan dalam analisa *dent*. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti:

- a. Jurnal, yang memberikan data-data terkait dengan dasar penyusunan program, informasi terkait informasi–informasi yang berhubungan dengan tugas akhir.
- b. Buku, yang memberikan semua informasi dan penjelasan terkait tugas akhir.
- c. Skripsi, yang memberikan informasi untuk mendukung penyelesaian masalah.

2. Pengumpulan Data

Data–data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data dimensi *tubular member*, sifat-sifat *material*, dimensi *dent* (lebar, kedalaman dan letak *dent* pada *tubular member*), serta data *load capacity* pada *tubular member* dari hasil eksperimen yang pernah dilakukan.

Tabel 3.1 Data Spesimen dan Kedalaman *dent*

(Sumber: Bruin, 1995)

Test Series	Specimen	D/t	Dent-Depth	Description Of Specimen
1	C1a	64	0.10D	Damaged, Non-repaired
2	A6	34.5	0.15D	Damaged, Non-repaired
	B6	46		Damaged, Non-repaired
	C6	69		Damaged, Non-repaired
3	B17	46	0.20D	Damaged, Non-repaired
4	A8	34.5	0.30D	Damaged, Non-repaired
	C8	69		Damaged, Non-repaired
5	A7	34.5	0.15D	Damaged, Internal Grout Repair
	B7	46		Damaged, Internal Grout Repair
	B7a	46		Damaged, Internal Grout Repair with Reduced Internal Bond Strength
	B7b	46		Damaged, Internal Grout Repair with Reduced Internal Bond Strength
	C7	69		Damaged, Internal Grout Repair
6	A9	34.5	0.30D	Damaged, Internal Grout Repair
	C9	69		Damaged, Internal Grout Repair

Tabel 3.2. Data Spesimen

(Sumber: Bruin, 1995)

Test Series	Specimen	Diameter, D (inches)	Thickness, t (inches)	Length, L (inches)
1	C1a	8.619	0.136	183.75
2	A6	8.637	0.253	177.88
	B6	8.621	0.189	179.19
	C6	8.59	0.127	180.5
3	B17	8.617	0.189	179
4	A8	8.625	0.253	177.25
	C8	8.625	0.127	180.5

Tabel 3.3 Data Spesimen dan Lebar Dent

(Sumber: Bruin, 1995)

Test Series	Specimen	Wd (inch)
1	C1a	5.0
2	A6	6.2
	B6	6.2
	C6	6.2
3	B17	6.8
4	A8	9.0
	C8	9.0

Table 3.4. Tabel Analisa Material

(Sumber: Bruin, 1995)

Test	Specimen	Steel Elastic Modulus Es (ksi)	Static Yield Stress $\sigma_{y,s}$ (ksi)	Compressive Yield Stress $\sigma_{y,c}$ (ksi)	Ultimate Stress σ_u (ksi)
1	C1a	30800	43	38	58
2	A6	29510	34	36	59
	B6	29940	38	38	60
	C6	30220	37	37	55
3	B17	29940	39	38	60
4	A8	29510	34	36	60
	C8	30220	36	36	54
5	A7	29510	35	36	59
	B7	29940	38	38	61
	B7a	29940	39	38	60
	B7b	29940	38	38	61
	C7	30220	37	36	53
6	A9	29510	34	36	56
	C9	30220	39	37	53

3. Pemodelan *Tubular Member*

Pada data akan dimodelkan *tubular member* yang terkena *dent* dengan menggunakan software SolidWorks. Pemodelan *tubular member* dilakukan untuk kondisi *tubular member* sebelum mengalami *denting* dan setelah mengalami *denting*, Data pada *tubular member* yang terkena *dent* kemudian akan dianalisa lagi menggunakan software ANSYS untuk mendapatkan hasil analisisnya dengan metode FEM.

4. Analisa Lokal *Dent* pada *Tubular Member*

Analisa lokal dilakukan menggunakan *software* ANSYS untuk kondisi *tubular member* saat sebelum dan sesudah mengalami *dent*. Dalam hal ini, akan dilakukan analisa terhadap kekuatan *tubular member* dengan menggunakan metode peningkatan beban secara bertahap (*pushover*) hingga diketahui *ultimate strength* dan kapasitas maksimal pada *tubular member* setelah mengalami *denting*. Pembebanan yang digunakan pada *member* adalah pembebanan aksial tarik dan aksial dorong. Pada ANSYS juga dianalisa *meshing sensitivity analysis* lalu *pushover*-nya. Analisa *ultimate strength* dan kapasitas maksimal juga akan dilakukan pada variasi kedalaman, panjang dan lebar pada *dent* sehingga dapat membandingkan pengaruhnya terhadap kapasitas maksimal.

5. Validasi Hasil Perhitungan.

Validasi dilakukan dengan cara membandingkan kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum menerima *dent* yang telah dimodelkan dengan data yang telah diperoleh pada tahap pengumpulan data. Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa *tubular member* yang telah dibuat pada tahap pemodelan sudah sesuai dengan kondisi sebenarnya sesuai data yang telah diperoleh.

6. Penyelesaian Rumusan Masalah

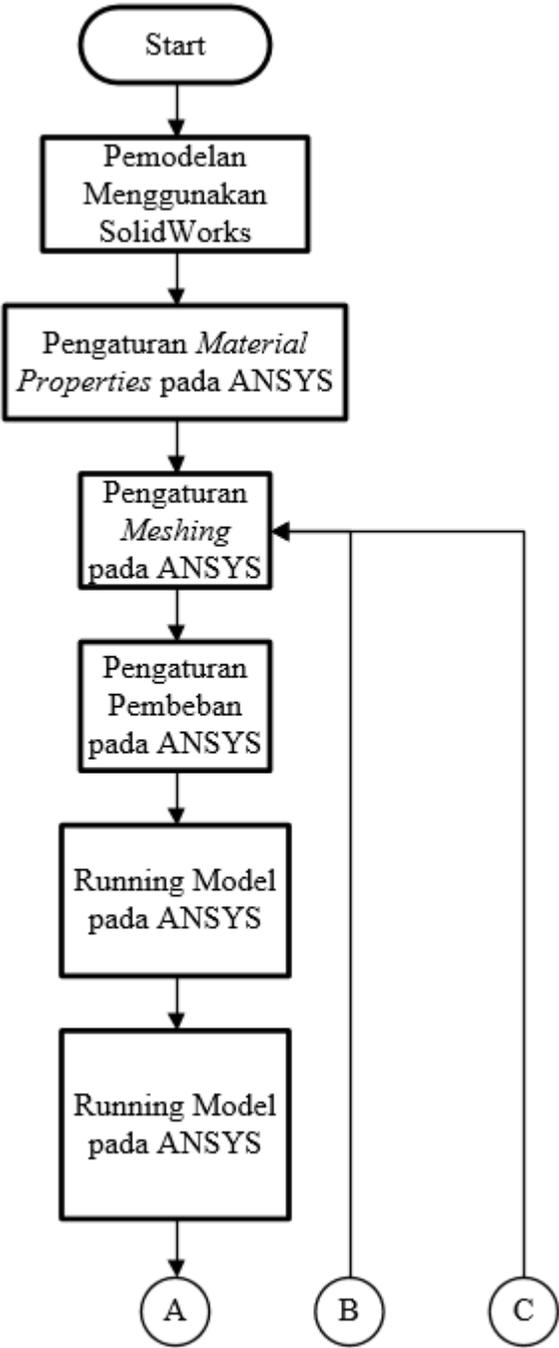
Penyelesaian rumusan masalah terdiri dari besarnya kapasitas maksimal pada *tubular member*, besarnya pengaruh kapasitas maksimal pada *tubular*

member yang mengalami *tilt dent* dan pengaruh kedalaman, panjang dan lebar *dent* terhadap kapasitas maksimal pada *tubular member* yang mengalami *tilt dent*.

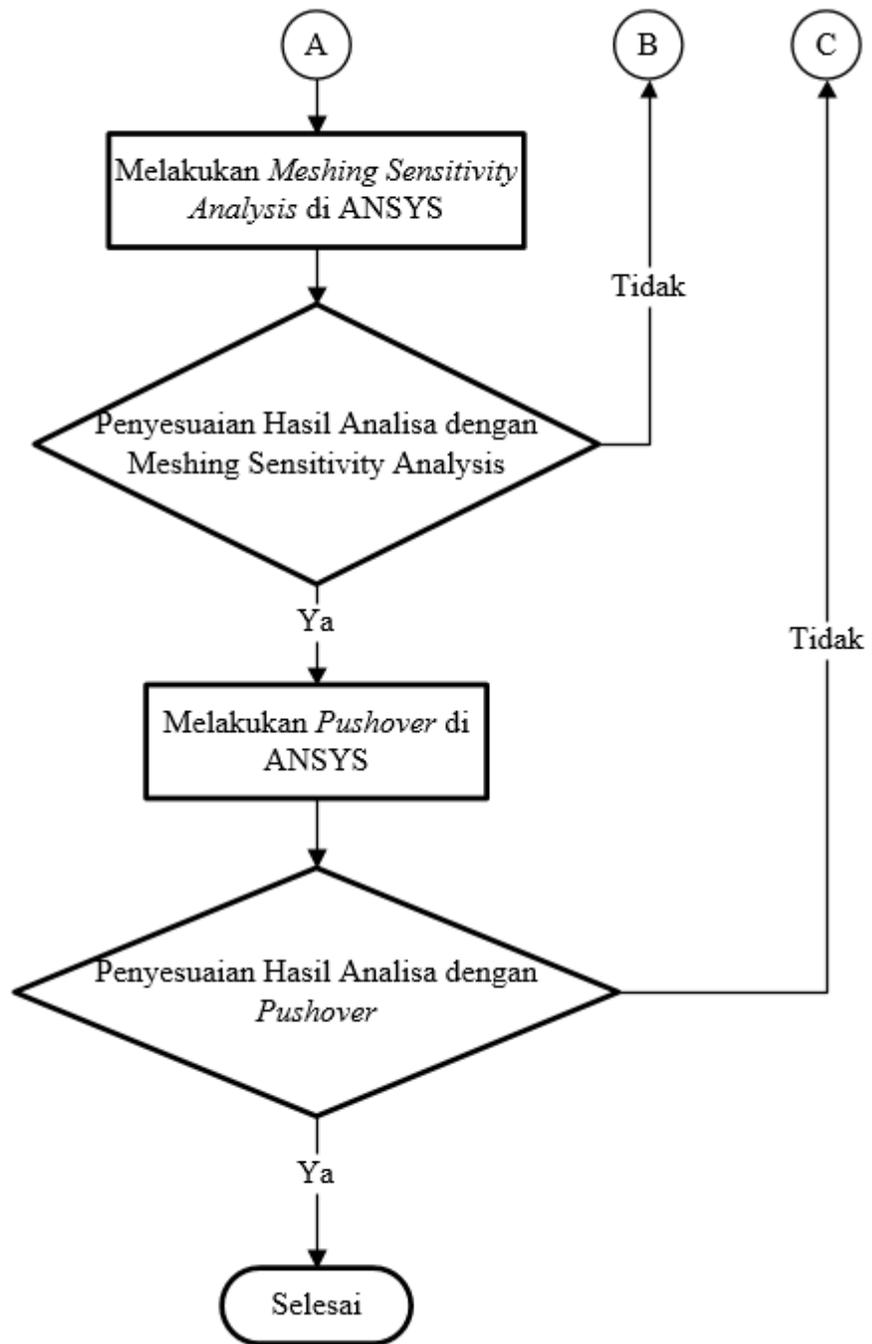
7. Menarik Kesimpulan

Setelah itu diambil kesimpulan seberapa besar pengaruh kapasitas maksimal yang ada pada *tubular member* yang terkena *dent* jenis *tilt*. Serta melakukan perbandingan pengaruh variasi kedalaman, panjang dan lebar *dent* terhadap kapasitas maksimal *tubular member*.

3.3 Diagram Alur Pemodelan



Gambar 3.3 Diagram Alur Pemodelan



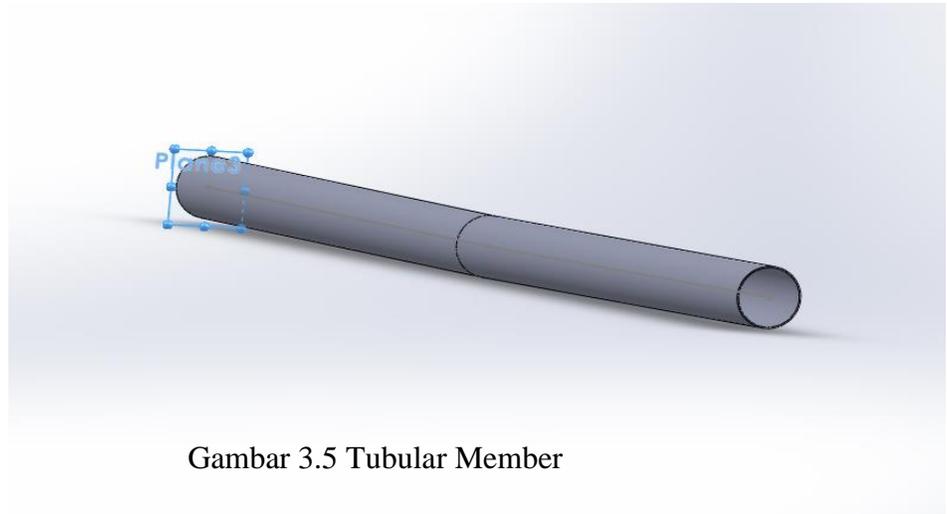
Gambar 3.4 Diagram Alur Pemodelan

3.3 Prosedur Pemodelan dan Analisa

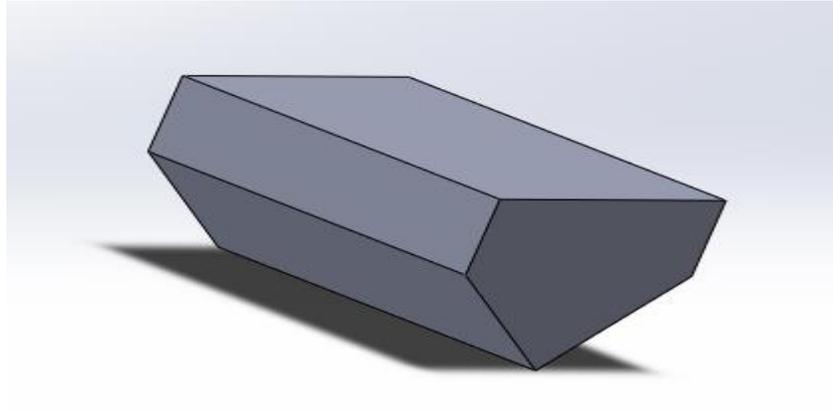
Untuk mempermudah dalam pengerjaan tugas penelitian ini, dalam proses pemodelan dan analisa akan digunakan *software* SolidWorks dan ANSYS.

1. Pemodelan menggunakan SolidWorks

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* SolidWorks menggunakan data-data yang telah didapatkan seperti dimensi *dent* dan dimensi *tubular member*. Menggunakan data yang akan dimodelkan *tubular member* yang sebelum terkena *dent* lalu baru memodelkan indenternya. Kemudian model dari *tubular member* dan *indenter* tadi digabung sehingga mampu membuat bentuk *dent* yang diinginkan pada *tubular member*. Data pada *tubular member* yang terkena *dent* tadi akan di-convert menjadi format “IGS” kemudian akan dianalisa menggunakan *software* ANSYS.



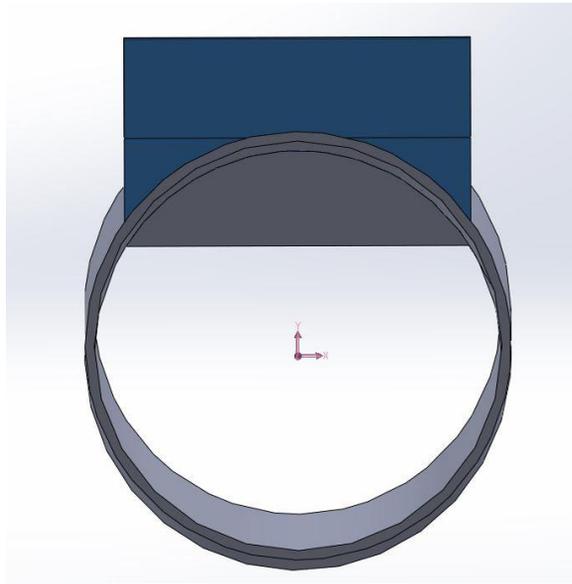
Gambar 3.5 Tubular Member



Gambar 3.6 Indenter



Gambar 3.7 *Tubular Member* yang sudah terkena *dent*.



Gambar 3.8 Tampak depan *tubular Member* yang sudah terkena *dent*.

2. Pengaturan *Material Properties* pada ANSYS

Sebelum pengaturan *material properties*, model dari *SolidWorks* yang sudah dikonversi dimasukkan kedalam ANSYS dengan cara memilih Static Structural. Kemudian akan muncul Project Schematics dari Static Structural. Pada Project Schematics klik kanan pada Geometry dan pilih Import Geometry dan Browse, dipilih model *tubular member* yang berupa IGS.

Pengaturan *material properties* dilakukan di ANSYS pada bagian “Engineering Data”. Data yang dimasukkan disesuaikan dengan data yang didapat lengkap dari nilai hingga satuannya. Untuk menginput sifat material, diperlukan pembuatan material yang baru dengan menekan “Click here to add a new material” dan pilih nama materialnya. Setelah itu pilih jenis sifat material yang ada di Toolbox Engineering Data, untuk sifat material dari data yang diambil, dimasukkan Isotropic Elasticity, Bilinear Isotropic Hardening, Tensile Yield Strength, Compressive Yield Strength dan Compressive Ultimate Strength. Data yang dimasukkan berupa *Modulus Elastisitas* sebesar 29940000 psi, *yield strength* sebesar 38000 psi, *tangent modulus* sebesar 1450

MPa, *tensile yield strength* sebesar 39000 psi, *compressive yield strength* sebesar 38000 psi dan *compressive ultimate strength* sebesar 60000 psi.

3. Membuat *Name Selection* pada ANSYS

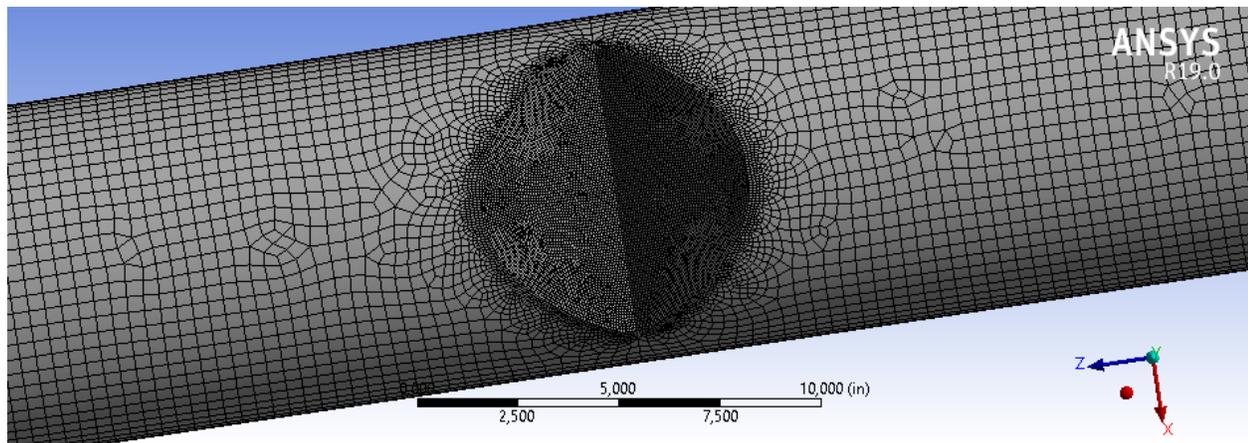
Membuat *Name Selection* digunakan untuk mempermudah penamaan ketika *meshing* nantinya. *Name Selection* dilakukan dengan memilih bagian mana yang akan dinamai kemudian klik kanan dan pilih *Create Named Selection*. Ketik nama yang diinginkan lalu klik ok.

4. Pengaturan *Meshing* pada ANSYS

Cara melakukan *Meshing* pertama-tama dilakukan dengan memilih "Mesh" pada Outline . Pada Physics Preference diganti pilihan CFD dan pada Solver Preference diganti dengan pilihan CFX. Selain itu pada Smoothing diganti High. Setelah pengaturan pada *Meshing*, dipilih Method yang digunakan untuk menghaluskan *meshing*.

Untuk mengaplikasikan Method pada *meshing*, klik kanan pada "Mesh" yang ada di Outline, pilih insert kemudian Method. Pada Method dipilih Geometry pada seluruh *tubular member*. Pada Method dipilih Hex Dominant dan pada Free Face Mesh Type dipilih All Quad.

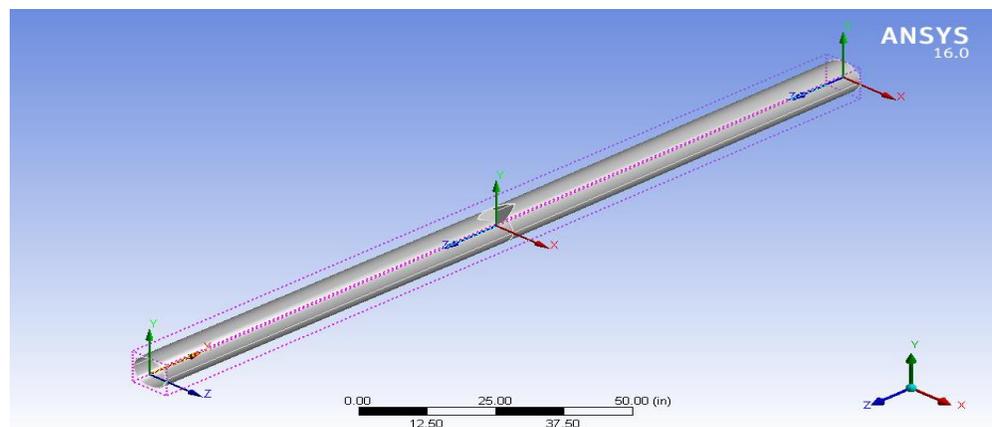
Setelah dipilih Method, masukkan Sizing pada bagian-bagian *tubular member* yang telah dinamai di bagian Named Selection. Klik kanan pada Mesh lalu klik Insert dan pilih Sizing. Pada Scope Method pilih Named Selection dan pada Named Selection pilih nama yang akan dilakukan Sizing. Pada element size dipilih angka secara acak yang nanti akan dipastikan dengan *Meshing Sensitivity Analysis*. Ubah Behavior menjadi Hard.



Gambar 3.9 Hasil *Meshing*.

5. Pengaturan pembebanan pada ANSYS

Pada pengaturan pembebanan pertama dilakukan penentuan koordinat pada beban dan tumpuan. Hal ini dilakukan dengan cara pilih Coordinate System pada Outline, klik kanan, pilih insert lalu pilih Coordinate System. Klik pada Details dari koordinat tersebut ubah Define By menjadi Named Selection pilih sesuai dengan Name Selection pada ujung *tubular member*, ubah Origin X, Y dan Z sesuai lokasi koordinat lokal pada ujung *tubular member* terhadap koordinat global.



Gambar 3.10 Koordinat Pembebanan dan Tumpuan.

Selanjutnya tumpuan dan beban dimasukkan pada ujung-ujung *tubular member*, jenis tumpuan yang digunakan adalah *pin* dan *roll*, sedangkan beban juga terdapat pada ujung-ujung *tubular member* sebesar 84 kips. Caranya

dengan klik kanan pada Static Structural yang ada di Outline, Insert lalu pilih Remote Displacement. Ubah Scoping Method menjadi Named Selection, pilih Named Selection yang sesuai. Ubah Coordinate System menjadi koordinat lokal yang dibuat. Ubah koordinat X, Y dan Z menjadi 0. Pada bagian Component dan Rotation ubah sesuai dengan jenis tumpuan.

Untuk pembebanan, sama seperti menambahkan tumpuan lalu pilih Remote Force. Lalu pada Details of Remote Force ubah Scoping Method menjadi Named Selection. Ubah Named Selection sesuai dengan nama yang menjadi letak koordinat lokal yang telah dibuat. Ubah koordinat X, Y dan Z menjadi 0. Ubah Define By menjadi Component, masukan beban pada sumbu sesuai dengan data.

6. Memasukkan Output yang diinginkan pada ANSYS

Selanjutnya dilakukan penentuan jenis *output* yang diharapkan dari hasil analisa yang akan dilakukan. Jenis *output* yang akan ditinjau meliputi tegangan ekuivalen (*von Mises*), regangan dan deformasi. Untuk tegangan ekuivalen (*von Mises*) klik kanan pada Solution, pilih Insert, pilih Stress, pilih Equivalent (*von-Mises*). Untuk regangan, klik kanan pada Solution, pilih Insert, pilih Strain, pilih Equivalent Plastic. Untuk deformasi, klik kanan pada Solution, pilih Insert, pilih Deformation, pilih Directional, pada Details of Deformation, ubah Orientation sesuai dengan arah deformasi yang ditinjau.

7. *Running* model pada ANSYS

Setelah jenis *output* berupa tegangan *von-Mises*, regangan, deformasi ditentukan. Langkah selanjutnya adalah *Running*. Caranya adalah klik kanan pada Solution, pilih Solve.

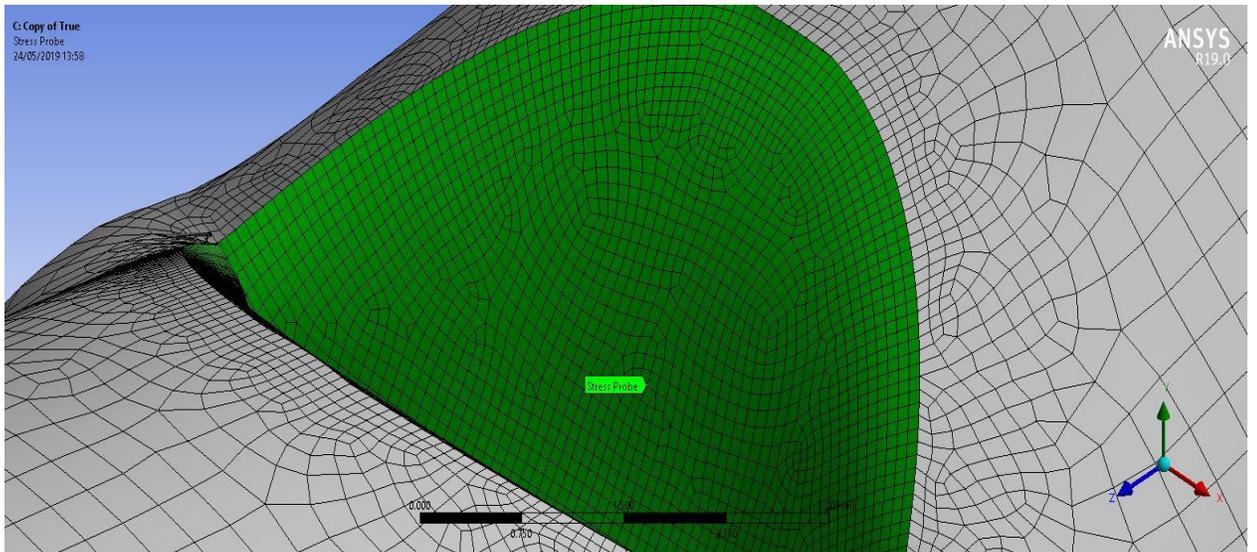
8. Mendapatkan Output yang diinginkan pada ANSYS

Setelah menunggu hasil *running* akan keluar. Hasil yang keluar berupa tegangan *von Mises*, regangan dan deformasi pada sumbu X, Y dan Z.

Hasil dari *running* akan ditampilkan pada bab berikutnya.

9. Melakukan *Meshing Sensitivity Analysis*

Selanjutnya akan dilakukan *meshing sensitivity analysis* untuk menentukan ukuran *elemen size* pada *mesh* yang tepat. Caranya adalah dengan meninjau tegangan di satu titik pada *tubular member*, kemudian mengubah *elemen size* secara bertahap hingga didapatkan rentang ukuran *element size* dengan *output* tegangan yang konstan. Sehingga dapat ditarik asumsi bahwa pada *element size* tersebut sudah dapat menjadi acuan tegangan sebenarnya yang terjadi pada *tubular member*. Ukuran elemen yang telah ditentukan pada tahap ini, akan dijadikan acuan ukuran elemen untuk analisa tahap selanjutnya. Caranya dengan klik kanan Solution, pilih Insert, pilih Probe, Pilih Stress. Pada Details of Stress Probe, Geometry dipilih pada lokasi yang ada pada *dent*. Pilih Result Selection menjadi Equivalent (*von Mises*). Hasil dari *meshing sensitivity analysis* akan ditunjukkan pada bab berikutnya.



Gambar 3.11 Probe untuk meshing sensitivity analysis.

10. Penyesuaian hasil *Running* dengan Data Hasil Meshing Sensitivity Analysis

Setelah diketahui rentang *elemen size* pada *mesh tubular member*, dibandingkan ukuran *elemen size* hasil *meshing sensitivity analysis* dengan ukuran elemen yang digunakan pada saat *meshing* dan *running* pada tahap sebelumnya. Apabila *element size* pada saat *meshing* dan *running* belum sesuai dengan *element size* hasil *meshing sensitivity analysis*, maka perlu dilakukan *meshing* dan *running* model ulang.

11. Running dengan Penambahan Beban secara Bertahap

Selanjutnya adalah melakukan *running* dengan penambahan beban atau *pushover*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kapasitas dan tegangan maksimal dari model *tubular member*. Caranya sama dengan pengaturan beban sebelumnya. Penambahan beban ini dilakukan dengan rentang 0.5 kip. Hasil dari penambahan beban atau *pushover* pada penelitian ini, akan ditampilkan pada bab selanjutnya.

12. Penyesuaian hasil *Running* dengan Penambahan Beban

Setelah penambahan beban atau *pushover* dan didapatkan beban serta tegangan *von Mises*, selanjutnya dibandingkan dengan beban maksimal pada data (*Peak Experimental Load*) dan tegangan *ultimate* pada data. Apabila beban maksimal maupun tegangan *ultimate* yang didapat belum mendekati data yang ada, maka perlu dilakukan pemodelan ulang pada *tubular member*. Apabila beban maksimal dan tegangan maksimal telah mendekati, maka tahap validasi telah selesai. Untuk hasil validasi beban dan tegangan, akan ditampilkan pada bab selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

Laporan ini akan dilakukan analisa kapasitas maksimal dari *tubular member* dalam kondisi mengalami *tilt dent* dengan validasi data milik Bruin berupa *tubular member* yang terkena *transverse dent*. Hasil analisis dari kondisi tersebut kemudian dibandingkan divariasikan kedalaman, panjang dan lebar *dent*-nya, sehingga diketahui pengaruh *dent* tersebut terhadap variasi tersebut

Pemodelan *tubular member* dan *indenter* dilakukan menggunakan *software* Solidworks. Geometri dari *tubular member* dan *dent* disesuaikan dengan data yang ada. Beberapa data yang ada yaitu:

Panjang *tubular member* : 179 in
Diameter *tubular member* : 8,617 in
Ketebalan : 0,189 in
Out of straightness : 0,5728 in

Jenis tumpuan : Pin dan Roll
Lokasi tumpuan : Masing-masing ujung *tubular member*
Jenis pembebanan : *Axial Compression*
Lokasi pembebanan : Masing-masing ujung *tubular member*

4.2 Hasil *Running* Validasi Data

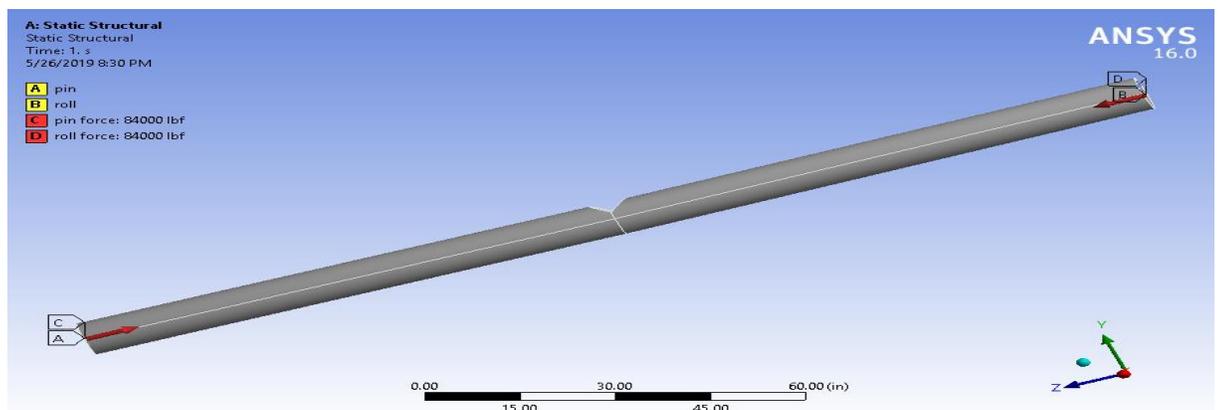
Pemodelan *tubular member* dan *indenter* dilakukan menggunakan *software* Solidworks. Geometri dari *tubular member* dan *dent* disesuaikan dengan data yang ada. Beberapa data yang ada yaitu:

Lebar *dent* : 6.8 inci
Kedalaman *dent* : 1.7234 inci

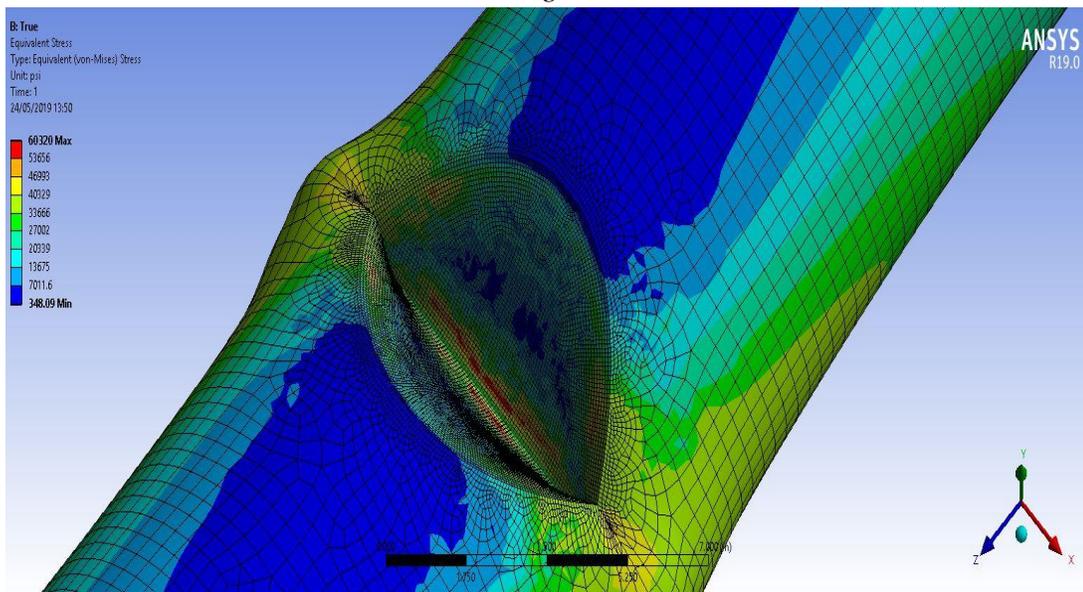
Panjang *dent* : 8.617 inci

Jenis *dent* : *Transverse dent*

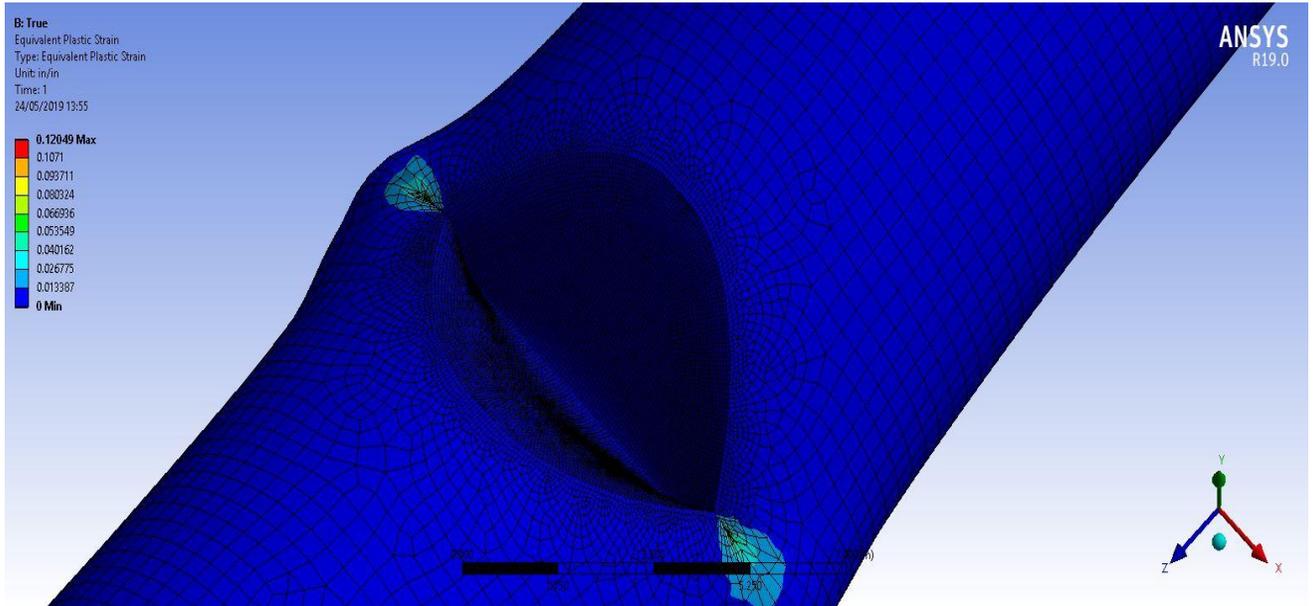
Dengan menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang terkena *transverse dent*. Dari hasil *running* awal dapat diketahui bila tegangan von Mises pada *tubular member* yang terkena *dent* adalah 60320 psi dan regangan ekuivalen plastis adalah 0.12049. Bila dibandingkan dengan tegangan yang ada di data milik Bruin yaitu 60000 psi, maka tegangan ekuivalen von Mises pada hasil *running* memiliki persentase eror 0.534%.



Gambar 4.1 *Running* Stress Von Mises



Gambar 4.2 Hasil *Running Stress Von Misses*

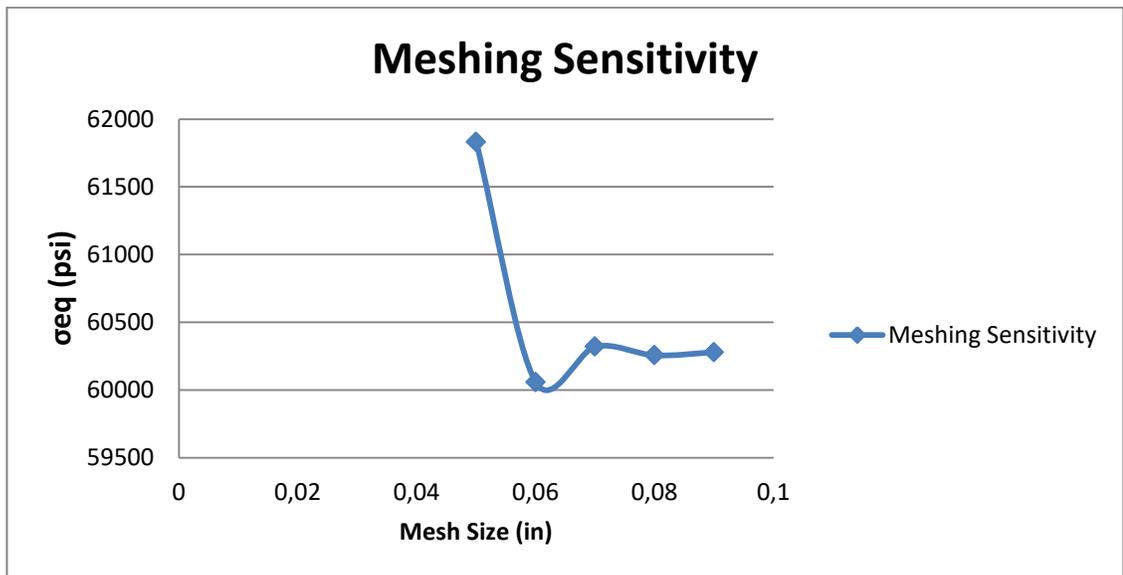


Gambar 4.3 Hasil *Running Equivalent Plastic Strain*

4.3 Hasil *Running Meshing Sensitivity Analysis*

Tabel 4.1 Hasil *Running Meshing Sensitivity Analysis*

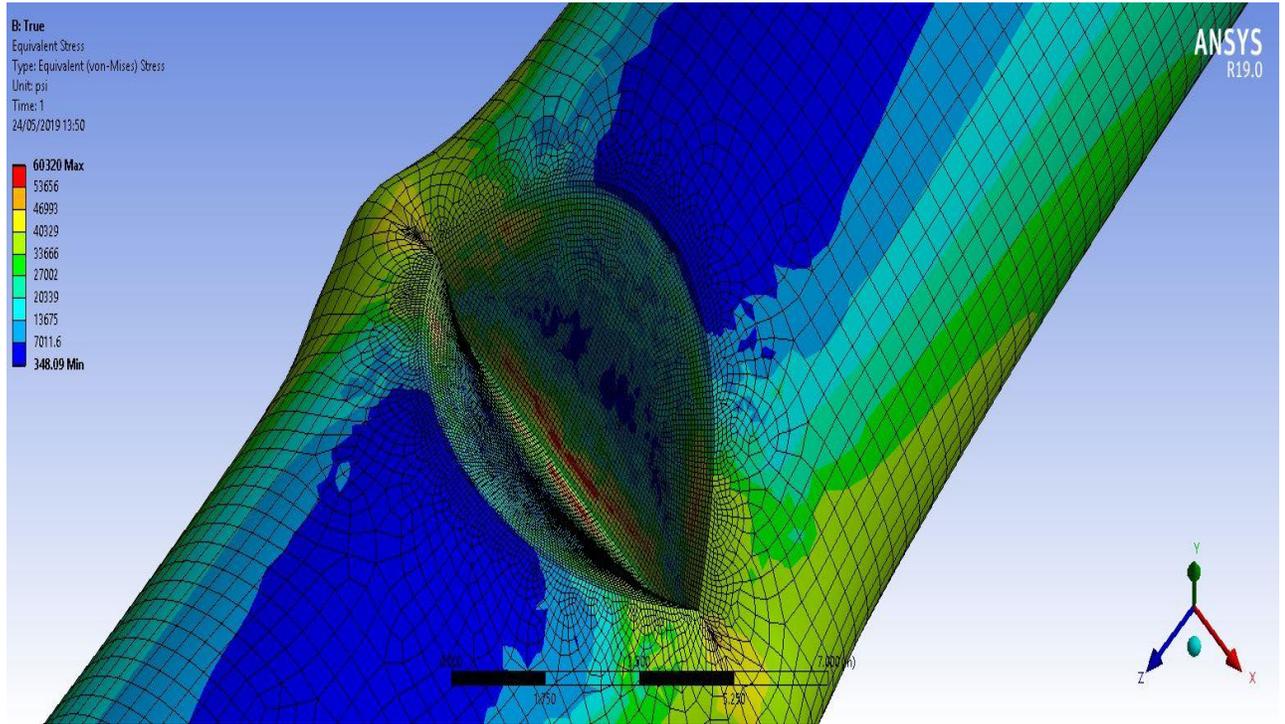
Mesh Size (in)	σ_{eq} (psi)	Nodes	Elements	Pmodel (kips)
0.09	60278	76330	55187	84
0.08	60256	80496	61086	
0.07	60320	86183	65473	
0.06	60058	101116	87656	
0.05	61832	129007	125602	



Gambar 4.4 Grafik Hasil *Running* Meshing Sensitivity Analysis

Untuk *meshing sensitivity analysis* diambil *element size* di sekitar *element size* awal 0.7 yaitu dari rentang 0.5 – 0.9 dan beban tetap pada 84 kips. Dapat dilihat dari hasil *meshing sensitivity analysis* bahwa nilai tegangan ekuivalen mulai konstan pada *element size* 0.6 hingga 0.8. Dan dari *element size* itu, *element size* 0.7 memiliki nilai tegangan ekuivalen 60320 psi. Sehingga yang dipilih adalah *element size* 0.7 pada tegangan 60320 psi.

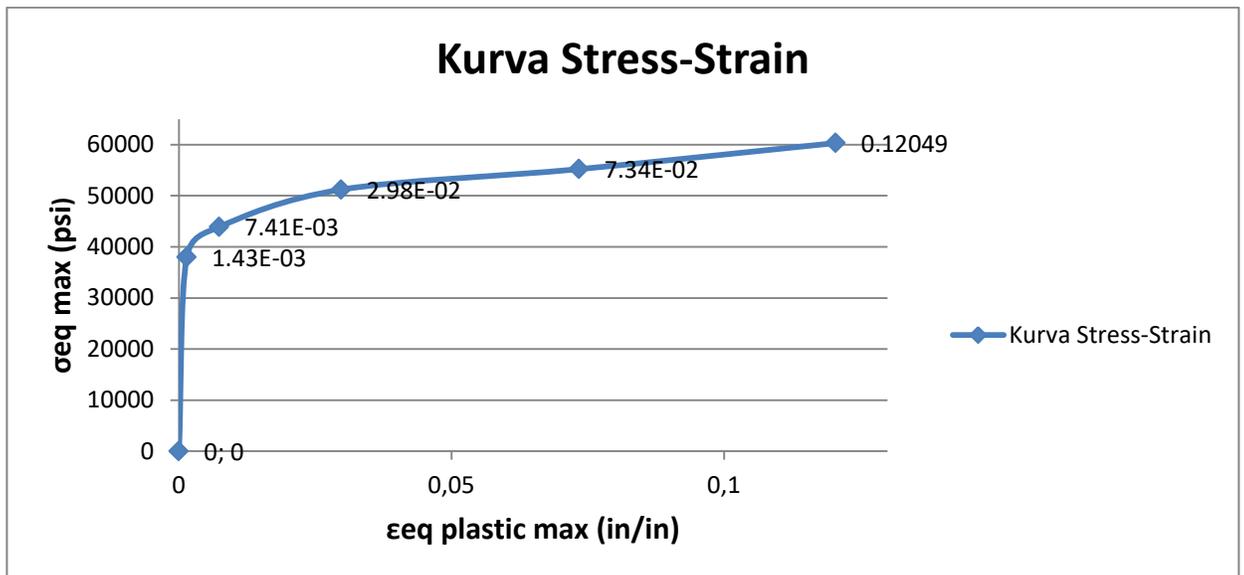
4.4 Hasil *Running* Penambahan Beban



Gambar 4.5 Hasil *Running* pada beban 84 kips.

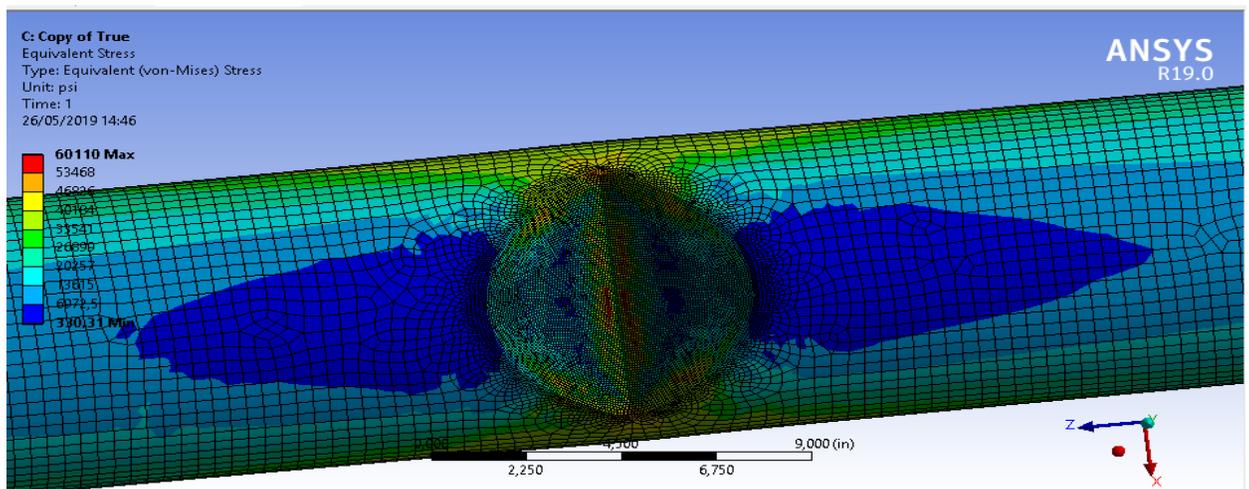
Tabel 4.2 von Misses *Stress* dan *Equivalent Strain* pada Pembebanan 84 kips

Step	ϵ_{eq} plastic max (in/in)	σ_{eq} max (psi)
0	0	0
1	1.43E-03	37962
2	7.41E-03	43908
3	2.98E-02	51210
4	7.34E-02	55220
5	0.12049	60320



Gambar 4.6 Grafik Kurva Stress-Strain pada beban 84 kips.

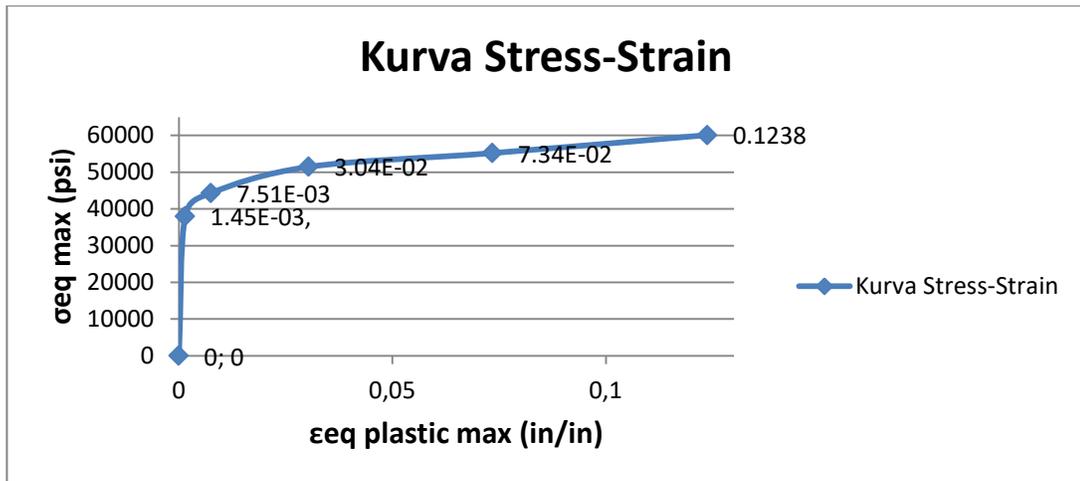
Dikarenakan beban masih belum eror ketika dianalisa, hal ini menandakan bahwa *tubular member* belum mencapai keadaan pada bebam maksimal. Maka beban akan ditambah hingga menghasilkan eror di ANSYS dengan menambah beban sebesar 0.5 kips.



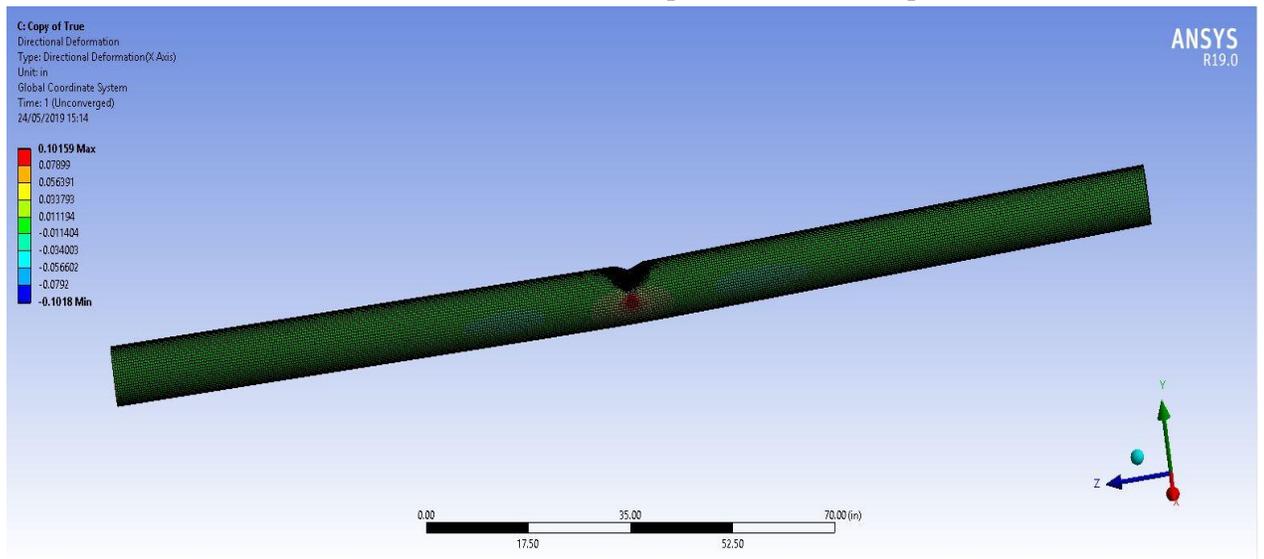
Gambar 4.7 Hasil Running pada beban 84.5 kips

Tabel 4.3 von Misses Stress dan *Equivalent Strain* pada Pembebanan 84.5 kips

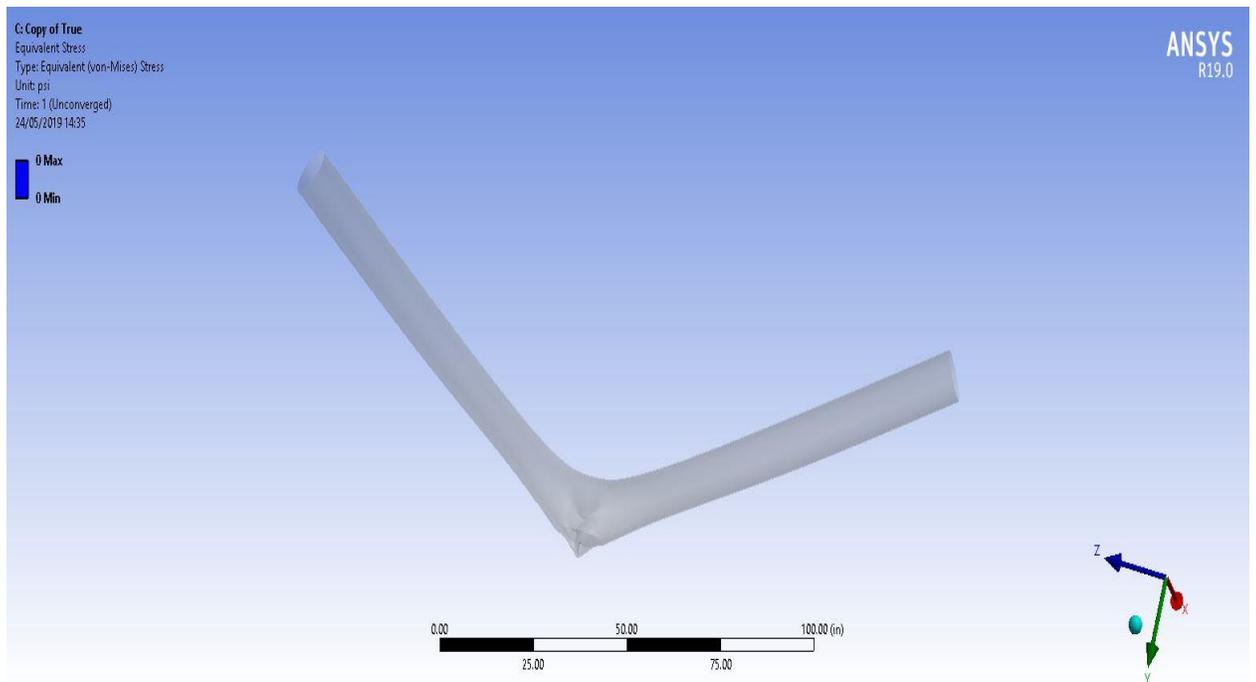
Step	ϵ_{eq} plastic max (in/in)	σ_{eq} max (psi)
0	0	0
1	1.45E-03	37963
2	7.51E-03	44305
3	3.04E-02	51457
4	7.34E-02	55200
5	0.1238	60110



Gambar 4.8 Grafik Kurva Stress-Strain pada beban 84.5 kips.



Gambar 4.9 Hasil *Running* pada Beban 84.5 kips.



Gambar 4.10 Hasil *Running* pada Beban 85 kips.

Dapat dilihat dari hasil *running* penambahan beban secara bertahap. Pada beban 85 kips, ketika di *running* hasilnya mengalami eror. Hal ini dikarenakan *tubular member* sudah tidak mampu menahan beban atau kondisi *tubular member* sudah mencapai tegangan ultimate-nya. Sedangkan pada beban 84.5 kips merupakan beban maksimal yang ada pada *tubular member*. Bila dibandingkan dengan data yang ada maka margin error penambahan beban yaitu sebesar 0.59%. Berikut adalah persentase eror lengkapnya.

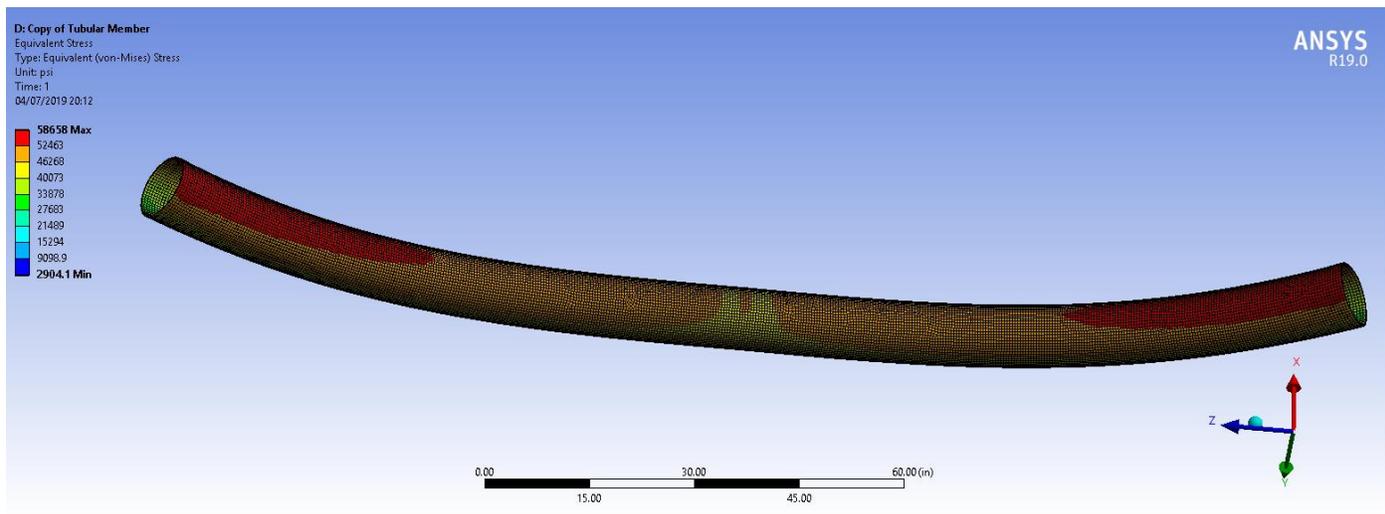
4.5 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member Tanpa Dent

Dengan menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang belum terkena *dent*. Analisa dilakukan dengan metode *pushover* yaitu menambah beban secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimal. Dari hasil analisa dapat diketahui bila tegangan von Misses pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 58658 psi pada beban 230 kips. Pada beban

melebihi 230 kips, model akan mengalami kegagalan bila dianalisa. Hal ini menandakan bahwa *tubular member* sudah mencapai keadaan kapasitas maksimal.

Pemodelan *tubular member* dilakukan menggunakan *software* Solidworks. Geometri dari *tubular member* dan *dent* disesuaikan dengan data yang ada. Beberapa data yang ada yaitu:

Panjang <i>tubular member</i>	: 179 inci
Diameter <i>tubular member</i>	: 8,617 inc
Ketebalan	: 0,189 inci
<i>Out of straightness</i>	: 0,5728 inci
Jenis tumpuan	: <i>Pin dan Roll</i>
Lokasi tumpuan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>
Jenis pembebanan	: <i>Axial Compression</i>
Lokasi pembebanan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>



Gambar 4.11 Hasil *Running* pada Beban 230 kips.

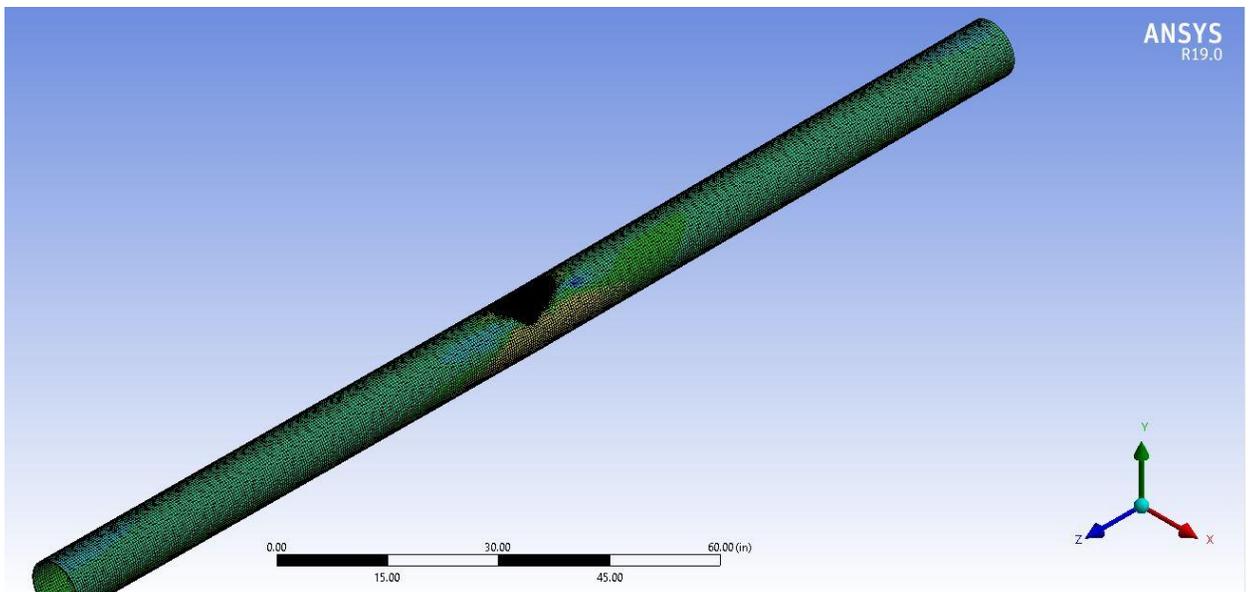
4.6 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member dengan Tilt Dent.

Dengan menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang terkena *tilt dent*. Analisa dilakukan dengan metode *pushover* yaitu menambah beban secara bertahap hingga mencapai kapasitas

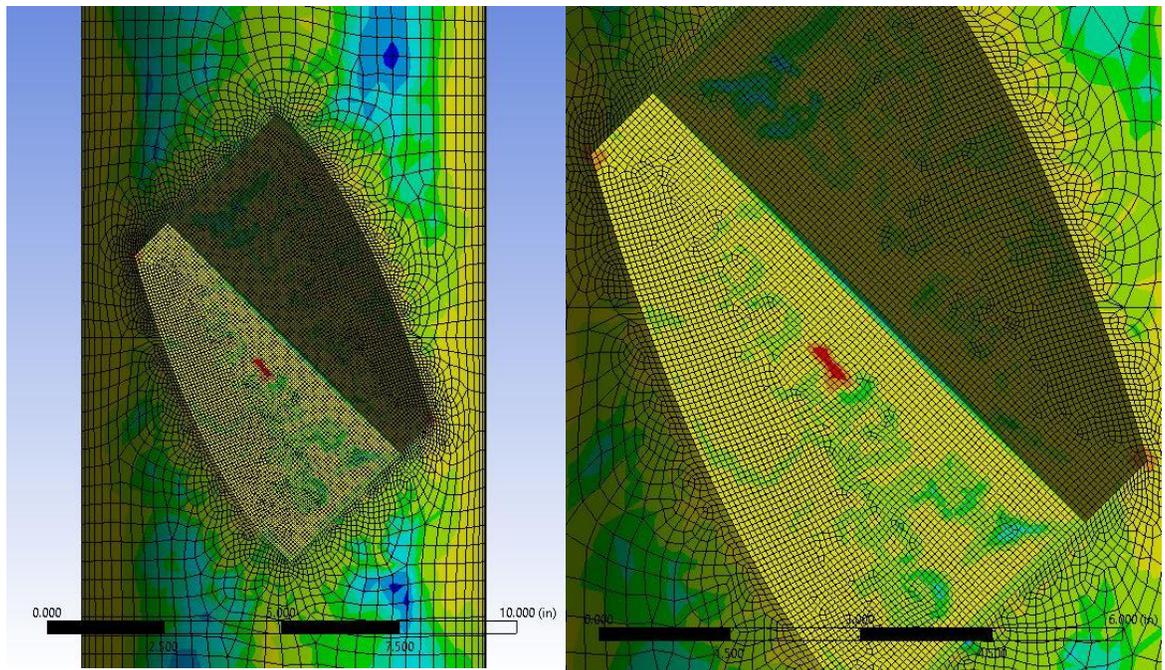
maksimal. Dari hasil analisa dapat diketahui bila tegangan von Mises pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 59933 psi pada beban 91 kips. Pada beban melebihi 91 kips, model akan mengalami kegagalan bila dianalisa. Hal ini menandakan bahwa *tubular member* sudah mencapai keadaan kapasitas maksimal.

Pemodelan *tubular member* dan *indenter* dilakukan menggunakan *software* Solidworks. Geometri dari *tubular member* dan *dent* disesuaikan dengan data yang ada. Beberapa data yang ada yaitu:

Panjang <i>tubular member</i>	: 179 inci
Diameter <i>tubular member</i>	: 8,617 inci
Ketebalan	: 0,189 inci
<i>Out of straightness</i>	: 0,5728 inci
Lebar <i>dent</i>	: 6.8 inci
Kedalaman <i>dent</i>	: 1,7234 inci
Panjang <i>dent</i>	: 8.617 inci
Jenis <i>dent</i>	: <i>Tilt dent</i>
Jenis tumpuan	: <i>Pin dan Roll</i>
Lokasi tumpuan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>
Jenis pembebanan	: <i>Axial Compression</i>
Lokasi pembebanan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>



Gambar 4.12 Model *Tubular Member* dengan *Tilt dent* pada *tubular member*.



Gambar 4.13 Hasil *Running* dengan *Tilt dent* pada *tubular member*.

Tabel 4.4 Perbandingan Beban Maksimal

Jenis Tubular member	Beban Maksimal (Kips)
Tanpa Dent	230
Transverse Dent	84.5
Tilt Dent	91

Tubular member yang memiliki *transverse dent* memiliki pengaruh terhadap kapasitas maksimal lebih besar daripada *tilt dent*. Hal ini dikarenakan kapasitas maksimal pada *transverse dent* 84.5 kips, lebih kecil daripada *tilt dent* yang memiliki kapasitas 91 kips, walaupun *dent*-memiliki dimensi yang sama.

4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Maksimal Tubular Member dengan Variasi Tilt Dent.

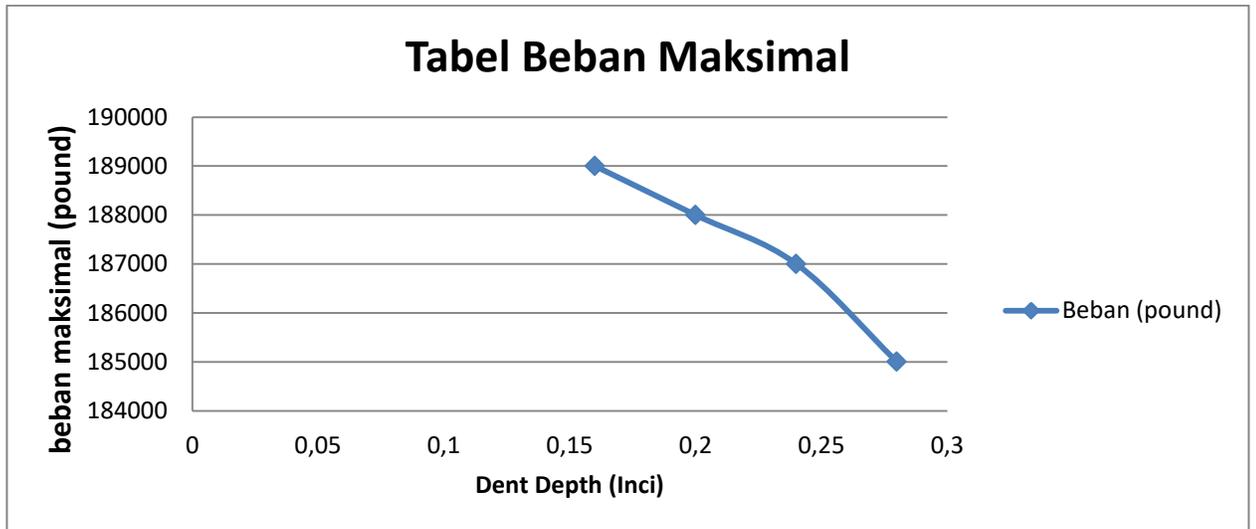
Dengan menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang belum terkena *dent* dengan variasi kedalaman, panjang dan lebar *dent*. Analisa dilakukan dengan metode *pushover* yaitu menambah beban secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimal. Untuk kedalaman *dent*, akan diambil nilai 0.16 inci, 0.2 inci, 0.24 inci dan 0.32 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 189 kips pada 0.16 inci, 188 kips pada 0.2 inci, 187 kips pada 0.24 inci dan 185 kips pada 0.32 inci. Pada beban melebihi hasil analisa, model akan mengalami kegagalan bila dianalisa. Hal ini menandakan bahwa *tubular member* sudah mencapai keadaan kapasitas maksimal.

Panjang *tubular member* : 179 inci
 Diameter *tubular member* : 8,617 in
 Ketebalan : 0,189 in
Out of straightness : 0,5728 in
 Lebar *dent* : 3 in

Kedalaman *dent* : 0.16 inci, 0.2 inci, 0.24 inci dan 0.28 inci.
 Panjang *dent* : 1.2 inci
 Jenis Dent : *Tilt dent*
 Jenis tumpuan : *Pin dan Roll*
 Lokasi tumpuan : Masing-masing ujung *tubular member*
 Jenis pembebanan : *Axial Compression*
 Lokasi pembebanan : Masing-masing ujung *tubular member*

Tabel 4.5 Perbandingan beban maksimal pada variasi kedalaman *dent*

Dent Depth (Inci)	Beban (pound)	Beban Error (pound)	Tegangan (psi)
0.16	189000	190000	59504
0.2	188000	189000	60818
0.24	187000	188000	59422
0.28	185000	186000	60037



Gambar 4.14 grafik beban makismal pada variasi kedalaman *dent*

Selanjutnya menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang belum terkena *dent* dengan variasi panjang *dent*. Analisa dilakukan dengan metode *pushover* yaitu menambah beban secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimal. Untuk panjang *dent*, akan diambil nilai 1.44 inci, 1.68 inci, 1.92 inci dan 2.16 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 188 kips pada 1.44 inci, 186 kips pada 1.68 inci, 185 kips pada 1.92 inci dan 184 kips pada 2.16 inci. Pada beban melebihi hasil analisa, model akan mengalami kegagalan bila dianalisa. Hal ini menandakan bahwa *tubular member* sudah mencapai keadaan kapasitas maksimal.

Panjang <i>tubular member</i>	: 179 inci
Diameter <i>tubular member</i>	: 8,617 inci
Ketebalan	: 0,189 inci
<i>Out of straightness</i>	: 0,5728 inci
Lebar <i>dent</i>	: 3 inci
Kedalaman <i>dent</i>	: 0.16 inci
Panjang <i>dent</i>	: 1.44 inci, 1.68 inci, 1.92 inci dan 2.16 inci

Jenis *dent* : *Tilt dent*

Jenis tumpuan : *Pin dan Roll*

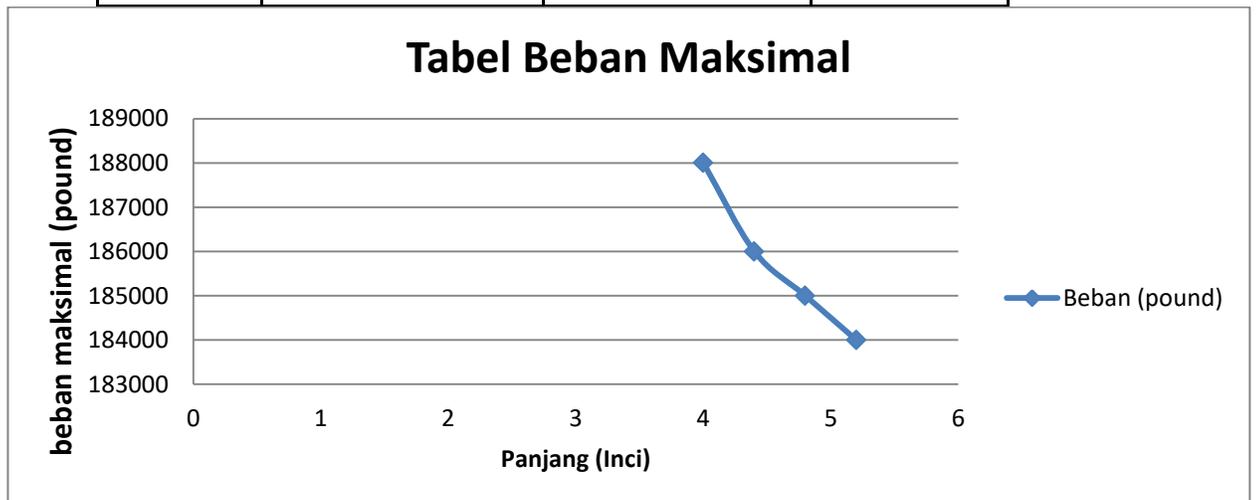
Lokasi tumpuan : Masing-masing ujung *tubular member*

Jenis pembebanan : *Axial Compression*

Lokasi pembebanan : Masing-masing ujung *tubular member*

Tabel 4.6 Perbandingan beban maksimal pada variasi panjang *dent*

Dent Length (inci)	Beban (pound)	Beban Error (pound)	Tegangan (psi)
1.44	188000	189000	59708
1.68	186000	187000	59489
1.92	185000	186000	59070
2.16	184000	185000	59226



Gambar 4.15 grafik beban makismal pada variasi panjang *dent*

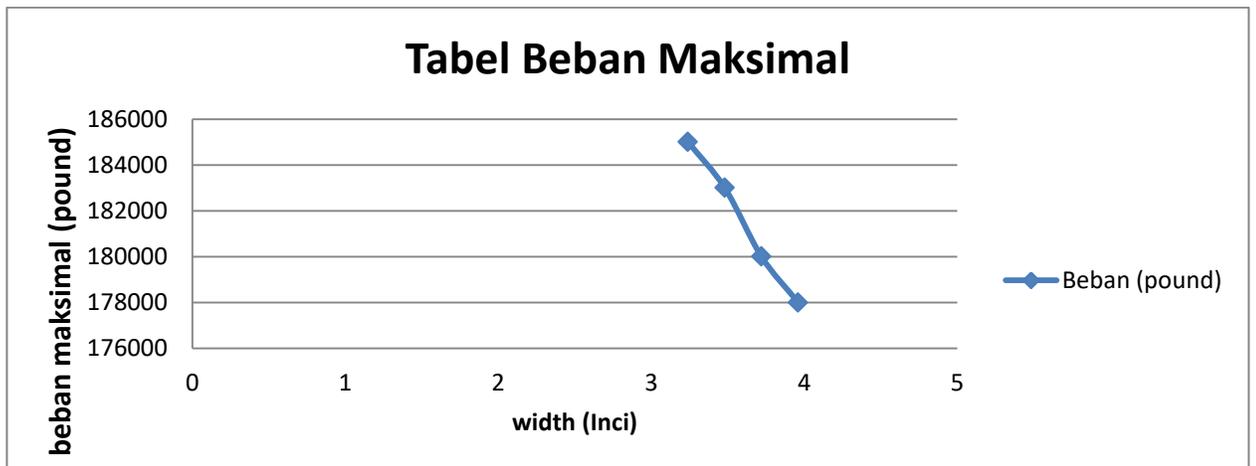
Selanjutnya menggunakan pemodelan yang dibuat berdasarkan data, akan dianalisa *tubular member* yang belum terkena *dent* dengan variasi panjang *dent*. Analisa dilakukan dengan metode *pushover* yaitu menambah beban secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimal. Untuk lebar *dent*, akan diambil nilai 3.24 inci, 3.48 inci, 3.72 inci dan 3.96 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas

maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 185 kips pada 3.24 inci, 183 kips pada 3.48 inci, 180 kips pada 3.72 inci dan 178 kips pada 3.96 inci. Pada beban melebihi hasil analisa, model akan mengalami kegagalan bila dianalisa. Hal ini menandakan bahwa *tubular member* sudah mencapai keadaan kapasitas maksimal.

Panjang <i>tubular member</i>	: 179 inci
Diameter <i>tubular member</i>	: 8,617 inci
Ketebalan	: 0,189 inci
<i>Out of straightness</i>	: 0.5728 inci
Lebar <i>dent</i>	: 3.24 inci, 3.48 inci, 3.72 inci dan 3.96 inci
Kedalaman <i>dent</i>	: 0.16 inci
Panjang <i>dent</i>	: 1.2 inci
Jenis <i>dent</i>	: <i>Tilt dent</i>
Jenis tumpuan	: <i>Pin dan Roll</i>
Lokasi tumpuan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>
Jenis pembebanan	: <i>Axial Compression</i>
Lokasi pembebanan	: Masing-masing ujung <i>tubular member</i>

Tabel 4.7 Perbandingan beban maksimal pada variasi lebar *dent*

Dent Width (inci)	Beban Maksimal (kip)	Beban Error (pound)	Tegangan (psi)
3.24	185000	186000	59708
3.48	183000	184000	59489
3.72	180000	181000	59070
3.96	178000	179000	59802



Gambar 4.16 Grafik beban maksimal pada variasi lebar *dent*

Tabel 4.7 Perbandingan beban maksimal pada variasi lebar *dent*

Jenis variasi	Nilai (Inci)	Beban maksimal (pound)
DEPTH	0.16	189000
	0.2	188000
	0.24	187000
	0.28	185000
LENGTH	1.44	188000
	1.68	186000
	1.92	185000
	2.16	184000
WIDTH	3.24	185000
	3.48	183000
	3.72	180000
	3.96	178000

Variasi panjang, lebar dan kedalaman pada *dent* maka bila semakin besar panjang, lebar dan kedalaman *dent*, semakin kecil kapasitas maksimalnya untuk semua variasi. Dapat diketahui bila lebar memiliki

pengaruh paling besar terhadap kapasitas maksimal. Pada panjang *dent*, memiliki pengaruh yang sama daripada kedalaman *dent*. Namun apabila besar variasi kedalaman *dent* disamakan dengan panjang *dent* tidak menutup kemungkinan kedalaman *dent* memiliki pengaruh lebih besar daripada panjang *dent*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada *tubular member* yang mengalami tidak mengalami *dent* dapat digunakan sebagai perbandingan kapasitas maskimal dengan *tubular member* yang mengalami *dent* dan dibandingkan antara *tubular member* yang tidak mengalami *dent* dengan yang mengalami *dent* jenis *transversal* dan *tubular member* yang mengalami *dent* jenis *tilt*.

- Untuk *tubular member* yang tidak mengalami *dent* memiliki kapasitas maksimal 230 kips.
- Untuk *tubular member* yang mengalami *tilt dent* memiliki kapasitas maksimal 91 kips.
- Untuk kedalaman *dent*, akan diambil nilai 0.16 inci, 0.2 inci, 0.24 inci dan 0.32 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 189 kips pada 0.16 inci, 188 kips pada 0.2 inci, 187 kips pada 0.24 inci dan 185 kips pada 0.32 inci.
- Untuk panjang *dent*, akan diambil nilai 1.44 inci, 1.68 inci, 1.92 inci dan 2.16 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 188 kips pada 1.44 inci, 186 kips pada 1.68 inci, 185 kips pada 1.92 inci dan 184 kips pada 2.16 inci.
- Untuk lebar *dent*, akan diambil nilai 3.24 inci, 3.48 inci, 3.72 inci dan 3.96 inci. Dari hasil analisa dapat diketahui bila kapasitas maksimal pada *tubular member* yang belum terkena *dent* adalah 185 kips pada 3.24 inci, 183 kips pada 3.48 inci, 180 kips pada 3.72 inci dan 178 kips pada 3.96 inci

Untuk variasi panjang, lebar dan kedalaman pada *dent* maka bila semakin besar panjang, lebar dan kedalaman *dent*, semakin kecil kapasitas maksimalnya untuk semua variasi. Dapat diketahui juga bila lebar memiliki pengaruh paling besar terhadap kapasitas maksimal. Pada panjang *dent*, memiliki pengaruh yang sama daripada kedalaman *dent*. Namun apabila besar variasi kedalaman *dent* disamakan dengan panjang *dent* tidak menutup kemungkinan kedalaman *dent* memiliki pengaruh lebih besar daripada panjang *dent*.

5.1 Saran

Berdasarkan dari kesimpulan, dapat menggunakan saran untuk penelitian berikutnya :

1. Untuk dimensi awal pada panjang, lebar dan kedalaman *dent* disamakan agar mengetahui lebih jelas pengaruh variasi lebar, panjang dan kedalaman *dent* terhadap kapasitas maksimalnya.
2. Untuk panjang, lebar dan kedalaman *dent* yang divariasikan dapat menggunakan nilai yang sama agar pengaruh penambahan panjang, lebar dan kedalaman *dent* terhadap *tubular member* lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2014. **API RP 2A WSD 21st Edition; Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design**. Washington: API Publishing Services.
- Bruin, William Michael. 1995. **Assesment of the Residual Strength and Repair of Dent-damaged Offshore Platform Bracing**. Pennsylvania: Lehigh University. Departement of Civil and Enviromental Engineering.
- Cai, Jie, dkk. 2018. “*Experimental Investigation of Residual Ultimate Strength of Damaged Metallic Pipelines*”. **Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering Vol. 141 (1): 1-15**.
- Chen, W.F. dan Han, D. J. 1985. **Tubular Members of Offshore Structures**. Pittman Advanced Publishing Program. London, Inggris.
- Det Norske Veritas. 2000. **Dnv-OS-F101: Submarine Pipeline System**.
- Doretha. 2009. **Analisa Pengaruh Dent pada Struktur Pipa Bawah Laut terhadap Integritas Pipa**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
- Duan,L. 1993. “Moment Curvature Relationship for Dented Tubular Member Sections”. *Jurnal Structure Engineering, ASCE, VOL. 119. No. 3*.
- Durkin, S. 1986. “*An Analytical Method for Predicting the Ultimate Capacity of a Dented Tubular Member*”. **International Journal of Mechanical Science 29: 449-467**.
- Ellinas, C.P. 1984. “Ultimate Strength of Damaged Tubular Bracing Member.” *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 110 No 2*.

- Ghazijahani, T. G.; Jiao, Hiui; dan Holloway, D. 2014. “*Experiments on Dented Steel Tubes under Bending*”. **Advances in Structural Engineering** 8: 1-11.
- Han, C. dkk. 2018. “*Simulation Investigation of Dent Behavior of Steel Pipe under External Load*”. **Engineering Failure Analysis**: 341-354.
- Kusumalarnanto. 2004. **Analisa Dent yang Terjadi Pada Tubular Member Bracing Jacket SWP K**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
- Logan, Daryl. 2007. **First Course in the Finite Element Method**. Wisconsin: University of Wisconsin.
- Loh, J. T. 1993. ”Ultimate Strength of Dented Tubular Steel Members”. *Proceedings of Third International Offshore and Polar Engineering Conference Vol. 4*. Singapura.
- Nichols, Nigel dan Khan, Riaz. 2017. **Remediation and Repair of Offshore Structures**. Kuala Lumpur: John Wiley & Sons.
- Pachecho, L.A., dan Durkin, S. 1986. “*Denting and Collapse of Tubular Members - A Numerical and Experimental Study*”. **International Journal of Mechanical Science** 30: 317-331.
- Padula, J.A., dan Ostapenko, A. 1988. **Indentation Behaviour of Tubular Members**. Pennsylvania: Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University.
- Popov, E.P. 1984. **Mechanics of Material**. California: University of California.
- Prabu Bujjibabu Saravanan dan Venkatraman. 2007. “Effect of a Dent of Different Sizes and Angles of Inclination on Buckling Strength of a Short Stainless Steel Cylindrical Shell Subjected to Uniform Axial Compression.” **Advances in Structural Engineering**, Vol. 10. No. 5: 581-591.
- Raviprakash, A.V., Prabu, B. dan Alugumurthi. S. 2011. “*Ultimate Strength of A Square Plate with Longitudinal/Transverse Dent under Axial*

Compression". **Journal of Mechanical Science and Technology Vol. 25.**
(9): 2377-2384.

Setiarini, K.P. 2017. **Analisa Tegangan Ultimate Pada Struktur Platform Terpancang Akibat Beban Runtuh (Studi Kasus L-Com Well Platform)**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Taby, J., Moan, T., dan Rashed, S. M. H. "Theoretical and Experimental Study of the Behavior of Damaged Tubular Members in Offshore Structures". *Norwegian Maritime Research Vol. 9. No. 2.*

Timoshenko, S. dan Woinowsky-Krieger, S.1989. *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.

Travanca, J. dan Hao, H. 2014. "Numerial Analysis of Steel Tubular Member Response to Ship Bow Impacts". **International Journal of Impact Engineering Volume 64:** 101-121.

Trysatria, R.V. 2017. **Analisis Keruntuhan Berbasis Resiko terhadap Struktur Cinta-P Platform**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, Jawa Timur, 11 Oktober 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Gresik, SMP Negeri 1 Gresik, dan SMA Negeri 1 Gresik. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Saat menempuh pendidikan di Teknik Kelautan penulis memilih bidang struktur bangunan lepas pantai.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa di UKM Kendo ITS selama dua tahun kepengurusan dan pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Dalam Negeri UKMKendo ITS. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pelindo III Gresik pada Divisi Teknik. Pada kesempatan kerja praktek tersebut penulis mendalami tentang manajemen pelabuhan.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang bangunan lepas pantai dengan judul “Analisis *Tilted Denting* pada *Tubular Member*”.

Email : dimasrasenaraka@gmail.com

HP : 08573333828