



TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS KAPASITAS *ULTIMATE DENTED*
TUBULAR MEMBER DENGAN PENAMBAHAN
*DOUBLER PLATE***

Naufal Firaas

NRP. 0431154000085

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

**ULTIMATE CAPACITY ANALYSIS OF DOUBLER
PLATE-REINFORCED DENTED TUBULAR MEMBER**

Naufal Firaas

NRP. 0431154000085

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

**ANALISIS KAPASITAS *ULTIMATE DENTED TUBULAR*
MEMBER DENGAN PENAMBAHAN *DOUBLER PLATE*
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:

Naufal Firaas

NRP. 04311540000085

Disetujui oleh:

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


.....

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

.....

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

.....

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

.....

5. Dirda Marina C, S.T., M.T.  (Penguji 3)

.....

SURABAYA, JULI 2019

ANALISIS KAPASITAS *ULTIMATE DENTED TUBULAR MEMBER* DENGAN PENAMBAHAN *DOUBLER PLATE*

Nama Mahasiswa : Naufal Firaas
NRP : 0431154000085
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Tugas akhir ini dilatarbelakangi karena besarnya kemungkinan terjadi cacat pada *tubular member*, yang merupakan komponen yang paling banyak terdapat pada *jacket platform*, selama masa operasinya yang diakibatkan baik karena benda jatuh (*dropped object*) maupun tumbukan kapal (*colliding vessel*). Cacat yang dimaksudkan dalam tugas akhir ini lebih dikhususkan pada *local dent*. Salah satu cara penguatan (*strengthening*) *member* yang mengalami *local dent* adalah dengan menambahkan *doubler plate*. Sehingga pada tugas akhir ini dilakukan analisis terkait pengaruh penambahan *doubler plate* terhadap kapasitas *dented tubular member* menggunakan pemodelan *finite element*. Pada penelitian ini, data geometri, *properties*, hingga pembebanan mengacu pada *thesis* berjudul *Assessment of The Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing* yang ditulis oleh William Michael Bruin. Analisis dilakukan dengan metode *incremental load* hingga *member* mengalami kegagalan pada kondisi *non-reinforced* maupun *reinforced* menggunakan *doubler plate* dengan empat jenis variasi ketebalan *doubler plate*. Hasil analisis didapatkan peningkatan kapasitas *reinforced dented member* (P_r) terhadap kapasitas *non-reinforced*nya (P_{nr}) sebesar 95,18% pada variasi pertama ($t_d = T$ & $l_d = D$); 93,853% pada variasi kedua ($t_d = 0,78T$ & $l_d = D$); 89,178% pada variasi ketiga ($t_d = 3/16$ in & $l_d = D$); dan 66,657% pada variasi keempat ($t_d = 1/8$ in & $l_d = D$). Kemudian persentase peningkatan kapasitas *reinforced dented tubular member* terhadap *undamaged member* adalah 21,194% pada variasi pertama; 20,359% pada variasi kedua; 17,457% pada variasi ketiga; dan 3,474% pada variasi keempat. Ketebalan minimal *doubler plate* yang dibutuhkan untuk meningkatkan kapasitas *reinforced dented member* mendekati kapasitas awalnya berdasarkan analisis terhadap variasi yang telah dilakukan adalah $t_d = 1/8$ in.

Kata kunci: *Dent, doubler plate, finite element, incremental load.*

ULTIMATE CAPACITY ANALYSIS OF DOUBLER PLATE- REINFORCED DENTED TUBULAR MEMBER

Name : Naufal Firaas
NRP : 0431154000085
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Tubular member is the most common part in offshore structure especially jacket structure, which has possibility to damaged. Dent is the one of structural physical damage that can caused by impact. Therefore, one of the few methods that can reinforce dented tubular member is doubler plate. So, this final project will discuss about the ultimate capacity analysis of doubler plate- reinforced dented tubular member using finite element method. In this final project, the member geometry, material properties and boundary conditions data refers to the thesis entitled “Assessment of The Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing” which written by William Michael Bruin. The incremental load method are used to obtain the ultimate capacity of non-reinforced dented tubular member and also reinforced dented tubular member (with doubler plate). The result will compared for each condition to obtain the increase of ultimate capacity. The doubler plate has four variations of thickness to obtain the minimum thickness needed to increase the ultimate capacity of reinforced dented tubular member approximate to undamaged condition. The result is the ultimate capacity of reinforced dented tubular member against non-reinforced dented tubular member was increased about 95,18% for the first variation doubler plate ($td=T$ & $ld=D$); 93,853% for the second variation ($td=0,78T$ & $ld=D$); 89,178% for the third variation ($td=3/16in$ & $ld=D$); and 66,657% for the fourth variation ($td = 1/8 in$ & $ld = D$). And then the ultimate capacity of reinforced dented tubular member against undamaged condition of dented tubular member was increased about 21,194% for the first variant; 20,359% for the second variant; 17,457% for the third variation; and 3,474% for the fourth variation. And the minimum thickness needed to increase maximum capacity of reinforced dented tubular member (Pr) approximate to maximum capacity undamaged member (Po) is $td = 1/8 in$.

Keywords: dent, doubler plate, finite element, incremental load

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 Pengaruh Penambahan *Doubler Plate* Terhadap Kapasitas *Dented 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 penambahan *doubler plate* dalam meningkatkan 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

Naufal Firaas

NRP. 0431154000085

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, 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, Juli 2019

Naufal Firaas

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
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	7
2.2.1 Konsep Tegangan	7
2.2.2 <i>Dented Member</i>	9
2.2.3 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	10
2.2.4 <i>Ultimate Limit State</i>	11
2.2.5 Kriteria von Mises	11
2.2.6 <i>Pushover Analysis</i>	12

2.2.7 Metode SMR (<i>Strengthening, Modification and Repair</i>)	12
2.2.8 <i>Doubler Plate</i>	13
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir	17
3.2 Prosedur Penelitian	18
3.3 Pengumpulan Data	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Analisis	23
4.2 Pemodelan <i>Dented Tubular Member</i>	23
4.3 Tumpuan dan Pembebanan <i>Tubular Member</i>	25
4.4 <i>Meshing Sensitivity Analysis</i>	28
4.5 Validasi Model <i>Dented Tubular Member</i>	30
4.6 Pemodelan <i>Tubular Member</i> dengan Penambahan <i>Doubler Plate</i>	36
4.7 <i>Meshing Sensitivity Analysis Doubler Plate</i>	39
4.8 Analisis Kapasitas <i>Reinforced Dented Tubular Member</i>	41
4.8.1 Variasi Ketebalan <i>Doubler Plate</i> Pertama	42
4.8.2 Variasi Ketebalan <i>Doubler Plate</i> Kedua	46
4.8.3 Variasi Ketebalan <i>Doubler Plate</i> Ketiga	52
4.9 Analisis Rasio Perbandingan Kapasitas Maksimal <i>Reinforced, Non-Reinforced</i> dan <i>Undamaged Tubular Member</i>	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Dented Tubular Member</i>	2
Gambar 2.2 Idealisasi <i>Dent</i> Menurut Durkin	6
Gambar 2.1 Idealisasi <i>Dent</i> Menurut Pachecho	6
Gambar 2.3 Ilustrasi tegangan normal yang terjadi pada balok	8
Gambar 2.4 Variasi tegangan dalam batang melingkar berlubang dalam daerah elastis	9
Gambar 2.5 Perbedaan jenis <i>dent</i> berdasarkan arah orientasinya	10
Gambar 2.6 Grafik <i>Stress Strain</i> pada Baja	11
Gambar 2.7 Skema SMR	13
Gambar 2.8 <i>Doubler Plate</i> pada <i>Tubular T Joint</i>	14
Gambar 2.9 Lokasi Pengelasan pada <i>Doubler Plate Tubular T Joint</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir	18
Gambar 3.2 <i>Damaged Member Geometry</i>	21
Gambar 4.1 <i>Damaged Member Geometry</i>	24
Gambar 4.2 Model <i>Dented Tubular Member</i>	24
Gambar 4.3 <i>Global Out of Straightness Dented Tubular Member</i>	25
Gambar 4.4 <i>Dent Area</i>	25
Gambar 4.5 Kondisi Tumpuan dan Pembebanan Sesuai Data	26
Gambar 4.6 Kondisi Tumpuan dan Pembebanan Model	26
Gambar 4.7 Tumpuan Pin pada Model	27
Gambar 4.8 Tumpuan Roll pada Model	27
Gambar 4.9 Pembebanan pada Tumpuan Pin	28
Gambar 4.10 Pembebanan pada Tumpuan Roll	28
Gambar 4.11 Kurva <i>Meshing Sensitivity Analysis Dent Area</i>	29
Gambar 4.12 Ukuran Elemen 0,07 in	30
Gambar 4.13 Titik Acuan (<i>Probe</i>)	30
Gambar 4.14 <i>Stress v Strain Curve</i> pada Pembebanan 141 kips	31
Gambar 4.15 Distribusi Tegangan von Mises pada Area <i>Dent</i> Pembebanan 141 kips ..	31
Gambar 4.16 Tegangan von Mises Maksimal pada Pembebanan 141 kips	32
Gambar 4.17 <i>Stress v Strain Curve</i> pada Pembebanan 141,2 kips	32
Gambar 4.18 Distribusi Tegangan von Mises pada Area <i>Dent</i> Pembebanan 141,2 kips	33
Gambar 4.19 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan <i>Non-Reinforced</i> (141,2 kips) ..	33
Gambar 4.20 Kurva Distribusi Tegangan pada Area <i>Center Dent (Non-Reinforced)</i>	33
Gambar 4.21 Deformasi Pada Area <i>Dent</i> Pada Pembebanan 141,4 kips	34

Gambar 4.22 Deformasi Arah Sumbu Y Terhadap Koordinat Global pada Pembebanan 141 kips.....	35
Gambar 4.23 Deformasi Arah Sumbu Y Terhadap Koordinat Global pada Pembebanan 141,4 kips.....	36
Gambar 4.24 Referensi Acuan Variasi <i>Doubler Plate</i> 1.....	37
Gambar 4.25 Model <i>Reinforced Dented Tubular Member</i>	38
Gambar 4.26 <i>Thickness Doubler Plate</i>	38
Gambar 4.27 Selisih Panjang <i>Doubler Plate</i> (ld) dan Panjang <i>Dent</i> (Ld)	39
Gambar 4.28 Grafik <i>Meshing Sensitivity Analysis Doubler Plate Area</i>	40
Gambar 4.29 <i>Stress Probe Position</i> pada Area <i>Doubler Plate</i>	41
Gambar 4.30 <i>Meshing</i> pada Area <i>Doubler Plate</i>	41
Gambar 4.31 <i>Meshing</i> pada <i>Reinforced Dented Tubular Member</i>	41
Gambar 4.32 Grafik <i>Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member</i> Variasi 1.....	43
Gambar 4.33 Distribusi Tegangan Area <i>Doubler Plate</i> Variasi Pertama pada Pr = 275,62 kips.....	43
Gambar 4.34 Distribusi Tegangan Area <i>Dent</i> Variasi Pertama pada Pr = 275,62 kips	43
Gambar 4.35 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan <i>Reinforced</i> Variasi 1	44
Gambar 4.36 Grafik Distribusi Tegangan pada Area <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 1 .	44
Gambar 4.37 Deformasi <i>Member</i> Variasi 1 Searah Sumbu Y Koordinat Global pada Pr = 275,62 kips.....	45
Gambar 4.38 Deformasi <i>Member</i> Variasi 1 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 275,62 kips.....	45
Gambar 4.39 Deformasi <i>Member</i> Variasi 1 Searah Sumbu Z Variasi 1 Koordinat Global pada Pr = 275,62 kips.....	46
Gambar 4.40 <i>Member</i> Variasi 1 Mengalami Kegagalan pada Pinc = 275,72 kips	46
Gambar 4.41 Grafik <i>Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member</i> Variasi 2.....	47
Gambar 4.42 Distribusi Tegangan Area <i>Doubler Plate</i> Variasi Kedua pada Pr = 273,72 kips.....	48
Gambar 4.43 Distribusi Tegangan Area <i>Dent</i> Variasi Kedua pada Pr = 273,72 kips	48
Gambar 4.44 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan <i>Reinforced</i> Variasi 2	49
Gambar 4.45 Grafik Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 2	49
Gambar 4.46 Deformasi <i>Member</i> Variasi 2 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 273,72 kips.....	50
Gambar 4.47 Deformasi <i>Member</i> Variasi 2 Searah Sumbu Y Koordinat Global pada Pr = 273,72 kips.....	51

Gambar 4.48 Deformasi <i>Member</i> Variasi 2 Searah Sumbu Z Koordinat Global pada Pr = 273,72 kips.....	51
Gambar 4.49 <i>Member</i> Variasi 2 Mengalami Kegagalan pada Pinc = 273,82 kips	52
Gambar 4.50 Grafik <i>Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member</i> Variasi Ketiga	53
Gambar 4.51 Distribusi Tegangan Area <i>Doubler Plate</i> Variasi Ketiga pada Pr = 267,12 kips.....	53
Gambar 4.52 Distribusi Tegangan Area <i>Dent</i> Variasi Ketiga pada Pr = 267,12 kips.....	54
Gambar 4.53 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan <i>Reinforced</i> Variasi 3	54
Gambar 4.54 Grafik Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 3	55
Gambar 4.55 Deformasi <i>Member</i> Variasi 3 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 267,12 kips.....	56
Gambar 4.56 Deformasi <i>Member</i> Variasi 3 Searah Sumbu Y Koordinat Global pada Pr = 267,12 kips.....	56
Gambar 4.57 Deformasi <i>Member</i> Variasi 3 Searah Sumbu Z Koordinat Global pada Pr = 267,12 kips.....	57
Gambar 4.58 <i>Reinforced Member</i> Variasi 3 Mengalami Kegagalan pada Pinc = 267,22 kips.....	57
Gambar 4.59 Grafik <i>Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member</i> Variasi Keempat	58
Gambar 4.60 Distribusi Tegangan Area <i>Doubler Plate</i> Variasi Keempat pada Pr = 235,32 kips.....	59
Gambar 4.61 Distribusi Tegangan Area <i>Dent</i> Variasi Keempat pada Pr = 235,32 kips....	59
Gambar 4.62 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan <i>Reinforced</i> Variasi 4	59
Gambar 4.63 Kurva Dsitribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 4.....	60
Gambar 4.64 Deformasi <i>Member</i> Variasi 4 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 235,32 kips.....	61
Gambar 4.65 Deformasi <i>Member</i> Variasi 4 Searah Sumbu Y Koordinat Global pada Pr = 235,32 kips.....	61
Gambar 4.66 <i>Reinforced Member</i> Variasi 4 Mengalami Kegagalan pada Pinc = 235,42 kips.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Measured Specimen Pre-Damaged Geometry</i> (sumber: Bruin, 1995)	20
Tabel 3.2 <i>Measured Specimen Material Properties</i> (sumber: Bruin, 1995).....	20
Tabel 3.3 <i>Specimen Damaged Geometry</i> (sumber: Bruin, 1995)	21
Tabel 3.4 <i>Test Specimen Peak Experimental Load</i> (sumber: Bruin, 1995)	22
Tabel 3.5 Perbandingan P_{exp} dan P_o (sumber: Bruin, 1995).....	22
Tabel 4.1 Lokasi Titik Tinjauan (<i>probe</i>) Terhadap Koordinat Global.....	29
Tabel 4.2 <i>Output Meshing Sensitivity Analysis Dent Area</i>	29
Tabel 4.3 von Misses <i>Stress</i> dan <i>Equivalent Strain</i> pada Pembebanan 141 kips.....	31
Tabel 4.4 von Misses <i>Stress</i> dan <i>Equivalent Strain</i> pada Pembebanan 141,2 kips	32
Tabel 4.5 <i>Output Stress Distribution</i> pada <i>Center Dent Non-Reinforced Member</i> (141,2 kips)	34
Tabel 4.6 Deformasi Maksimal pada Arah X, Y, Z terhadap Koordinat Global	35
Tabel 4.7 Referensi Acuan Variasi <i>Doubler Plate 2</i>	37
Tabel 4.8 Referensi Acuan Variasi <i>Doubler Plate 3</i> dan 4.....	38
Tabel 4.9 <i>Probe Position</i> terhadap Koordinat Global pada Model <i>Doubler Plate</i>	39
Tabel 4.10 <i>Output Meshing Sensitivity</i> pada Area Sekitar <i>Doubler Plate</i>	40
Tabel 4.11 <i>Output Incremental Load</i> pada Variasi <i>Doubler Plate</i> Pertama	42
Tabel 4.12 <i>Output</i> Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 1 ($P_r = 275,62$ Kips).....	45
Tabel 4.13 <i>Output Incremental Load</i> pada Variasi <i>Doubler Plate</i> Kedua.....	47
Tabel 4.14 <i>Output</i> Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 2	50
Tabel 4.15 <i>Output Incremental Load</i> pada Variasi <i>Doubler Plate</i> Ketiga.....	52
Tabel 4.16 <i>Output</i> Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 3	55
Tabel 4.17 <i>Output Incremental Load</i> pada Variasi <i>Doubler Plate</i> Keempat.....	58
Tabel 4.18 <i>Output</i> Distribusi Tegangan <i>Center Dent Reinforced</i> Variasi 3	60
Tabel 4.19 Rasio Kapasitas Maksimal <i>Reinforced</i> (P_r) terhadap <i>Non-Reinforced</i> (P_{nr}) dan <i>Undamaged</i> (P_o) <i>Tubular Member</i>	62

DAFTAR NOTASI

- A = Luas penampang bidang (in^2)
- C = Jari-jari penampang batang (in)
- D = *Outside diameter tubular member* (in)
- d_d = *Dent depth* (in)
- F = Resultan gaya yang bekerja tegak lurus bidang (lbf)
- I_p = Momen inersia kutub (in^4)
- L = Panjang *tubular member* (in)
- L_d = Panjang *Dent* (in)
- l_d = Panjang sisi *doubler plate* (in)
- P_{exp} = Kapasitas maksimal *dented member* berdasarkan data (kips)
- P_{inc} = Beban *incremental* (kips)
- P_{nr} = Kapasitas maksimal model *non-reinforced dented tubular member* (kips)
- P_r = Kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* (kips)
- P_o = Kapasitas maksimal kondisi *undamaged tubular member* (kips)
- P_y = *Yield Capacity* (kips)
- T = Ketebalan *tubular member* (in)
- t_d = Ketebalan *doubler plate* (in)
- V = Resultan gaya yang bekerja sejajar bidang (lbf)
- W_d = Lebar *dent* (in)
- δ_p = *Global Out of Straightness* (in)
- σ = Tegangan normal (psi)
- σ_{eq} = Tegangan ekuivalen (von Misses) (psi)
- σ_u = Tegangan *ultimate tubular member* (psi)
- σ_x = Tegangan normal arah sumbu X (psi)

σ_y = Tegangan normal arah sumbu Y (psi)

σ_z = Tegangan normal arah sumbu Z (psi)

τ = Tegangan geser (psi)

τ_x = Tegangan geser arah sumbu X (psi)

τ_y = Tegangan geser arah sumbu Y (psi)

τ_z = Tegangan geser arah sumbu Z (psi)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	LANGKAH-LANGKAH PEMODELAN DAN ANALISIS MODEL DENTED TUBULAR MEMBER
LAMPIRAN B	<i>OUTPUT</i> DISTRIBUSI TEGANGAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

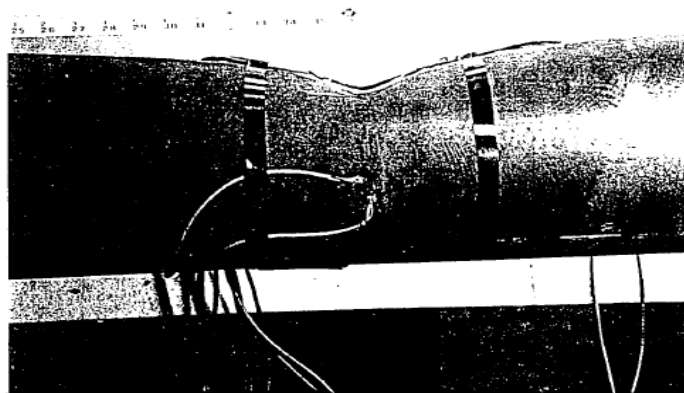
Tubular member banyak digunakan pada struktur lepas pantai, yang mana memiliki fungsi untuk mendukung fasilitas produksi minyak dan gas (Duan, Chen dan Loh, 1992). *Tubular member* pada struktur *jacket platform* merupakan salah satu bagian yang memiliki peluang untuk mengalami beban yang tidak terprediksi selama masa instalasi dan operasi yang berdampak pada kerusakan *member* (Pachecho dan Durkin, 1986). *Tubular member* terkadang memiliki cacat pada permukaannya, seperti *dent*, yang mungkin disebabkan oleh tumbukan maupun kesalahan selama transportasi *member* (Ghazijahani, Jiao dan Holloway, 2014).

Dent merupakan salah satu dari kerusakan fisik struktural, dimana umumnya diakibatkan oleh benda jatuh (*dropped object*) maupun tumbukan kapal (*colliding vessel*) (Durkin, 1986). *Dent* umumnya tidak akan berdampak langsung terhadap keruntuhan struktur. Namun, tidak selamanya platform yang didesain *survive* terhadap *initial impact* dari *dropped object* dan *post-impact* akibat benturan kapal (Kusumalarnanto, 2004). Setelah mengalami kerusakan akibat tumbukan lateral, *member* akan mengalami penurunan kapasitas untuk menahan beban (Li, Yanagihara dan Yoshikawa, 2018).

Melihat kemungkinan kerusakan *tubular member* seperti yang telah disebutkan di atas cukup besar, serta dapat mempengaruhi kekuatan dari *tubular member*, maka perlu dilakukan penguatan (*strengthening*) pada *tubular member* apabila mengalami kerusakan. Salah satu kerusakan yang mungkin dan telah disebutkan di atas adalah *dent*. Beberapa metode perbaikan yang mungkin dilakukan adalah *grouting member*, *doubler plate* dan menambahkan *brace* penguat pada *member* yang mengalami *dent* (Nichols dan Khan, 2017).

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berhubungan terkait analisis *dent* serta *doubler plate*:

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. *Indentation Behavior of Tubular Members* (Padula dan Ostapenko, 1988).
4. *An Analytical Method For Predicting The Ultimate Capacity of a Dented Tubular Member* (Durkin, 1986).
5. *Analysis of Dented Tubular Members Using Moment Curvature Approach* (Duan, Chen dan Loh, 1992).
6. *Experiments on Dented Steel Tubes under Bending* (Ghazijahani, Jiao dan Holloway, 2014).
7. *Static Strength Of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y-Joints Under In-Plane Bending Load* (Nassiraei dkk, 2017).
8. *Ultimate capacity of doubler plate–reinforced Tubular joints* (Fung, Chan dan Soh, 1999).



Gambar 1.1 *Dented Tubular Member*

Sumber: Bruin, 1995

Beberapa penelitian yang telah disebutkan di atas, belum ada yang membahas mengenai pengaruh *doubler plate* terhadap peningkatan kapasitas *tubular member* yang mengalami *local denting*. Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada tugas akhir ini dilakukan analisis simulasi elemen hingga pada *tubular member* yang mengalami *local dent*. *Tubular member* dianalisis menggunakan metode peningkatan beban secara bertahap (*pushover*) hingga diketahui kapasitas

maksimal pada saat setelah terjadi *local dent*, serta setelah dilakukan perbaikan dengan penambahan *doubler plate* dengan empat variasi ketebalan. Kapasitas yang dimaksudkan dalam tugas akhir ini adalah kemampuan *tubular member* dalam menerima beban. Dari hasil analisis yang didapatkan, kemudian dibuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dari Tugas Akhir ini.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa kapasitas *dented tubular member* setelah dilakukan penambahan *doubler plate*?
2. Berapa persentase peningkatan kapasitas *dented tubular member* setelah dilakukan penambahan *doubler plate (reinforced)* terhadap kapasitas saat kondisi *non-reinforced*?
3. Berapa ketebalan minimal *doubler plate* untuk meningkatkan kapasitas *dented tubular member* hingga mendekati kapasitas awalnya?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan kapasitas *dented tubular member* setelah dilakukan penambahan *doubler plate*.
2. Mendapatkan persentase peningkatan kapasitas *dented tubular member* setelah dilakukan *doubler plate* terhadap kapasitas saat kondisi *dented (non-reinforced)*.
3. Mendapatkan ketebalan minimal *doubler plate* untuk meningkatkan kapasitas *dented tubular member* hingga mendekati kapasitas awalnya.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah dapat mengetahui pengaruh dari penambahan *doubler plate* terhadap peningkatan kapasitas *dented tubular member*, serta dapat mengetahui ketebalan minimal dari *doubler plate* untuk meningkatkan kapasitas *dented tubular member* hingga mendekati kapasitas awalnya.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas lingkup pengerjaan Tugas Akhir ini, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisis yang dilakukan merupakan analisis lokal dengan bantuan software analisis numerik.
2. *Member* yang dianalisis merupakan jenis *tubular member*.
3. Analisis pada *member* menggunakan pembebanan *axial compression*.
4. Metode perbaikan menggunakan *doubler plate*.
5. *Dent* yang terjadi merupakan *transverse dent*.
6. *Initial ovality* (pelebaran diameter pada area *dent*) diasumsikan tidak terjadi.
7. Tidak meninjau pengelasan pada *doubler plate*.

BAB II

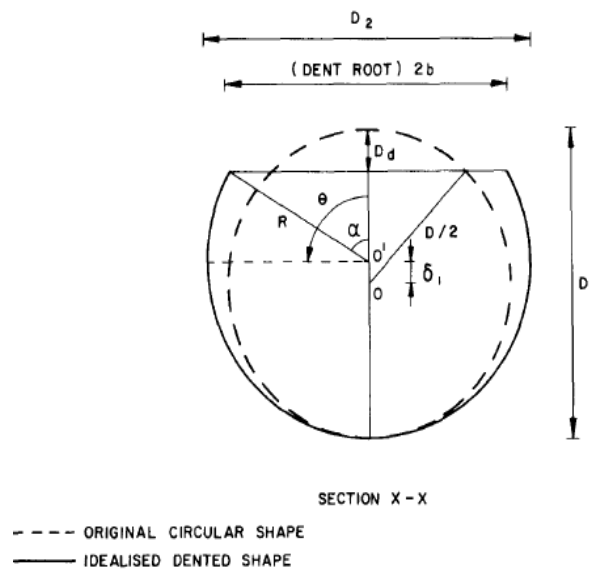
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Analisis mengenai *dented tubular member* pernah dilakukan sebelumnya. Antara lain oleh Kusumalarnanto (2004) mengenai kapasitas *tubular member* akibat *dent*. Beliau membandingkan kapasitas *member* sebelum mengalami *dent* dengan kapasitas *member* setelah mengalami *dent*. Kemudian Durkin (1986) dalam jurnalnya mengenai metode analitis untuk memprediksi kapasitas *ultimate* dari *dented tubular member*. Pachecho dan Durkin (1986) juga melakukan analisis untuk memprediksi *residual strength* dari *dented tubular member* menggunakan pendekatan numerik serta eksperimen. Padula dan Ostapenko (1988) juga telah melakukan analisis terkait *indentation behaviour of tubular member*.

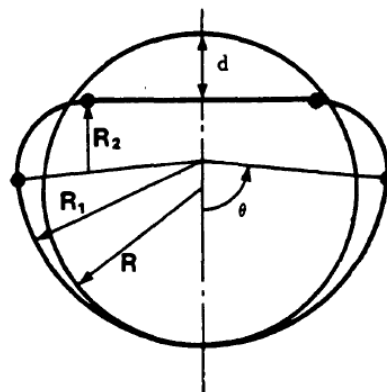
Penelitian selanjutnya terkait *dented member* juga telah dilakukan oleh Duan, Chen dan Loh (1992) dalam jurnalnya mengenai analisis *ultimate strength* pada *dented member* menggunakan pendekatan *moment curvature*. Li, Yanagihara dan Yoshikawa (2018) juga telah melakukan penelitian dalam jurnalnya yang berjudul *Axial Compressive Residual Ultimate Strength Of Circular Tube After Lateral Collision*. Dalam jurnal tersebut dilakukan analisis mengenai hubungan antara *residual ultimate strength* dan penyerapan energi akibat *lateral impact*.

Dent merupakan salah satu bentuk kerusakan fisik struktural yang diakibatkan oleh beberapa hal diantaranya adalah benda jatuh (*dropped object*) maupun tumbukan kapal (*collision*). Menurut Pachecho (1986), *dented section* dideskripsikan sebagai bagian *tubular member* yang rata, dengan bagian *local circular section* yang melebar dikarenakan tidak dapat mempertahankan dimensi kelengkungan *member*. Kusumalarnanto (2004) menjelaskan bahwa *member* yang mengalami *dent* memiliki karakteristik dengan lokal eksentrisitas (e) pada *dent*, *residual stress* disebabkan oleh plastifikasi selama deformasi.



Gambar 2.1 Idealisasi *Dent* Menurut Durkin

Sumber: Durkin, 1986



Gambar 2.2 Idealisasi *Dent* Menurut Pachecho

Sumber: Pachecho, 1986

Menurut Setiarini (2017), *ultimate strength* merupakan daerah plastis bagi sebuah material yang memiliki deformasi yang tidak bisa dikendalikan dan kemudian akan mengalami *fracture*. Analisis struktur untuk mengetahui kekuatan sisa cadangan diperlukan hingga tahap *ultimate strength*.

Kemudian penelitian terkait penerapan *doubler plate* terhadap peningkatan kapasitas *tubular joint* juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Nassiraei

dkk (2017) dalam jurnalnya yang berjudul *Static Strength of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y Joints Under In-Plane Bending Load* membahas mengenai pengaruh *doubler plate* pada sambungan T/Y, terhadap kapasitas *ultimate* akibat beban *in-plane bending*. Kesimpulan dari jurnal tersebut adalah bahwa penambahan *doubler plate* pada sambungan T/Y dapat meningkatkan kekakuan dan kapasitas *ultimate* sambungan secara signifikan. Fung, Chan dan Soh (1999) dalam jurnalnya yang berjudul *Ultimate Capacity of Doubler Plate-Reinforced Tubular Joints* juga telah melakukan penelitian terkait pengaruh *doubler plate* terhadap peningkatan kapasitas *ultimate* pada sambungan T, akibat beban aksial. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah bahwa penambahan *doubler plate* dapat meningkatkan kapasitas *ultimate* pada sambungan T dengan sangat signifikan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Konsep Tegangan

2.2.1.1 Tegangan Normal

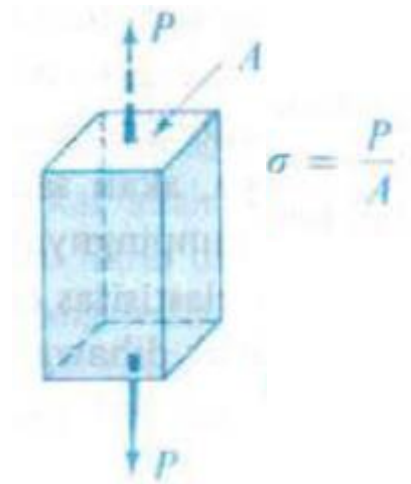
Tegangan normal dapat didefinisikan sebagai intensitas gaya yang bekerja tegak lurus atau normal terhadap luasan penampang suatu benda pada suatu titik. Apabila tegangan normal yang bekerja pada permukaan benda menghasilkan tarikan (*tension*), maka dapat disebut tegangan tarik (*tensile stress*). Sebaliknya, apabila tegangan normal yang bekerja pada permukaan benda menghasilkan tekanan (*compression*), maka dapat disebut tegangan tekan (*compressive stress*). Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung besarnya tegangan normal:

$$\sigma = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

σ = Tegangan normal (psi)

F = Resultan gaya yang bekerja tegak lurus bidang (lbf)

A = Luas penampang bidang (in²)



Gambar 2.3 Ilustrasi tegangan normal yang terjadi pada balok

Sumber: E.P. Popov, 1984

2.2.1.2 Tegangan Geser

Tegangan geser dapat didefinisikan sebagai intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan luas bidang permukaan. Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung besarnya tegangan geser:

$$\tau = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{V}{A} \quad (2.2)$$

τ = Tegangan geser (psi)

v = Resultan gaya yang bekerja sejajar bidang (lbf)

A = Luas permukaan bidang (in²)

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

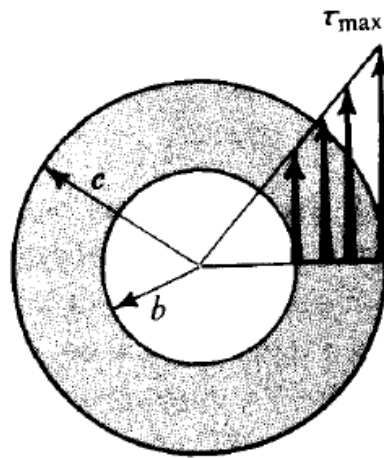
$$\tau_{max} = \frac{TC}{I_p} \quad (2.3)$$

τ_{max} = Tegangan geser maksimal (psi)

T = Momen puntir (lb.ft)

c = Jari-jari penampang batang (in)

I_p = Momen inersia kutub (in⁴)



Gambar 2.4 Variasi tegangan dalam batang melingkar berlubang dalam daerah elastis

Sumber: E.P. Popov, 1984

2.2.2 Dented Member

Dent merupakan salah satu kerusakan struktural yang dapat diakibatkan oleh tumbukan kapal (*ship collision*) maupun benda jatuh (*dropped object*). *Dent* dapat menyebabkan kerusakan akibat terbentuknya konsentrasi tegangan. Beberapa penyebab kerusakan tersebut dikarenakan adanya:

- *Axial compression*
- *Bending*
- *Combined stresses pada steel cylindrical member*

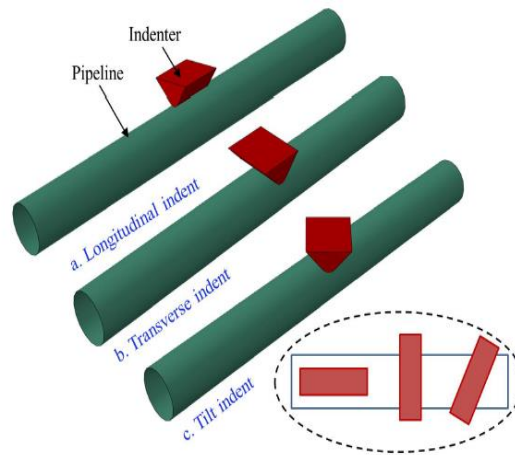
Pada *tubular member* yang mengalami benturan, hasil dari benturan biasanya akan mengakibatkan *local dent* dan/ atau terjadinya defleksi pada *member*. Kerusakan pada *member* bergantung pada intensitas *impact*, geometri dari *member*, serta kekuatan material yang dapat menimbulkan beberapa bentuk kerusakan sebagai berikut:

- *Local denting* pada dinding *member* tanpa terjadinya bending pada keseluruhan *member*.
- Terjadinya *bending* pada keseluruhan *member* tanpa terjadinya *local denting* pada dinding *member*.

- Gabungan dari kedua kerusakan tersebut.

Berdasarkan arah orientasinya, *dent* dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

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



Gambar 2.5 Perbedaan jenis *dent* berdasarkan arah orientasinya

Sumber: Han, dkk. 2018

2.2.3 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

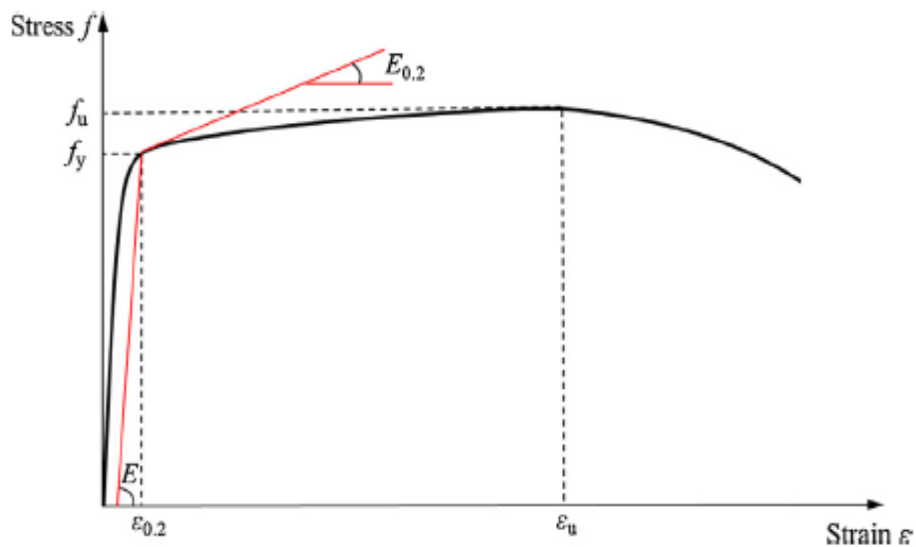
Penyelesaian permasalahan dalam bidang rekayasa umumnya menghasilkan ekspresi atau model matematik yang melibatkan kondisi batas (*boundary condition*), sifat material, ketidaklinieran material dan geometri, sehingga jarang sekali model matematis untuk masalah-masalah teknik yang bisa diselesaikan secara analitis (Setiarini 2017). Permasalahan ini menyebabkan perlunya analisis secara numerik, meskipun hasilnya bersifat pendekatan namun masih dapat diterima.

Metode elemen hingga merupakan jenis analisis secara numerik. Prinsip dari metode elemen hingga adalah membagi objek yang dianalisis menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*). Antar elemen tersebut dihubungkan oleh *nodes*. Pada *nodes* inilah dilakukan analisis terkait tinjauan yang diinginkan (tegangan, regangan, deformasi, dll) (Ari 2017).

Sehingga ukuran dari elemen-elemen yang digunakan sangat mempengaruhi hasil analisisnya.

2.2.4 Ultimate Limit State

Ultimate limit state merupakan sebuah kondisi dalam analisis struktur secara menyeluruh maupun *member* tertentu hingga batas kekuatan maksimalnya (*ultimate strength*). *Ultimate strength* merupakan kekuatan maksimal yang mampu diterima oleh struktur.



Gambar 2.6 Grafik *Stress Strain* pada Baja
Sumber: Gardner, 2018

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa *ultimate stress* merupakan daerah dimana material mengalami deformasi plastis yang kemudian akan mengalami *fracture*. Maka dari itu, untuk mengetahui kapasitas maksimal dari sebuah struktur, tidak cukup jika hanya dilakukan analisis hingga mencapai *yield stress* saja. Namun diperlukan analisis hingga mencapai *ultimate stress*

2.2.5 Kriteria von Mises

Kriteria von Mises atau tegangan von Mises merupakan gabungan dari tegangan-tegangan yang terjadi pada *tubular member*. Berikut ini

merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan von Mises:

$$\sigma_{eq} = [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy} + \tau_{yz} + \tau_{zx})^2]^{1/2} \quad (2.4)$$

dengan:

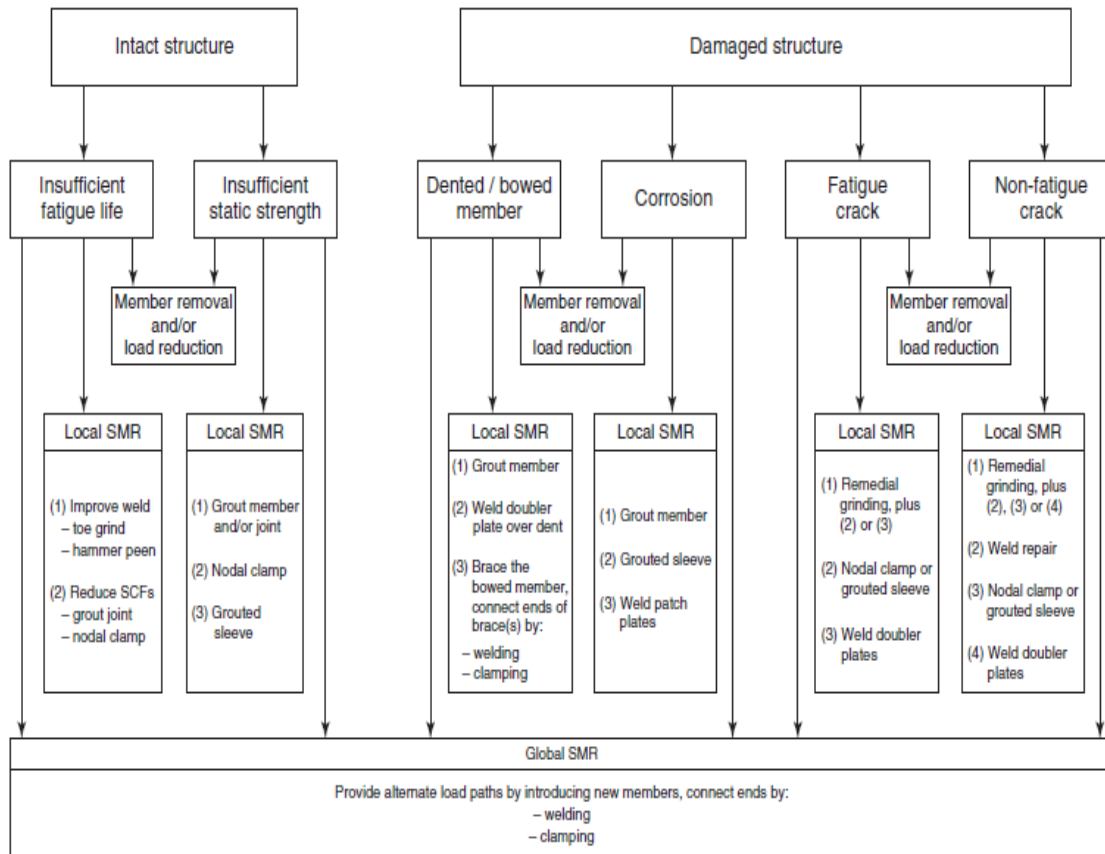
- σ_{eq} = tegangan von Mises, psi
- σ_x = tegangan normal sumbu-x, psi
- σ_y = tegangan normal sumbu-y, psi
- σ_z = tegangan normal sumbu-z, psi
- τ = tegangan geser, psi

2.2.6 Pushover Analysis

Salah satu cara untuk mengidentifikasi *ultimate strength* dari *member* yaitu dengan melakukan analisis *pushover*. Analisis *pushover* dilakukan untuk mengetahui besarnya kapasitas maksimal struktur (*member* maupun keseluruhan) dalam menerima beban. Beban pada *member* ditingkatkan secara bertahap hingga *member* mengalami kegagalan (*fracture*). Untuk setiap peningkatan beban, *nodal displacement* dan gaya pada elemen dihitung dan selanjutnya dibentuk matriks kekakuan yang baru.

2.2.7 Metode SMR (*Strengthening, Modification and Repair*)

Struktur yang mengalami penurunan kekuatan, baik akibat kerusakan (*damage*) maupun kesalahan desain, perlu dilakukan metode SMR untuk meningkatkan kapasitasnya. Standar yang digunakan untuk menilai kelayakan struktur yang mengalami penurunan kapasitas adalah SIMS (*Structural Integrity Management System*). Dalam prakteknya, SIMS menentukan level risiko dari struktur yang diinspeksi, kemudian menentukan langkah perbaikannya. Berikut ini adalah skema dari metode-metode SMR:



Gambar 2.7 Skema SMR

Sumber: Nichols, 2017

Berdasarkan skema SMR di atas, metode perbaikan yang dapat dilakukan untuk *dented member* adalah sebagai berikut:

- *Local SMR: Grout member, weld doubler plate* dan menambahkan *clamp*.
- *Global SMR: Menambahkan member* baru sebagai penguat.
- *Member removal*.

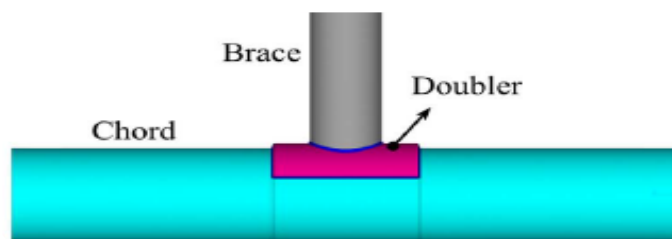
Dari beberapa metode tersebut, jika dilihat dari tingkat kerumitannya, metode *doubler plate* merupakan metode yang cukup sederhana serta mudah dilakukan dibandingkan metode lainnya.

2.2.8 Doubler Plate

Metode *double plate* merupakan salah satu metode dalam memperkuat suatu struktur. Prinsipnya adalah dengan menambahkan plat pada struktur

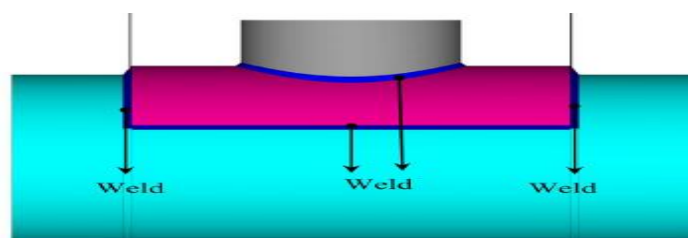
(*member*) yang mengalami penurunan kapasitas. Penambahan plat dilakukan dengan cara pengelasan. Pengelasan dilakukan pada keliling dari material *doubler plate* (gambar 2.9).

Metode *doubler plate* sering digunakan dalam industri perkapalan. Khususnya untuk plat pada lambung kapal yang sudah mengalami pengurangan ketebalan. Namun, metode ini juga digunakan pada *offshore structure*. Penggunaan pada *offshore structure* biasanya pada *member* yang mengalami pengurangan ketebalan akibat korosi, *member* yang mengalami *dent* akibat *dropped object* maupun tumbukan kapal, pada *tubular joint*, dan lain-lain. *Doubler plate* merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kapasitas *ultimate* serta mengurangi *stress concentration factor*.



Gambar 2.8 *Doubler Plate* pada *Tubular T Joint*

Sumber: Nassiraei dkk, 2017



Gambar 2.9 Lokasi Pengelasan pada *Doubler Plate Tubular T Joint*

Sumber: Nassiraei dkk, 2017

2.2.9 *Software Analisis Numerik*

Software analisis numerik yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan analisis terhadap struktur secara lebih kompleks dan detail. *Software* analisis numerik ini

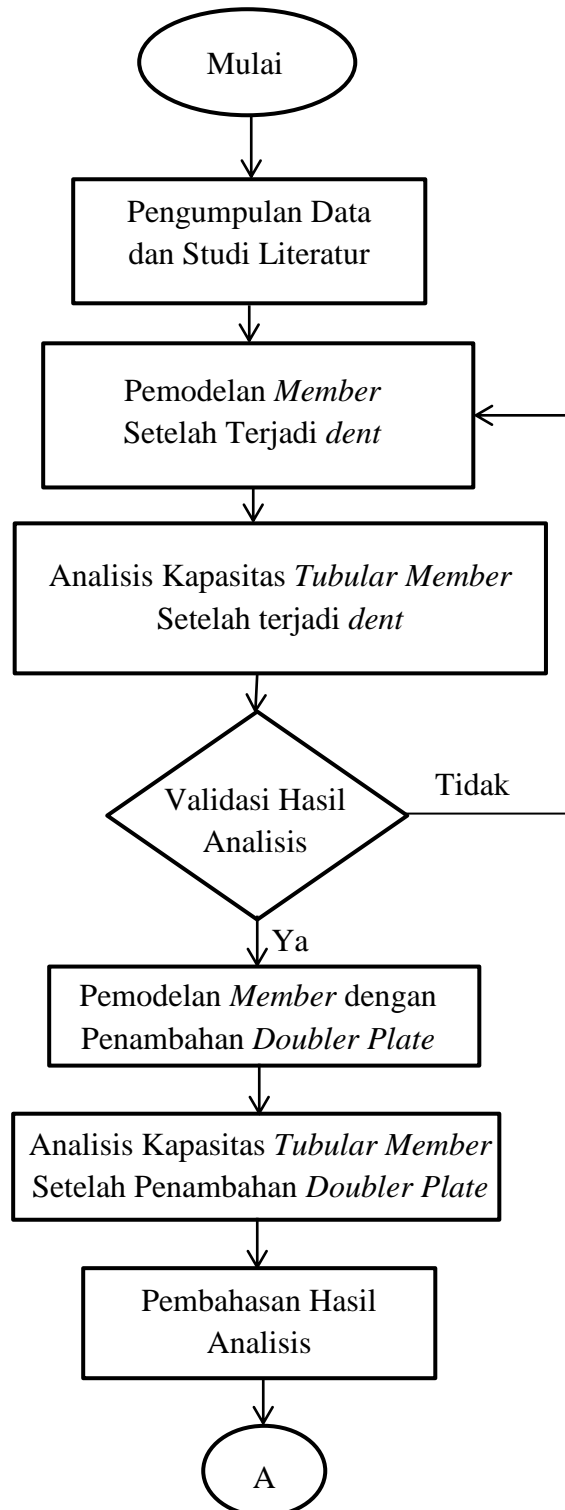
bekerja berdasarkan prinsip *finite element* yaitu dengan membagi objek yang dianalisis menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung dengan *nodes*. Kemudian analisis dilakukan pada tiap-tiap *nodes* untuk mendapatkan hasil yang ingin ditinjau.

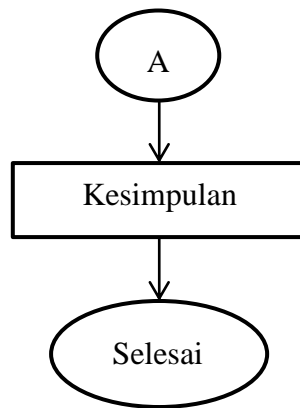
Software analisis numerik ini memiliki beberapa produk sesuai dengan kebutuhan terkait analisis yang ingin dilakukan. Salah satunya adalah *Static Structural*. Produk ini menyediakan fitur untuk melakukan analisis baik distribusi tegangan, regangan maupun deformasi secara detail dari sebuah struktur akibat gaya-gaya maupun momen yang terjadi pada struktur tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir





Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur.

Dalam penelitian ini, literatur yang dipelajari adalah penelitian – penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya serta jurnal dan buku yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini sebagai tambahan literatur. Kemudian dilakukan pengumpulan data – data yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini. Data – data yang diperlukan yaitu data dimensi *tubular member*, *material properties*, dimensi *dent* (lebar, kedalaman, letak *dent* pada *tubular member*), serta data *ultimate strength* dari hasil eksperimen yang pernah dilakukan.

2. Pemodelan Member Setelah Terjadi *Dent*.

Memodelkan *tubular member* menggunakan *software* pemodelan geometri 3D. Pemodelan *tubular member* dilakukan untuk kondisi *member* setelah mengalami *local dent*. Geometri *tubular member* serta ukuran dari *dent* dimodelkan sesuai dengan data yang telah diperoleh.

3. Analisis Kapasitas *Tubular Member* Setelah Terjadi *Dent*.

Setelah dilakukan pemodelan *tubular member* dalam kondisi setelah mengalami *local dent*, dilakukan analisis kapasitas *tubular member* pada kondisi tersebut. Analisis dilakukan menggunakan bantuan *software* analisis numerik. Metode yang digunakan adalah dengan meningkatkan beban *axial compressive* yang diterima *member* secara bertahap hingga mencapai tegangan *ultimate*.

4. Validasi Hasil Analisis.

Validasi dilakukan dengan cara membandingkan *ultimate stress* dan kapasitas maksimal pada model dengan data yang telah diperoleh pada tahap pengumpulan data. Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa model yang dibuat pada tahap pemodelan *member* sudah sesuai dengan kondisi sebenarnya sesuai data yang telah diperoleh.

5. Pemodelan *Member* dengan Penambahan *Doubler Plate*.

Setelah pemodelan *dented tubular member* tervalidasi, dilakukan pemodelan *dented tubular member* dengan penambahan *doubler plate*. *Doubler plate* dimodelkan dengan empat variasi ketebalan yaitu: $t_d = T$; $t_d = 0,78T$; $t_d = 3/16$ in; dan $t_d = 1/8$ in.

6. Analisis Kapasitas *Member* Setelah Penambahan *Doubler Plate*.

Setelah dilakukan pemodelan *dented tubular member* dengan penambahan *doubler plate*, kemudian dilakukan analisis kapasitas *tubular member* pada kondisi tersebut. Menggunakan *software* analisis numerik, metode yang digunakan adalah meningkatkan beban secara bertahap hingga *member* mengalami kegagalan.

7. Pembahasan Hasil Analisis.

Pada tahap ini dilakukan pembahasan mengenai hasil analisis yang telah dilakukan di tahap sebelumnya. Yaitu terkait perbandingan kapasitas *member* sebelum mengalami *local dent*, setelah mengalami *local dent*, serta setelah penambahan *doubler plate*.

8. Kesimpulan

Kesimpulan berisi tentang hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah dan tujuan. Yaitu mendapatkan kapasitas *reinforced dented tubular member*, persentase peningkatan kapasitas *reinforced dented tubular member* terhadap kapasitas *non-reinforced dented tubular member*, serta mendapatkan ketebalan *doubler plate* yang mampu meningkatkan kapasitas *reinforced dented tubular member* mendekati kapasitas awal (*undamaged*).

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini didapatkan dari thesis tahun 1995 yang berjudul “*Assessment of the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing*”. Thesis tersebut membahas mengenai eksperimen perbaikan *dented tubular member* menggunakan metode *internal grout repair*. Data yang digunakan berupa *pre-damaged geometry member*, *member properties*, *damage geometry*, serta *peak experimental load* (P_{exp}) dari *member*. Berikut data disajikan dalam tabel:

Tabel 3.1 Measured Specimen Pre-Damaged Geometry (sumber: Bruin, 1995)

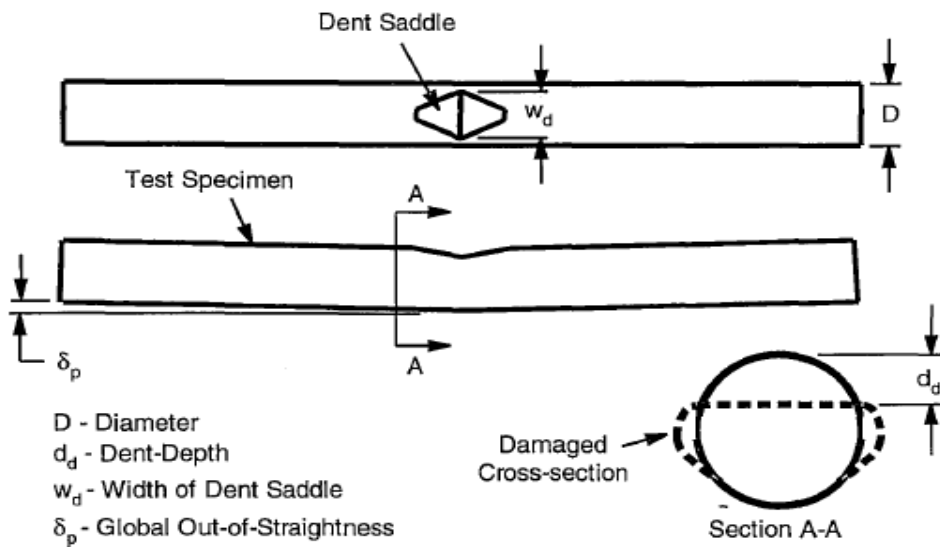
Test Series	Specimen	Diameter, D (inches)		Thickness		Length, L (inches)	Initial Ovalty ((Dmax-Dmin)/Dmean)	δ_0/L
		Mean	COV	Mean	COV			
1	C1a	8,619	0,081	0,136	0,02	183,75	0,032	0,0003
2	A6	8,637	0,0652	0,253	0,0111	177,88	0,0199	0,0002
	B6	8,621	0,0663	0,189	0,0192	179,19	0,0121	0,0006
	C6	8,59	0,0923	0,127	0,0321	180,5	0,042	0,0001
3	B17	8,617	0,0562	0,189	0,0172	179	0,0156	0,0002
4	A8	8,625	0,0663	0,253	0,0095	177,25	0,0174	0,0003
	C8	8,625	0,0897	0,127	0,0302	180,5	0,0365	0,0002
5	A7	8,645	0,0649	0,25	0,0114	177,5	0,0155	0,0005
	B7	8,625	0,0571	0,19	0,0203	179,5	0,0149	0,0005
	B7a	8,625	0,0594	0,189	0,0178	179,88	0,0136	0,0005
	B7b	8,625	0,0602	0,189	0,0184	179,25	0,0162	0,0006
	C7	8,588	0,0875	0,127	0,0299	180,5	0,0278	0,0002
6	A9	8,633	0,0674	0,253	0,0118	177,5	0,0173	0,0007
	C9	8,597	0,0799	0,128	0,0317	180,5	0,0392	0,0002

Tabel 3.2 Measured Specimen Material Properties (sumber: Bruin, 1995)

Test	Specimen	Steel Elastic	Static Yield	Dynamic	Compressive	Ultimate	Compressive	Grout
		Modulus	Stress	Yield Stress	Yield Stress	Stress	Grout Stress	Elastic Modulus
		E_s (ksi)	$\sigma_{y,s}$ (ksi)	$\sigma_{y,d}$ (ksi)	$\sigma_{y,c}$ (ksi)	σ_u (ksi)	f_g (ksi)	E_g (ksi)
1	C1a	30800	43	44	38	58	-	-
2	A6	29510	34	38	36	59	-	-
	B6	29940	38	41	38	60	-	-
	C6	30220	37	40	37	55	-	-
3	B17	29940	39	42	38	60	-	-
4	A8	29510	34	36	36	60	-	-
	C8	30220	36	39	36	54	-	-
5	A7	29510	35	39	36	59	5,54	3614
	B7	29940	38	41	38	61	5,56	3647
	B7a	29940	39	42	38	60	5,97	3752
	B7b	29940	38	41	38	61	2,51	2433
	C7	30220	37	40	36	53	6,4	3885
6	A9	29510	34	37	36	56	5,38	3562
	C9	30220	39	42	37	53	6	3761

Tabel 3.3 *Specimen Damaged Geometry* (sumber: Bruin, 1995)

Test Series	Specimen	δ_p/L	d_d/D	Wd (inch)
1	C1a	0,0026	0,097	5
2	A6	0,0019	0,146	6,2
	B6	0,0015	0,151	6,2
	C6	0,0018	0,149	6,2
5	A7	0,0019	0,151	6,2
	B7	0,0019	0,149	6,2
	B7a	0,0021	0,15	6,2
	B7b	0,0022	0,149	6,2
	C7	0,0019	0,146	6,2
3	B17	0,0032	0,198	6,8
4	A8	0,0099	0,299	9
	C8	0,006	0,296	9
6	A9	0,0094	0,297	9
	C9	0,0059	0,3	9



Gambar 3.2 *Damaged Member Geometry*

Sumber: Bruin, 1995

Tabel 3.4 Test Specimen Peak Experimental Load (sumber: Bruin, 1995)

Test Series	Specimen	Nominal Dent-Depth (d_d) ¹	P_{exp} (kips)	P_{exp}/P_y	Comments
1	C1a	0,10D	85	0,53	Non-Reinforced
2	A6	0,15D	141	0,56	Non-Reinforced
	B6		90	0,47	Non-Reinforced
	C6		62	0,46	Non-Reinforced
3	B17	0,20D	84	0,4	Non-Reinforced
4	A8	0,30D	62	0,27	Non-Reinforced
	C8		33	0,25	Non-Reinforced
5	A7	0,15D	243	0,94	Internal Grout Reinforced
	B7		211	1,02	Internal Grout Reinforced
	B7a		203	0,96	Internal Grout Reinforced
	B7b		183	0,89	Internal Grout Reinforced
	C7		111	0,82	Internal Grout Reinforced
6	A9	0,30D	139	0,56	Internal Grout Reinforced
	C9		81	0,57	Internal Grout Reinforced

Tabel 3.5 Perbandingan Pexp dan Po (sumber: Bruin, 1995)

Test Specimen	Specimen	P_{exp} (kips)	P_{exp}/P_o
1	C1-a	85	0,6
2	A6	141	0,62
	B6	90	0,49
	C6	62	0,51
3	B17	84	0,45
4	A8	62	0,28
	C8	33	0,28

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

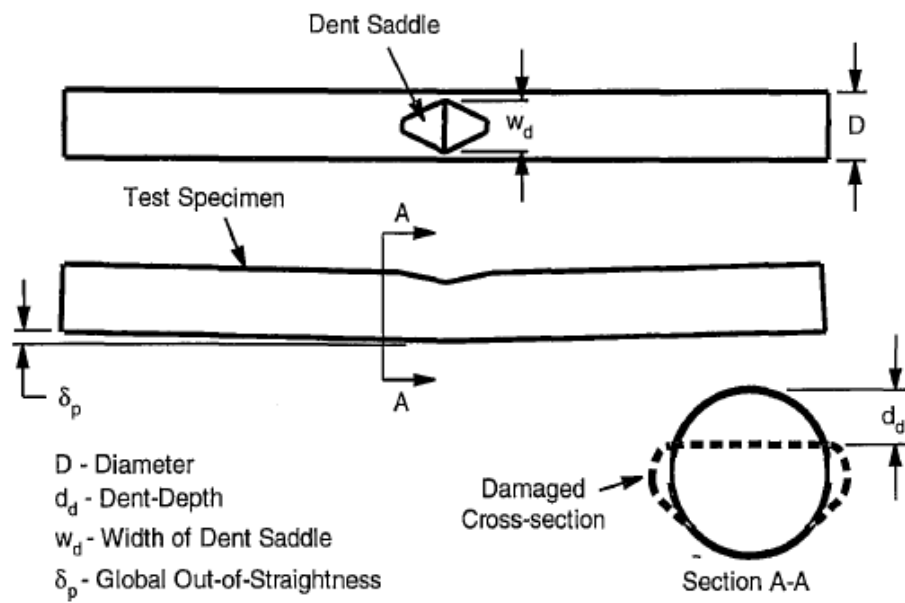
4.1 Analisis

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis mengenai kapasitas maksimal dari *tubular member* dalam kondisi mengalami *transverse dent* dan setelah dilakukan perbaikan berupa penambahan *doubler plate*. Hasil analisis dari kondisi tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui berapa peningkatan kapasitas *dented tubular member* setelah dilakukan penambahan *doubler plate*, kemudian dapat mengetahui ketebalan minimal *doubler plate* yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas *dented tubular member* hingga mendekati kapasitas awalnya. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis *pushover* pada model *tubular member* untuk mendapatkan kapasitas maksimalnya dalam kondisi mengalami *transverse dent (non-reinforced)* dan setelah dilakukan penambahan *doubler plate (reinforced)*.

4.2 Pemodelan *Dented Tubular Member*

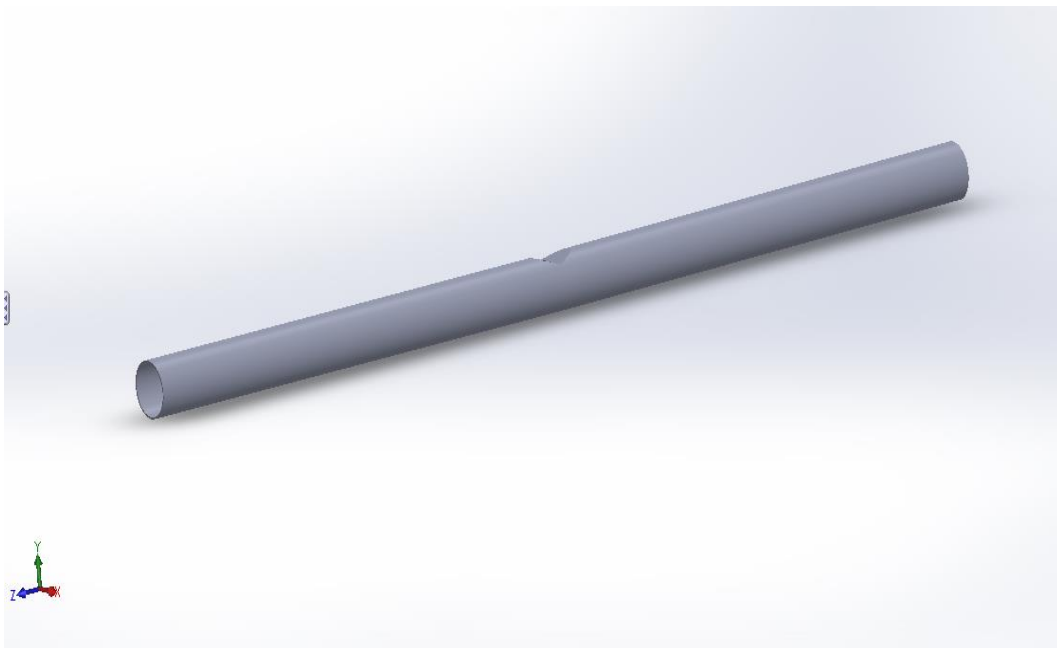
Pemodelan *dented tubular member* dilakukan menggunakan *software* pemodelan geometri 3D. Geometri dari *tubular member* serta area *dent* disesuaikan dengan data yang telah didapatkan. Data didapatkan dari *thesis* tahun 1995 yang berjudul “*Assessment of the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing*” yang ditulis oleh William Michael Bruin. Beberapa data geometri yang diketahui adalah:

L	: 177,88 in
D	: 8,637 in
T	: 0,253 in
δ_p	: 0,3379 in
Wd	: 6,2 in
d_d	: 1,261 in

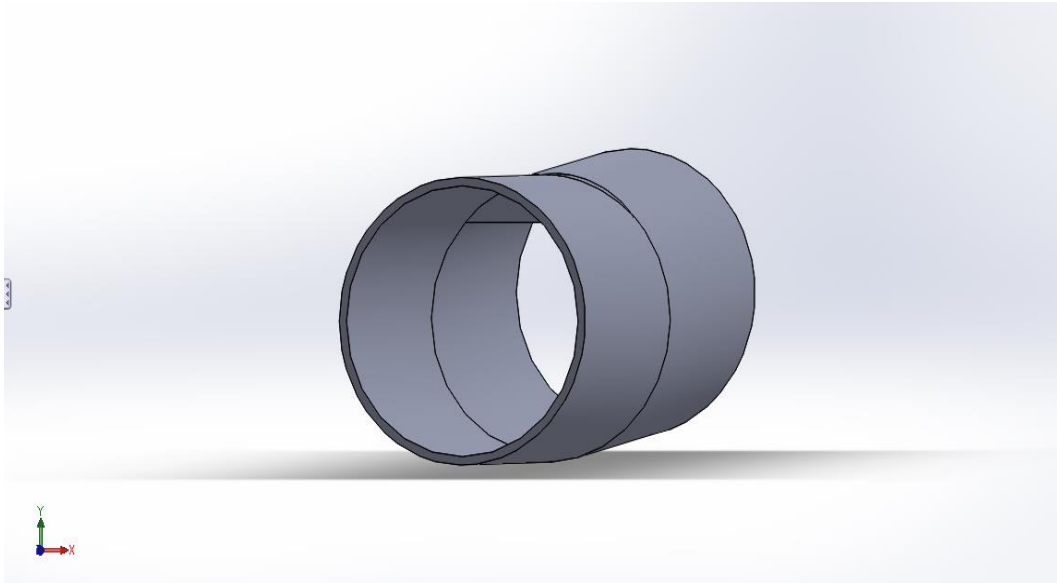


Gambar 4.1 *Damaged Member Geometry*

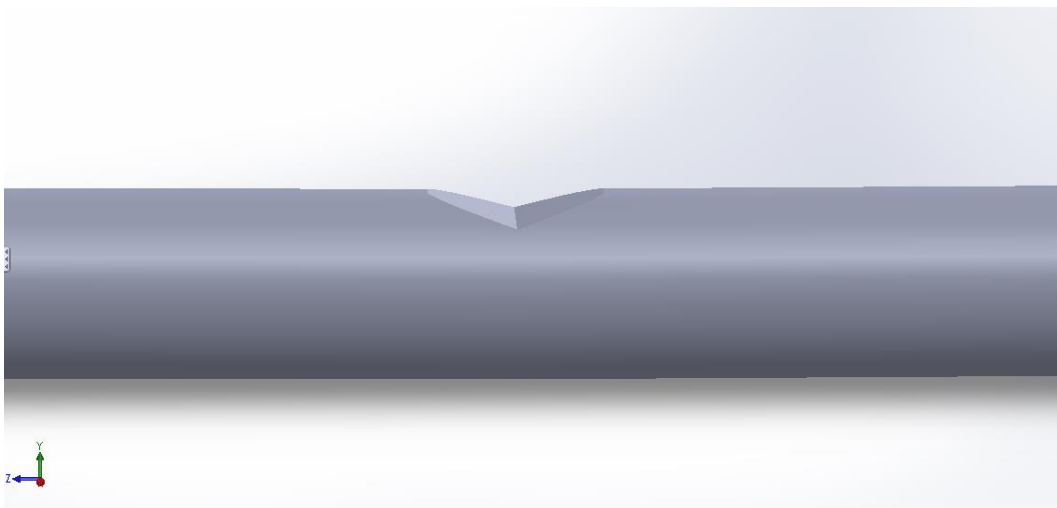
Sumber: Bruin, 1995



Gambar 4.2 *Model Dented Tubular Member*



Gambar 4.3 *Global Out of Straightness Dented Tubular Member*



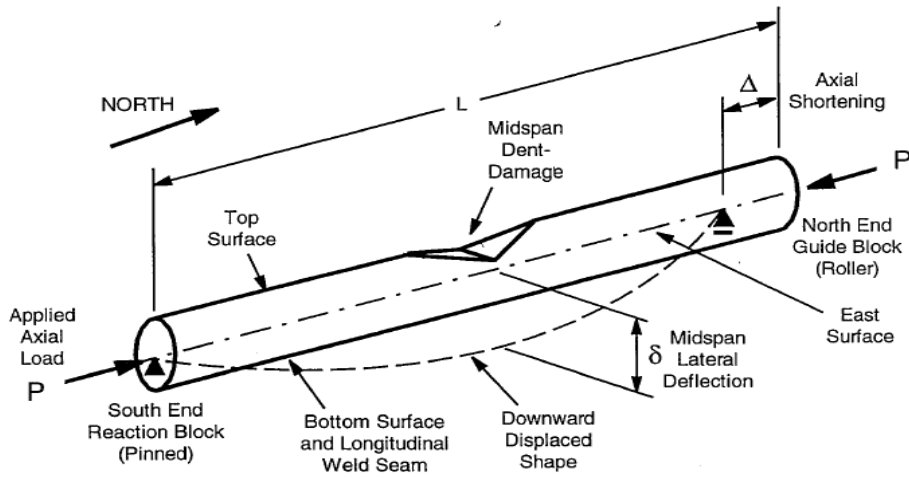
Gambar 4.4 *Dent Area*

4.3 Tumpuan dan Pembebanan *Tubular Member*

Dalam memodelkan *dented tubular member* pada *software* analisis numerik, perlu dilakukan penentuan dari tumpuan yang meliputi jenis dan lokasi tumpuan, serta pembebanan meliputi lokasi, arah, dan besar beban yang diterima *dented tubular member*. Pada penelitian ini, kondisi tumpuan dan pembebanan disesuaikan dengan data yang telah didapatkan.

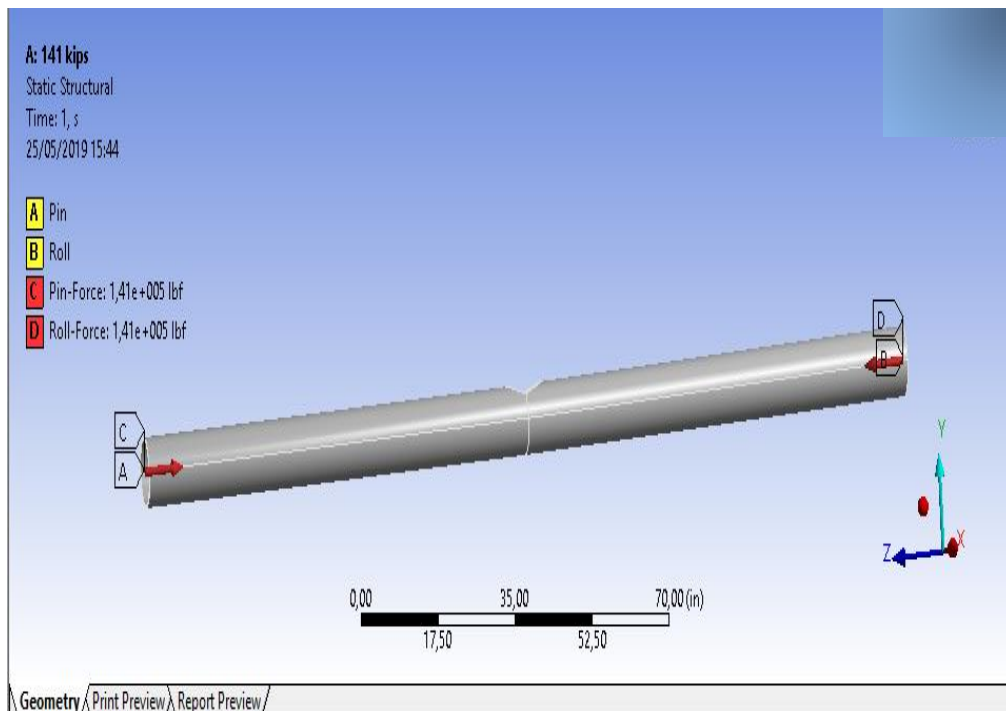
- Jenis tumpuan : Pin dan roll
- Lokasi tumpuan : Masing-masing ujung *tubular member*
- Jenis pembebanan : *Axial compression*

Lokasi pembebanan : Masing-masing ujung *tubular member*

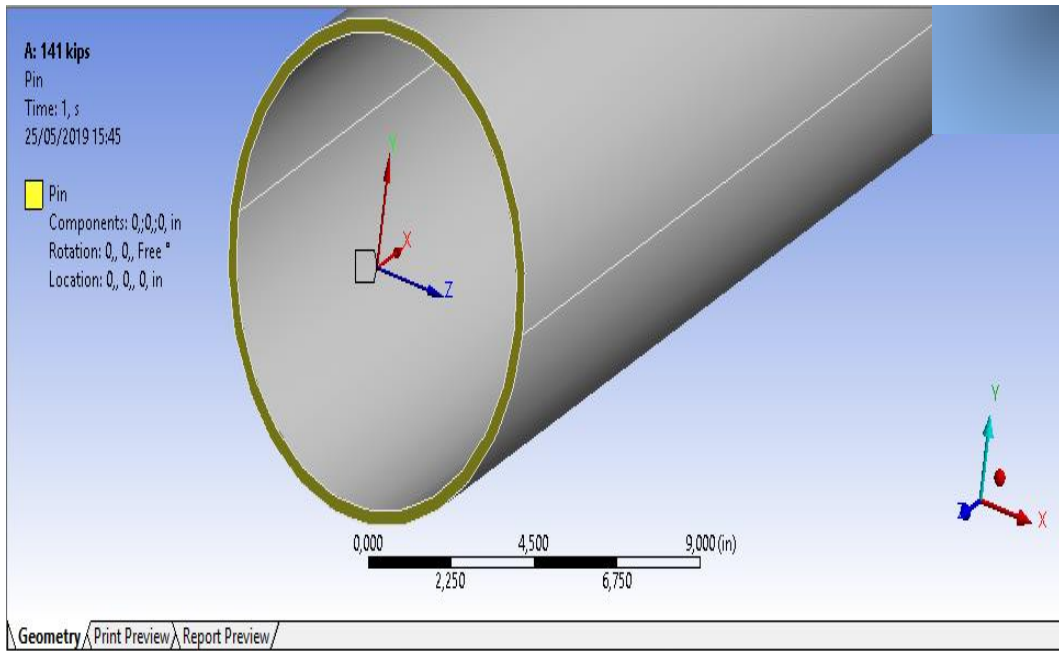


Gambar 4.5 Kondisi Tumpuan dan Pembebanan Sesuai Data

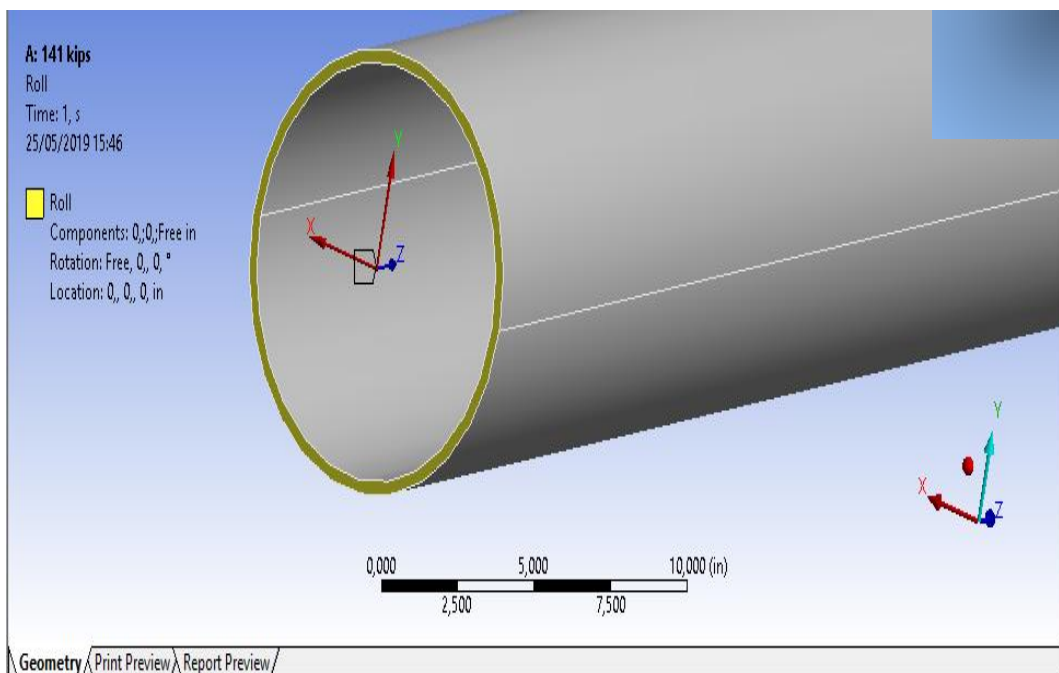
Sumber: Bruin, 1995



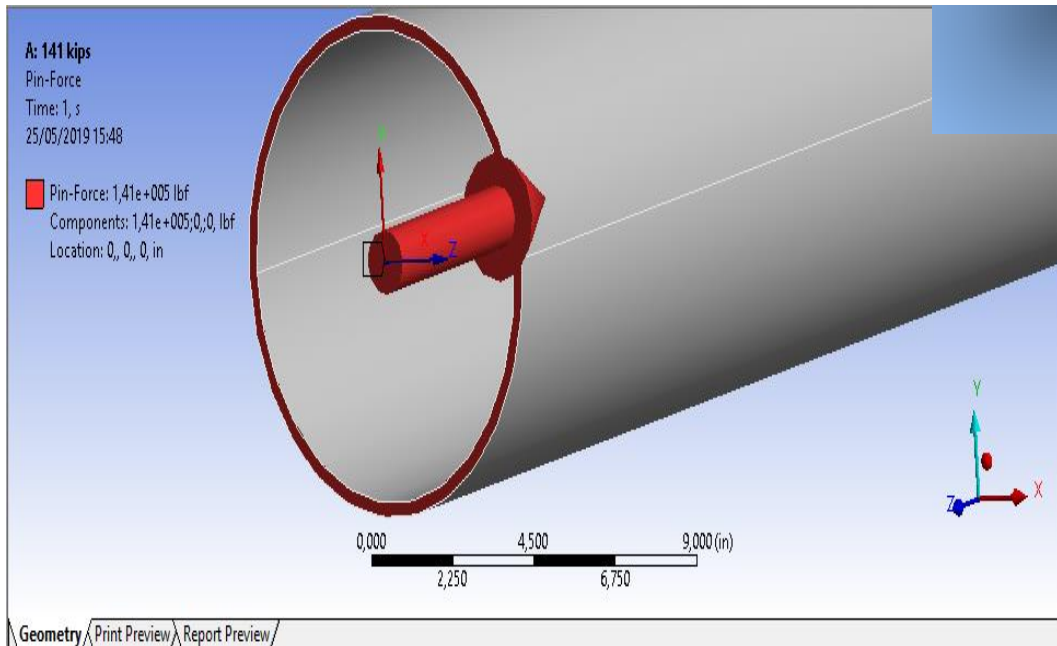
Gambar 4.6 Kondisi Tumpuan dan Pembebanan Model



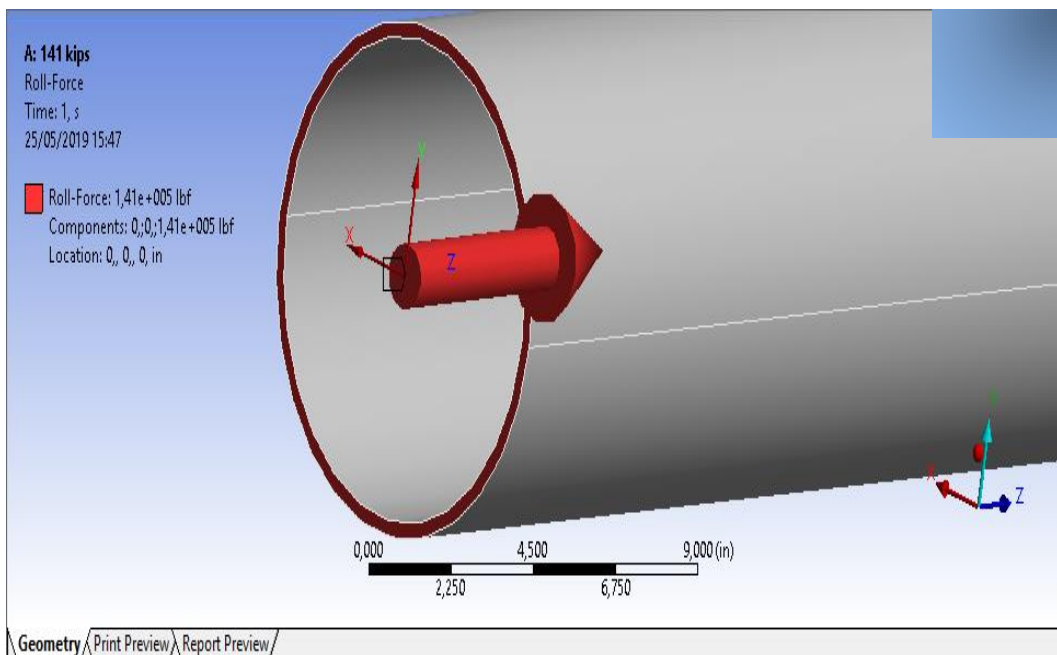
Gambar 4.7 Tumpuan Pin pada Model



Gambar 4.8 Tumpuan Roll pada Model



Gambar 4.9 Pembebanan pada Tumpuan Pin



Gambar 4.10 Pembebanan pada Tumpuan Roll

4.4 Meshing Sensitivity Analysis

Tujuan dari dilakukannya *meshing sensitivity analysis* ini adalah untuk mendapatkan ukuran elemen yang tepat. Yaitu ukuran elemen yang sudah dapat merepresentasikan tegangan yang terjadi sesungguhnya pada *tubular member*.

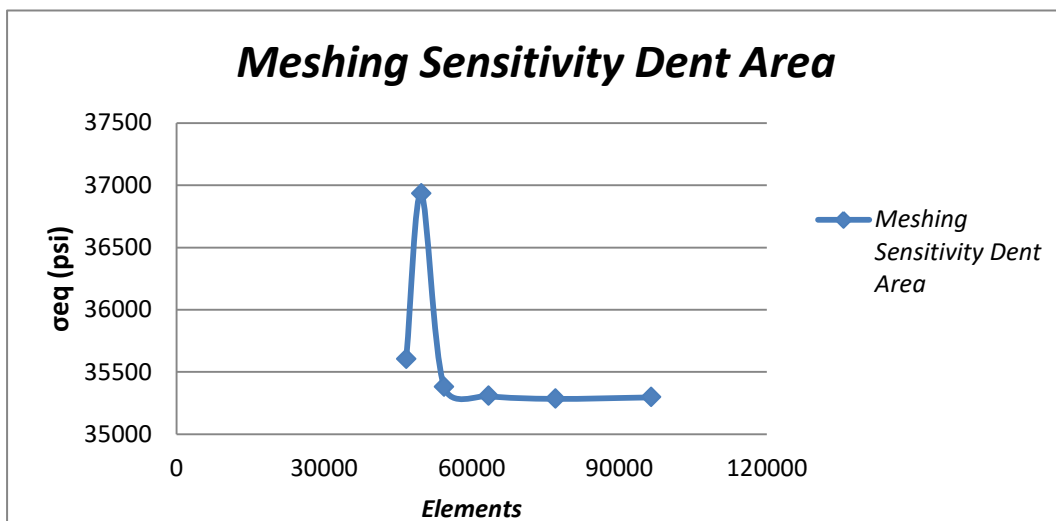
Dalam melakukan *meshing sensitivity analysis*, input beban yang digunakan adalah tetap, kemudian ukuran elemen diubah secara bertahap hingga didapatkan *range* ukuran elemen yang mampu menampilkan tegangan secara cenderung konstan. Dalam melakukan analisis ini, perlu ditentukan terlebih dahulu titik yang akan dijadikan sebagai acuan tinjauan *output* tegangan. Hasil dari variasi ukuran elemen dan output tegangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Lokasi Titik Tinjauan (*probe*) Terhadap Koordinat Global

Probe Position	
Direction	Position (in)
x	-2,6
y	3,03
z	88,94

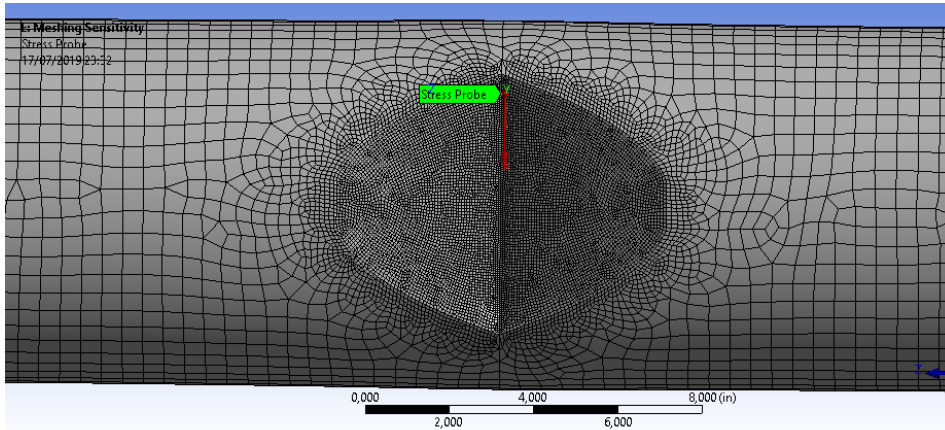
Tabel 4.2 Output Meshing Sensitivity Analysis Dent Area

Step	Element Size (in)	σ_{eq} (psi)	Elements	Nodes	Pexp (kips)	Running Time
1	0,1	53815	46703	54111	141	7m 7s
2	0,09	59056	49762	59214		7m 28s
3	0,08	60855	54424	63146		7m 49s
4	0,07	60739	63415	71622		12m 20s
5	0,06	60824	77075	85221		31m 6s
6	0,05	60978	96525	104451		47m 53s

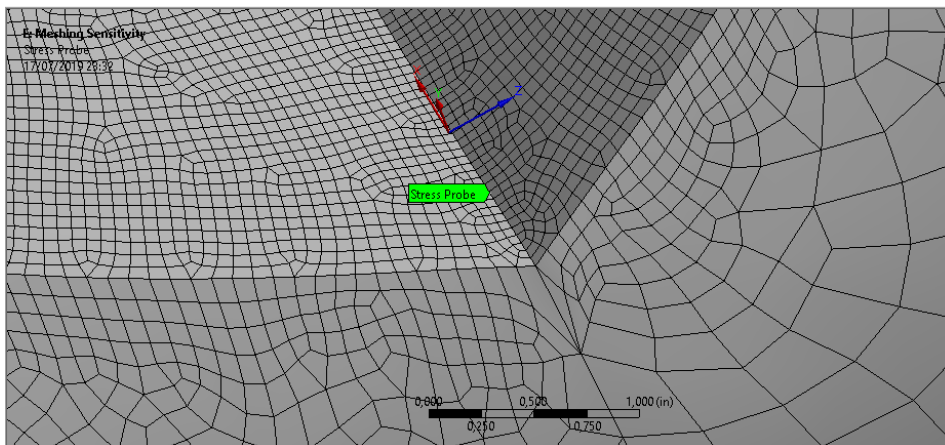


Gambar 4.11 Kurva Meshing Sensitivity Analysis Dent Area

Berdasarkan tabel 4.2 dan gambar 4.11 di atas, dapat dilihat bahwa *output* tegangan mulai cenderung konstan pada *range* ukuran elemen 0,07in hingga 0,05in. Sehingga berdasarkan hasil di atas dapat dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya dengan menggunakan jumlah elemen 60739 (ukuran elemen 0,07 in).



Gambar 4.12 Ukuran Elemen 0,07 in



Gambar 4.13 Titik Acuan (*Probe*)

4.5 Validasi Model *Dented Tubular Member*

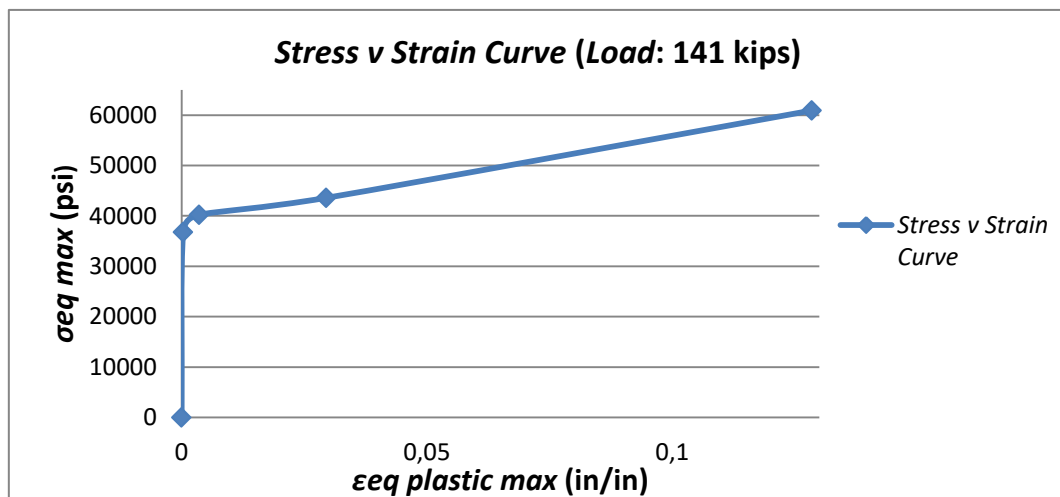
Pada kondisi ini dilakukan *incremental load* untuk mendapatkan tegangan von Mises maksimal (*ultimate*) serta mendapatkan beban maksimal dari model *dented tubular member*. *Increment* beban pada model dimulai dengan besar pembebanan yang sama dengan *peak experimental load* (P_{exp}) yang diperoleh dari data yaitu 141 kips. Beban kemudian ditingkatkan secara bertahap dengan interval 0,2 kips hingga model mengalami kegagalan/ *error*. Tegangan von Mises maksimal dan beban maksimal yang didapatkan kemudian akan dijadikan acuan

untuk validasi model *dented tubular member*. Berikut ini adalah hasil dari *increment* beban model pada *software* analisis numerik :

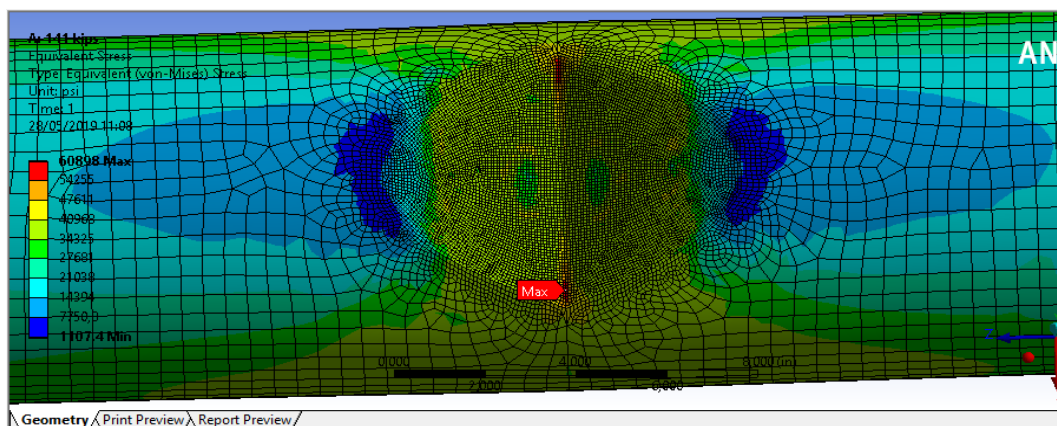
A. Kondisi pembebanan 141 kips

Tabel 4.3 von Mises Stress dan *Equivalent Strain* pada Pembebanan 141 kips

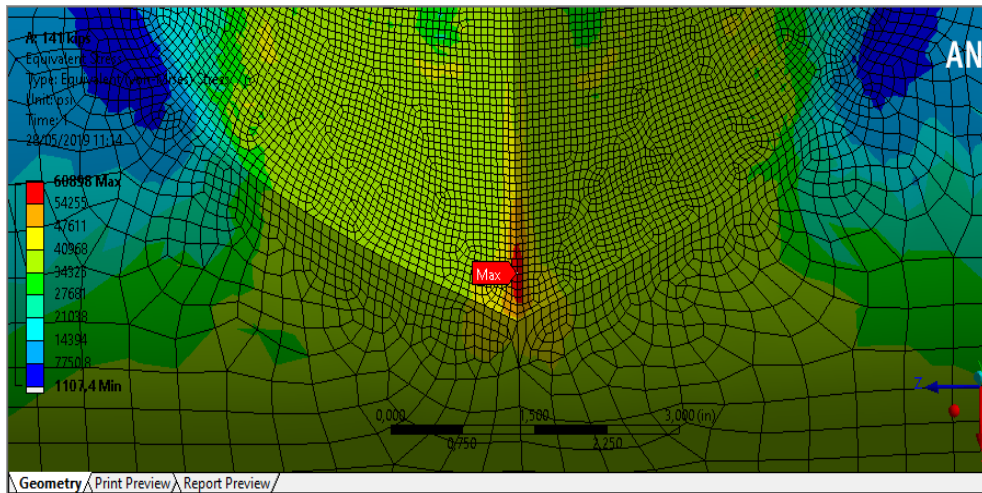
Pinc: 141 kips		
<i>Substeps</i>	$\sigma_{eq} \max$ (psi)	$\epsilon_{eq} \text{ plastic max}$ (in/in)
0	0	0
1	36754	3,19E-04
2	40214	3,57E-03
3	43575	2,94E-02
4	60898	0,12841



Gambar 4.14 Stress v Strain Curve pada Pembebanan 141 kips



Gambar 4.15 Distribusi Tegangan von Mises pada Area Dent Pembebanan 141 kips

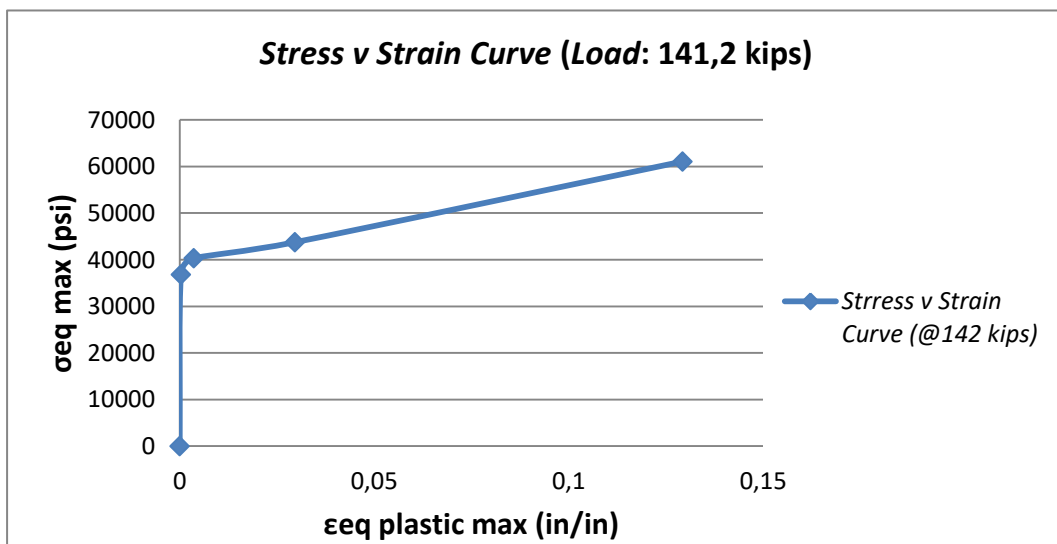


Gambar 4.16 Tegangan von Misses Maksimal pada Pembebanan 141 kips

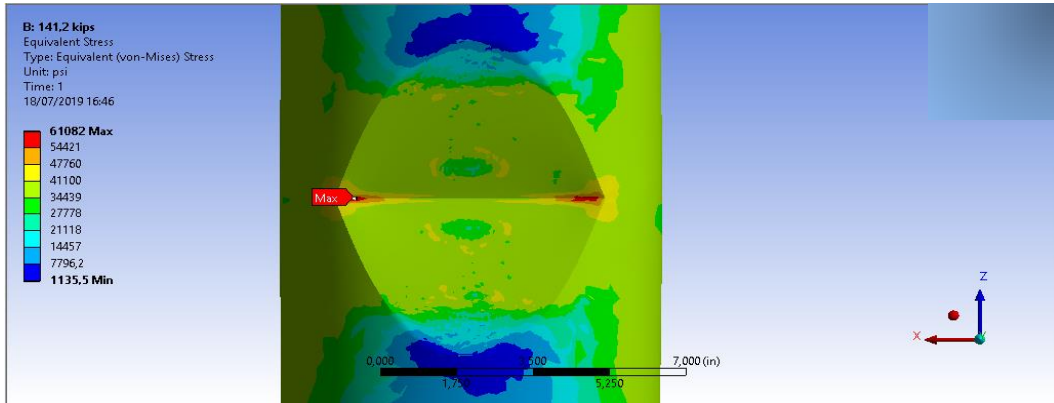
B. Kondisi pembebanan 141,2 kips

Tabel 4.4 von Misses Stress dan Equivalent Strain pada Pembebanan 141,2 kips

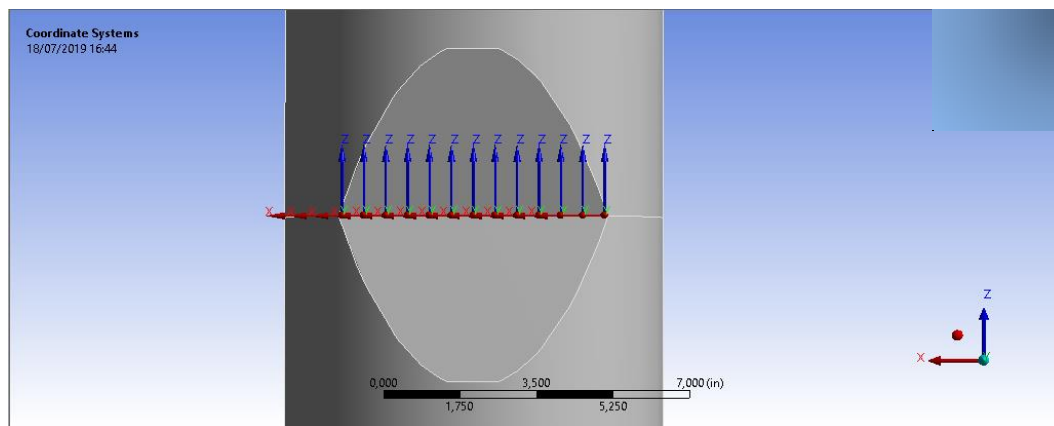
Pinc: 141,2 kips		
Substeps	$\sigma_{eq} \text{ max (psi)}$	$\epsilon_{eq} \text{ plastic max (in/in)}$
0	0	0
1	36798	3,21E-04
2	40293	3,60E-03
3	43749	2,96E-02
4	61082	0,12931



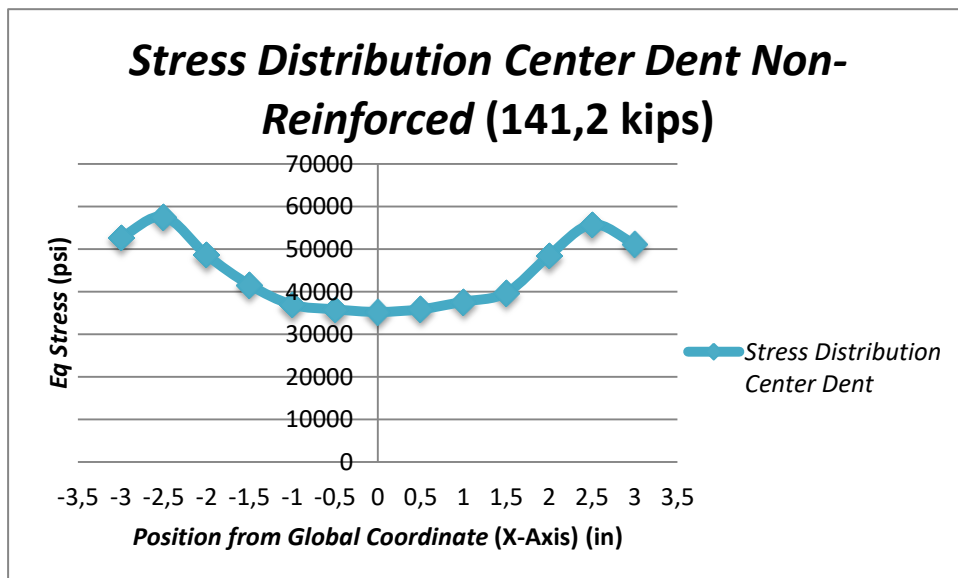
Gambar 4.17 Stress v Strain Curve pada Pembebanan 141,2 kips



Gambar 4.18 Distribusi Tegangan von Mises pada Area *Dent* Pembebanan 141,2 kips



Gambar 4.19 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan *Non-Reinforced* (141,2 kips)



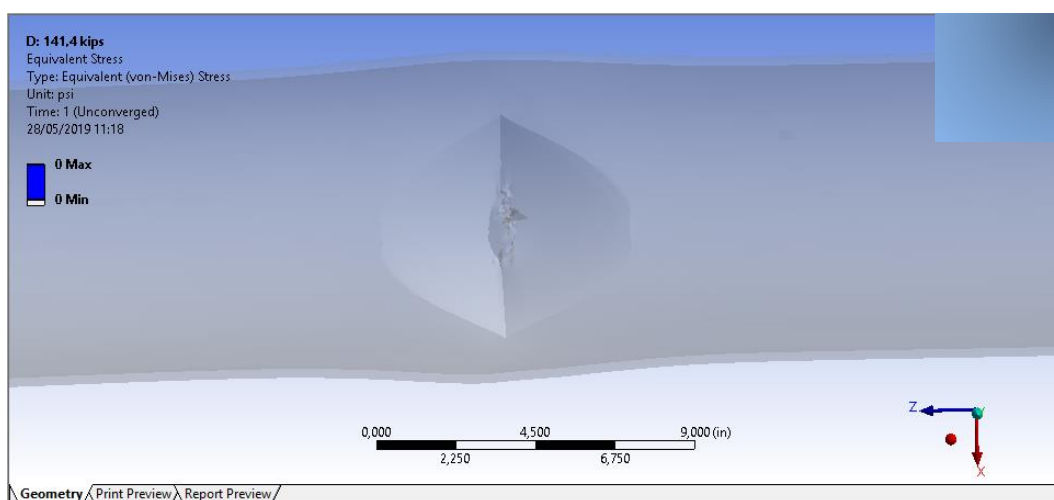
Gambar 4.20 Kurva Distribusi Tegangan pada Area *Center Dent* (*Non-Reinforced*)

Tabel 4.5 *Output Stress Distribution pada Center Dent Non-Reinforced Member (141,2 kips)*

Non-reinforced (Pnr = 141,2 kips)				
Probe	Position from Global Coordinate (in)			Eq Stress (psi)
	x	y	z	
1	-3	3,03	88,94	52691
2	-2,5	3,03	88,94	57568
3	-2	3,03	88,94	48641
4	-1,5	3,03	88,94	41611
5	-1	3,03	88,94	36923
6	-0,5	3,03	88,94	35835
7	0	3,03	88,94	35216
8	0,5	3,03	88,94	35853
9	1	3,03	88,94	37637
10	1,5	3,03	88,94	39694
11	2	3,03	88,94	48471
12	2,5	3,03	88,94	55782
13	3	3,03	88,94	51171

C. Kondisi pembebanan 141,4 kips

Pada kondisi ini, hasil *running* model mengalami *error*. Hasil distribusi tegangan ekuivalen (von Misses) maupun regangan ekuivalen tidak dapat ditampilkan. Sehingga dapat diasumsikan bahwa pada kondisi pembebanan ini *tubular member* sudah melebihi tegangan *ultimate* nya.



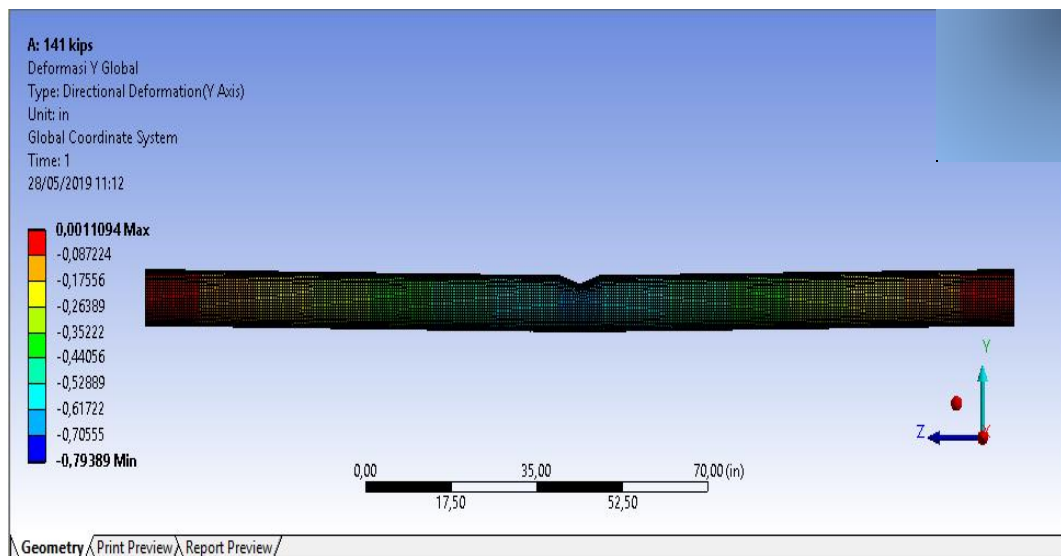
Gambar 4.21 Deformasi Pada Area *Dent* Pada Pembebanan 141,4 kips

Berikut juga dicantumkan deformasi maksimal pada arah x, y dan z terhadap sumbu koordinat global pada kondisi pembebanan 141 kips, 141,2 kips dan 141,4 kips:

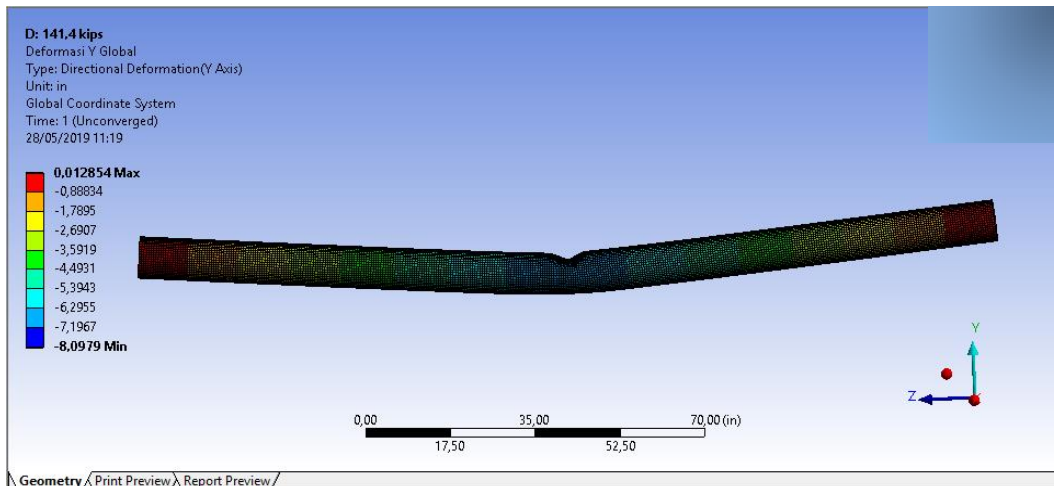
Tabel 4.6 Deformasi Maksimal pada Arah X, Y, Z terhadap Koordinat Global

Deformation (in)			
Direction	Pinc = 141 kips	Pinc = 141,2 kips	Pinc = 141,4 kips
x	-0,07	-0,0706	0,406
y	-0,793	-0,81	-8,097
z	0,202	0,203	1,465

Berdasarkan tabel 4.6, diketahui bahwa perubahan deformasi yang signifikan terjadi pada pembebanan 141,4 kips. Sehingga untuk memperkuat asumsi sebelumnya (terkait kegagalan model *dented tubular member*), berdasarkan tabel 4.6 dapat diasumsikan bahwa pada kondisi pembebanan 141,4 kips, model *tubular member* sudah mengalami kegagalan.



Gambar 4.22 Deformasi Arah Sumbu Y Terhadap Koordinat Global pada Pembebanan 141 kips



Gambar 4.23 Deformasi Arah Sumbu Y Terhadap Koordinat Global pada Pembebanan 141,4 kips

Berdasarkan hasil *incremental load* di atas, didapatkan bahwa model *dented tubular member* mengalami kondisi *ultimate* pada beban maksimal (P_{nr}) 141,2 kips dan mengalami tegangan von Mises maksimal ($\sigma_{eq,nr}$) 61082 psi. Dari hasil tersebut, kemudian dibandingkan dengan data yang telah diperoleh untuk mengetahui persentase *error* nya. Didapatkan persentase *error* beban maksimal sebesar 0,142% dan persentase *error* tegangan maksimal sebesar 3,529%. Sehingga model *dented tubular member* sudah dapat diasumsikan sesuai/ mendekati kondisi sesuai data.

4.6 Pemodelan *Tubular Member* dengan Penambahan *Doubler Plate*

Pada tahap ini dilakukan pemodelan *tubular member* dengan penambahan *doubler plate*. *Doubler plate* divariasikan menjadi empat jenis berdasarkan ketebalannya. Berikut ini adalah variasi dari *doubler plate*:

Variasi 1: $t_d = T$ & $l_d = D$ ($t_d = 0,253$ in; $l_d = 8,637$ in)

Variasi 2 : $t_d = 0,78T$ & $l_d = D$ ($t_d = 0,197$ in; $l_d = 8,637$ in)

Variasi 3 : $t_d = 3/16$ in & $l_d = D$ ($t_d = 0,187$ in; $l_d = 8,637$ in)

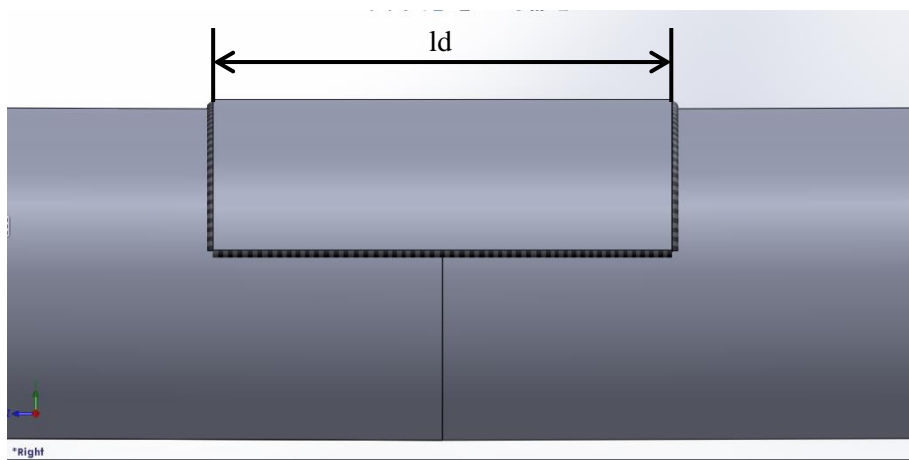
Variasi 4 : $t_d = 1/8$ in & $l_d = D$ ($t_d = 0,125$ in; $l_d = 8,637$ in)

Keterangan:

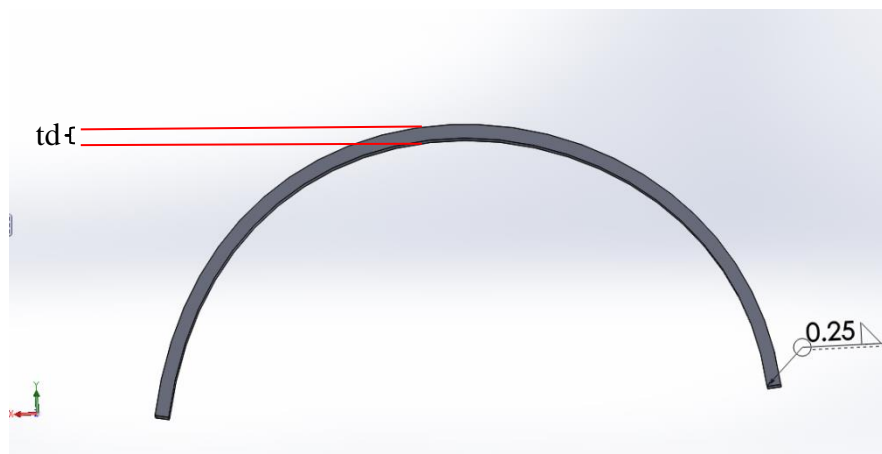
- Variasi 1 mengacu pada jurnal yang ditulis oleh Fung, Chan dan Soh (1999) berjudul *Ultimate Capacity of Doubler Plate – Reinforced Tubular Joints*.
- Variasi 2, ketebalan *doubler plate* mengacu pada jurnal yang ditulis oleh Nassiraei dkk (2017) berjudul *Static Strength of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y-Joints Under In-Plane Bending Load*.

Tabel 4.8 Referensi Acuan Variasi *Doubler Plate* 3 dan 4 (Sumber: AISC 13th Edition Bab 1 Tabel Ketebalan Plat)

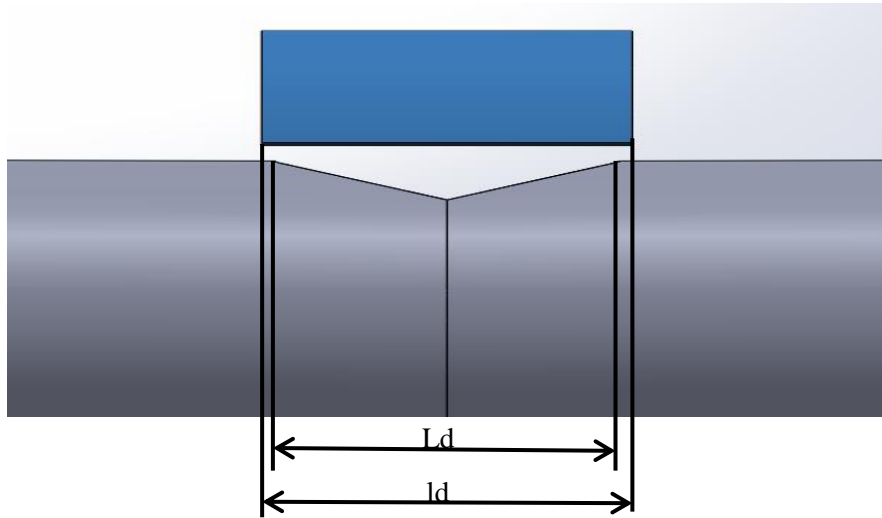
Gauge No.	Wt., lb/ft ²	Nominal Thickness, in.	Wt., lb/ft ²	Nominal Thickness, in.	Wt., lb/ft ²
18	2.40	1/8	6.16	1/2	21.5
16	3.00	3/16	8.71	9/16	24.0
14	3.75	1/4	11.3	5/8	26.6
13	4.50	5/16	13.8	3/4	31.7
12	5.25	3/8	16.4	7/8	36.8
		7/16	18.9	1	41.9



Gambar 4.25 Model *Reinforced Dented Tubular Member*



Gambar 4.26 *Thickness Doubler Plate*



Gambar 4.27 Selisih Panjang *Doubler Plate* (l_d) dan Panjang *Dent* (L_d)

Berdasarkan **gambar 4.27** dan data yang didapat, dapat diketahui bahwa jarak antara ujung *doubler plate* dengan ujung *dent* adalah:

$$= (l_d - L_d) / 2 \quad (4.1)$$

$$= (8,637 - 8) / 2$$

$$= 0,3185 \text{ in}$$

4.7 Meshing Sensitivity Analysis Doubler Plate

Setelah dilakukan penambahan *doubler plate*, perlu dilakukan *meshing sensitivity* ulang pada area sisi-sisi *doubler plate* yang memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan. Berikut adalah hasil *meshing sensitivity analysis* pada *doubler plate*:

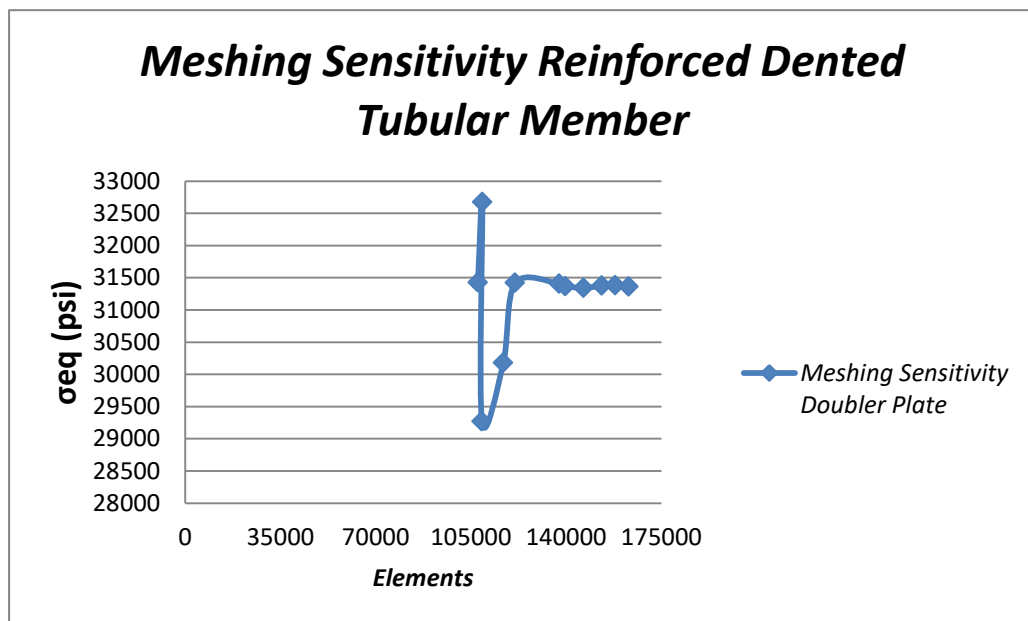
Tabel 4.9 *Probe Position* terhadap Koordinat Global pada Model *Doubler Plate*

<i>Probe Position</i>	
<i>Direction</i>	<i>Position (in)</i>
x	0
y	4,3185
z	93,26

Tabel 4.10 Output Meshing Sensitivity pada Area Sekitar Doubler Plate

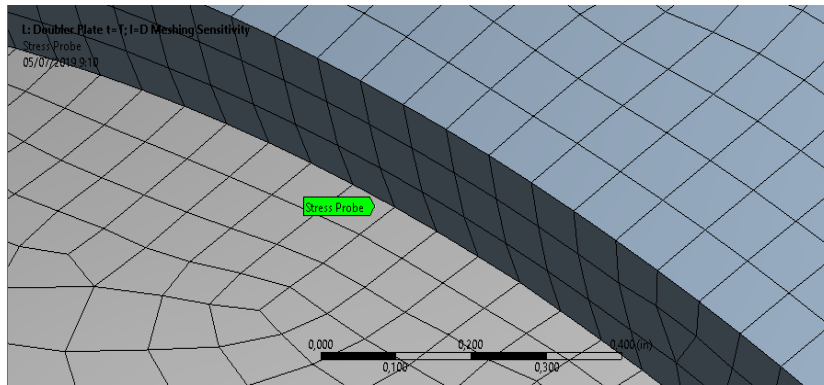
Step	Element Size (in)	σ_{eq} (psi)	Elements	Nodes	Pnr (kips)	Running Time
1	0,35	31425	107569	109766	141,2	48m 10s
2	0,3	32671	109188	109967		33m 59s
3	0,25	29270	109050	111469		36m
4	0,2	30179	116921	113310		53m 28s
5	0,15	31418	121258	117706		56m 23s
6	0,1	31406	137473	127462		1h 5m
7	0,09	31368	139661	130029		1h 7m
8	0,08	31343	146466	135016		1h 8m
9	0,07	31375	153124	139936		1h 19m
10	0,06	31383	158111	141503		1h 37m
11	0,05	31359	162987	144959		1h 52m

Data pada **tabel 4.10** akan ditampilkan dalam grafik pada **gambar 4.28** di bawah:

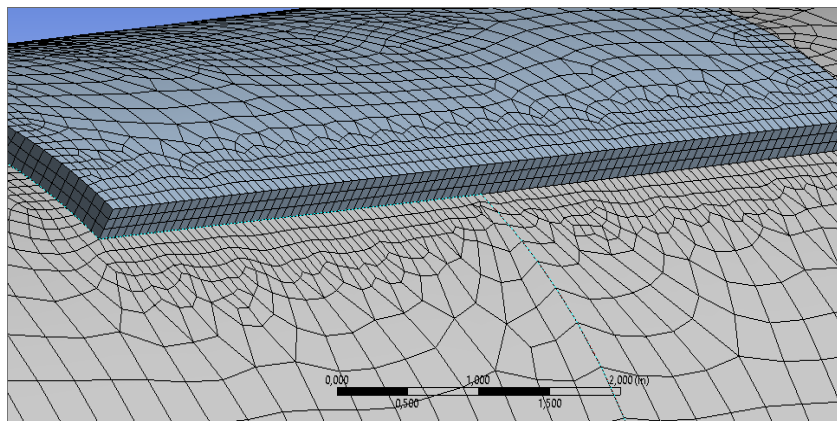


Gambar 4.28 Grafik Meshing Sensitivity Analysis Doubler Plate Area

Berdasarkan **tabel 4.10** dan **gambar 4.28**, diketahui *output* tegangan mulai cenderung stabil pada ukuran elemen 0,09 in. Sehingga ukuran tersebut digunakan untuk analisis selanjutnya.

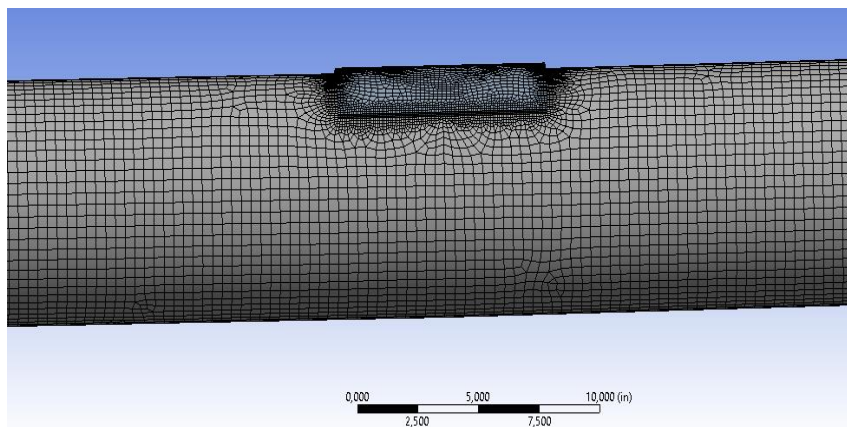


Gambar 4.29 *Stress Probe Position pada Area Doubler Plate*



Gambar 4.30 *Meshing pada Area Doubler Plate*

Berdasarkan **gambar 4.29** dan **gambar 4.30** dapat dilihat bahwa elemen antara *doubler plate* dengan *tubular member* sudah saling terhubung dengan *nodes*.



Gambar 4.31 *Meshing pada Reinforced Dented Tubular Member*

Setelah ditentukan ukuran elemen yang sesuai, selanjutnya dapat dilakukan analisis kapasitas *reinforced dented tubular member* dengan jenis tumpuan dan pembebanan yang sama dengan data. Untuk mengetahui kapasitas maksimal dari

masing-masing variasi *reinforced dented tubular member*, analisis dilakukan menggunakan metode *incremental load (pushover)* hingga *member* mengalami kegagalan. Berikut adalah pembebanan yang dijadikan sebagai acuan awal:

$$P_{nr} = 141,2 \text{ kips}$$

Berdasarkan data **tabel 3.5** dapat diketahui kapasitas maksimal *tubular member* saat kondisi *undamaged* (P_o) yaitu:

$$P_{exp}/P_o = 0,62 \tag{4.2}$$

$$P_o = P_{exp}/0,62$$

$$P_o = 141/0,62$$

$$P_o = 227,42 \text{ kips}$$

Kemudian berikut ini ditampilkan hasil analisis *output incremental load* dari masing-masing variasi ketebalan *doubler plate*:

4.8.1 Variasi Ketebalan *Doubler Plate* Pertama

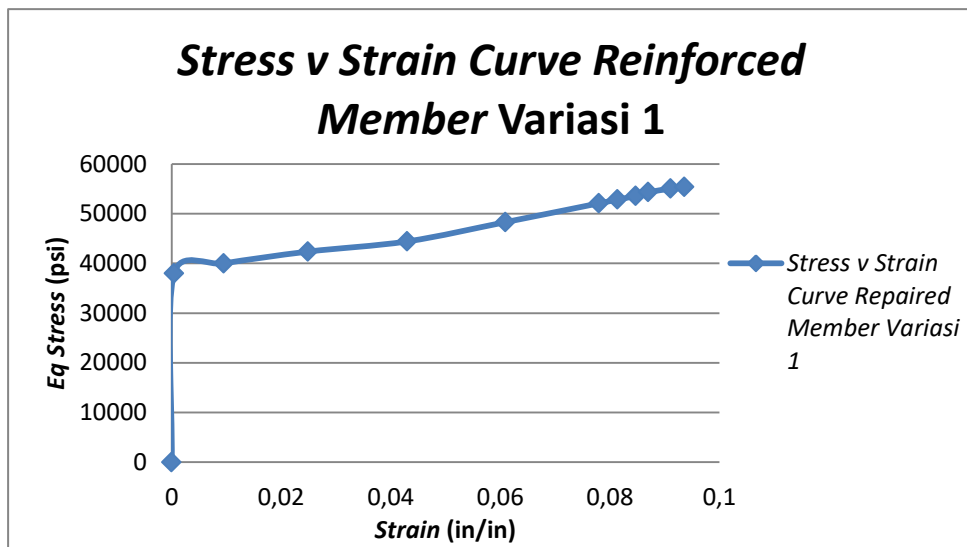
$$t_d = T \ \& \ l_d = D \quad (t_d = 0,253 \text{ in} \ \& \ l_d = 8,637 \text{ in})$$

Tabel 4.11 *Output Incremental Load* pada Variasi *Doubler Plate* Pertama

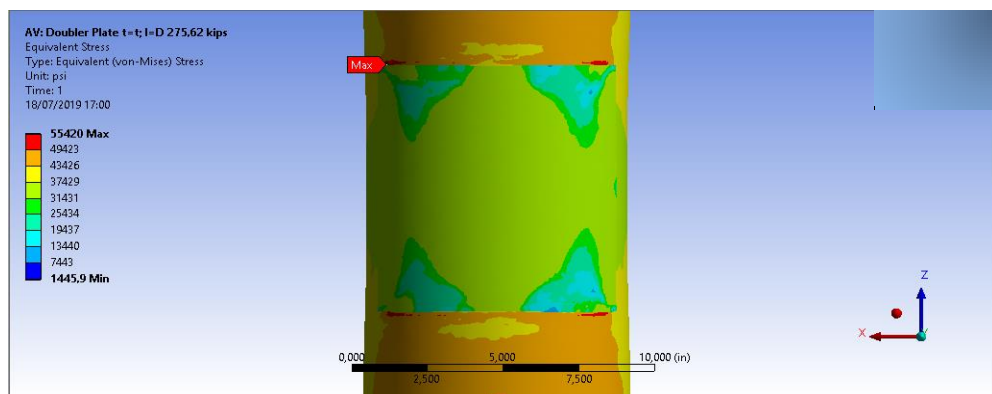
Variasi 1 ($t_d=0,253 \text{ in}$; $l_d=8,637 \text{ in}$)					
Pinc (kips)	σ_{eq} (psi)	ϵ_{eq} (in/in)	Deformation Max (in)		
			x	y	z
0	0	0	0	0	0
141,2	37965	0,00042	0,0011	-0,084	0,134
227,42	40003	0,00951	0,0159	-1,787	0,509
237,42	42379	0,02486	0,0351	-5,655	1,512
247,42	44433	0,043	0,0577	-9,905	2,805
257,42	48303	0,0609	0,0795	-14,053	4,1192
267,42	52098	0,078	0,103	-17,742	5,435
269,42	52848	0,0814	0,107	-18,398	5,698
271,42	53599	0,0847	0,1116	-19,025	5,962
273,42	54330	0,087	0,1152	-19,612	6,226
275,42	55044	0,09106	0,1185	-20,152	6,489
275,62	55420	0,0936	0,1162	-20,192	6,515
275,72	-	-	0,1169	-20,241	6,531

Berdasarkan **tabel 4.11** terlihat bahwa pada $P_{inc} = 275,72 \text{ kips}$ *output* tegangan maupun regangan tidak dapat ditampilkan. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* variasi

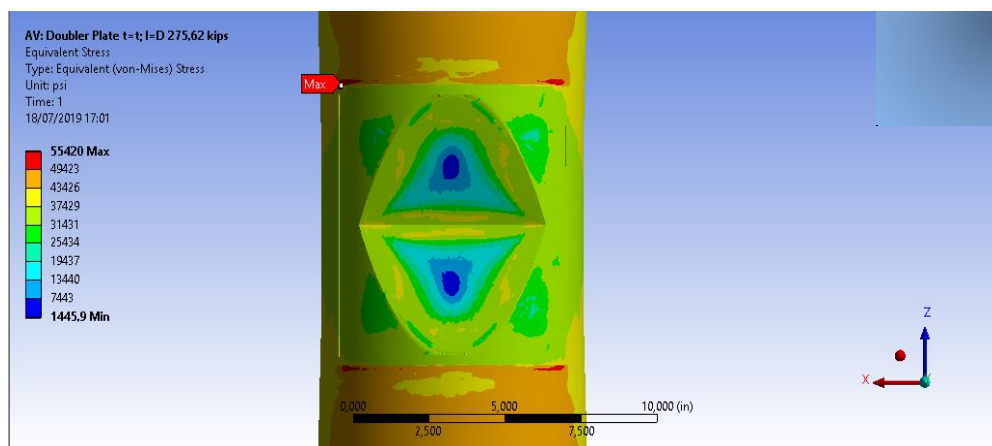
pertama (Pr) adalah 275,62 kips dengan tegangan ekuivalen maksimal ($\sigma_{eq \max}$) adalah 55,42 ksi.



Gambar 4.32 Grafik *Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member Variasi 1*

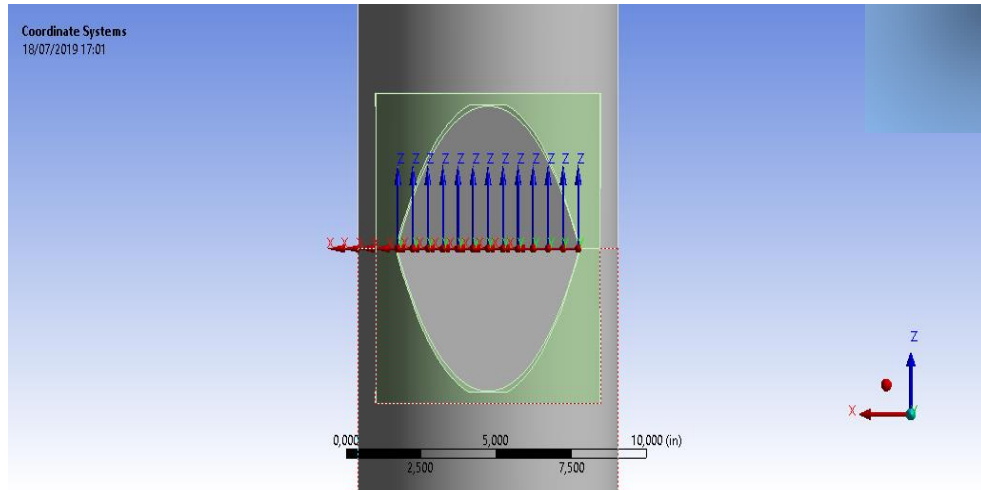


Gambar 4.33 Distribusi Tegangan Area *Doubler Plate* Variasi Pertama pada $Pr = 275,62$ kips



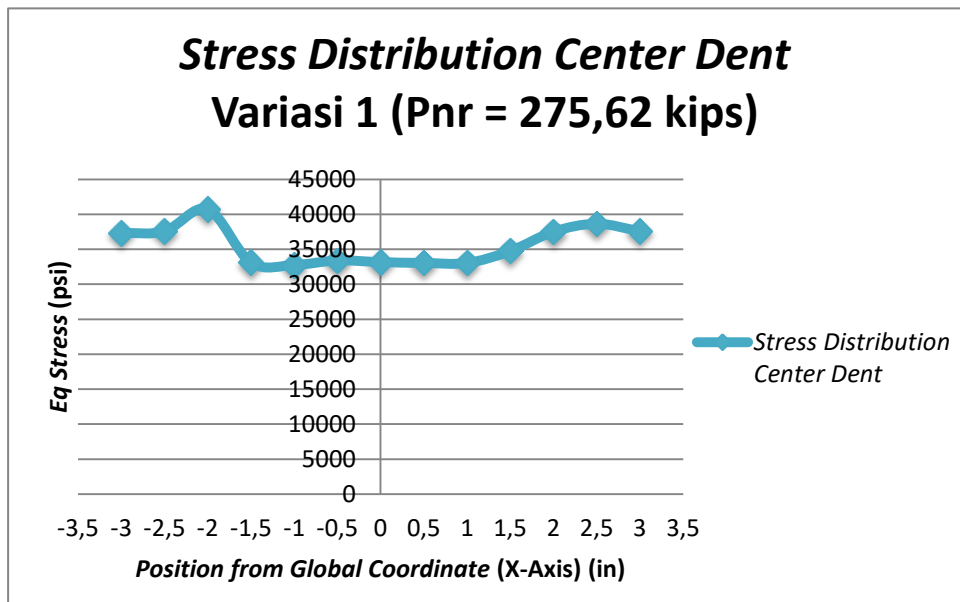
Gambar 4.34 Distribusi Tegangan Area *Dent* Variasi Pertama pada $Pr = 275,62$ kips

Berdasarkan **gambar 4.33** dan **gambar 4.34** dapat diketahui bahwa konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar terjadi pada area transisi antara ujung *doubler plate* dengan permukaan *tubular member*.



Gambar 4.35 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan *Reinforced Variasi 1*

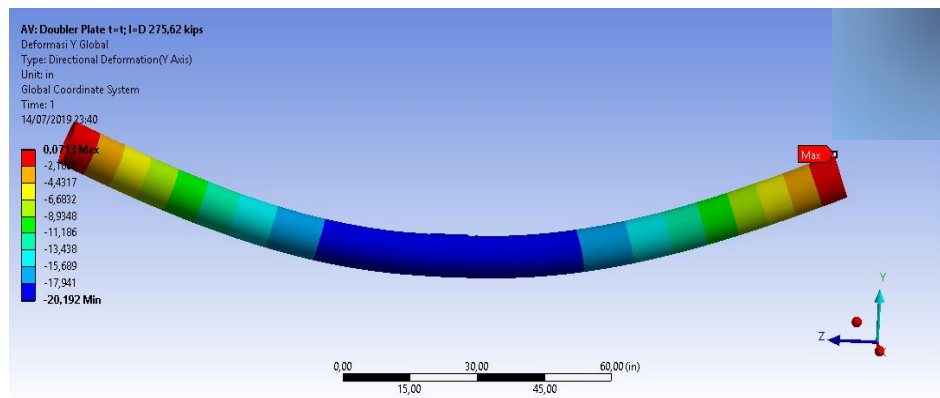
Gambar 4.35 menunjukkan koordinat lokal lokasi *probe* untuk melakukan tinjauan distribusi tegangan sepanjang *center dent*.



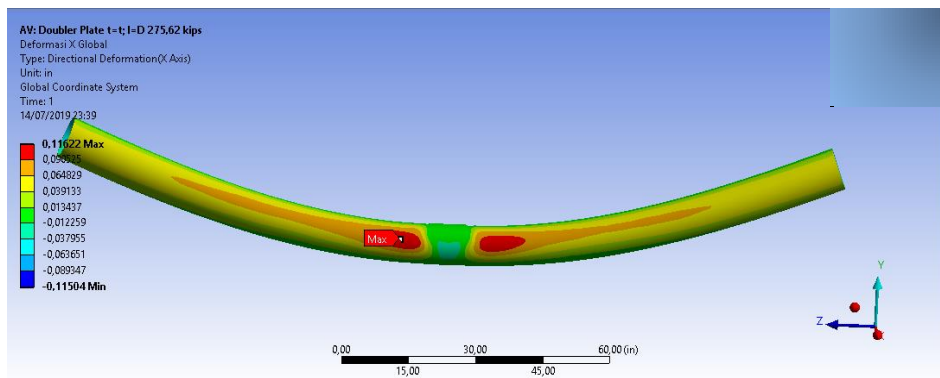
Gambar 4.36 Grafik Distribusi Tegangan pada Area *Center Dent Reinforced Variasi 1*

Tabel 4.12 Output Distribusi Tegangan *Center Dent* Reinforced Variasi 1 (Pr =275,62 Kips)

Reinforced Variasi 1 (Pr = 275,62 kips)				
Probe	Position from Global Coordinate (in)			Eq Stress (psi)
	x	y	z	
1	3	3,03	88,94	37592
2	2,5	3,03	88,94	38648
3	2	3,03	88,94	37519
4	1,5	3,03	88,94	34751
5	1	3,03	88,94	33046
6	0,5	3,03	88,94	33051
7	0	3,03	88,94	33166
8	-0,5	3,03	88,94	33401
9	-1	3,03	88,94	32764
10	-1,5	3,03	88,94	33096
11	-2	3,03	88,94	40733
12	-2,5	3,03	88,94	37578
13	-3	3,03	88,94	37319

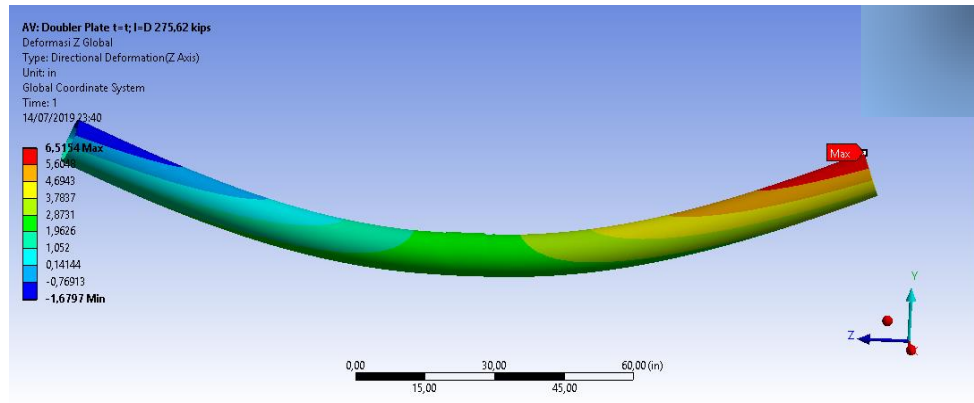


Gambar 4.37 Deformasi *Member* Variasi 1 Searah Sumbu Y Koordinat Global pada Pr = 275,62 kips

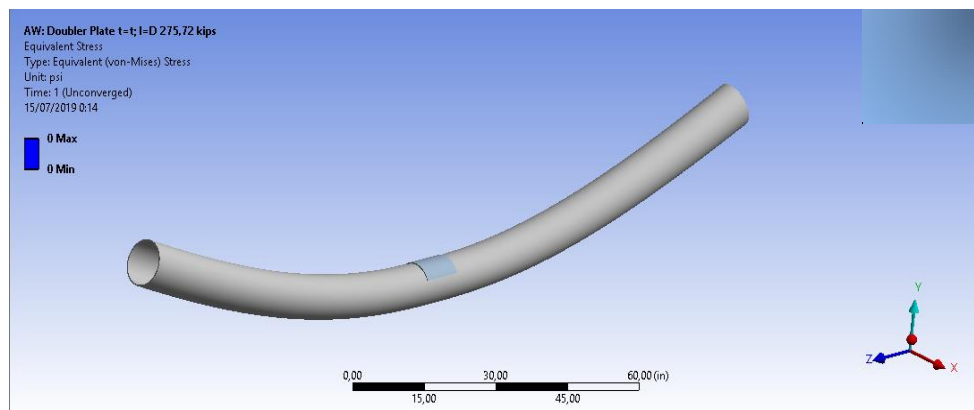


Gambar 4.38 Deformasi *Member* Variasi 1 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 275,62 kips

Berdasarkan **gambar 4.38** dapat diketahui bahwa deformasi arah sumbu x pada area sekitar *doubler plate* cukup kecil (rentang tertinggi -0,03 in hingga 0,01 in). Sehingga dapat diasumsikan *doubler plate* pada variasi pertama cenderung mampu mempertahankan bentuk *tubular member* pada area sekitarnya terhadap deformasi arah sumbu x (pelebaran diameter).



Gambar 4.39 Deformasi *Member Variasi 1* Searah Sumbu Z Variasi 1 Koordinat Global pada $P_r = 275,62$ kips



Gambar 4.40 *Member Variasi 1* Mengalami Kegagalan pada $P_{inc} = 275,72$ kips

Pada **gambar 4.40** dapat diketahui bahwa model *reinforced tubular member* variasi pertama mengalami *error* pada $P_{inc} = 275,72$ kips. Sehingga dapat diasumsikan pada pembebanan tersebut model *reinforced tubular member* sudah mengalami kegagalan.

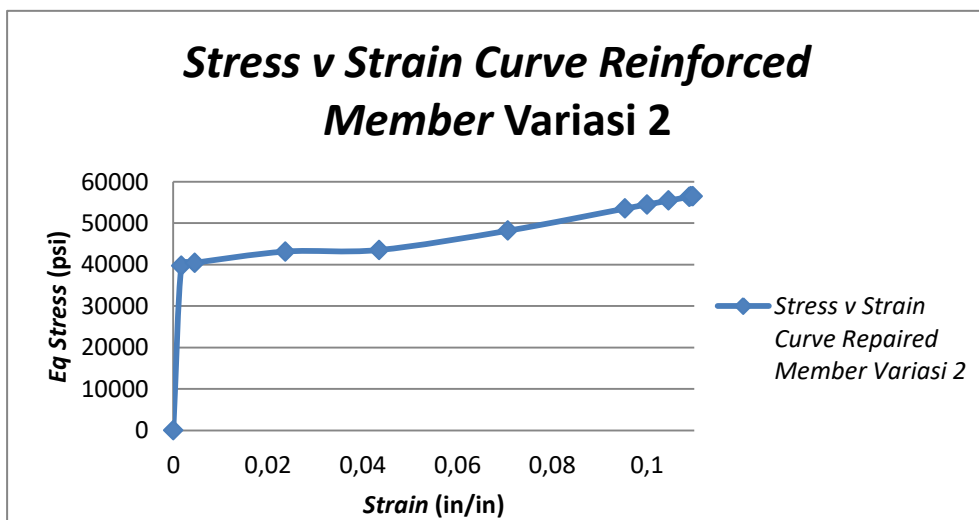
4.8.2 Variasi Ketebalan *Doubler Plate* Kedua

$$t_d = 0,78T \ \& \ l_d = D \quad (t_d = 0,197 \text{ in} \ \& \ l_d = 8,637 \text{ in})$$

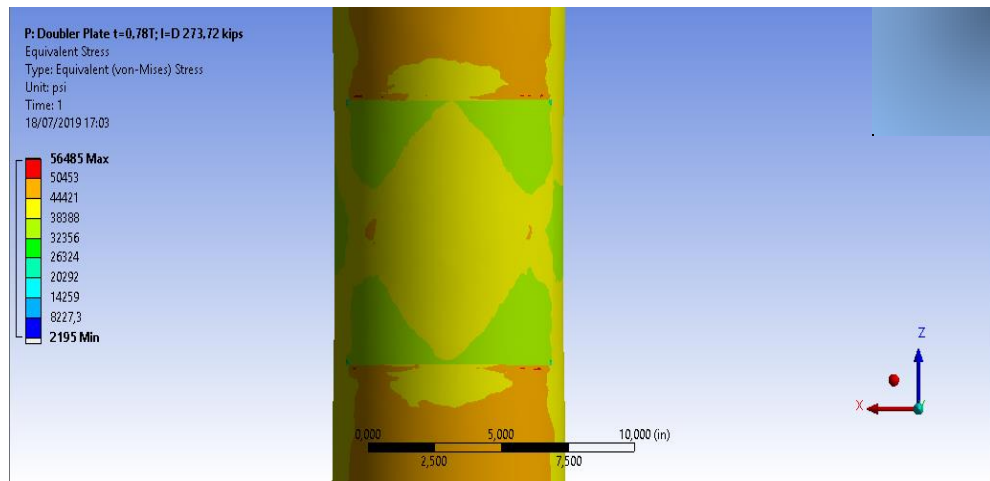
Tabel 4.13 Output Incremental Load pada Variasi Doubler Plate Kedua

Variasi 2 (td=0,197 in; ld=8,637 in)					
Pinc (kips)	σ_{eq} (psi)	ϵ_{eq} (in/in)	Deformation Max (in)		
			x	y	z
0	0	0	0	0	0
141,2	39733	0,00172	0,0014	-0,415	0,169
227,42	40423	0,00452	0,00698	-0,447	0,265
237,42	43147	0,02364	0,0355	-5,674	1,513
247,42	43530	0,04348	0,0571	-10,012	2,816
257,42	48174	0,07065	0,078	-14,343	4,156
267,42	53511	0,09536	0,0994	-18,294	5,509
269,42	54488	0,10001	0,1041	-19,003	5,779
271,42	55433	0,10457	0,1085	-19,681	6,0504
273,42	56344	0,10896	0,1126	-20,33	6,3208
273,62	56432	0,10932	0,1124	-20,393	6,347
273,72	56485	0,10968	0,1125	-20,425	6,361
273,82	-	-	0,1188	-20,658	6,7559

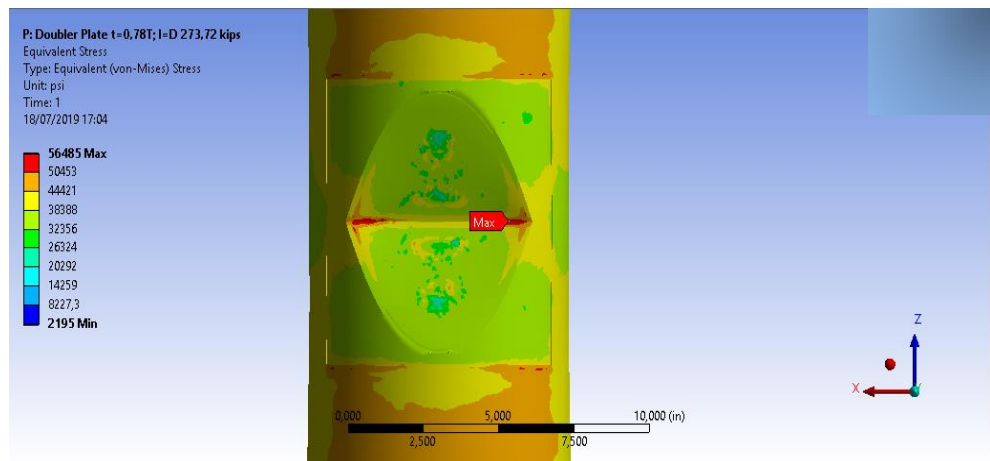
Berdasarkan **tabel 4.13** di atas dapat diketahui bahwa beban tepat sebelum *member* mengalami kegagalan adalah pada Pinc = 273,72 kips. Sehingga dapat diketahui bahwa kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* variasi kedua ini (Pr) adalah 273,72 kips dengan tegangan ekuivalen maksimal ($\sigma_{eq\ max}$) sebesar 56,485 ksi.



Gambar 4.41 Grafik Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member Variasi 2

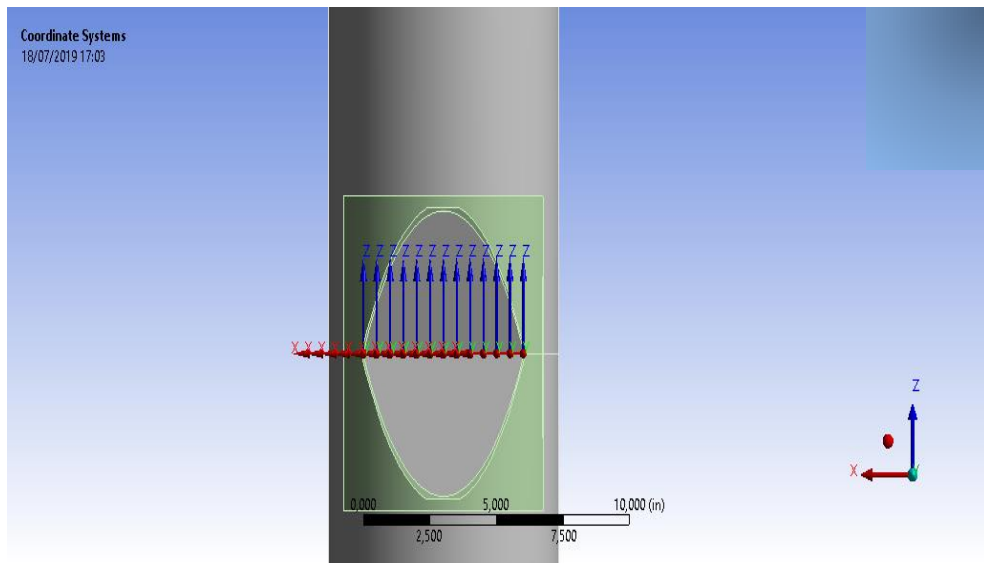


Gambar 4.42 Distribusi Tegangan Area *Doubler Plate* Variasi Kedua pada $Pr = 273,72$ kips

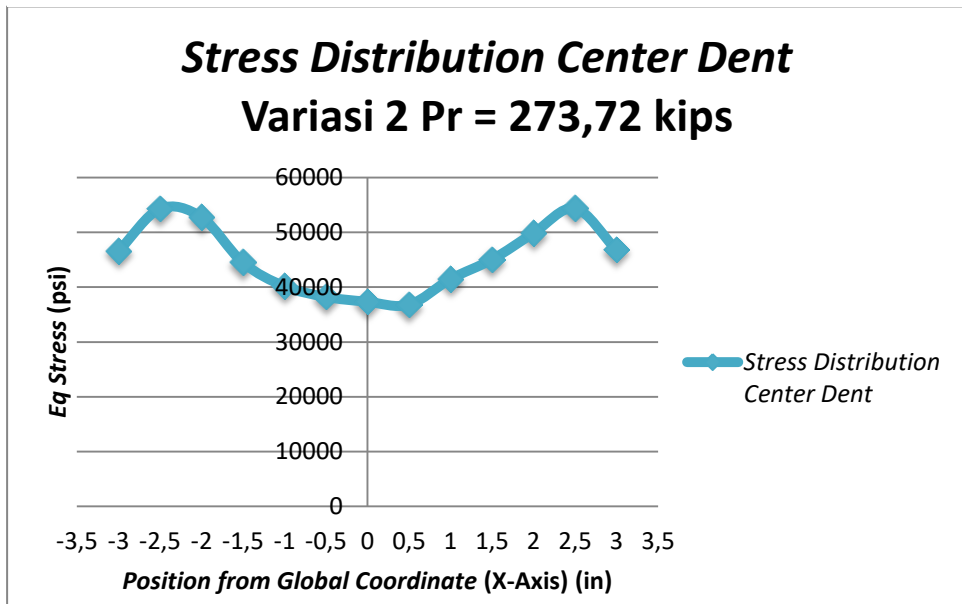


Gambar 4.43 Distribusi Tegangan Area *Dent* Variasi Kedua pada $Pr = 273,72$ kips

Berdasarkan **gambar 4.42** dan **gambar 4.43** dapat diketahui bahwa konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar terjadi pada ujung-ujung *center dent*. Jika dibandingkan dengan variasi *doubler plate* pertama, maka terdapat perbedaan antara lokasi konsentrasi tegangan ekuivalen terbesarnya.



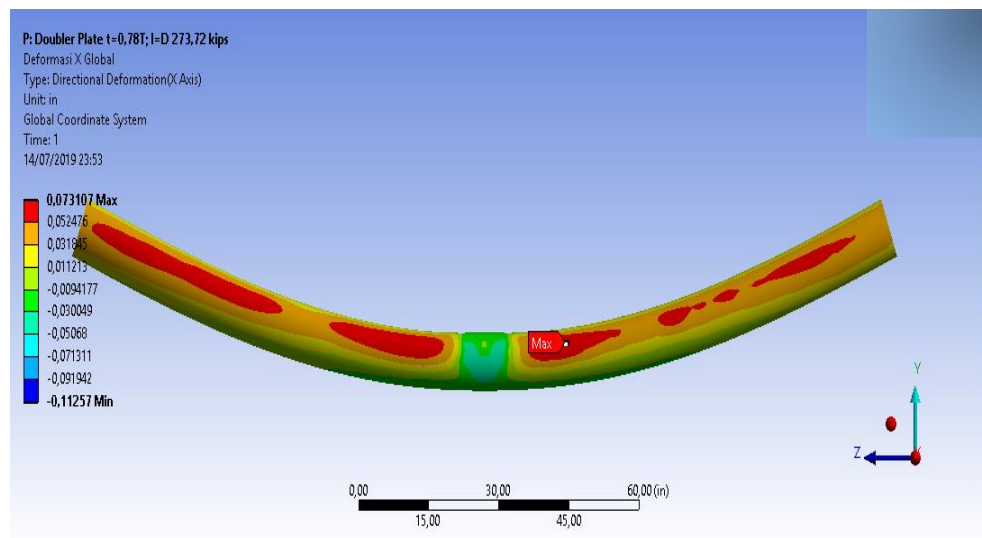
Gambar 4.44 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan *Reinforced Variasi 2*



Gambar 4.45 Grafik Distribusi Tegangan *Center Dent Reinforced Variasi 2*

Tabel 4.14 Output Distribusi Tegangan *Center Dent* Reinforced Variasi 2

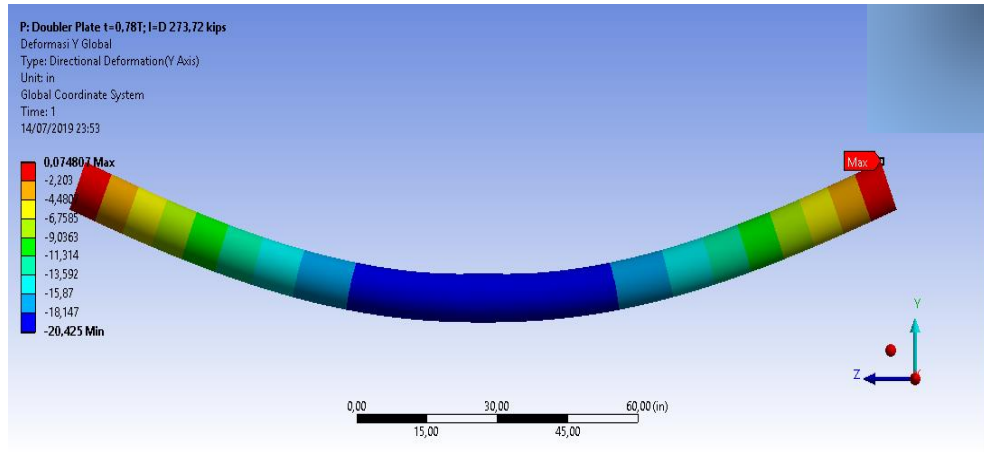
Reinforced Variasi 2 (Pr = 273,72 kips)				
Probe	Position from Global Coordinate (in)			Eq Stress (psi)
	x	y	z	
1	3	3,03	88,94	46793
2	2,5	3,03	88,94	54367
3	2	3,03	88,94	49841
4	1,5	3,03	88,94	45028
5	1	3,03	88,94	41476
6	0,5	3,03	88,94	36797
7	0	3,03	88,94	37333
8	-0,5	3,03	88,94	38219
9	-1	3,03	88,94	40161
10	-1,5	3,03	88,94	44485
11	-2	3,03	88,94	52765
12	-2,5	3,03	88,94	54289
13	-3	3,03	88,94	46550



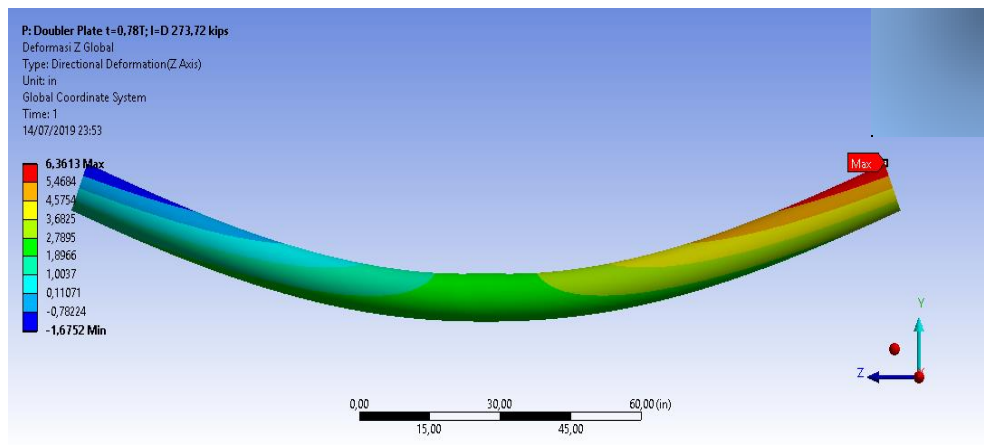
Gambar 4.46 Deformasi *Member* Variasi 2 Searah Sumbu X Koordinat Global pada Pr = 273,72 kips

Berdasarkan **gambar 4.42** dan **gambar 4.43** dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi tegangan ekuivalen pada ujung-ujung *center dent*. Kemudian pada **gambar 4.46** dapat diketahui bahwa terjadi deformasi arah sumbu x pada area *doubler plate* pada rentang tertinggi antara 0,01 in

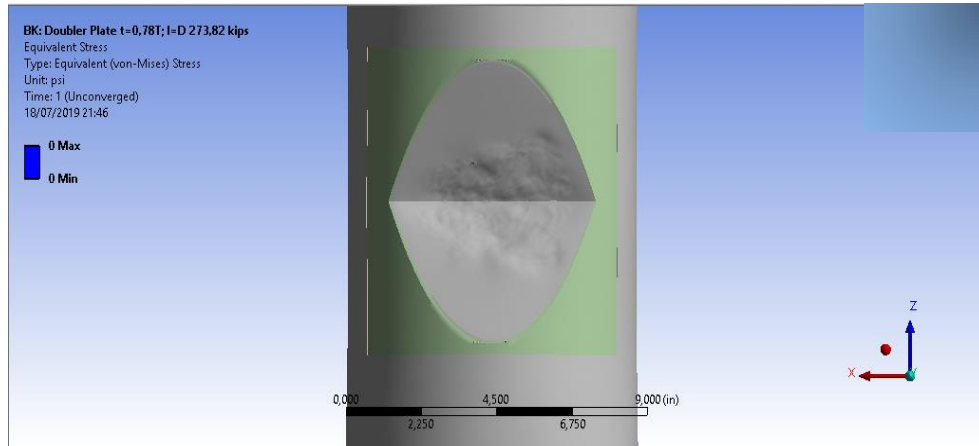
hingga 0,03 in. Maka jika dibandingkan dengan *doubler plate* variasi pertama, dapat diasumsikan bahwa *doubler plate* variasi pertama lebih bisa mempertahankan area *dent* terhadap deformasi (terutama arah sumbu x) dibandingkan variasi kedua.



Gambar 4.47 Deformasi *Member Variasi 2* Searah Sumbu Y Koordinat Global pada $Pr = 273,72$ kips



Gambar 4.48 Deformasi *Member Variasi 2* Searah Sumbu Z Koordinat Global pada $Pr = 273,72$ kips



Gambar 4.49 Member Variasi 2 Mengalami Kegagalan pada Pinc = 273,82 kips

Berdasarkan **gambar 4.49** dapat diketahui bahwa pada Pinc = 273,82 kips, tegangan ekuivalen pada model *reinforced tubular member* dengan variasi *doubler plate* kedua mengalami *error* (tegangan ekuivalen tidak dapat ditampilkan). Sehingga dapat diasumsikan pada Pinc = 273,82 kips model tersebut sudah mengalami kegagalan. Tampak kegagalan terjadi pada area *dent*.

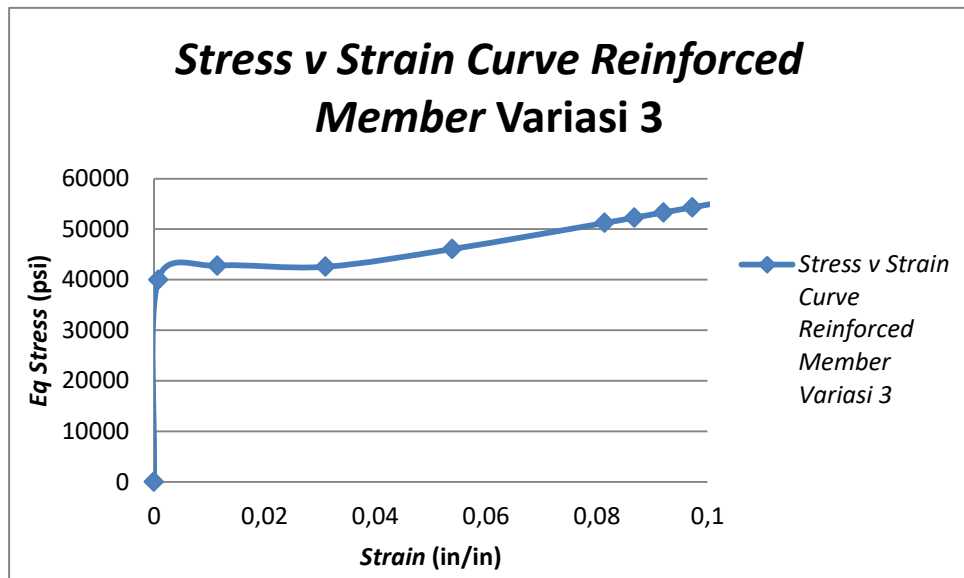
4.8.3 Variasi Ketebalan *Doubler Plate* Ketiga

$$t_d = 3/16 \text{ in} \ \& \ l_d = D \quad (t_d = 0,187 \text{ in} \ \& \ l_d = 8,637 \text{ in})$$

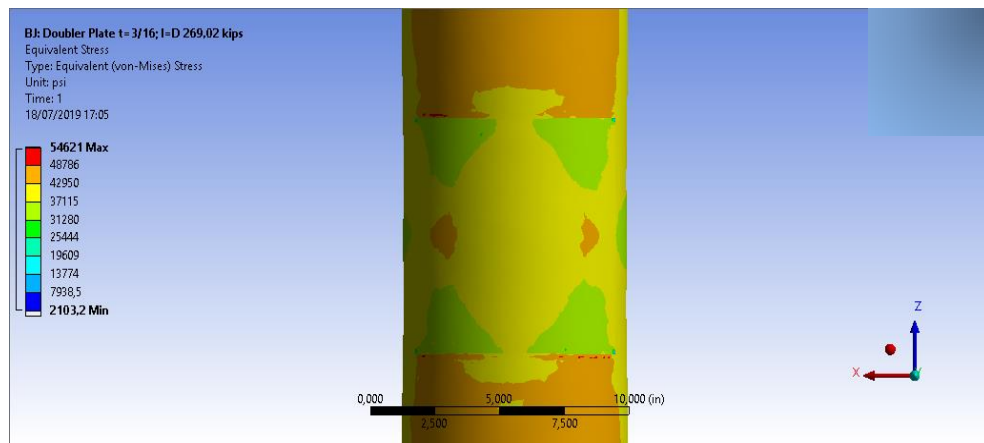
Tabel 4.15 Output Incremental Load pada Variasi *Doubler Plate* Ketiga

Variasi 3 ($t_d=0,187 \text{ in}$; $l_d=8,637 \text{ in}$)					
Pinc (kips)	σ_{eq} (psi)	ϵ_{eq} (in/in)	Deformation Max (in)		
			x	y	z
0	0	0	0	0	0
141,2	40000	0,000776	-0,0016	-0,0934	0,135
227,42	42788	0,011441	-0,0149	-1,851	0,5199
237,42	42559	0,030966	-0,0321	-5,784	1,533
247,42	46075	0,0539	-0,0505	-10,196	2,847
257,42	51233	0,081438	-0,0712	-14,585	4,198
259,42	52287	0,086801	-0,0752	-15,428	4,4701
261,42	53315	0,092075	-0,0794	-16,251	4,7418
263,42	54321	0,097268	-0,0837	-17,057	5,0136
265,42	55318	0,10244	-0,0882	-17,838	5,2851
266,42	55808	0,105	-0,0904	-18,261	5,4209
266,62	55905	0,1055	-0,0908	-18,291	5,4481
266,82	56002	0,10601	-0,0912	-18,366	5,4752
267,02	56098	0,10651	-0,0917	-18,44	5,5024
267,12	56147	0,10676	-0,091	-18,477	5,516
267,22	-	-	-0,121	-19,252	5,561

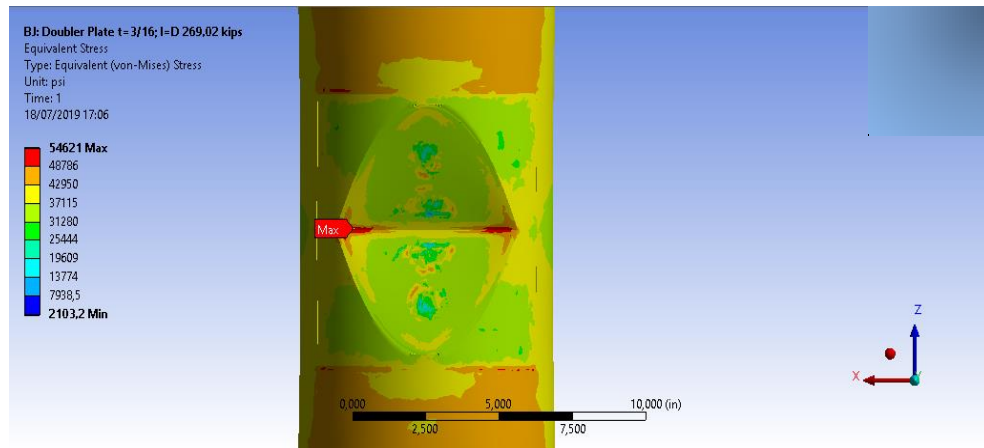
Berdasarkan **tabel 4.15** di atas dapat diketahui bahwa beban tepat sebelum *member* mengalami kegagalan adalah pada $P_{inc} = 267,12$ kips. Sehingga dapat diketahui kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* variasi ketiga (P_r) adalah 267,12 kips dengan tegangan ekuivalen maksimal ($\sigma_{eq\ max}$) sebesar 56,147 psi.



Gambar 4.50 Grafik *Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member* Variasi Ketiga

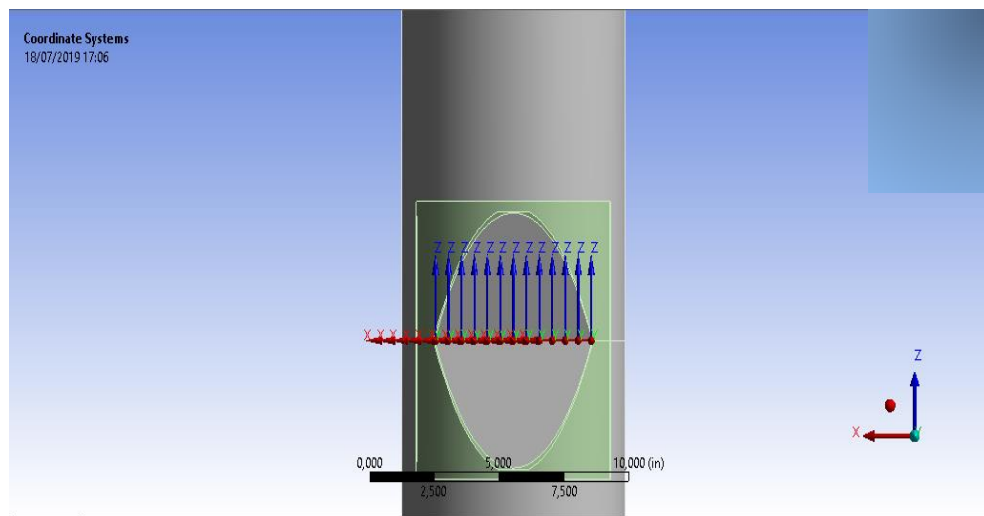


Gambar 4.51 Distribusi Tegangan Area *Doubler Plate* Variasi Ketiga pada $P_r = 267,12$ kips

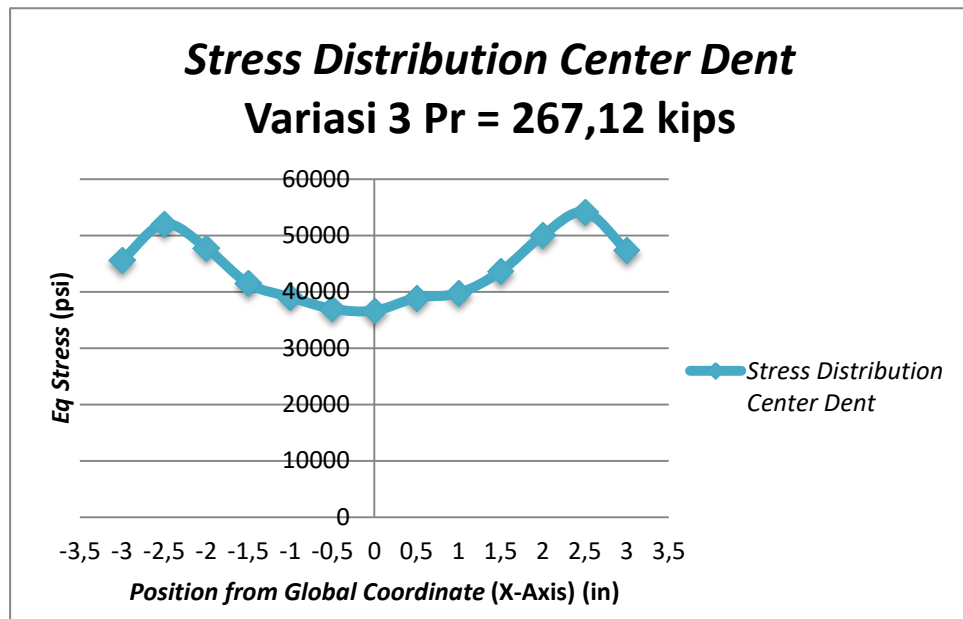


Gambar 4.52 Distribusi Tegangan Area *Dent* Variasi Ketiga pada $P_r = 267,12$ kips

Berdasarkan **gambar 4.51** dan **gambar 4.52** dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar pada ujung-ujung *center dent*. Jika dibandingkan dengan variasi *doubler plate* pertama, juga terjadi perubahan lokasi konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar (sama seperti variasi *doubler plate* kedua).



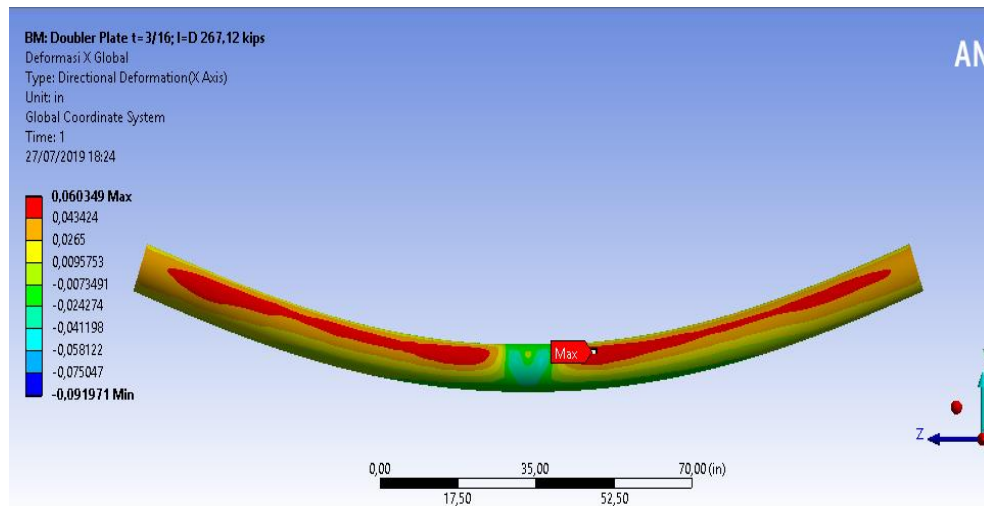
Gambar 4.53 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan *Reinforced* Variasi 3



Gambar 4.54 Grafik Distribusi Tegangan *Center Dent Reinforced Variasi 3*

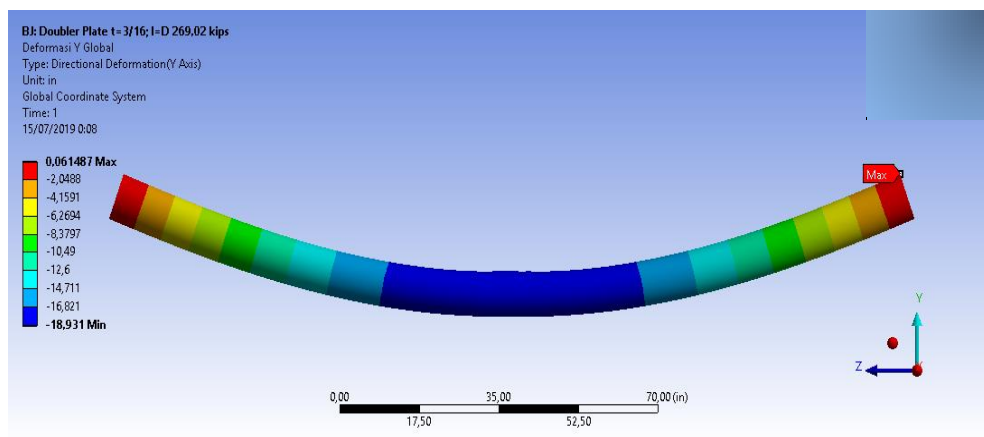
Tabel 4.16 Output Distribusi Tegangan *Center Dent Reinforced Variasi 3*

<i>Reinforced Variasi 3 (Pr = 267,22 kips)</i>				
<i>Probe</i>	<i>Position from Global Coordinate (in)</i>			<i>Eq Stress (psi)</i>
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	3	3,03	88,94	46128
2	2,5	3,03	88,94	55693
3	2	3,03	88,94	51840
4	1,5	3,03	88,94	43168
5	1	3,03	88,94	38781
6	0,5	3,03	88,94	36854
7	0	3,03	88,94	37743
8	-0,5	3,03	88,94	38711
9	-1	3,03	88,94	40072
10	-1,5	3,03	88,94	44585
11	-2	3,03	88,94	52485
12	-2,5	3,03	88,94	53786
13	-3	3,03	88,94	45300

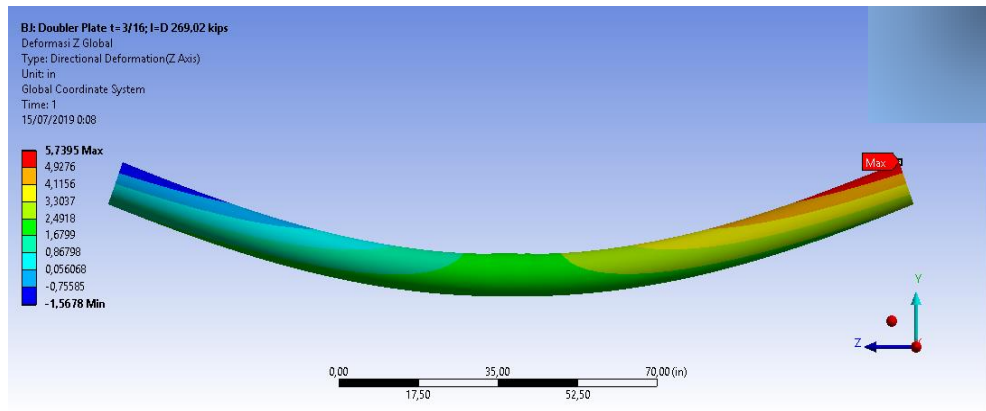


Gambar 4.55 Deformasi *Member Variasi 3* Searah Sumbu X Koordinat Global pada $Pr = 267,12$ kips

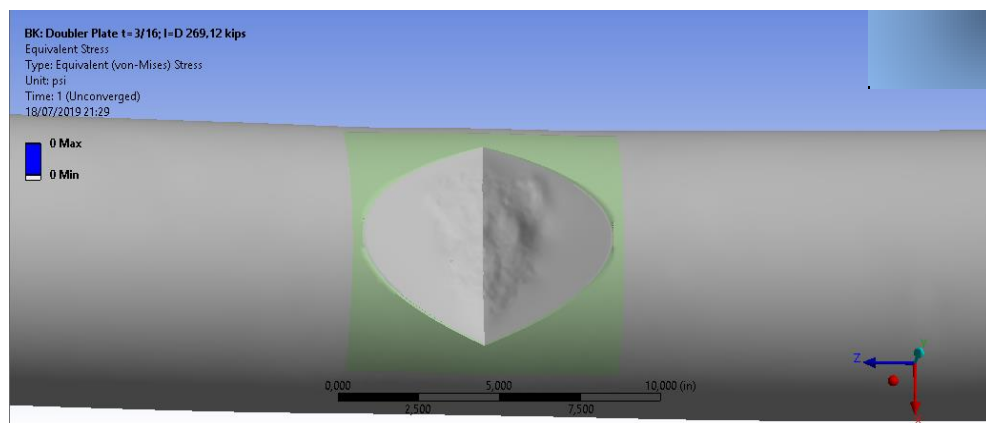
Berdasarkan **gambar 4.51** dan **gambar 4.52** diketahui bahwa terjadi perubahan lokasi konsentrasi tegangan maksimal yaitu pada ujung-ujung *center dent* jika dibandingkan variasi *doubler plate* pertama yaitu pada transisi antara ujung *doubler plate* dengan *tubular member*. Kemudian berdasarkan **gambar 4.55** dapat diketahui bahwa terjadi perubahan deformasi arah sumbu x pada area *doubler plate* dengan rentang tertinggi -0,08 in hingga -0,06 in. Sehingga dapat diasumsikan bahwa *doubler plate* variasi pertama lebih bisa mempertahankan area *dent* terhadap deformasi (terutama arah sumbu x) dibandingkan variasi ketiga.



Gambar 4.56 Deformasi *Member Variasi 3* Searah Sumbu Y Koordinat Global pada $Pr = 267,12$ kips



Gambar 4.57 Deformasi *Member Variasi 3* Searah Sumbu Z Koordinat Global pada $P_r = 267,12$ kips



Gambar 4.58 *Reinforced Member Variasi 3* Mengalami Kegagalan pada $P_{inc} = 267,22$ kips

Berdasarkan **gambar 4.58** dapat diketahui bahwa pada $P_{inc} = 267,22$ model *reinforced tubular member* variasi ketiga mengalami *error* (tegangan ekuivalen tidak dapat ditampilkan. Tampak kegagalan terjadi pada area *dent*.

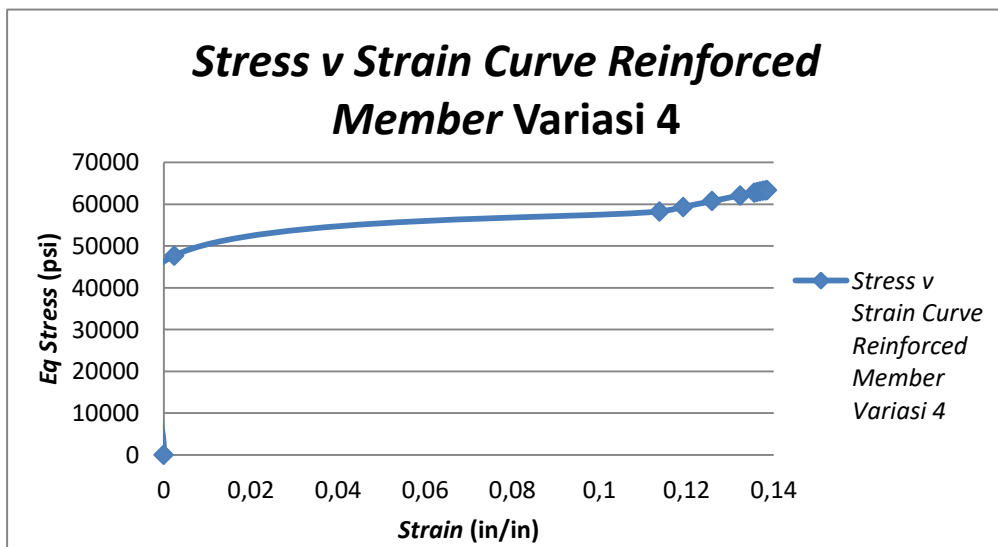
4.8.4 Variasi Ketebalan *Doubler Plate* Keempat

$$t_d = 1/8 \text{ in} \ \& \ l_d = D \quad (t_d = 0,125 \text{ in} \ \& \ l_d = 8,637 \text{ in})$$

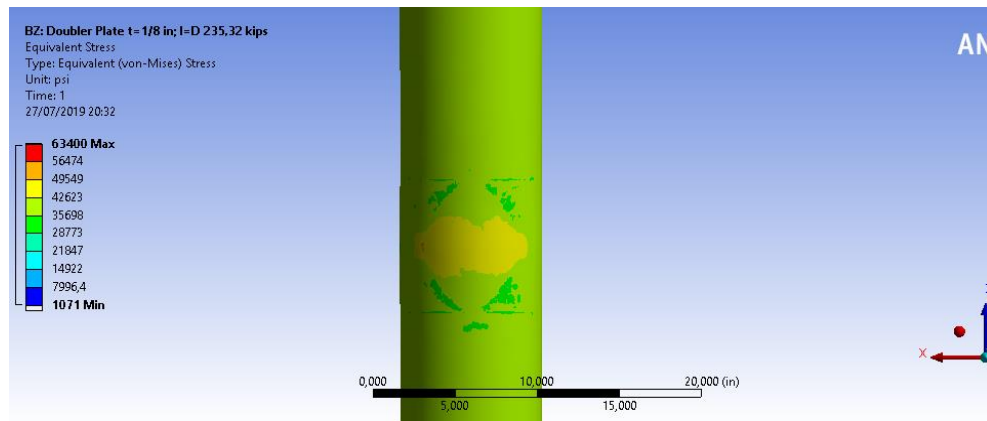
Tabel 4.17 Output Incremental Load pada Variasi Doubler Plate Keempat

Variasi 4 (td=0,125 in; ld=8,637 in)					
Pinc (kips)	σ_{eq} (psi)	ϵ_{eq} (in/in)	Deformation Max (in)		
			x	y	z
0	0	0	0	0	0
141,2	47698	0,002388	-0,0021	-0,1073	0,1363
227,42	58273	0,11382	-0,0485	-2,768	0,6298
229,42	59358	0,11923	-0,0517	-3,517	0,7827
231,42	60745	0,12583	-0,0554	-4,348	0,9662
233,42	62116	0,13236	-0,0599	-5,238	1,1828
234,42	62794	0,13559	-0,0627	-5,697	1,3051
234,62	62929	0,13623	-0,0633	-5,7905	1,3304
234,82	63063	0,13687	-0,0638	-5,883	1,3559
235,02	63197	0,13751	-0,0644	-5,976	1,3815
235,22	63331	0,13815	-0,0649	-6,069	1,4073
235,32	63400	0,13847	-0,0651	-6,117	1,4205
235,42	-	-	-0,0946	-6,369	1,4625

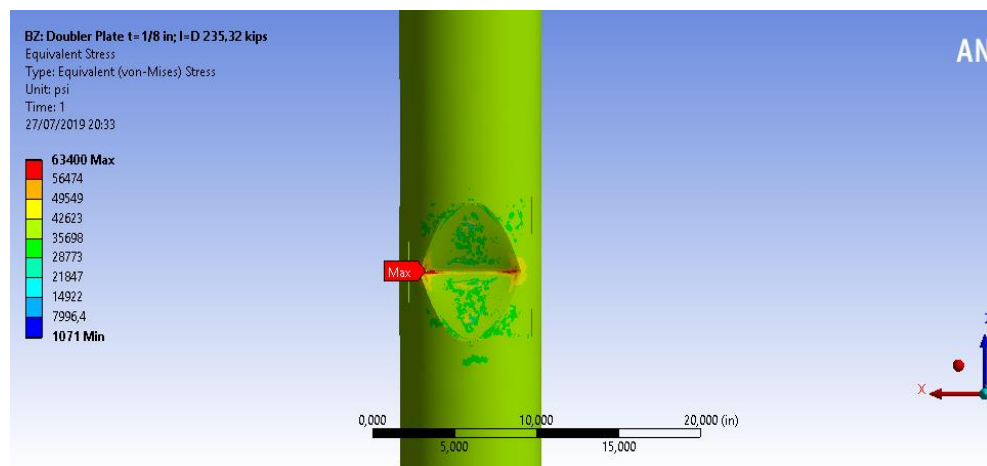
Berdasarkan **tabel 4.17** diketahui bahwa pada Pinc = 235,42 kips *output* tegangan maupun regangan tidak dapat ditampilkan. Sehingga dapat diasumsikan *member* mengalami kegagalan. Sehingga dapat diketahui bahwa kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* variasi keempat (Pr) adalah 235,32 kips dengan tegangan ekuivalen maksimal ($\sigma_{eq\ max}$) adalah 63,4 ksi.



Gambar 4.59 Grafik Stress v Strain Reinforced Dented Tubular Member Variasi Keempat

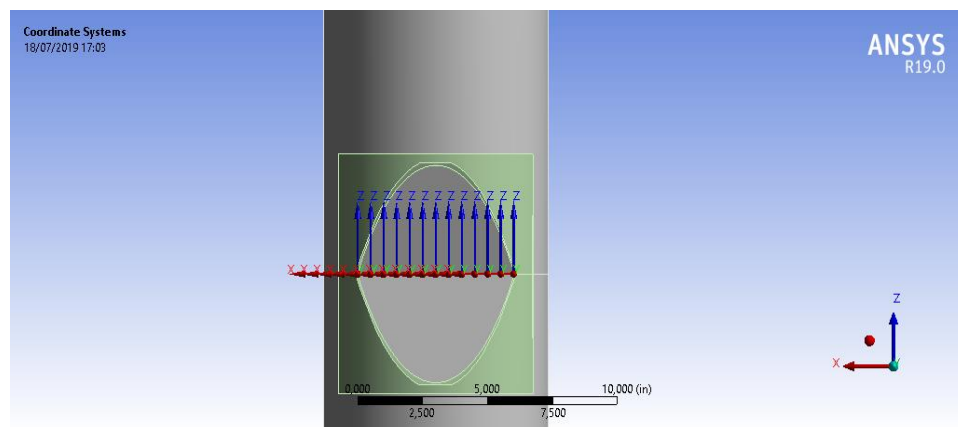


Gambar 4.60 Distribusi Tegangan Area *Doubler Plate* Variasi Keempat pada Pr = 235,32 kips

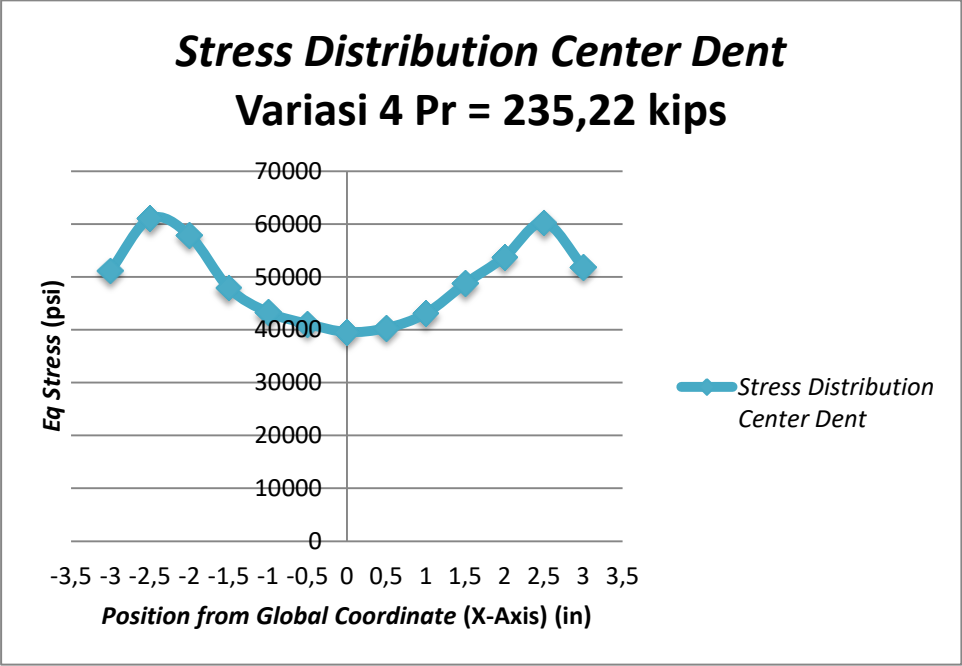


Gambar 4.61 Distribusi Tegangan Area *Dent* Variasi Keempat pada Pr = 235,32 kips

Berdasarkan **gambar 4.60** dan **gambar 4.61** dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar pada ujung-ujung *center dent*. Jika dibandingkan dengan variasi *doubler plate* pertama, juga terjadi perubahan lokasi konsentrasi tegangan ekuivalen terbesar.



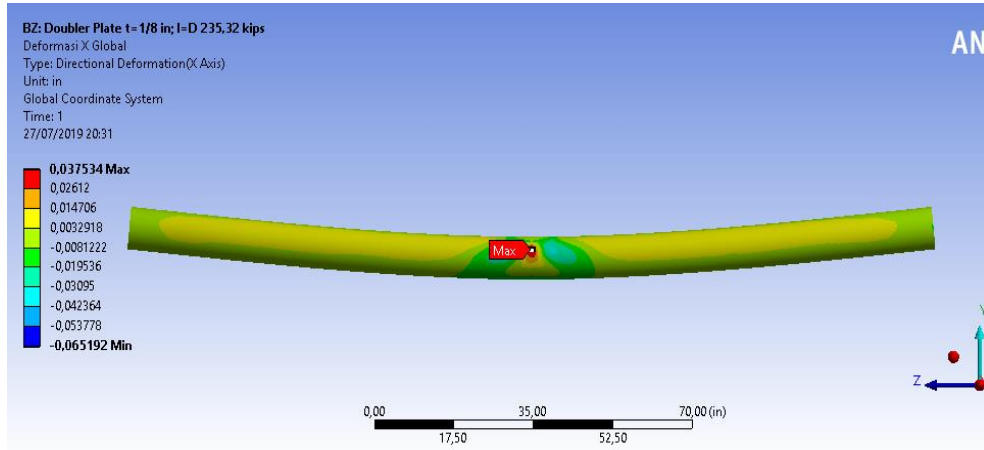
Gambar 4.62 Lokasi Titik Tinjauan Distribusi Tegangan *Reinforced* Variasi 4



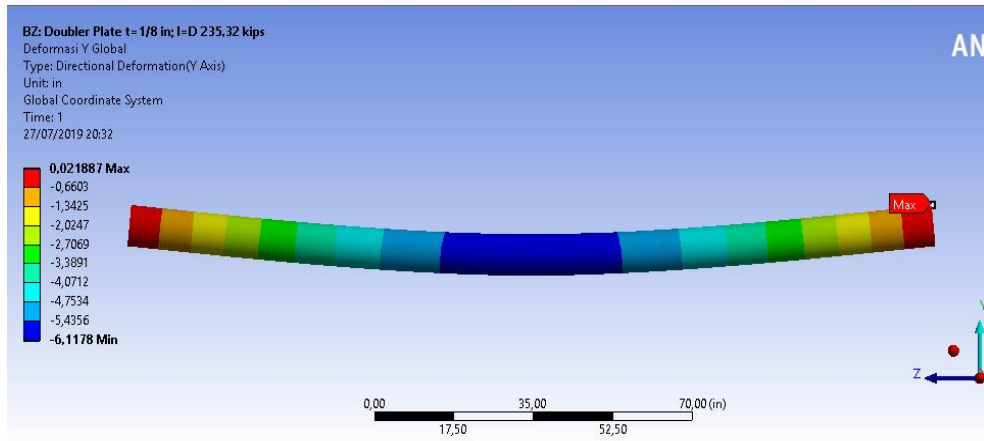
Gambar 4.63 Kurva Dsistribusi Tegangan *Center Dent Reinforced* Variasi 4

Tabel 4.18 *Output* Distribusi Tegangan *Center Dent Reinforced* Variasi 3

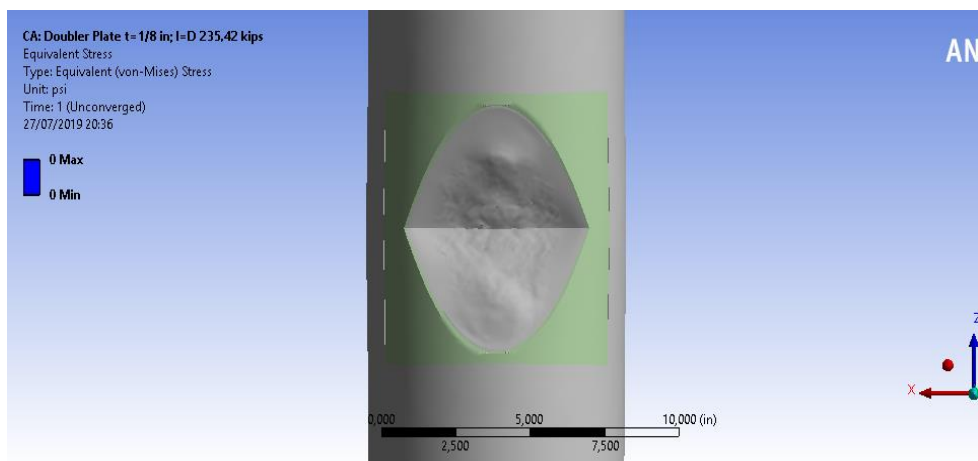
Reinforced Variasi 4 (Pr = 235,32 kips)				
Probe	Position from Global Coordinate (in)			Eq Stress (psi)
	x	y	z	
1	3	3,03	88,94	51916
2	2,5	3,03	88,94	60288
3	2	3,03	88,94	53768
4	1,5	3,03	88,94	48729
5	1	3,03	88,94	43064
6	0,5	3,03	88,94	40322
7	0	3,03	88,94	39580
8	-0,5	3,03	88,94	41122
9	-1	3,03	88,94	43308
10	-1,5	3,03	88,94	47946
11	-2	3,03	88,94	57886
12	-2,5	3,03	88,94	61045
13	-3	3,03	88,94	51186



Gambar 4.64 Deformasi *Member Variasi 4* Searah Sumbu X Koordinat Global pada $P_r = 235,32$ kips



Gambar 4.65 Deformasi *Member Variasi 4* Searah Sumbu Y Koordinat Global pada $P_r = 235,32$ kips



Gambar 4.66 *Reinforced Member Variasi 4* Mengalami Kegagalan pada $P_{inc} = 235,42$ kips

Berdasarkan **gambar 4.66** dapat diketahui bahwa pada $P_{inc} = 235,42$ kips model *reinforced tubular member* variasi keempat mengalami *error* (tegangan ekuivalen tidak dapat ditampilkan). Tampak kegagalan terjadi pada area *dent*.

4.9 Analisis Rasio Perbandingan Kapasitas Maksimal *Reinforced, Non-Reinforced* dan *Undamaged Tubular Member*

Setelah dilakukan analisis *incremental load* untuk mengetahui kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* pada masing-masing variasi, selanjutnya dapat dilakukan analisis rasio (perbandingan) kapasitas maksimal *reinforced, non-reinforced*, dan *undamaged tubular member*. Berikut ini adalah tabel perbandingannya:

Tabel 4.19 Rasio Kapasitas Maksimal *Reinforced* (P_r) terhadap *Non-Reinforced* (P_{nr}) dan *Undamaged* (P_o) *Tubular Member*

No.	Variasi Doubler Plate	P_r (kips)	P_r/P_{nr}	P_r/P_o	% Peningkatan P_r thd P_o	% Peningkatan P_r thd P_{nr}
1	($t=0,253$ in; $l=8,637$ in)	275,62	1,952	1,212	21,194	95,198
2	($t=0,197$ in; $l=8,637$ in)	273,72	1,939	1,204	20,359	93,853
3	($t=3/16$ in; $l=8,637$ in)	267,12	1,892	1,175	17,457	89,178
4	($t=1/8$ in; $l=8,637$ in)	235,32	1,667	1,035	3,474	66,657

Berdasarkan **tabel 4.19** di atas dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kapasitas maksimal yang cukup signifikan pada *reinforced dented tubular member* terhadap *non-reinforced dented tubular member*. Yaitu sebesar 95,198% pada variasi pertama; 93,853% pada variasi kedua; 89,178% pada variasi ketiga; dan 66,657% pada variasi keempat. Kemudian peningkatan kapasitas maksimal juga terjadi pada *reinforced dented tubular member* terhadap kondisi *undamaged* yaitu sebesar 21,194% pada variasi pertama; 20,359% pada variasi kedua; 17,457% pada variasi ketiga; dan 3,474% pada variasi keempat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 kesimpulan

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

1. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa kapasitas maksimal dari *dented tubular member* setelah dilakukan penambahan *doubler plate (reinforced dented tubular member)* adalah sebagai berikut:
 - Variasi *doubler plate* pertama ($t_d = T$ & $l_d = D$)
 $Pr = 275,62$ kips
 - Variasi *doubler plate* kedua ($t_d = 0,78T$ & $l_d = D$)
 $Pr = 273,72$ kips
 - Variasi *doubler plate* ketiga ($t_d = 3/16$ in & $l_d = D$)
 $Pr = 267,12$ kips
 - Variasi *doubler plate* keempat ($t_d = 1/8$ in & $l_d = D$)
 $Pr = 235,32$ kips
2. Persentase peningkatan kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* (Pr) untuk masing-masing variasi *doubler plate* dibanding kapasitas *non-reinforced dented tubular member* (Pnr) adalah 95,198% pada variasi pertama; 93,853% pada variasi kedua; 89,178% pada variasi ketiga; dan 66,657% pada variasi keempat.
3. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diketahui persentase peningkatan kapasitas maksimal *reinforced dented tubular member* (Pr) terhadap kapasitas maksimal *undamaged tubular member* (Po) yaitu pada variasi *doubler plate* pertama sebesar 21,194%; pada variasi *doubler plate* kedua sebesar 20,359%; pada variasi *doubler plate* ketiga sebesar 17,457%; dan pada variasi *doubler plate* keempat sebesar 3,474%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketebalan minimal *doubler plate* yang dibutuhkan adalah $t_d = 1/8$ in (variasi keempat).

5.2 Saran

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

1. Dilakukan eksperimen terkait perbaikan *dented tubular member* menggunakan metode *doubler plate*.
2. Dilakukan analisis terkait perbandingan umur kelelahan *member* dalam kondisi *undamaged* dan *damaged (dent)*.
3. Dilakukan penelitian dengan menggunakan bentuk *indenter* yang berbeda (divariasikan)

DAFTAR PUSTAKA

- AISC ASD Manual 13th Edition. 2005. *Steel Construction Manual*. USA: American Institute of Steel Construction.
- Bruin, William Michael. 1995. *Assessment of the Residual Strength and Repair of Dent-Damaged Offshore Platform Bracing*. Pennsylvania: Civil Engineering of Lehigh University.
- Deng, Hong Z., dan Bing Huang. 2018. “*Study On Ultimate Bearing Capacity of Main Member In Transmission Tubular Tower Leg*”. **Thin-Walled Structures** 127: 51-61.
- Duan, L., W.F. Chen., dan J.T. Loh. 1992. “*Analysis of Dented Tubular Members Using Moment Curvature Approach*”. **Thin-Walled Structures** 15: 15-41.
- Durkin, S. 1986. “*An Analytical Method for Predicting the Ultimate Capacity of A Dented Tubular Member*”. **International Journal of Mechanical Science** 29: 449-467.
- Feng, R., Yu Chen, dan Dongfen Chen. 2017. “*Experimental and numerical investigations on collar plate and doubler plate reinforced SHS T-joints under axial compression*”. **Thin Walled-Structures** 110: 75-87.
- Fung, T. C., T. K. Chan, dan C. K. Soh. 1999. “*Ultimate Capacity Of Doubler Plate-Reinforced Tubular Joints*”. **Journal of Structural Engineering** 125: 891-899.
- Gao, F., Zhiqiang T., Xingquan G., Hongping Z., dan Zhenming C. 2018. “*Ultimate Strength of Tubular T-Joints Reinforced With Doubler Plates After Fire Exposure*”. **Thin-Walled Structures** 132: 616-628.
- Ghazijahani, T. G., Hui Jiao, dan Damien Holloway. 2014. “*Experiments on Dented Steel Tubes under Bending*”. **Advances in Structural Engineering** 8 No 11.

Han, C., Sisi Tan, Jie Zhang, dan Chuan Zhang. 2018. “*Simulation investigation of dent behavior of steel pipe under external load*”. **Engineering Failure Analysis**: 341-354.

Kusumalarnanto. 2004. **Analisis Dent yang Terjadi Pada Tubular Member Bracing Jacket SWP K**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Li, Ruoxuan, Daisuke Y., dan Takao Y. 2018. “*Axial compressive residual ultimate strength of circular tube after lateral collision*”. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**. 396-408.

Li, Wei, Lin-Nai H., dan Tak-Ming Chan. 2014. “*Tensile Behaviour of Concrete-Filled Double-Skin Steel Tubular Members*”. **Journal of Constructional Steel Research** 99: 35-46.

Nassiraei, Hosen, Mohammad Ali L., Hamid Ahmadi, dan Lei Zhu. 2017. “*Static Strength Of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y-Joints Under In-Plane Bending Load*”. **Journal of Constructional Steel Research** 136: 49-64.

Nichols, N.W., dan Riaz Khan. 2017. “*Remediation and Repair of Offshore Structures*”. **Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering**.

Pachecho, L.A., dan S. Durkin. 1986. “*Denting And Collapse Of Tubular Members - A Numerical And Experimental Study*”. **International Journal of Mechanical Science** 30: 317-331.

Padula J.A., dan A. Ostapenko. 1988. **Indentation Behaviour of Tubular Members**. Pennsylvania: Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University.

Popov, E.P., 1984. **Mekanika Teknik (Mechanics of Materials) Edisi Kedua**. Berkeley, California: Erlangga.

Qu, Shongzao, Xiaohong W., dan Qing Sun. 2018. “*Experimental Study and Theoretical Analysis On The Ultimate Strength of Highstrength- Steel Tubular K-Joints*”. **Thin-Walled Structures** 123: 244-254.

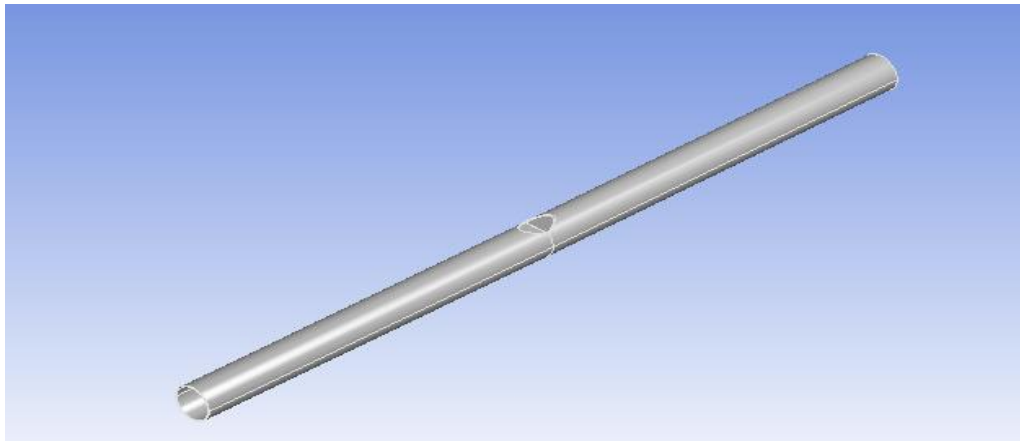
Robayasa, Nasta Ina. 2013. **Analisis Kekuatan *Ultimate Struktur Jacket Well Tripod Platform* Berbasis Resiko**. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

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

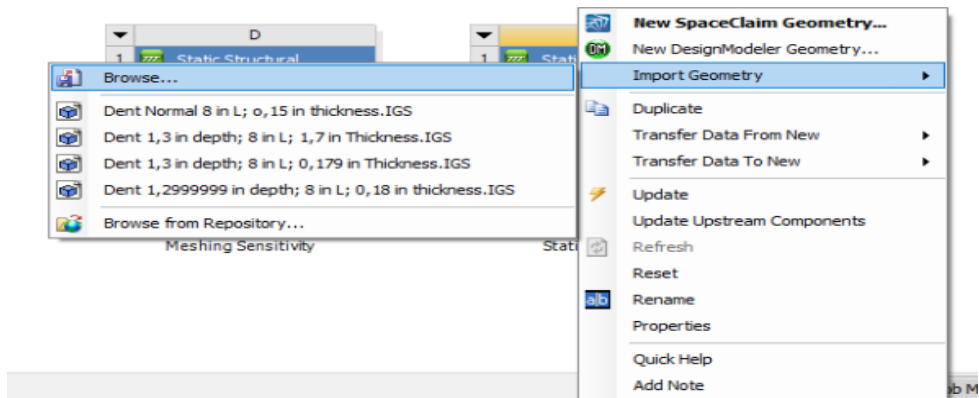
Yu, Zhaolong, dan Jorgen A. 2018. “*Analysis and Design of Offshore Tubular Members Against Ship Impacts*”. **Marine Structures** 58: 109-135.

LAMPIRAN A
LANGKAH-LANGKAH PEMODELAN
DAN ANALISIS MODEL *DENTED*
TUBULAR MEMBER

A. Non-Reinforced



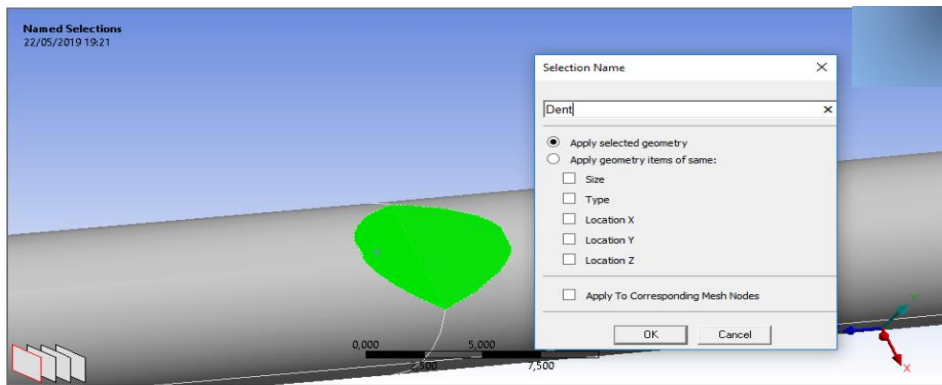
Model *Dented Tubular Member*



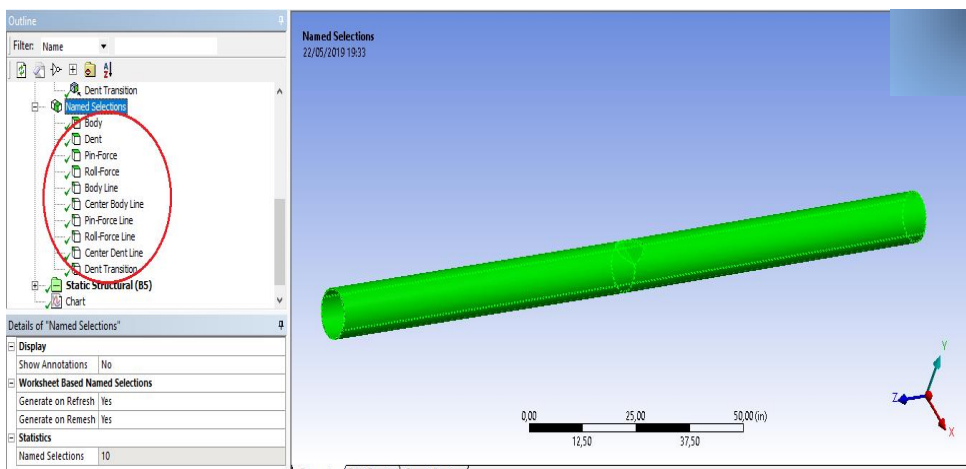
Import Geometri pada Software Analisis Numerik

Properties of Outline Row 4: A6 Specimen				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Mod...		
5	Young's Modulus	29510000	Pa	
6	Poisson's Ratio	0,3		
7	Bulk Modulus	6,5738E-31	Pa	
8	Shear Modulus	3,0341E-31	Pa	
9	Bilinear Isotropic Hardening			
10	Yield Strength		Pa	
11	Tangent Modulus		Pa	
12	Tensile Yield Strength		Pa	
13	Compressive Yield Strength		Pa	
14	Compressive Ultimate Strength		Pa	

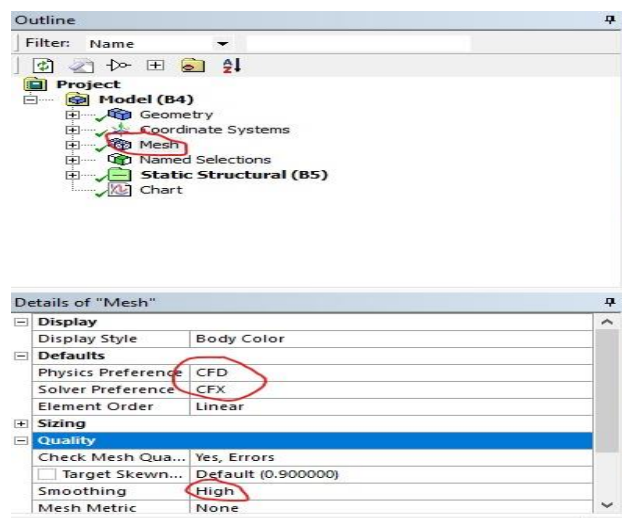
Memasukkan *Material Properties* Sesuai Data



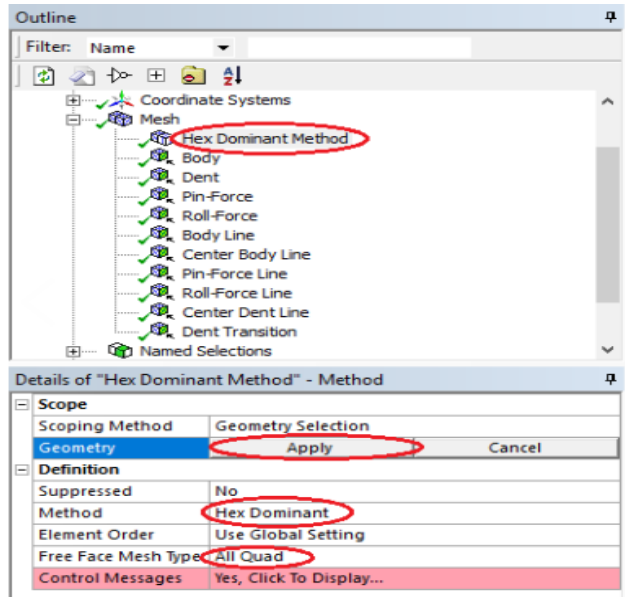
Contoh Menambahkan *Named Selection* pada Area *Dent*



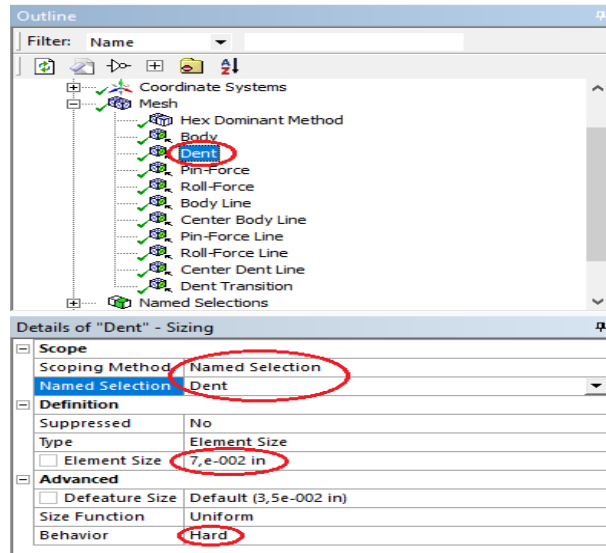
Named Selection pada Keseluruhan Bagian *Tubular Member*



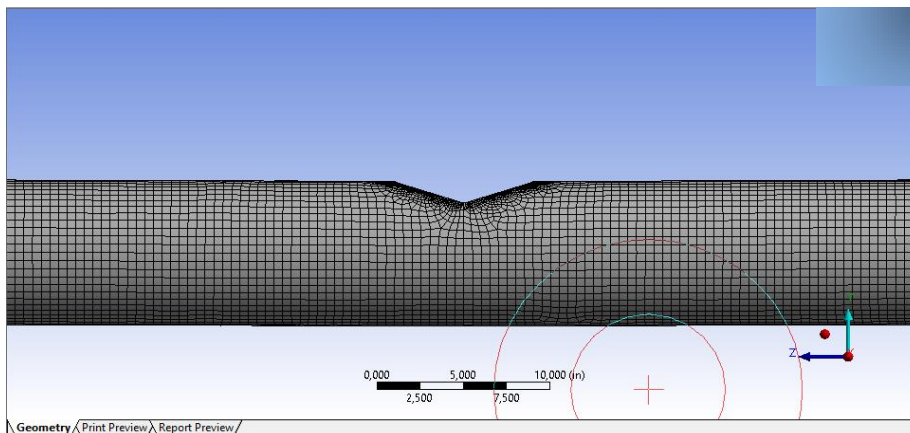
Setting Mesh



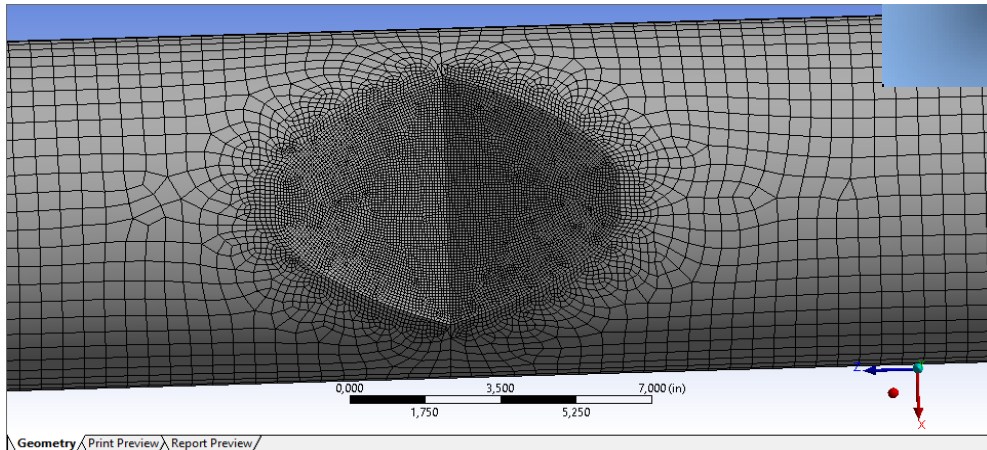
Insert Method pada Tahap Meshing



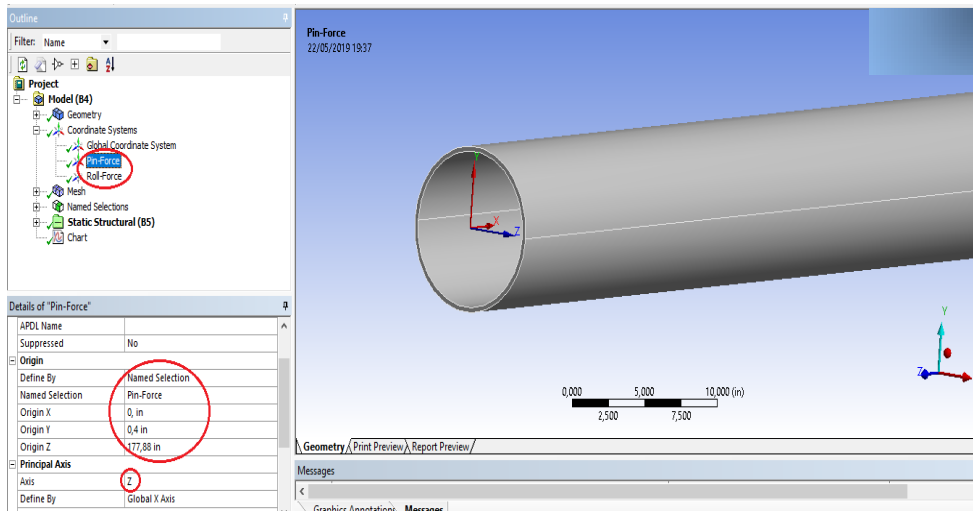
Mesh Sizing pada Area Dent



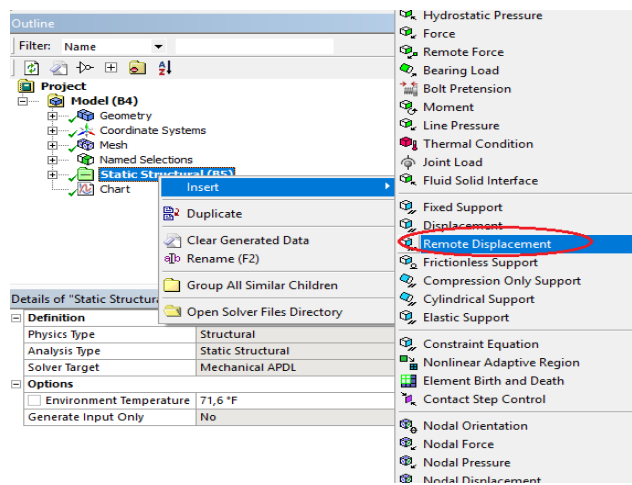
Hasil Meshing Hex Dominant



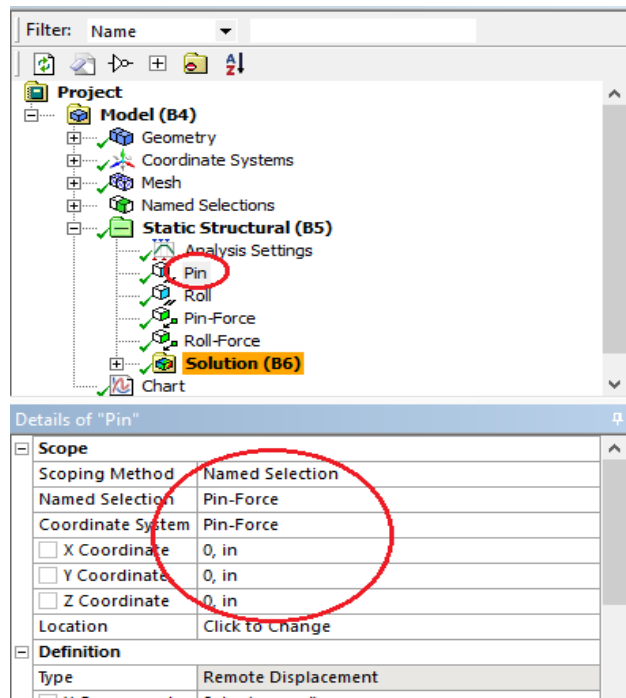
Hasil Meshing Pada Area *Dent*



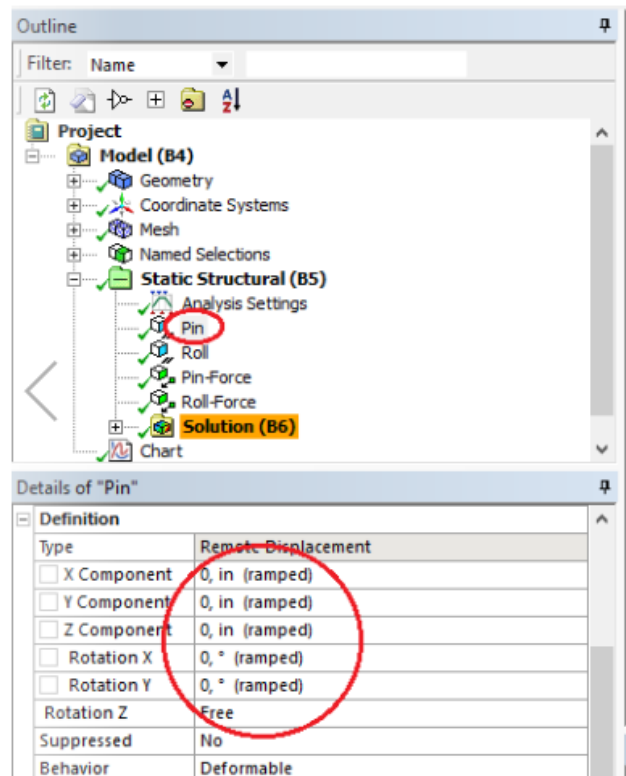
Penambahan Koordinat Lokal



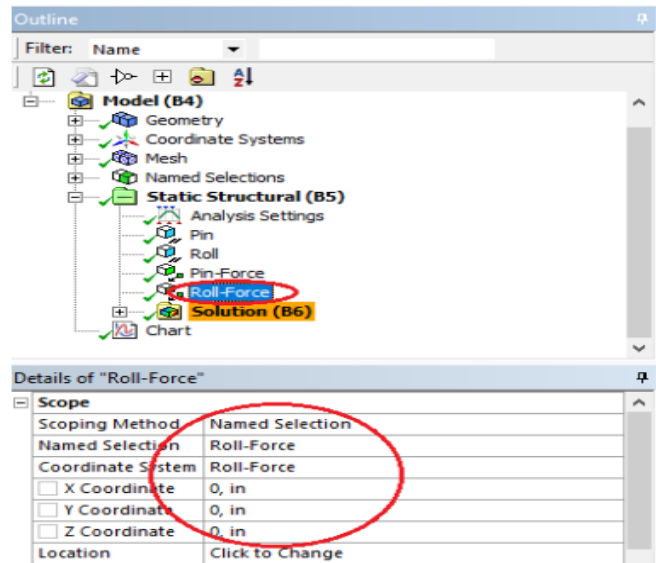
Menambahkan Tumpuan (*Remote Displacement*)



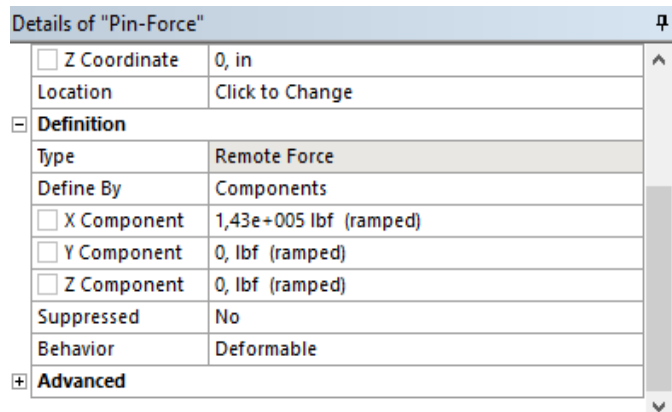
Mengatur Letak Tumpuan



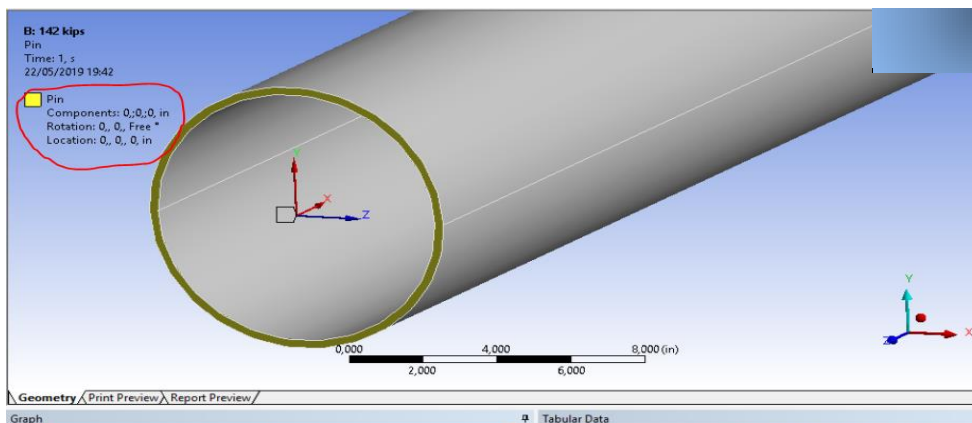
Pendefinisian Tumpuan Pin



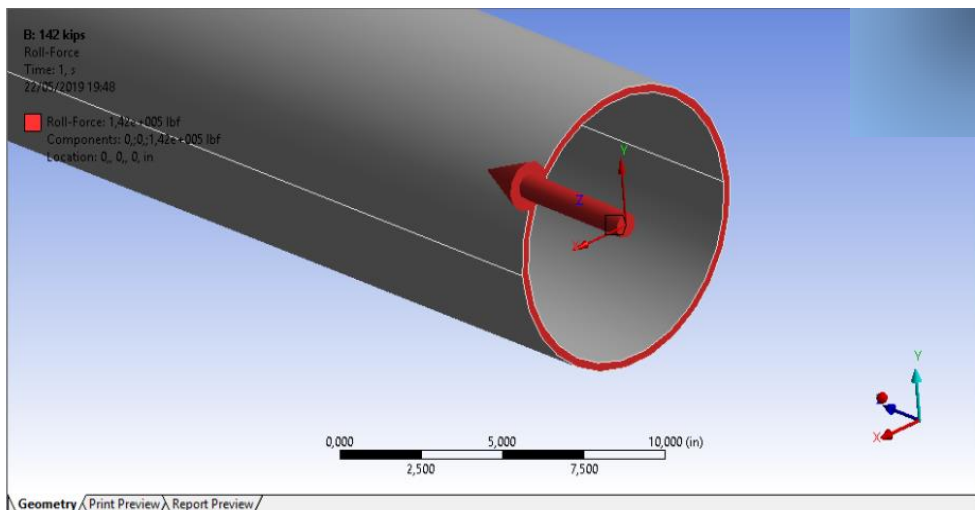
Mengatur Lokasi Beban Terhadap Koordinat Lokal



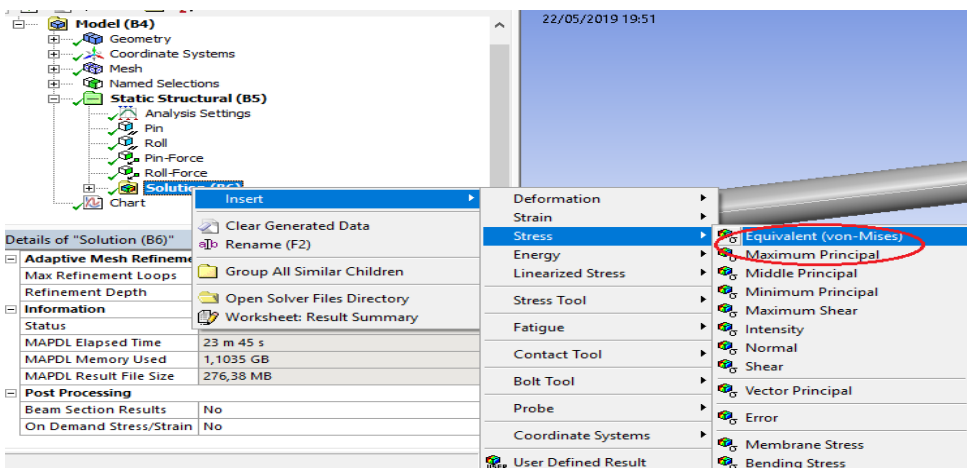
Pendefinisian Beban



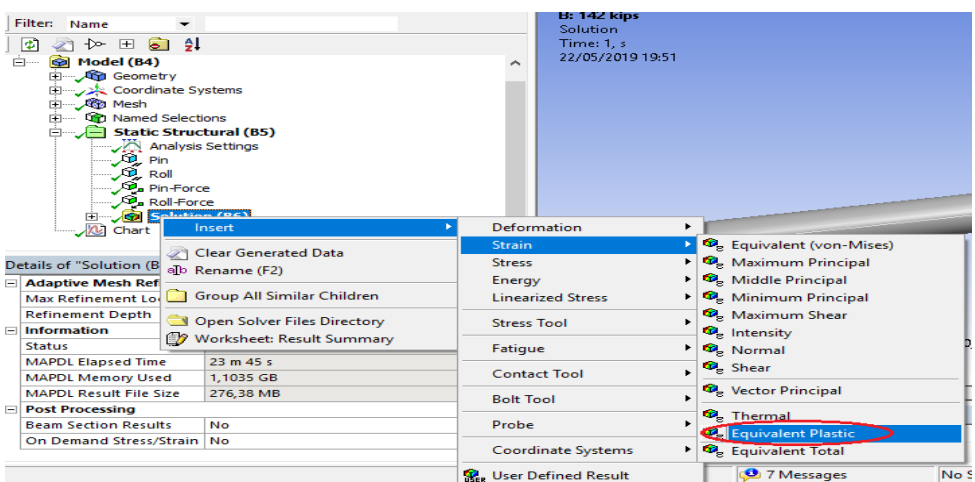
Tumpuan yang Telah Terdefinisi



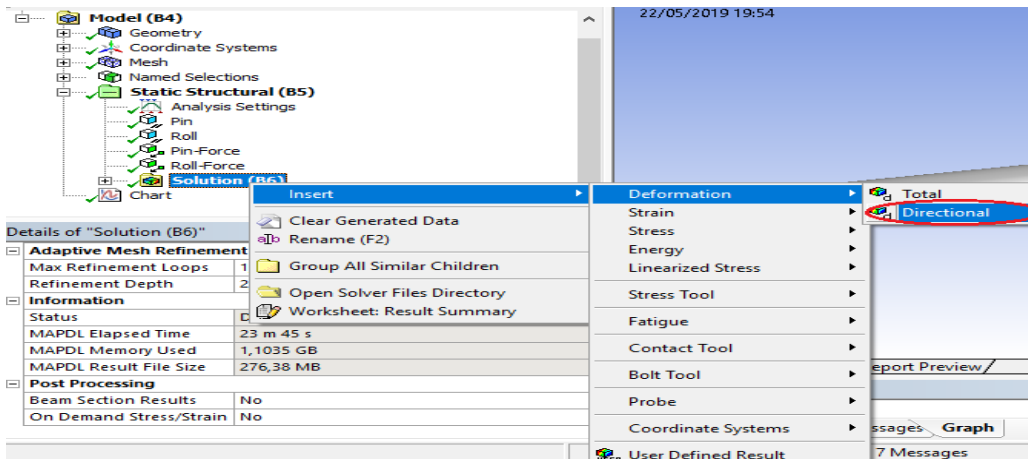
Beban yang Telah Terdefinisi



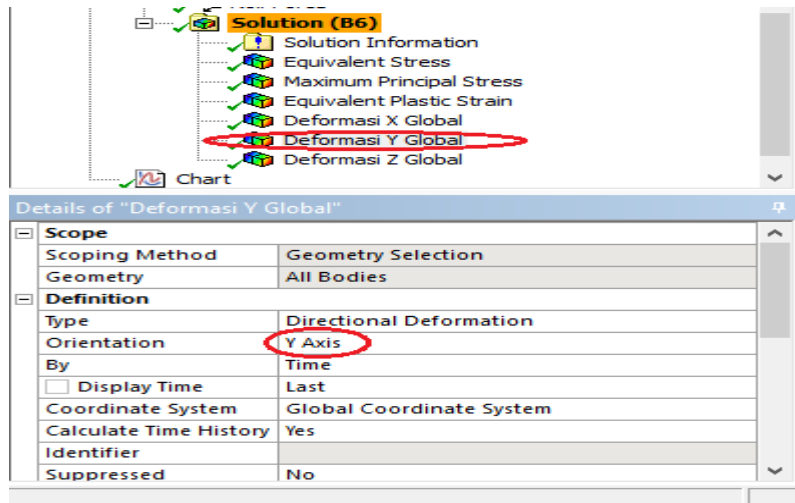
Insert Equivalent Stress



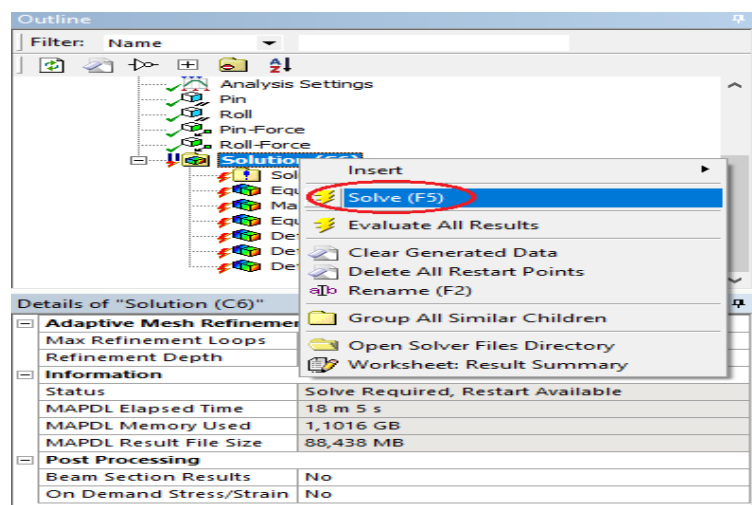
Insert Equivalent Plastic Strain



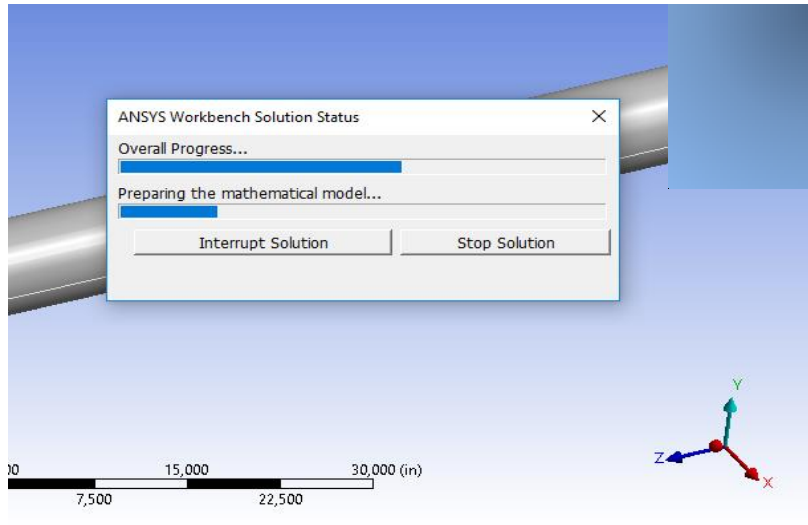
Insert Directional Deformation



Mengganti Orientation pada Directional Deformation

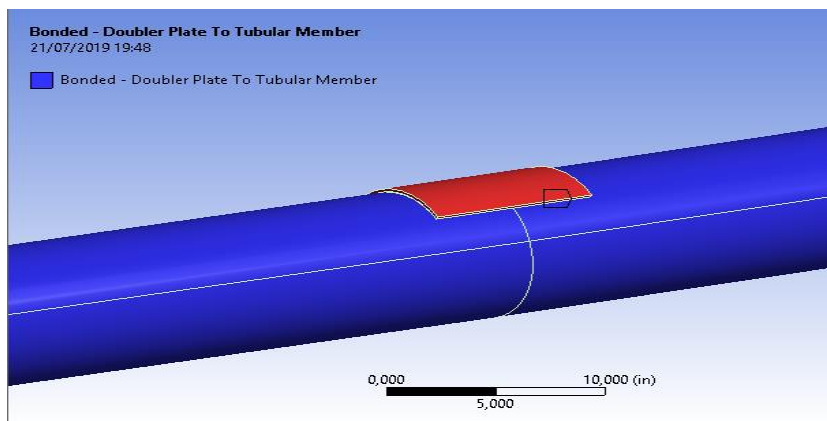


Langkah Running Model

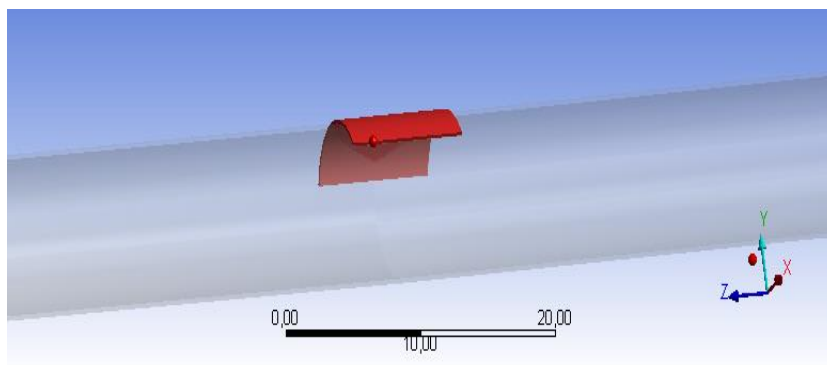


Proses *Running* Model

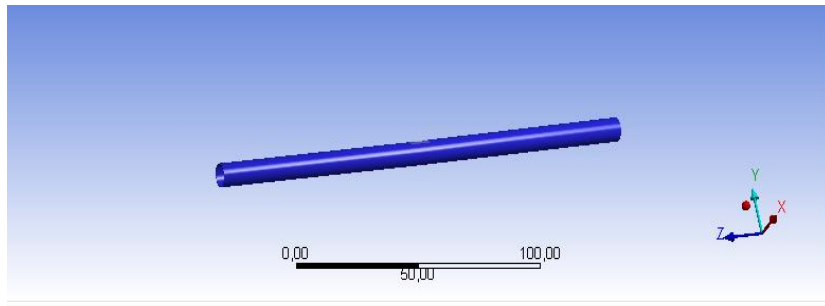
B. Reinforced (*Doubler Plate*)



Connection Doubler Plate



Contact Body View



Target Body View

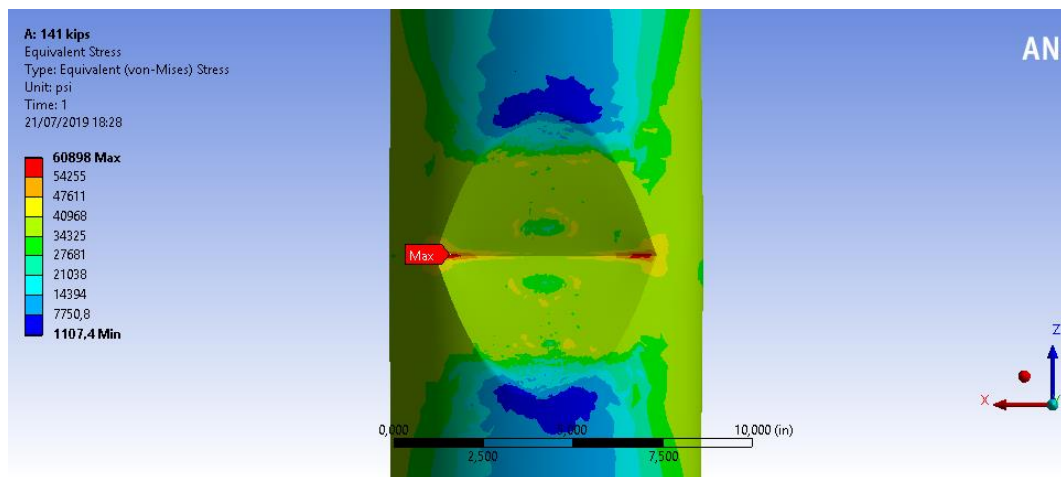
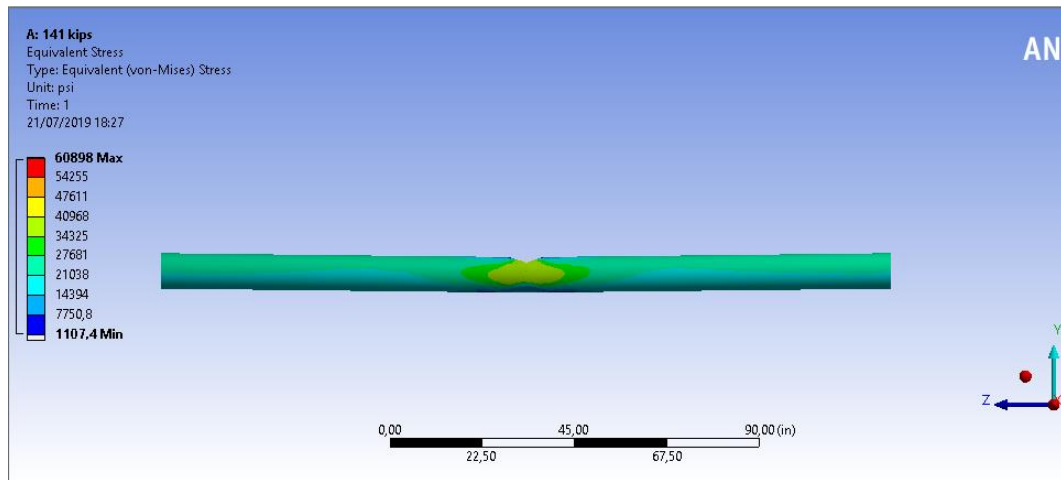
Details of "Bonded - Doubler Plate To Tubular Member"	
Scope	
Scopin...	Geometry Selection
Contact	1 Body
Target	1 Body
Contact...	Doubler Plate
Target ...	Tubular Member
Protected	No
Definition	
Type	Bonded
Scope ...	Manual
Behavior	Program Controlled
Trim Co...	Program Controlled
Suppre...	No
Advanced	
Formul...	Program Controlled

Connection Detail

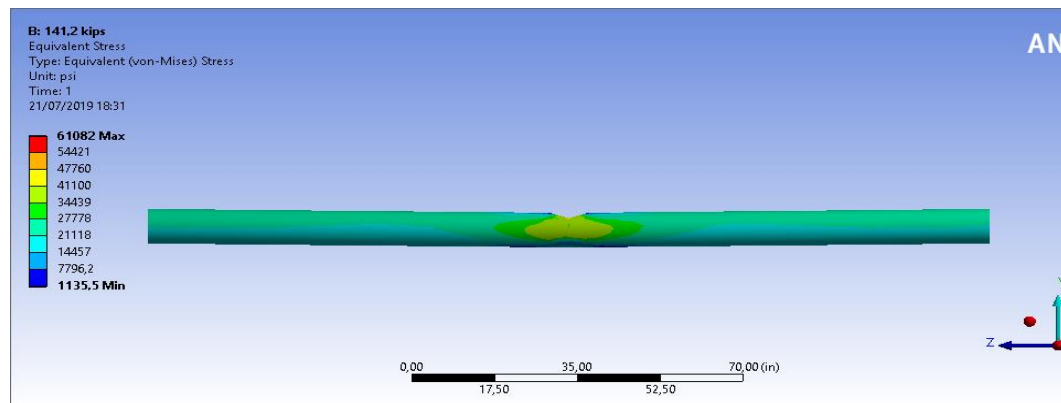
LAMPIRAN B
***OUTPUT* DISTRIBUSI TEGANGAN**

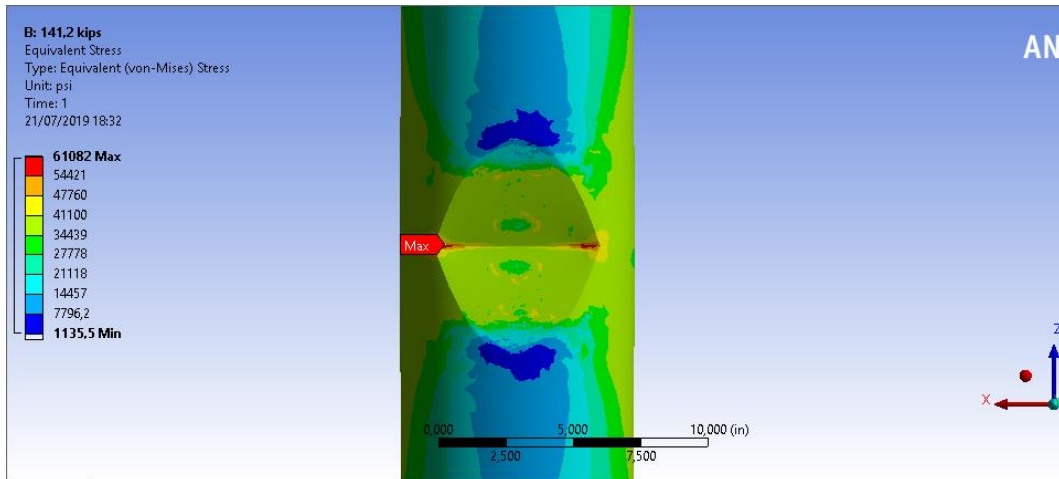
I. Non-Reinforced

a. Pinc = 141 kips

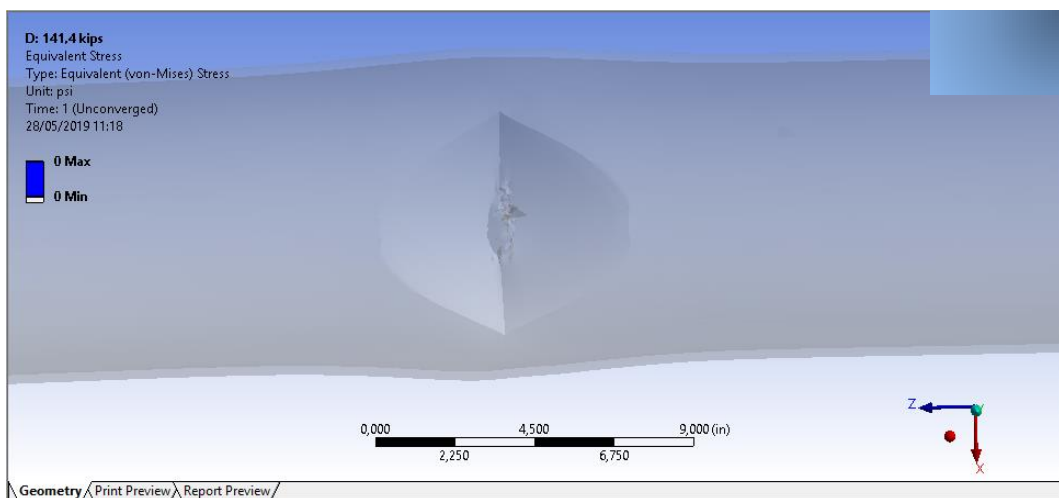
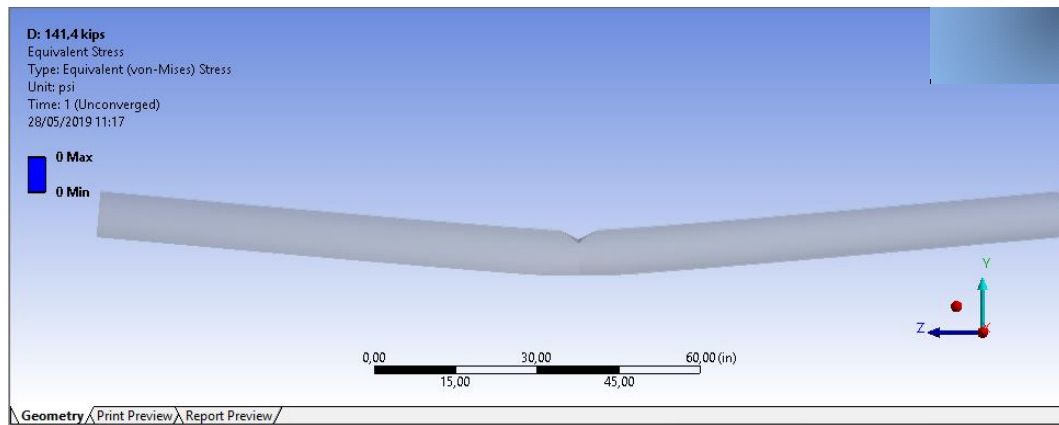


b. Pinc = 141,2 kips





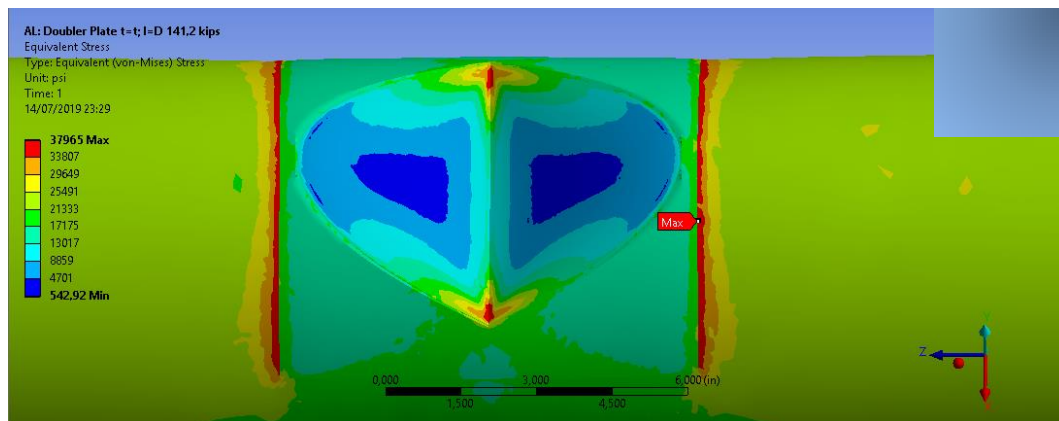
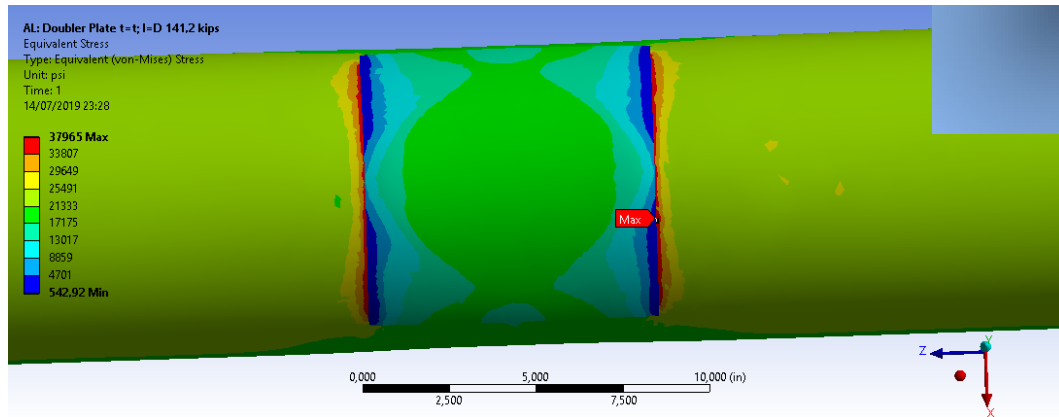
c. Pinc = 141,4 kips



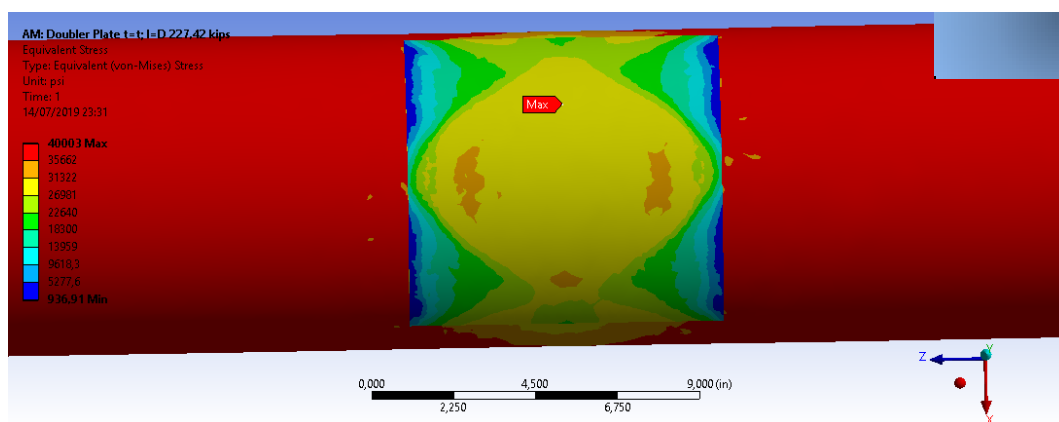
II. Reinforced (Doubler Plate)

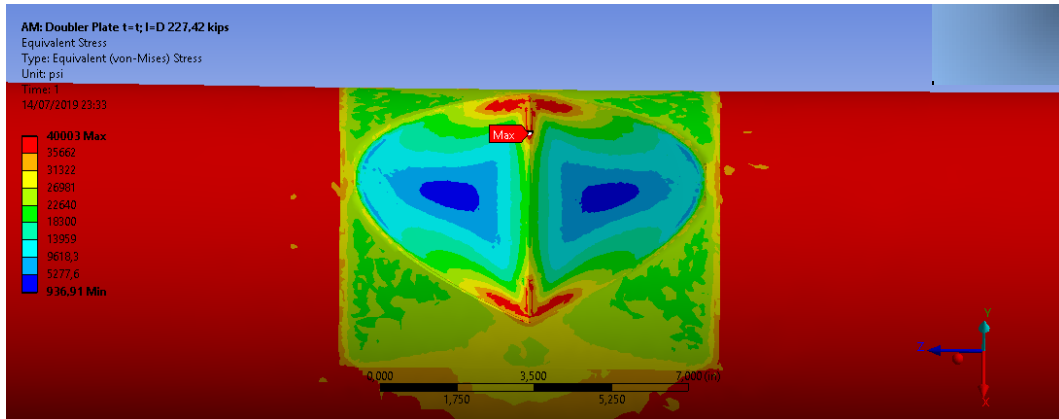
a. Variasi 1 (td = T; ld = D)

- Pinc = 141,2 kips

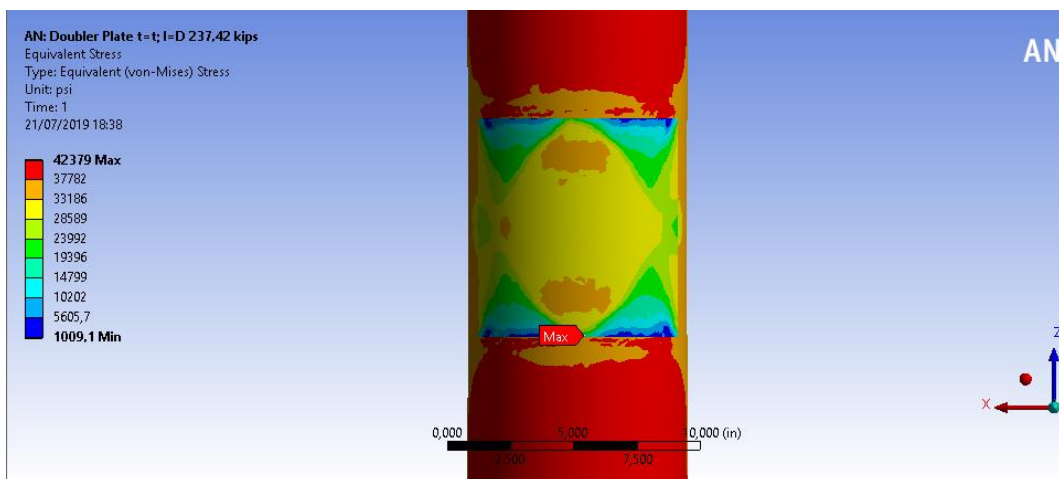
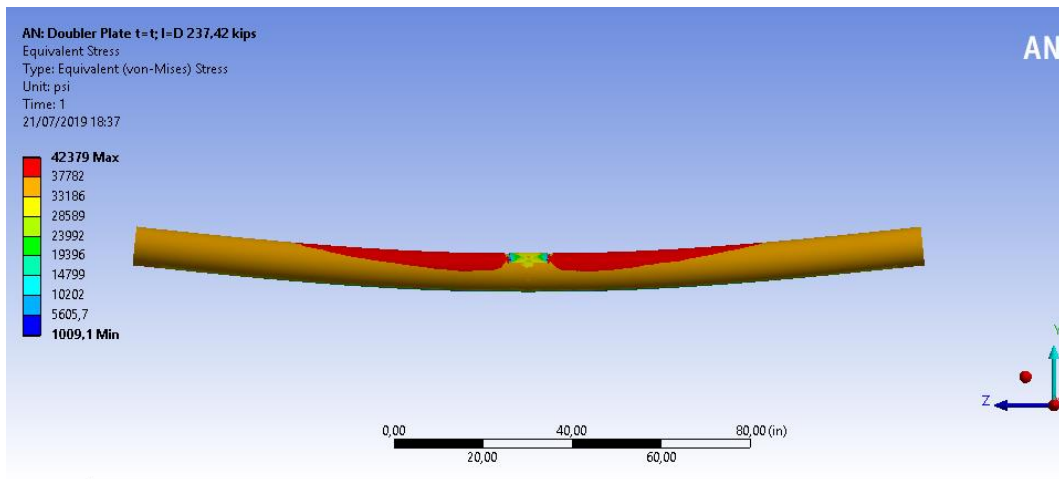


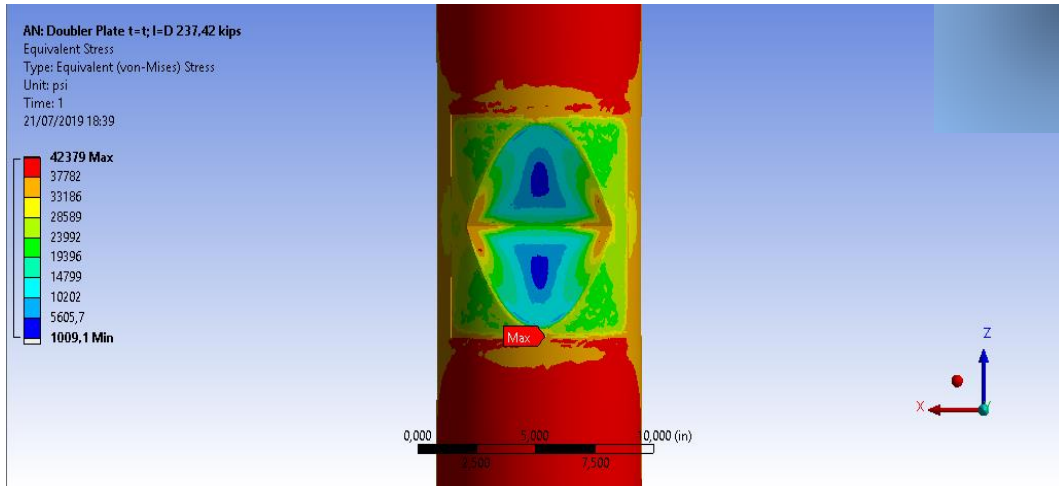
- Pinc = 227,42 kips



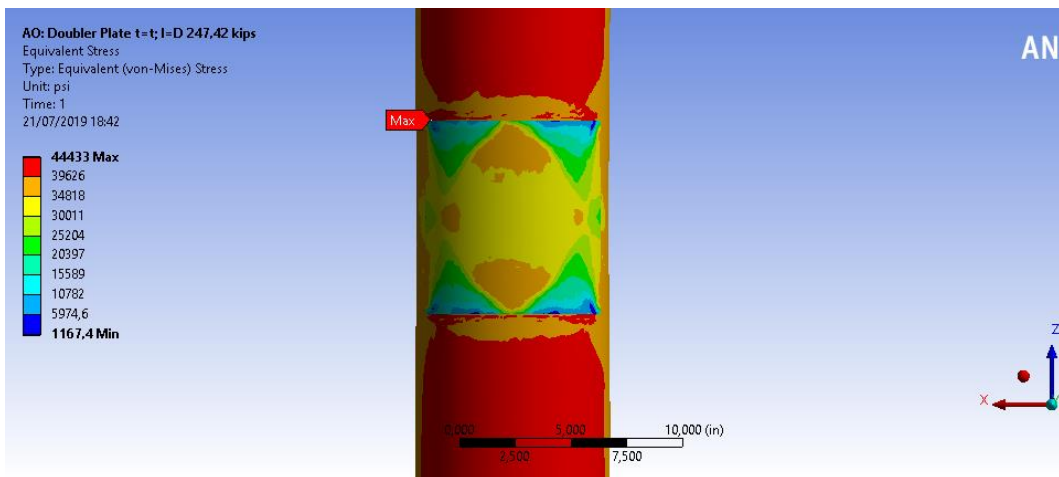
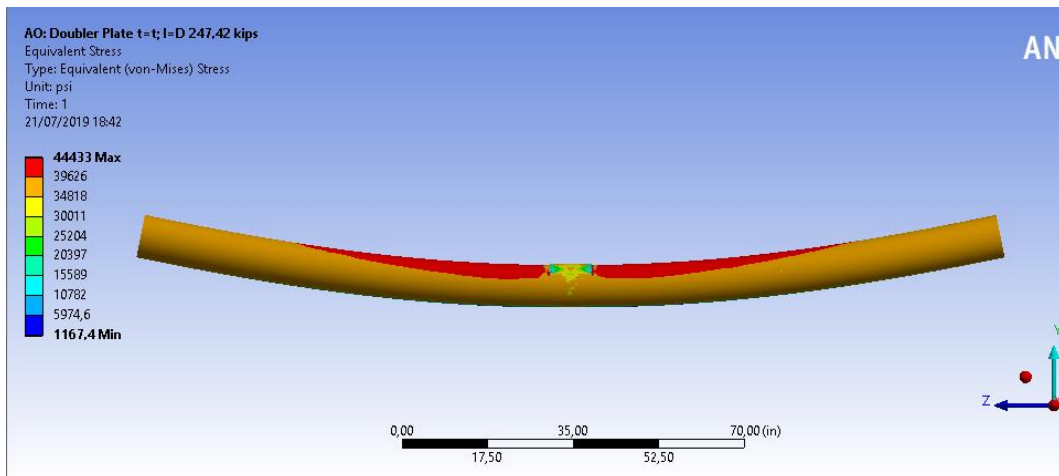


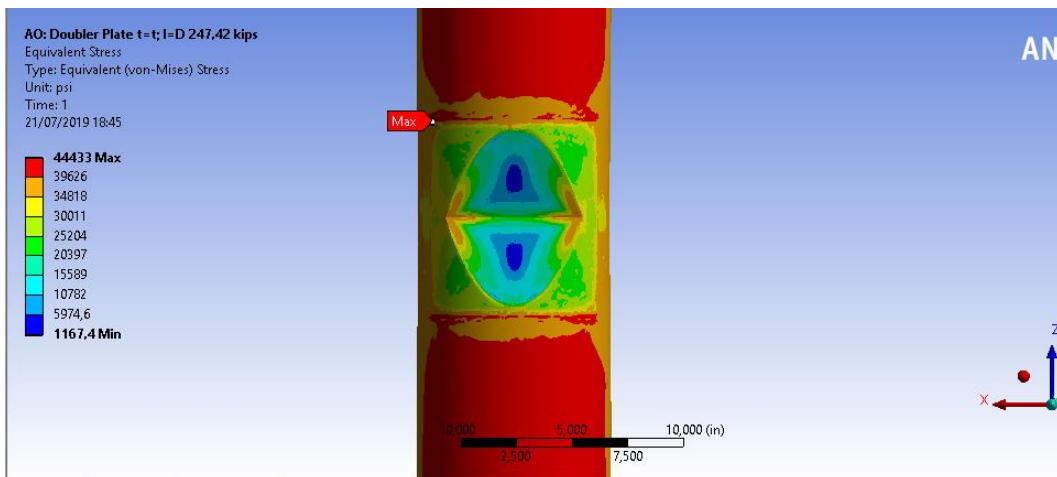
- Pinc = 237,42 kips



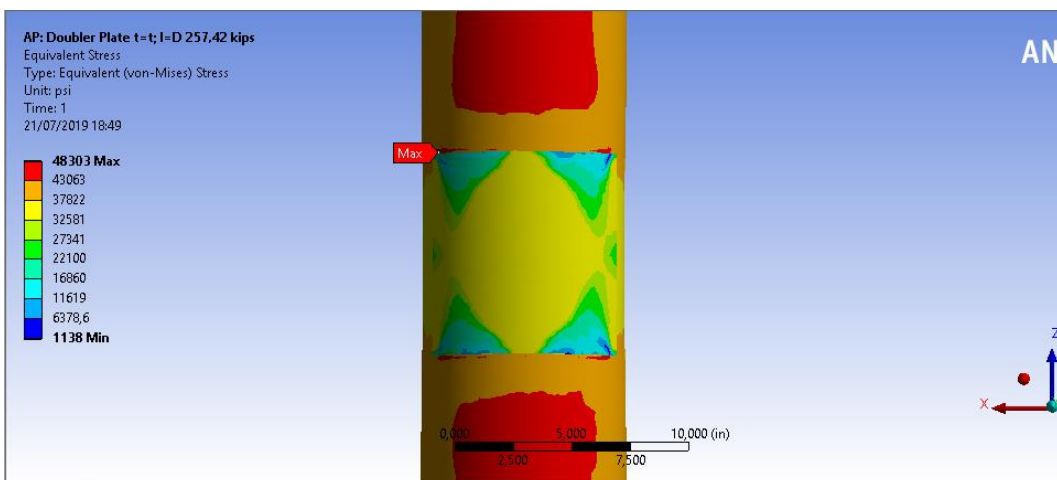
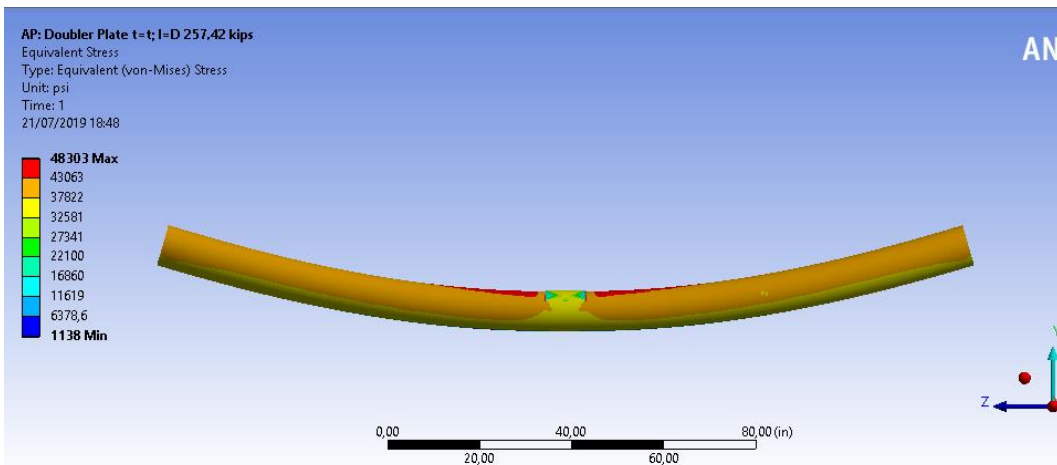


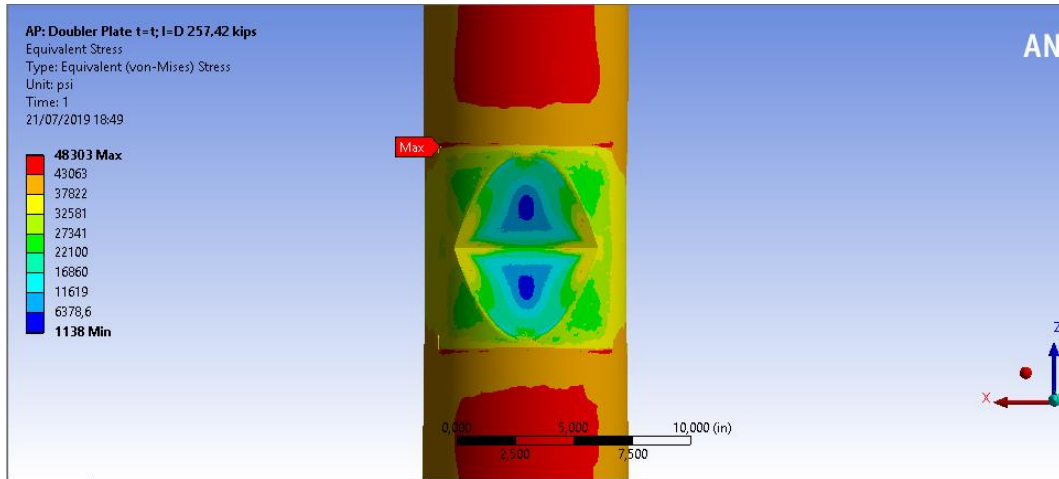
- Pinc = 247,42 kips



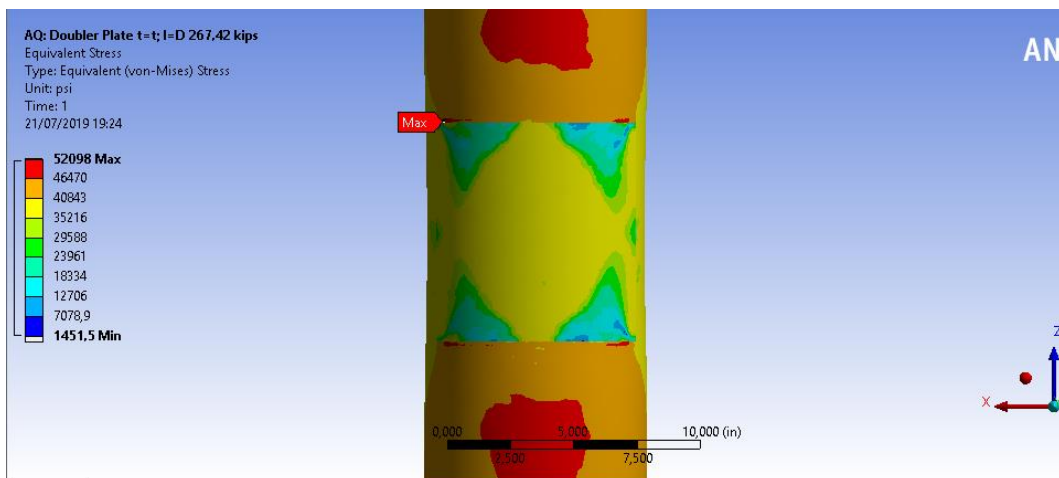
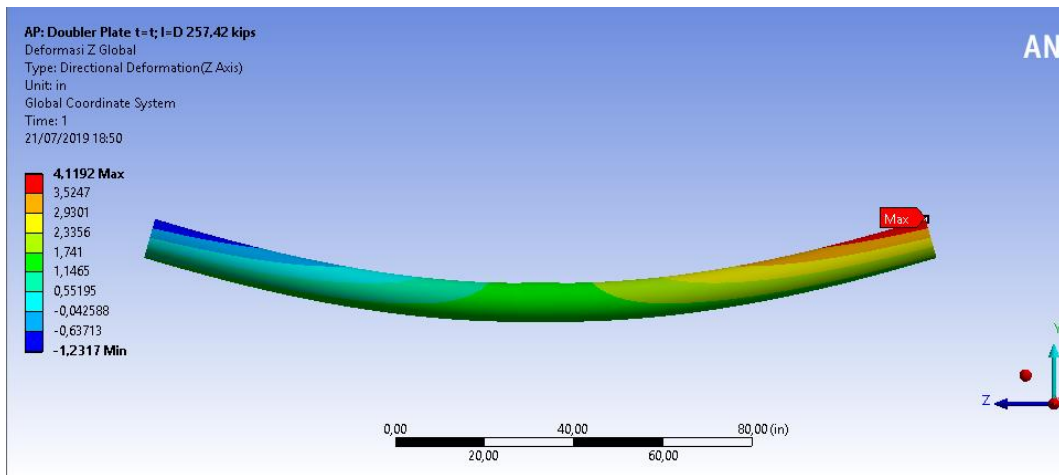


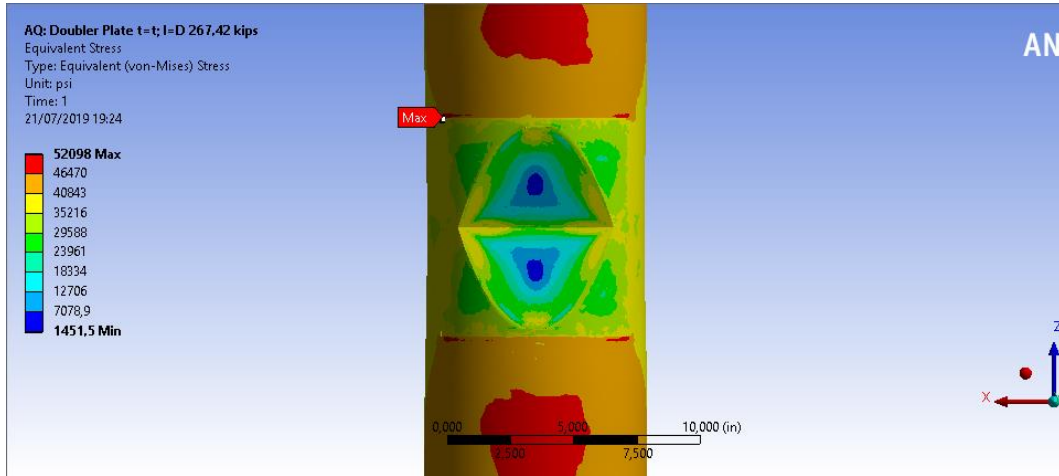
- **Pinc = 257,42 kips**



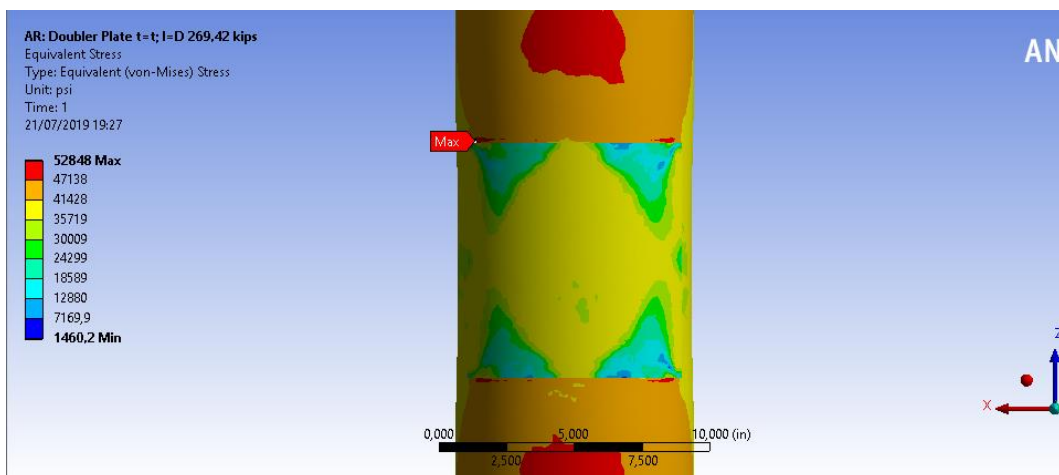
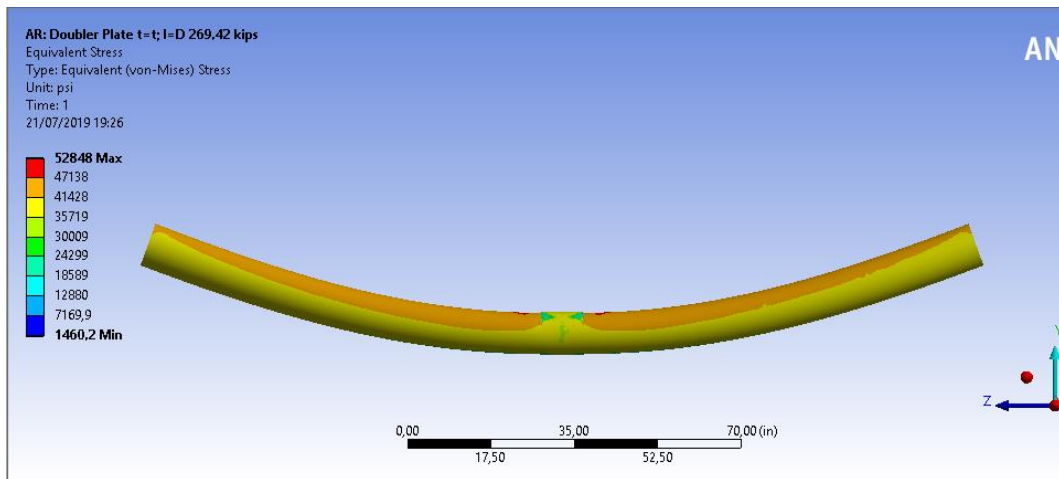


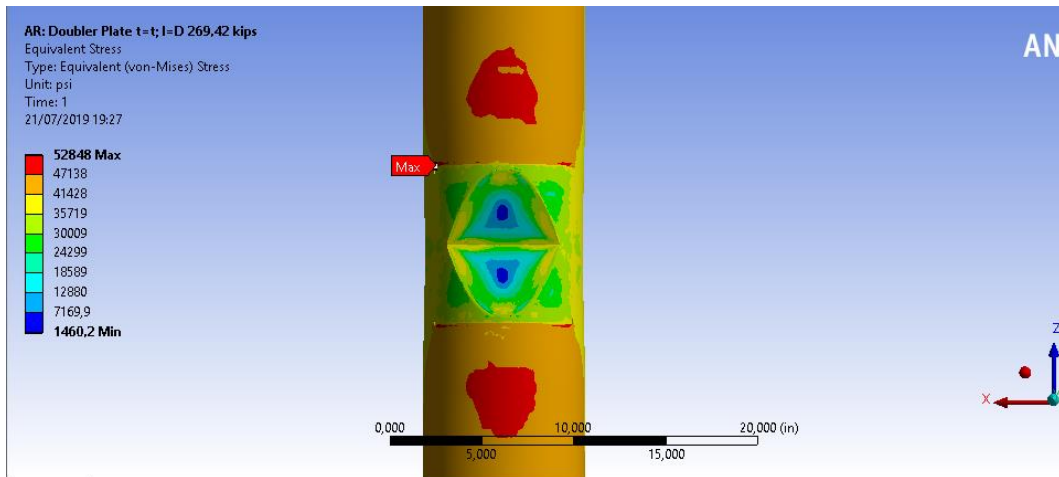
- Pinc = 267,42 kips



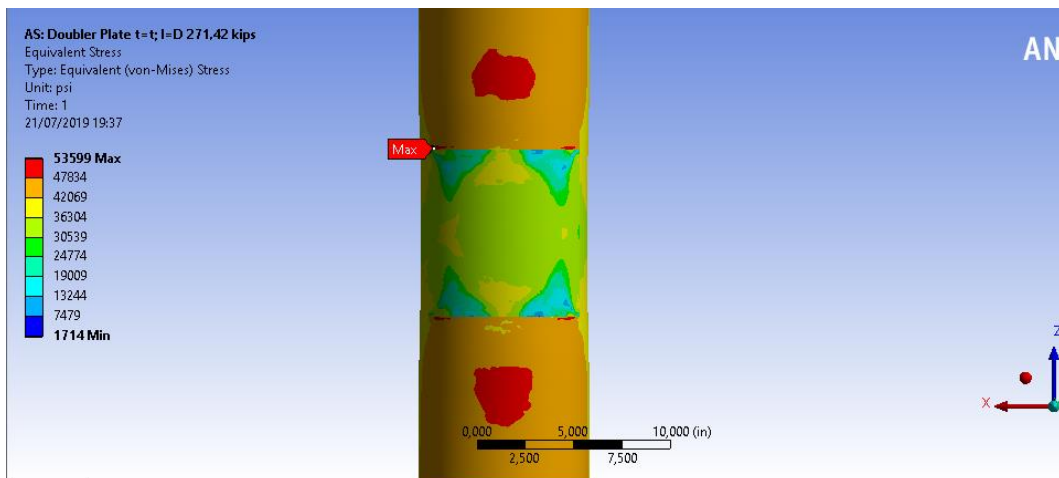
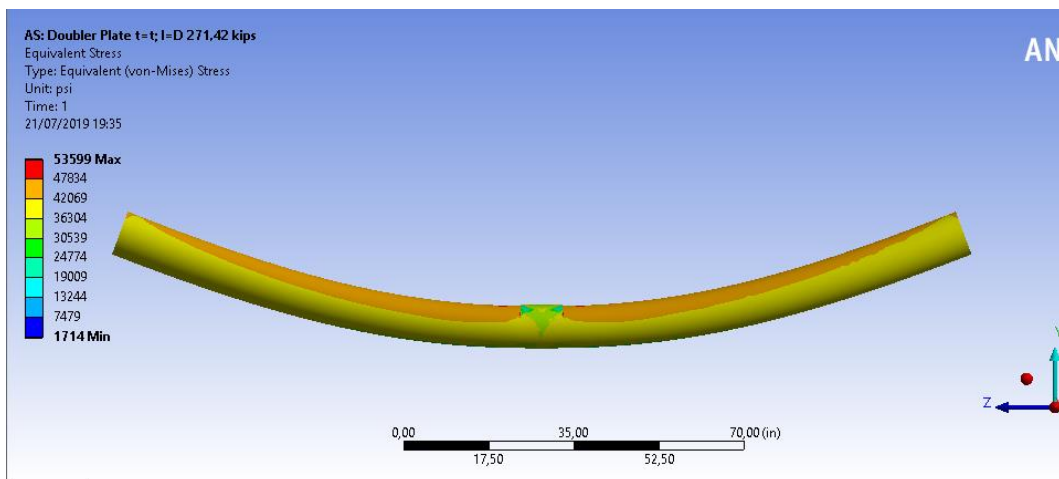


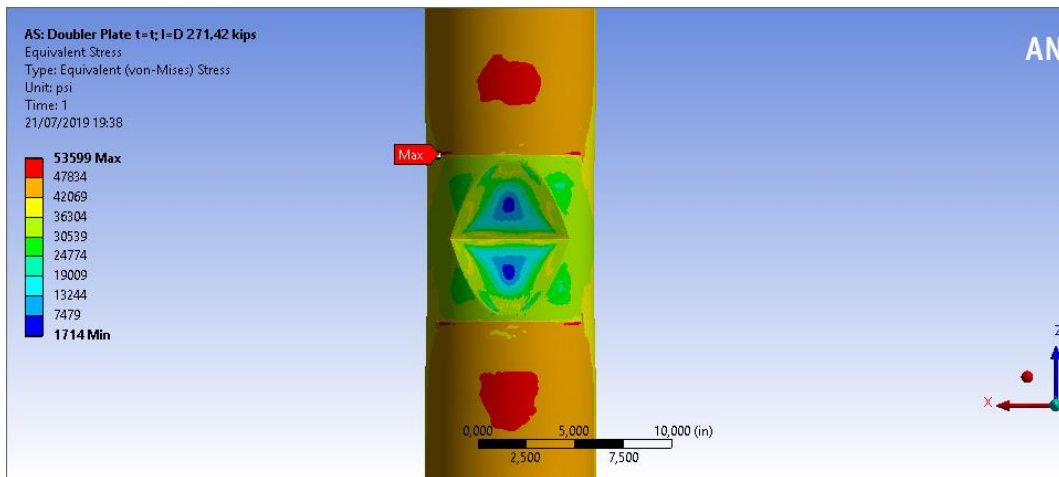
- Pinc = 269,42 kips



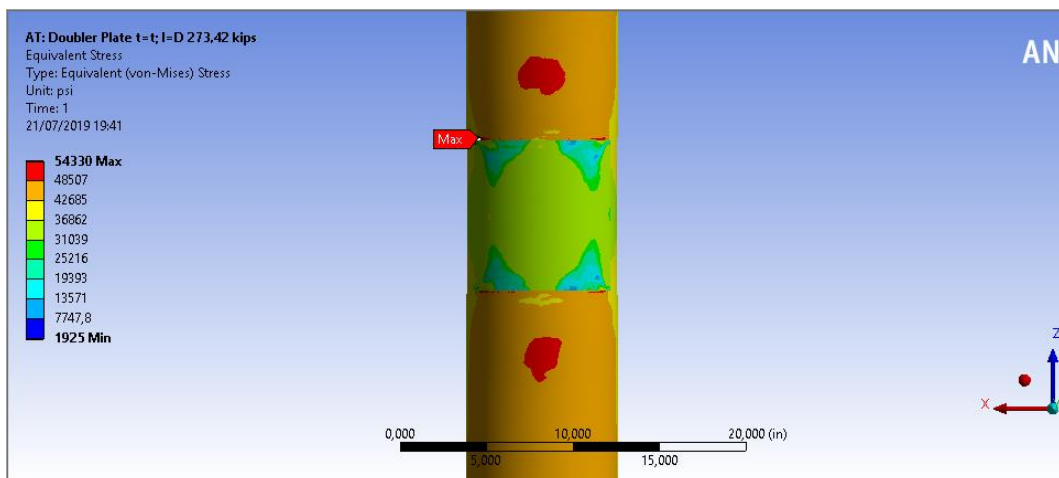
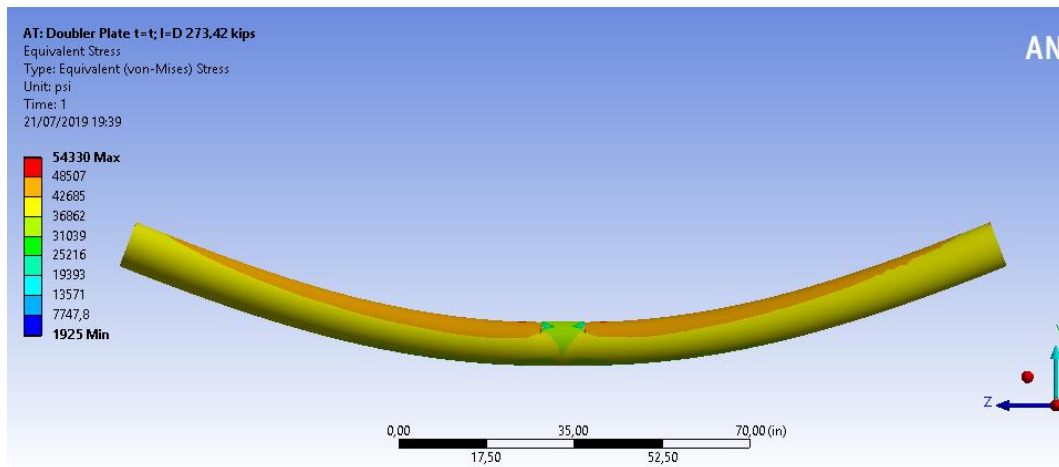


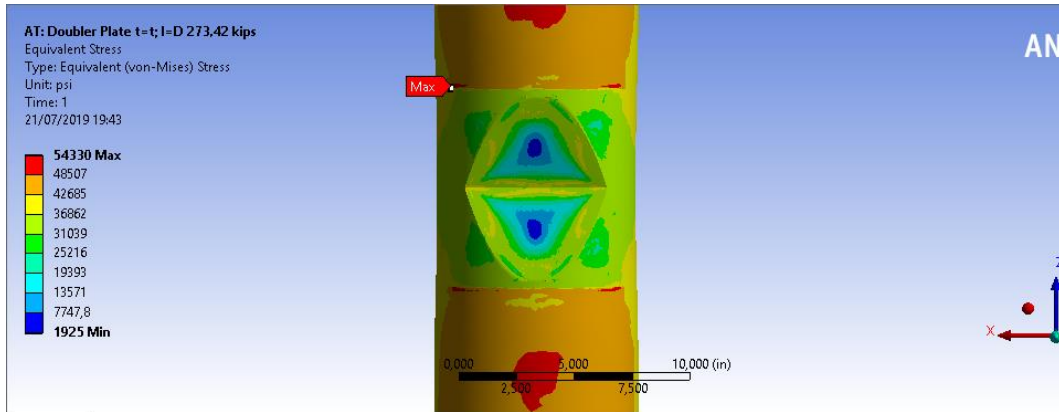
- Pinc = 271,42 kips



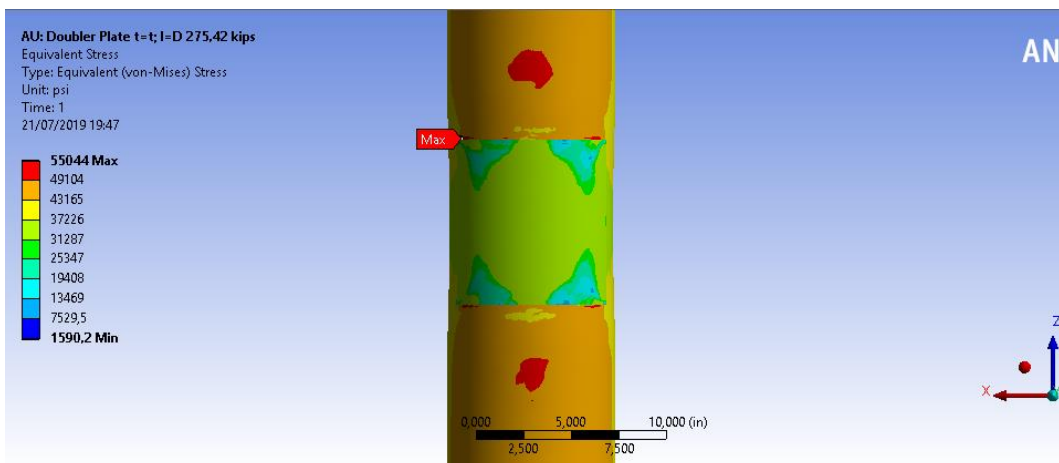
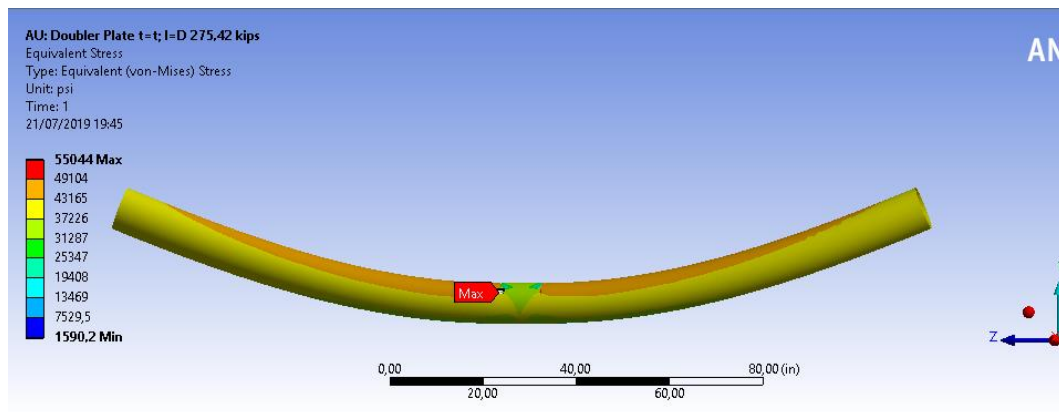


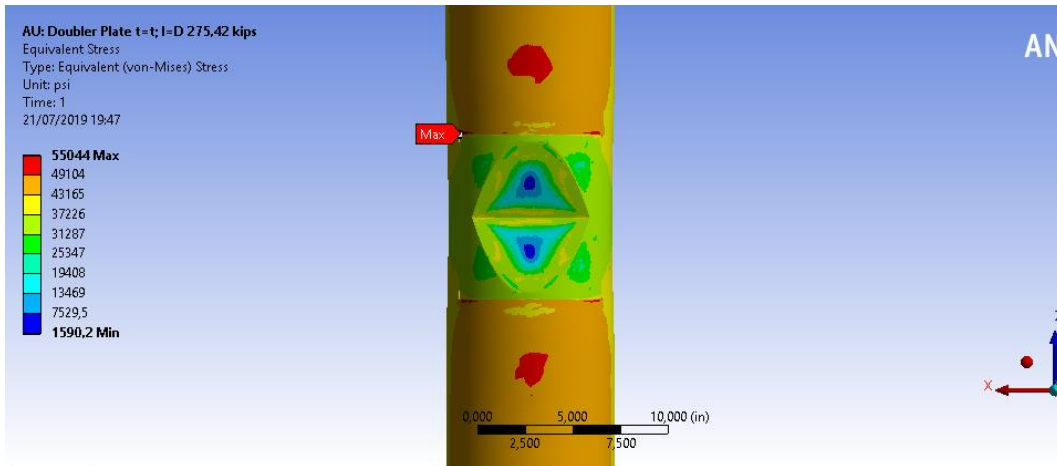
- Pinc = 273,42 kips



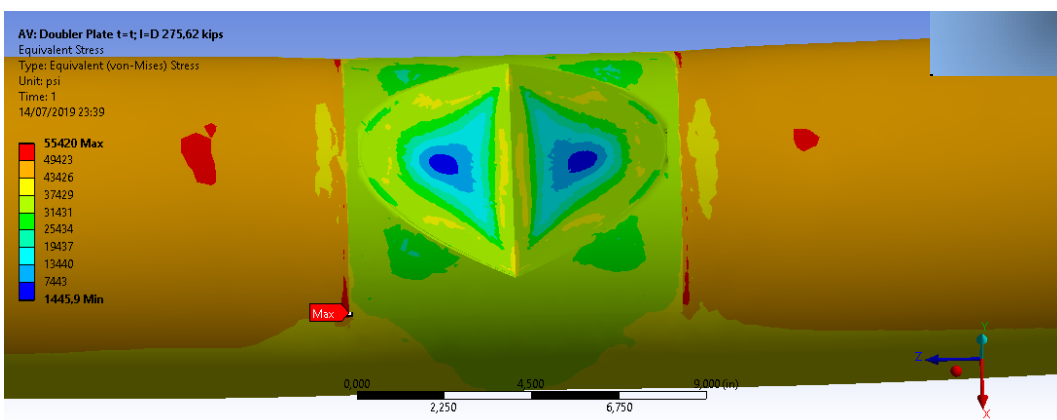
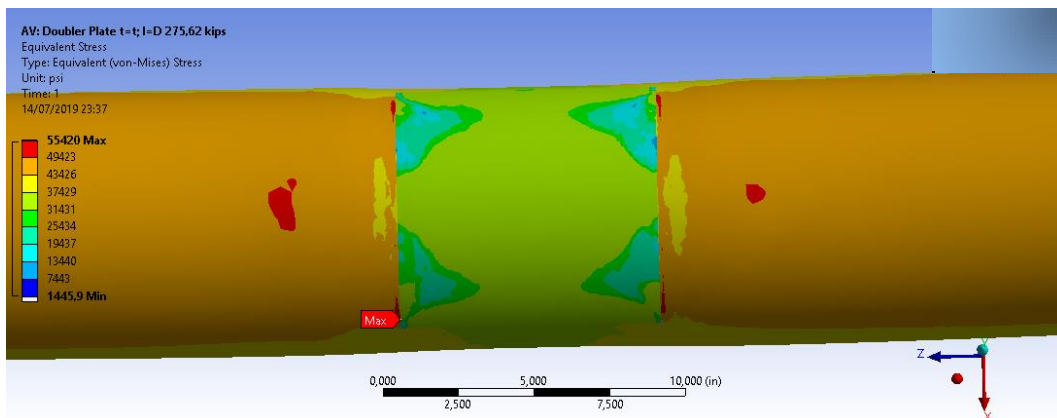


- Pinc = 275,42 kips

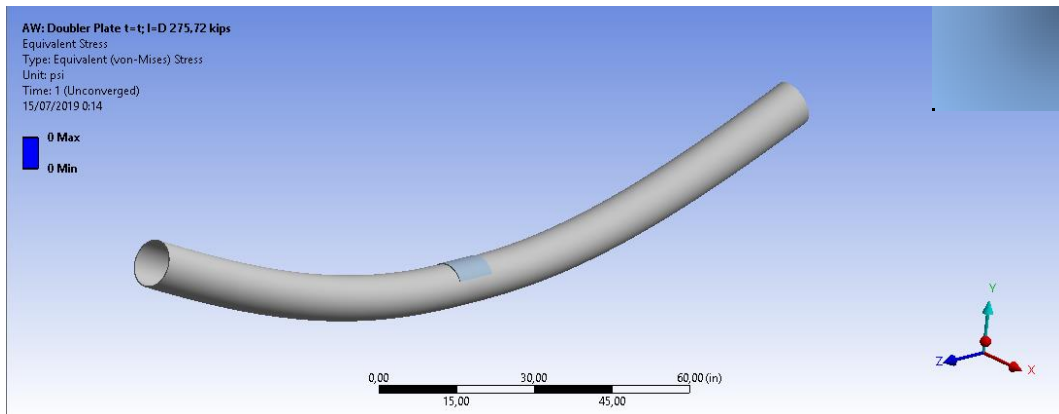




- Pinc = 275,62 kips (Pr)

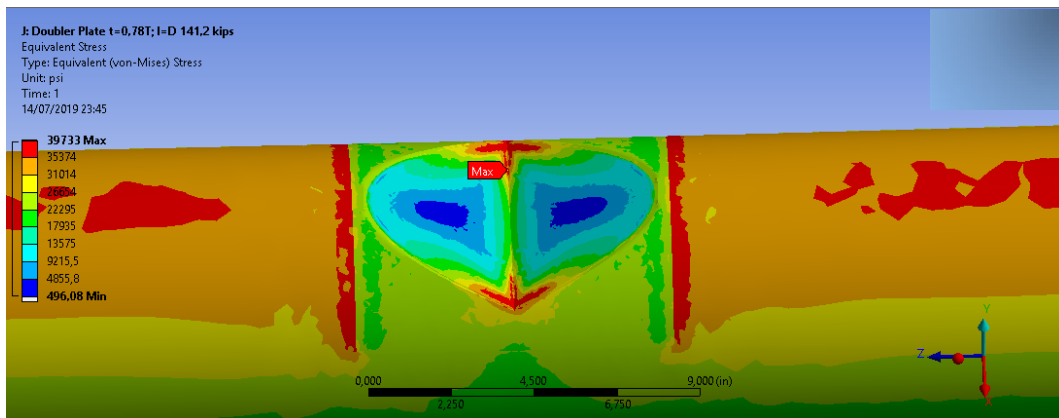
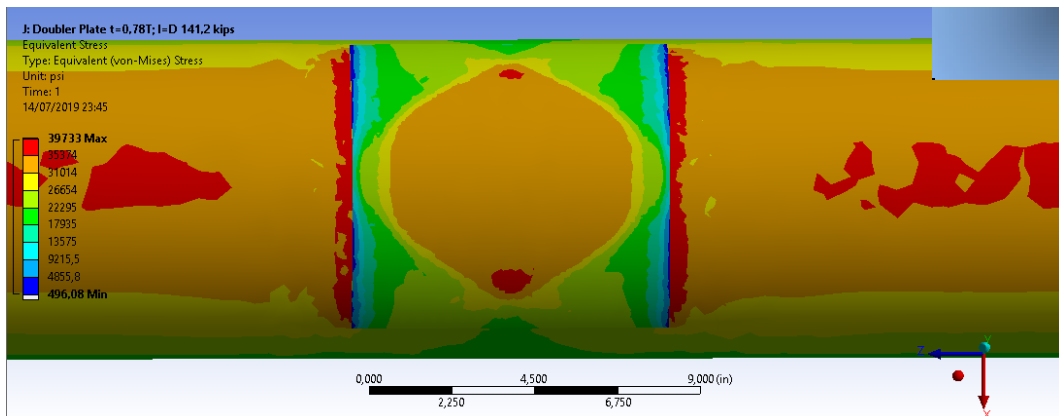


- Pinc = 275,72 kips

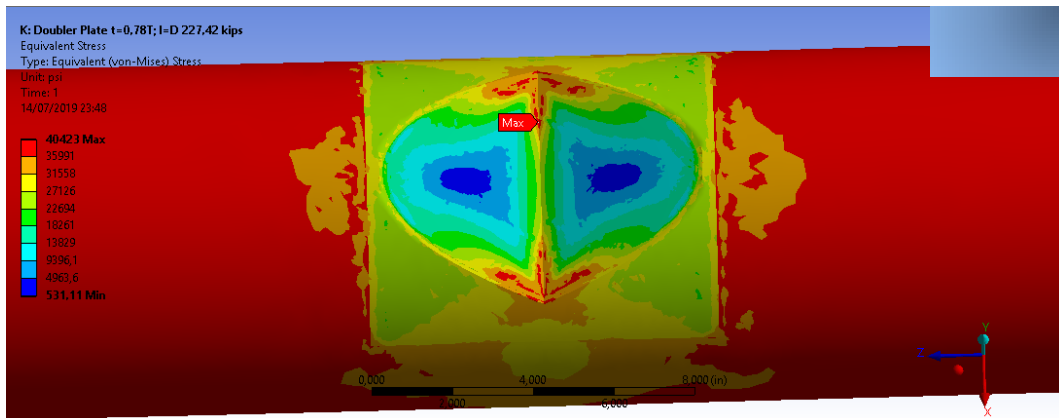
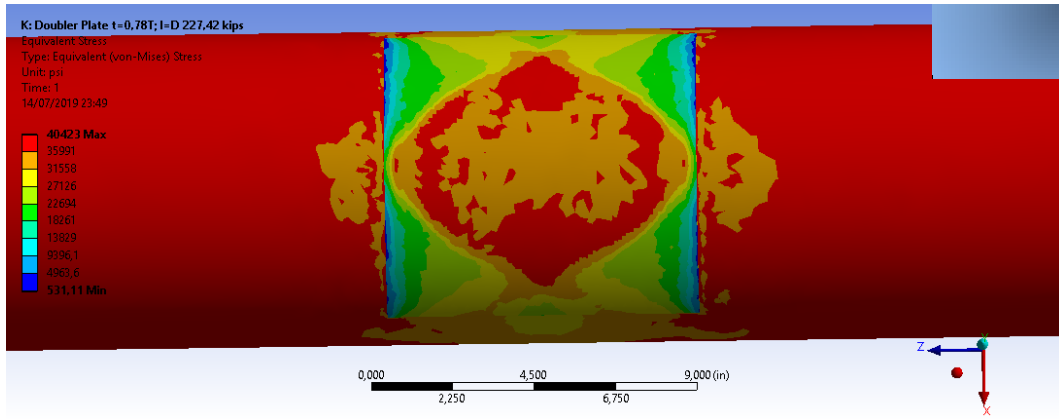


b. Variasi 2 (td = 0,78T; ld = D)

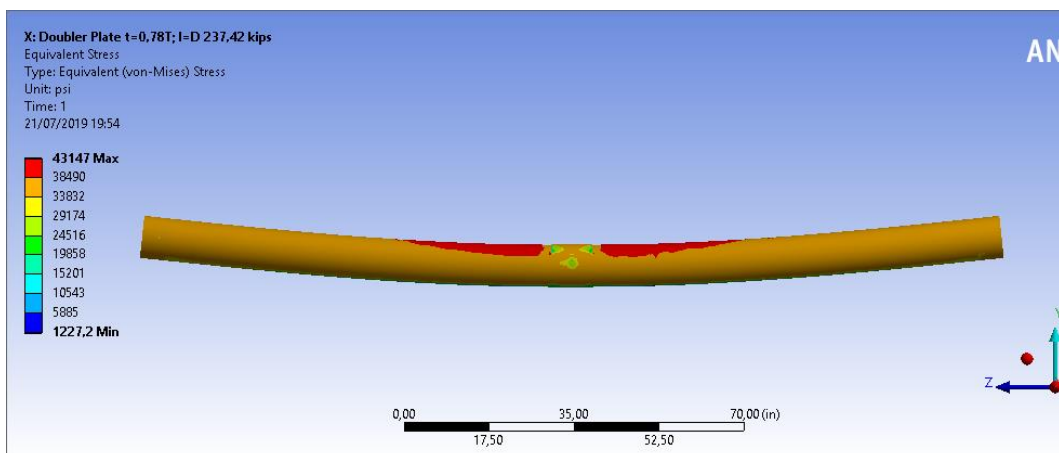
- Pinc = 141,2 kips

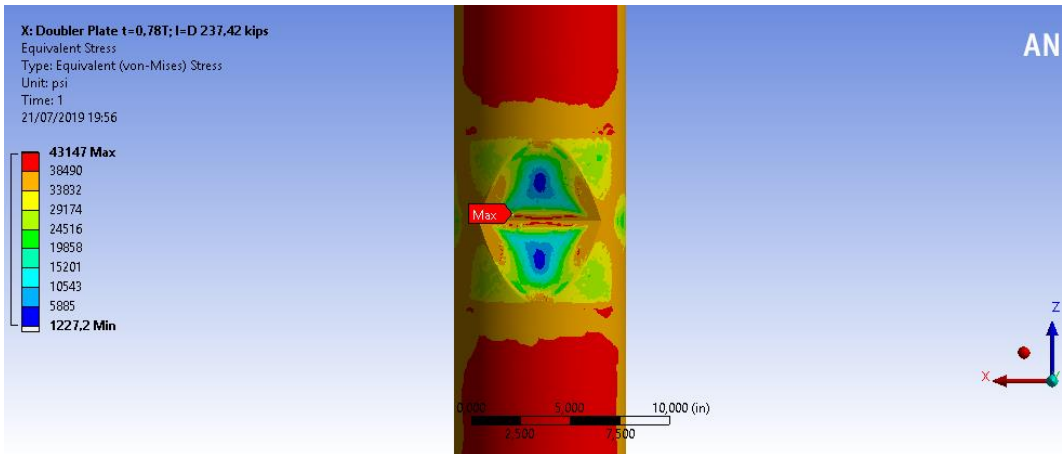
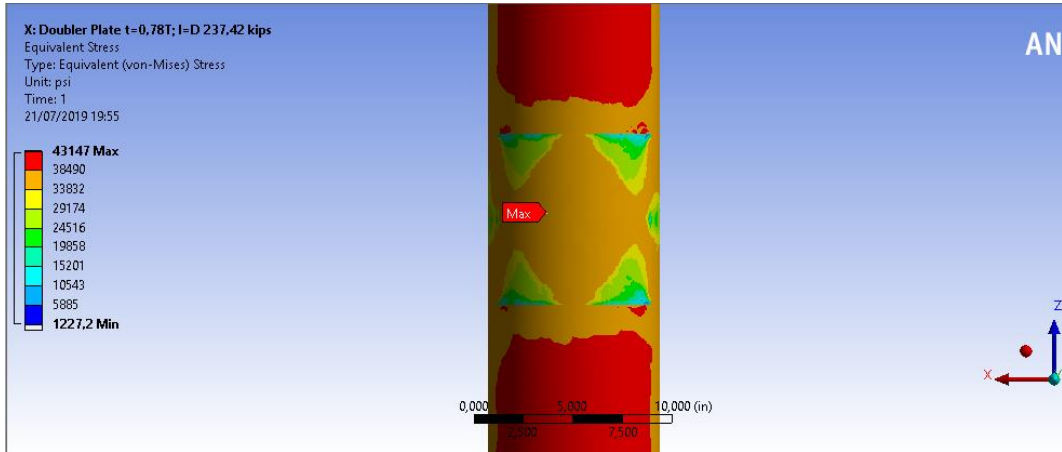


- Pinc = 227,42 kips

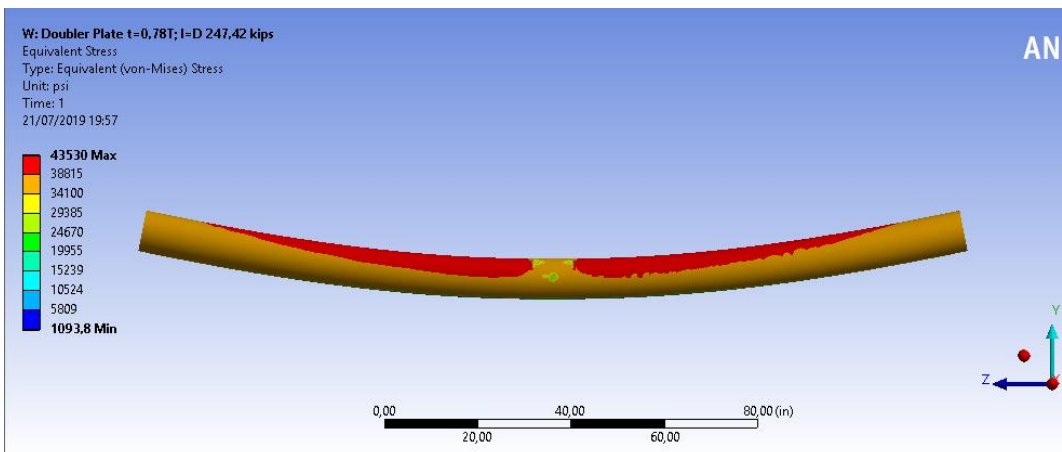


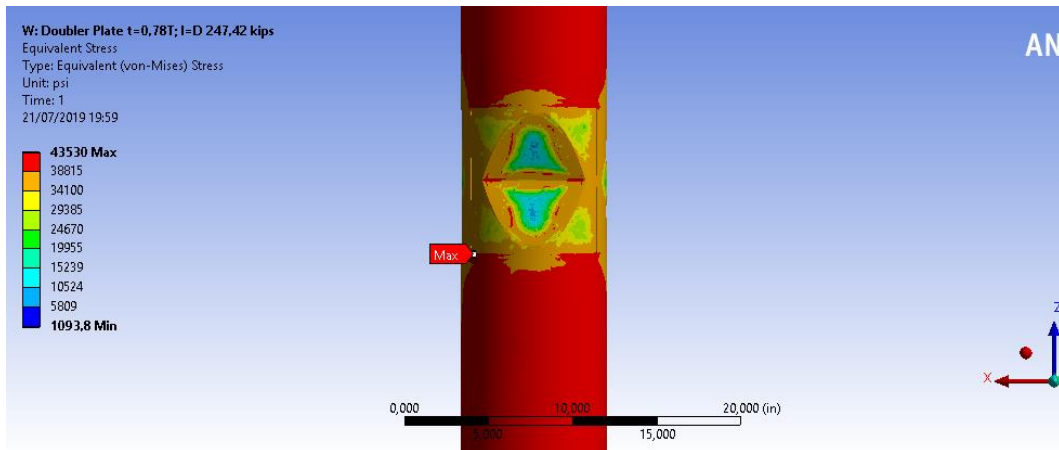
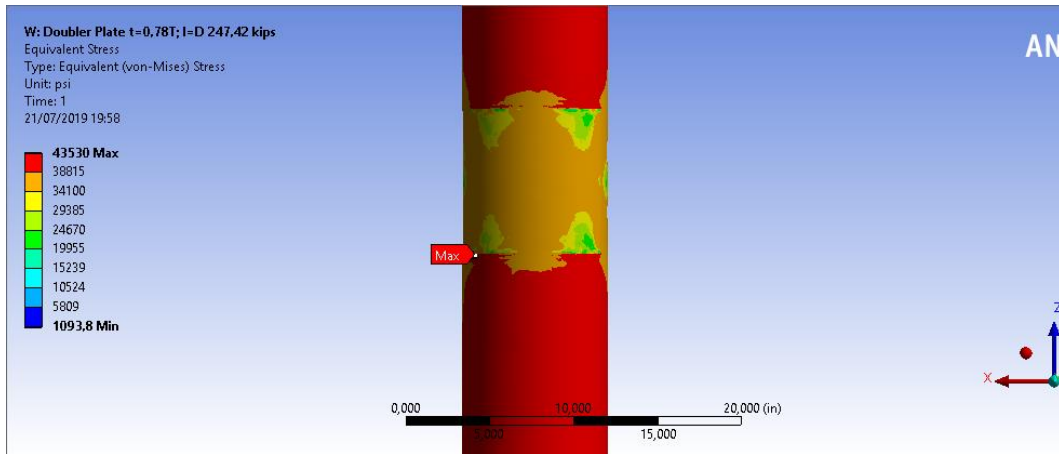
- Pinc = 237,42 kips



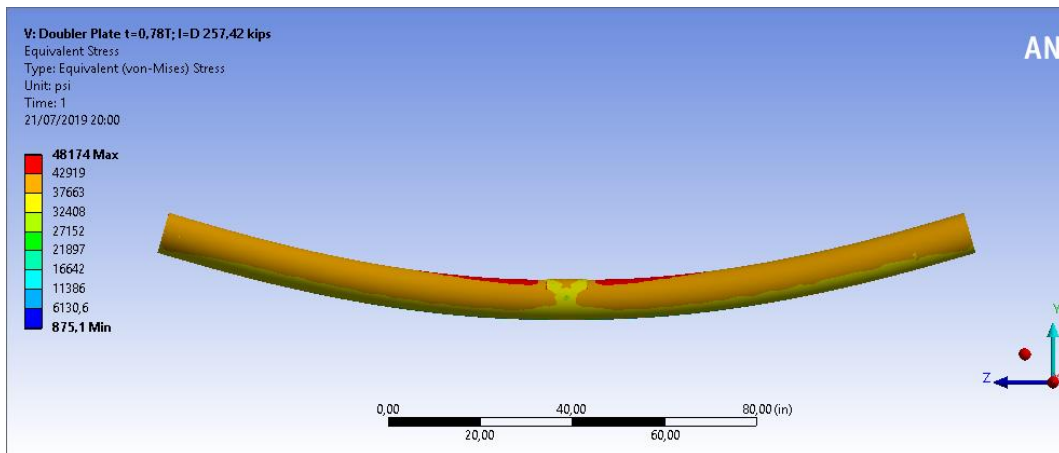


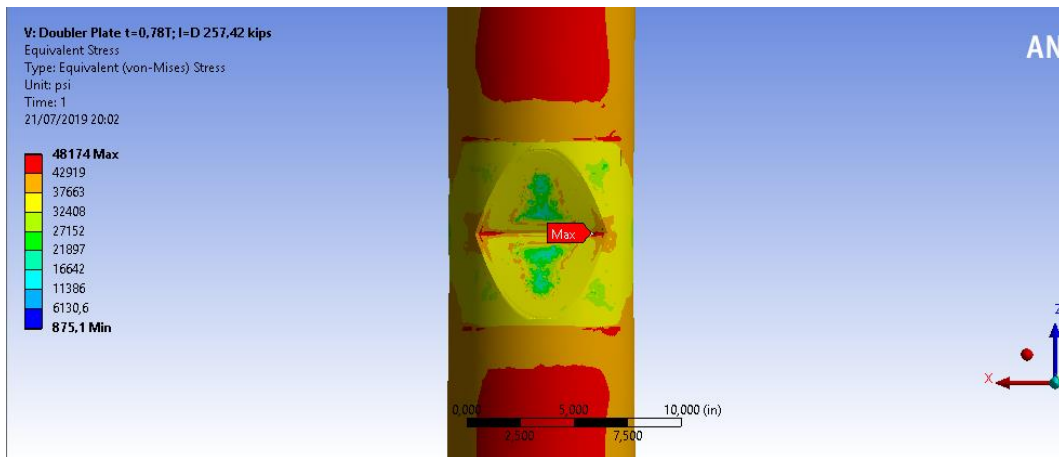
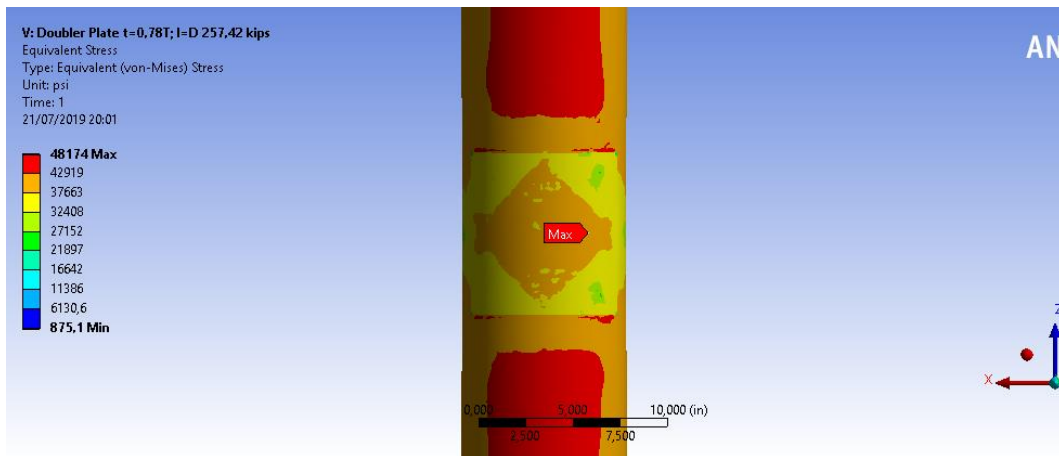
- Pinc = 247,42 kips



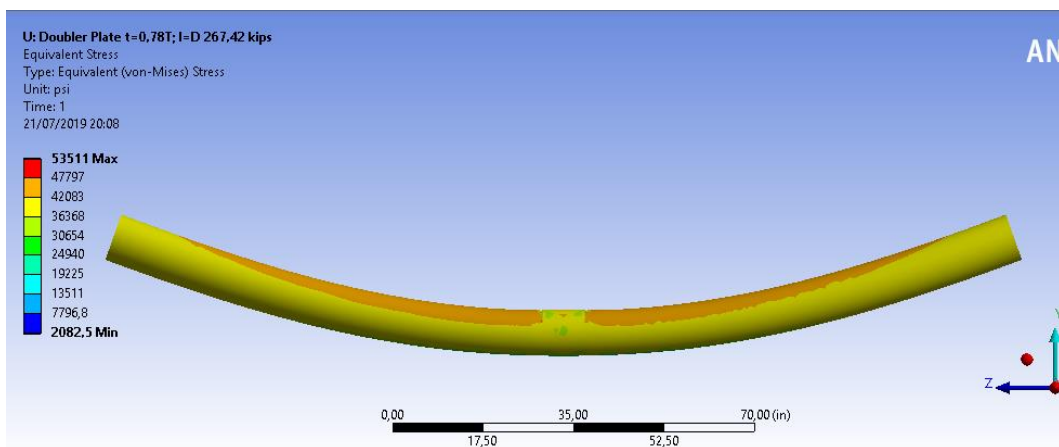


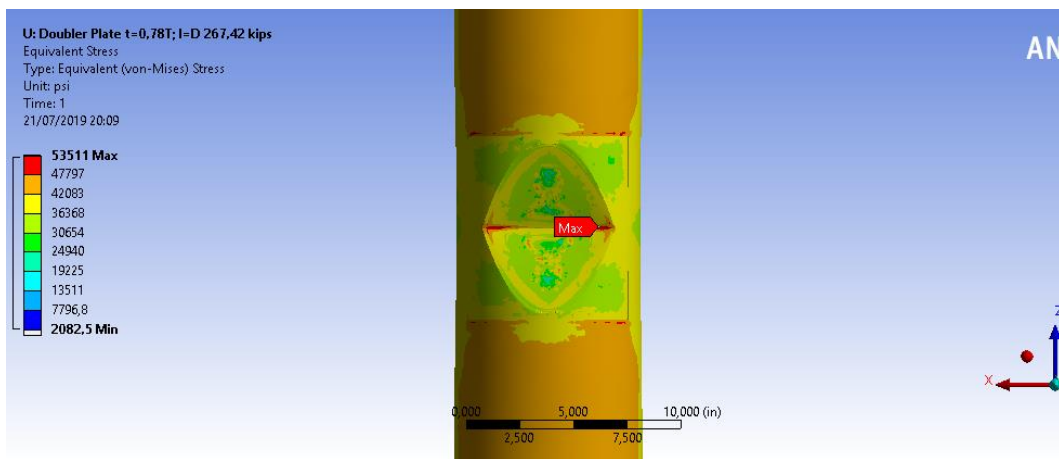
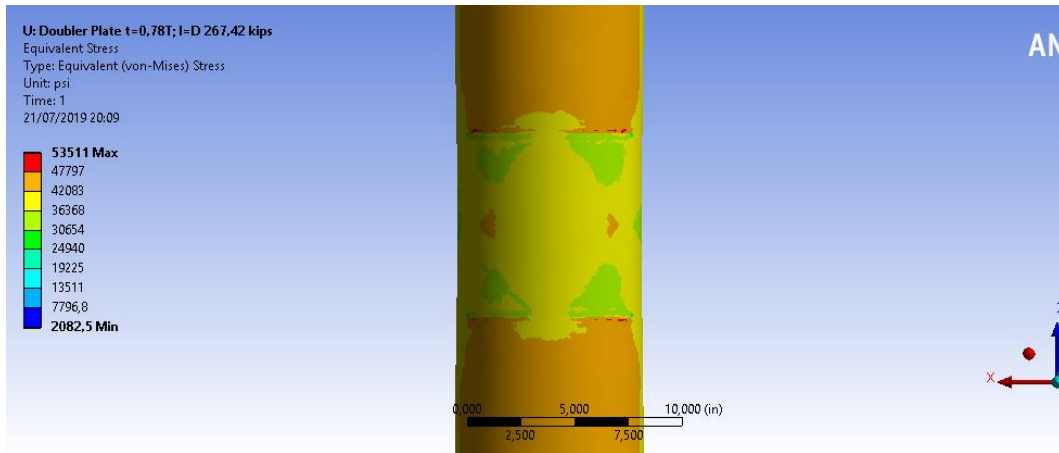
- Pinc = 257,42 kips



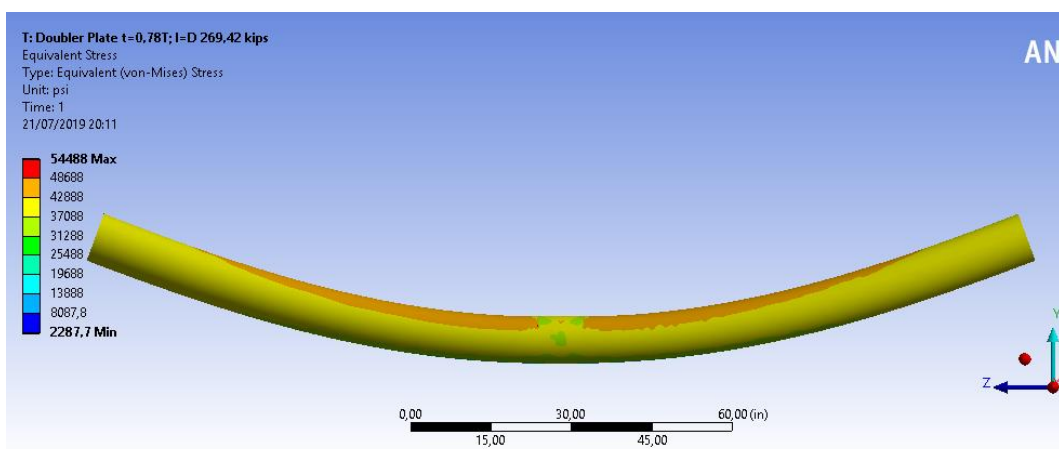


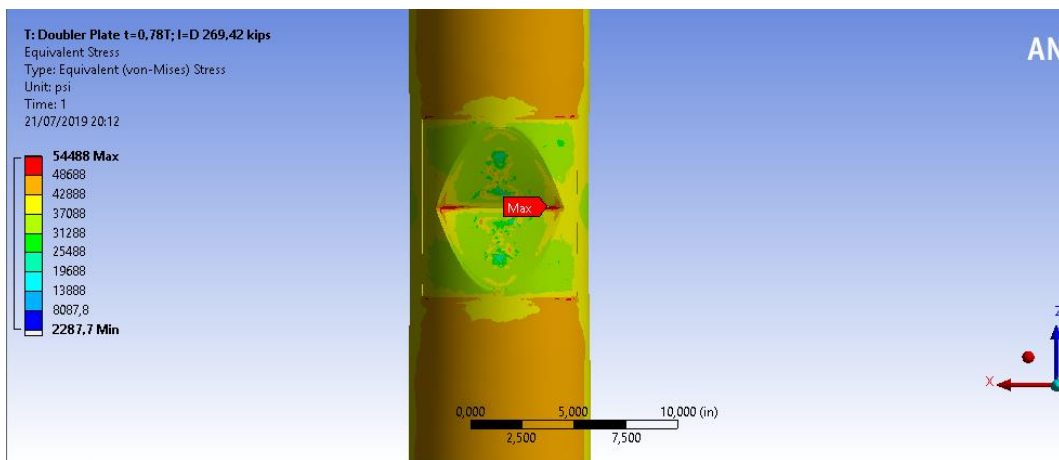
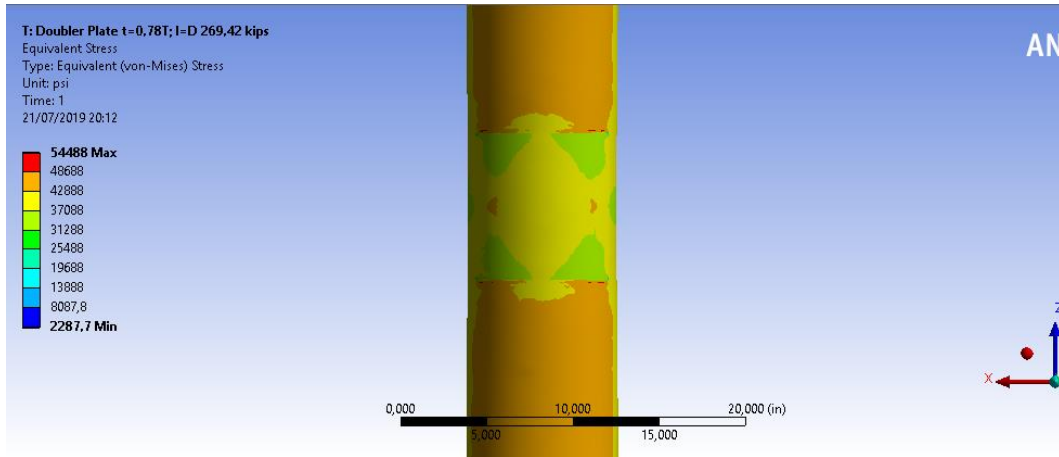
- Pinc = 267,42 kips



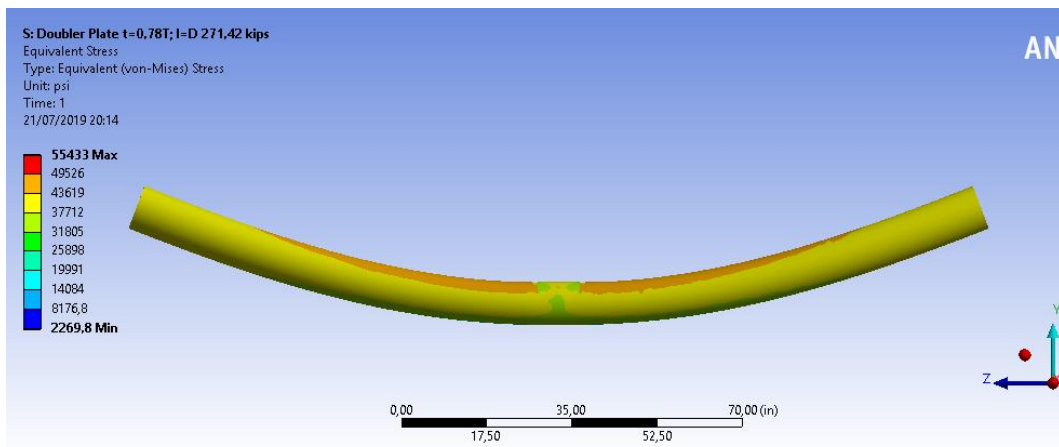


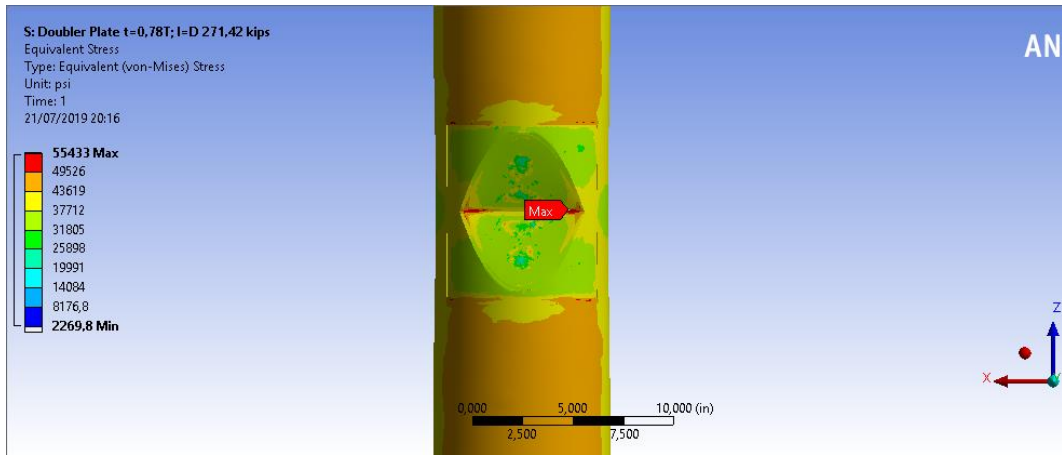
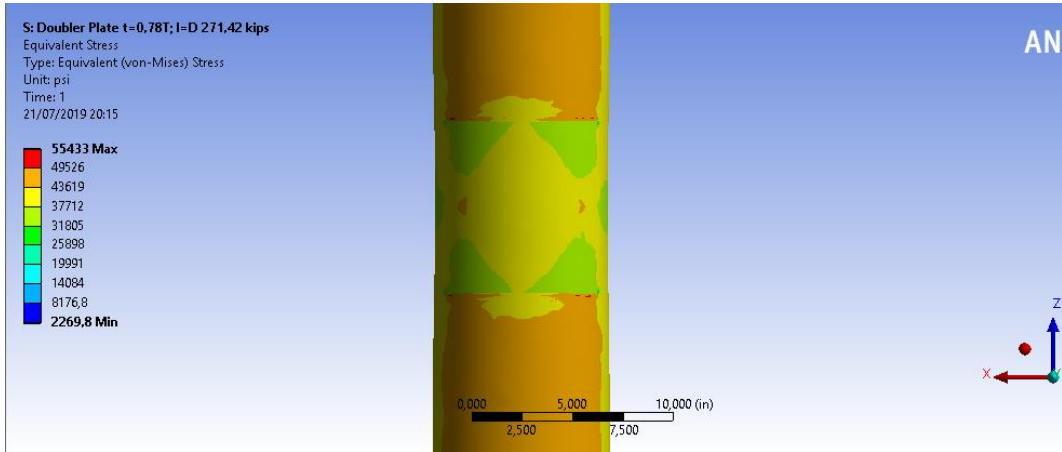
- Pinc = 269,42 kips



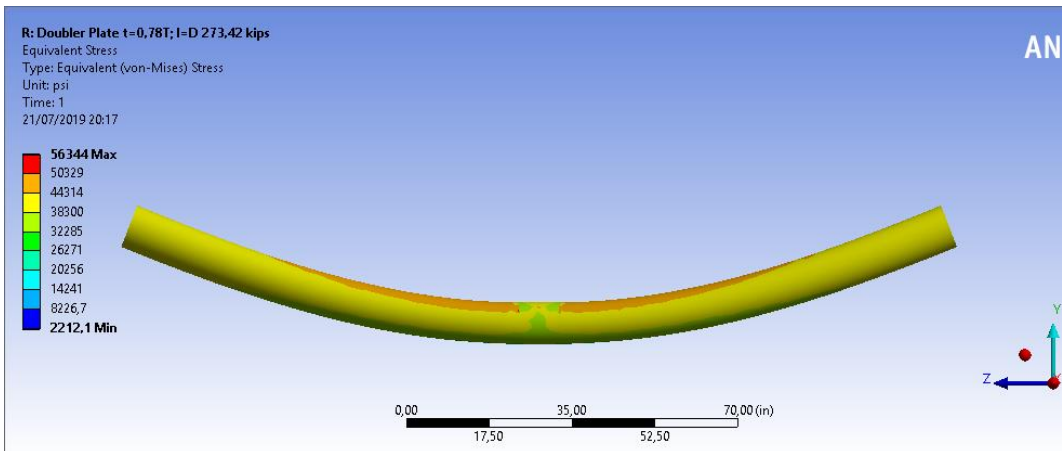


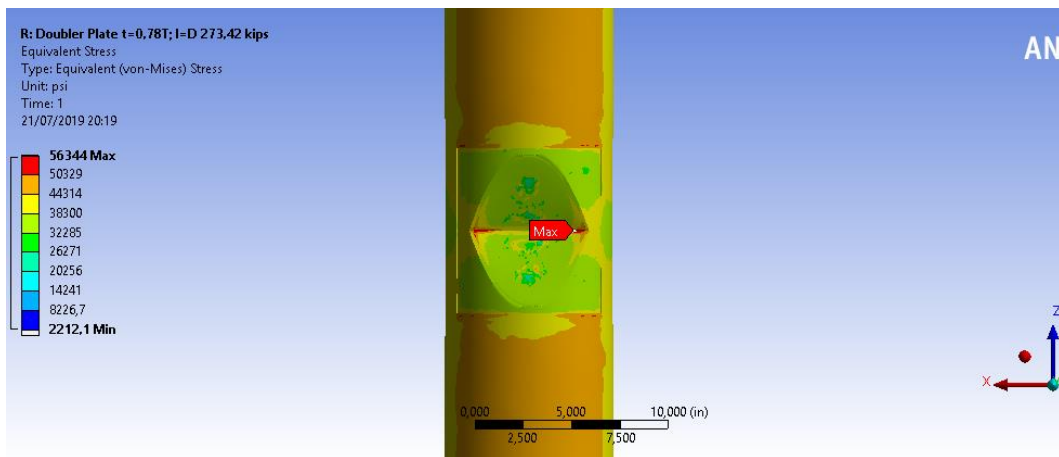
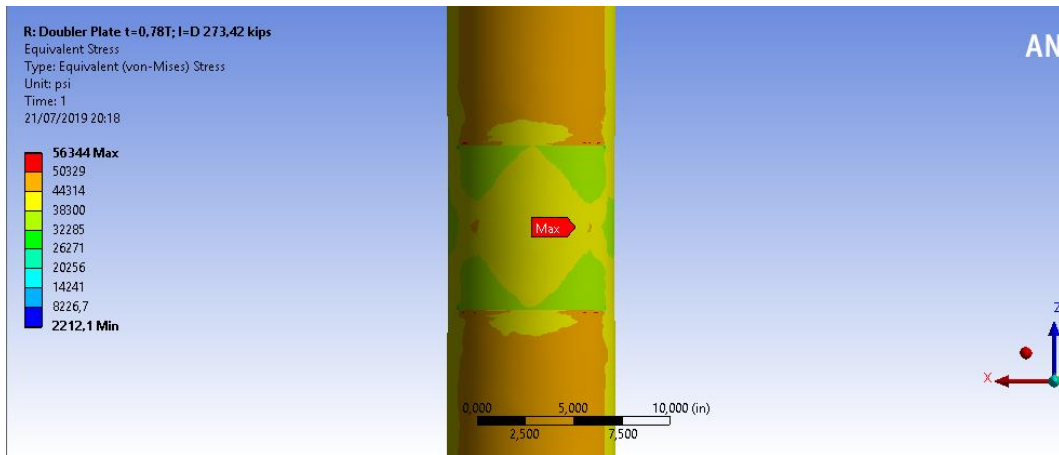
- Pinc = 271,42 kips



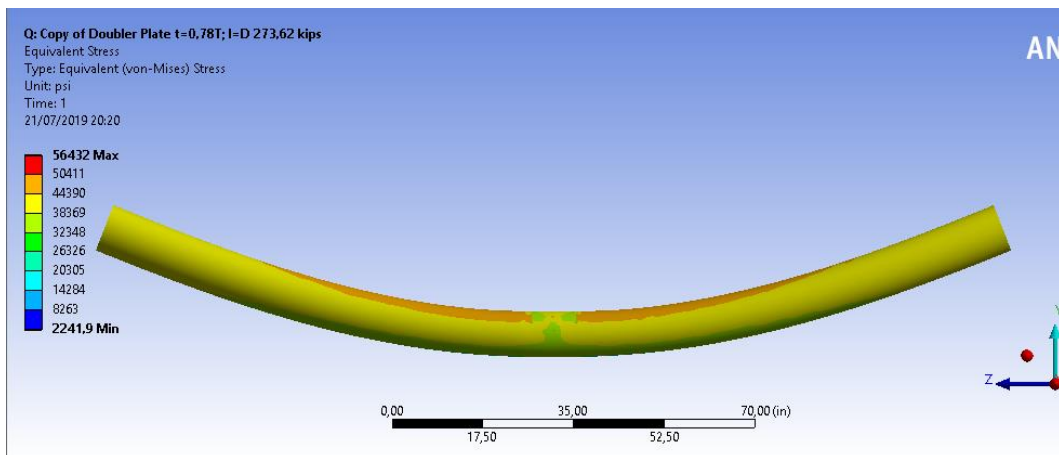


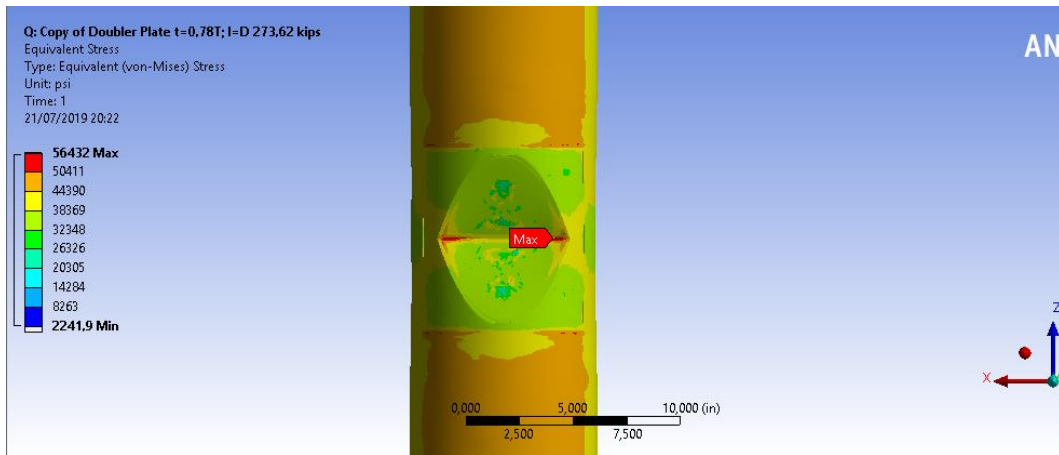
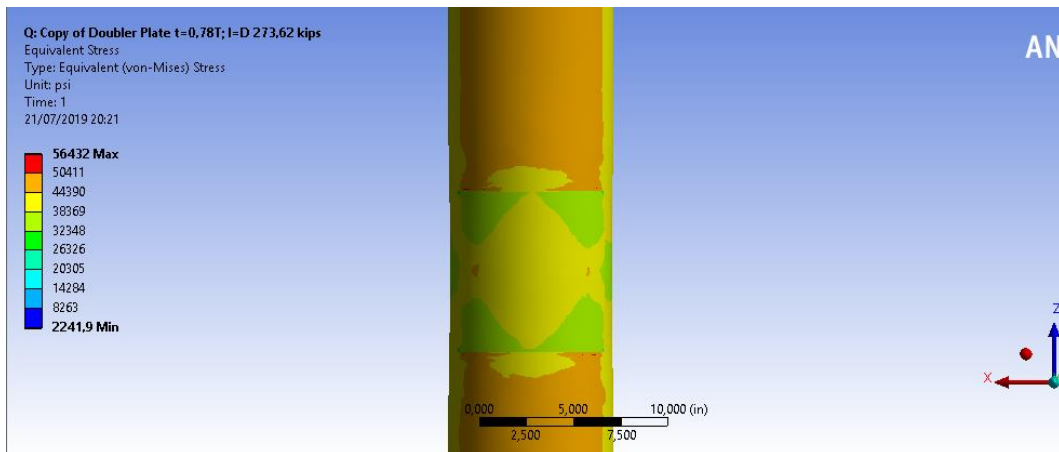
- Pinc = 273,42 kips



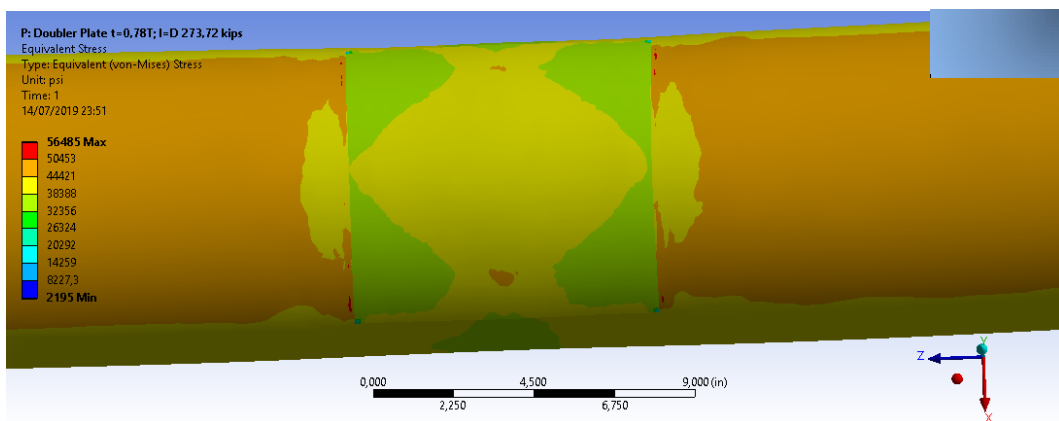


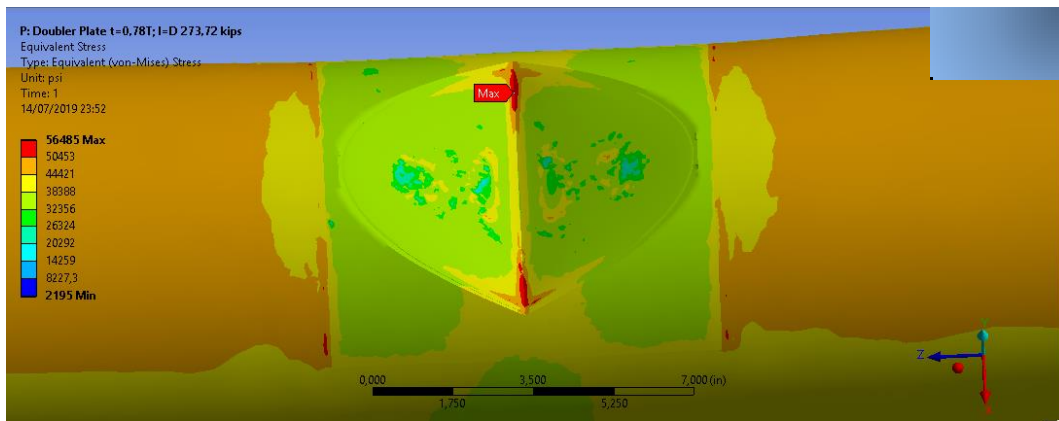
- Pinc = 273,62 kips



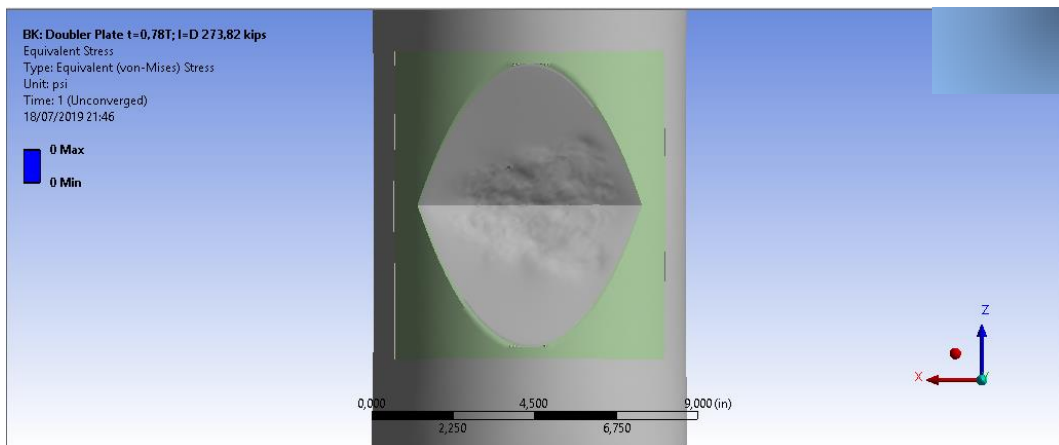
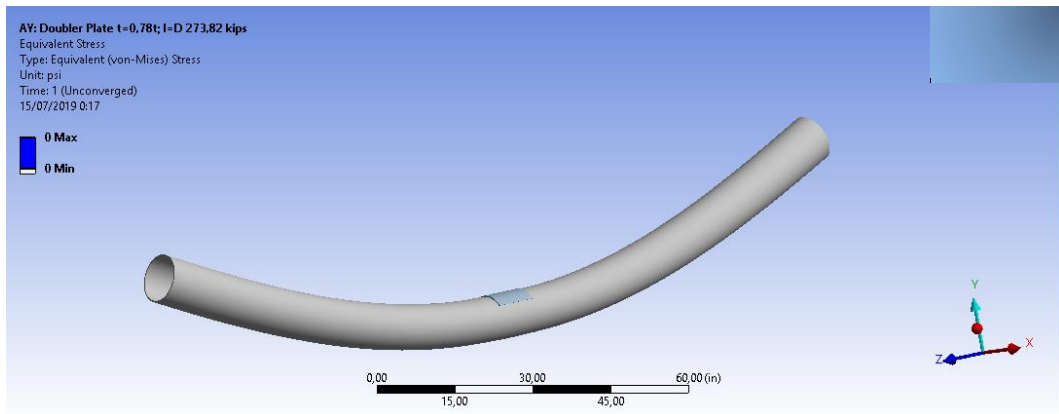


- Pinc = 273,72 kips (Pr)



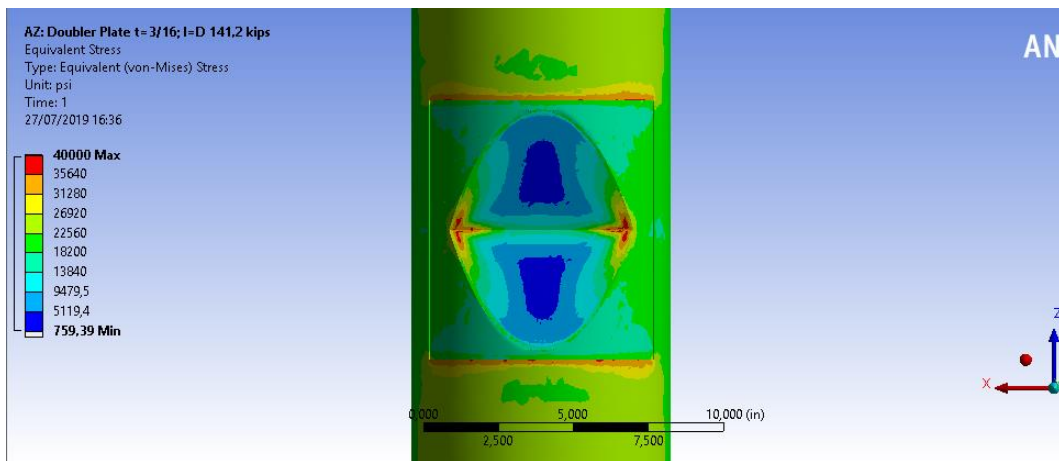
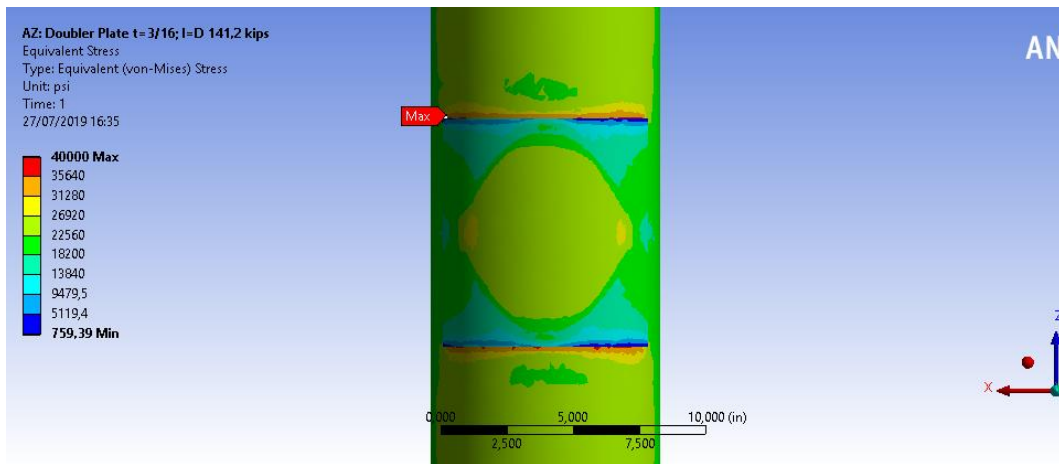


- Pinc = 273,82 kips

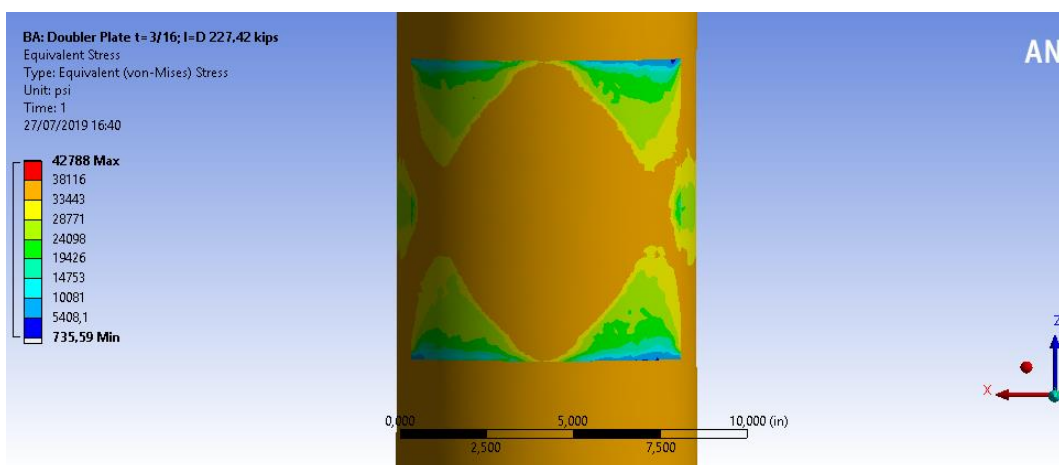


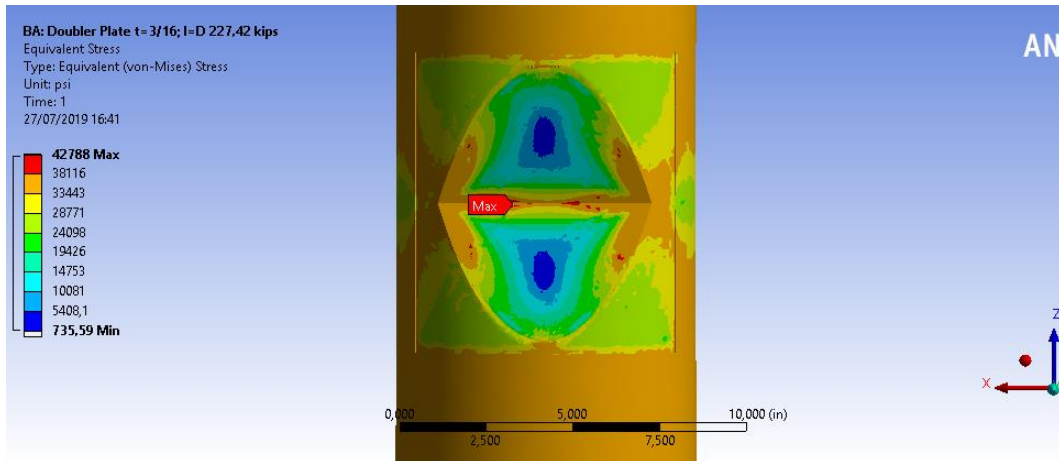
c. Variasi 3 ($t_d = 3/16$ in; $l_d = D$)

- Pinc = 141,2 kips

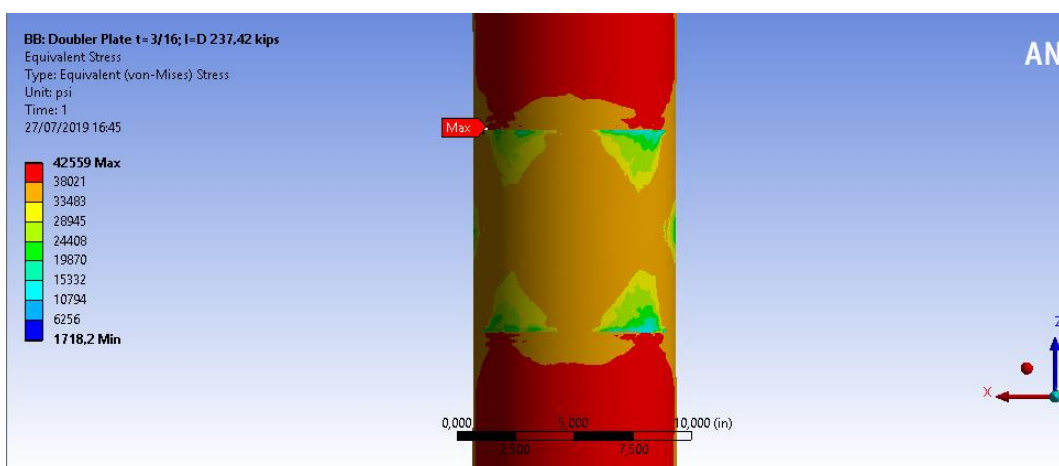
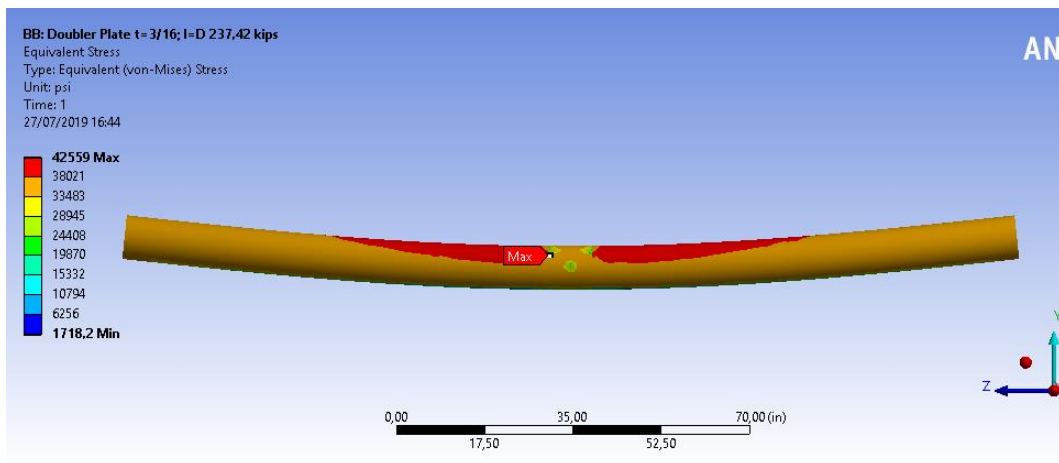


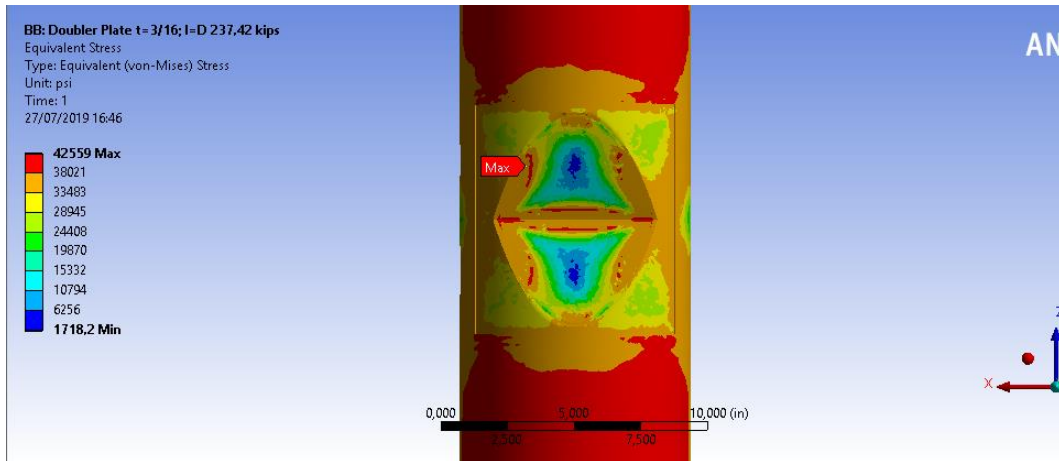
- Pinc = 227,42 kips



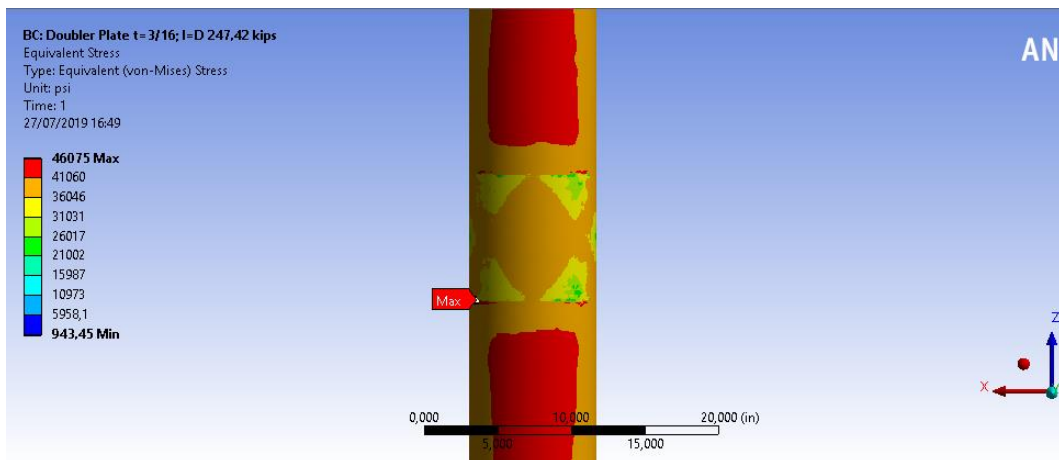
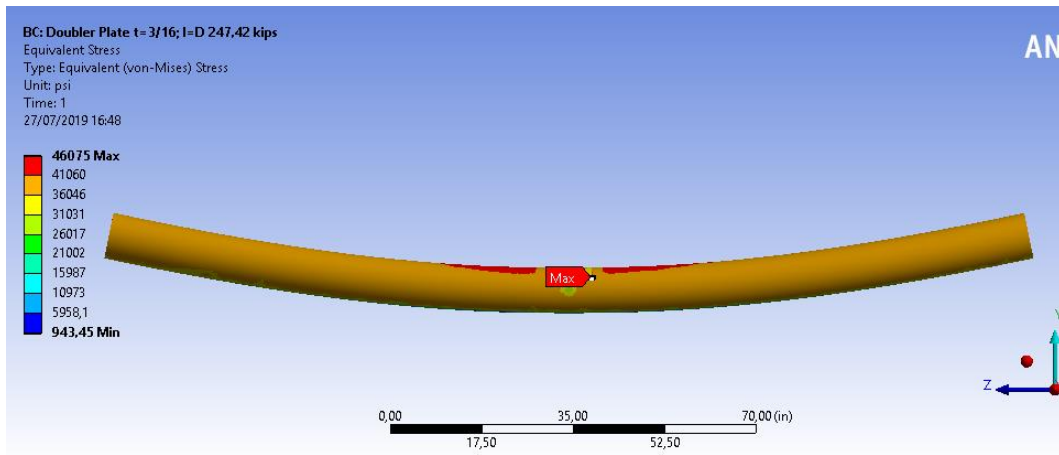


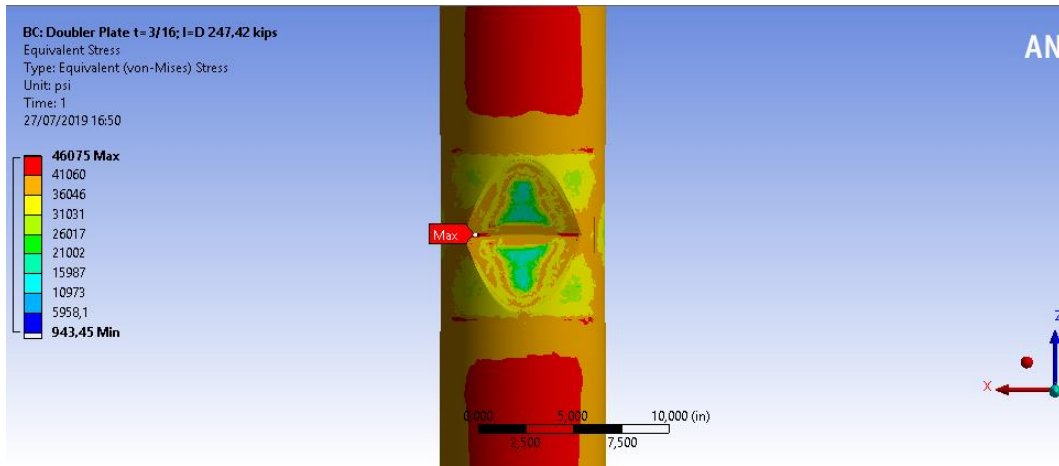
- Pinc = 237,42 kips



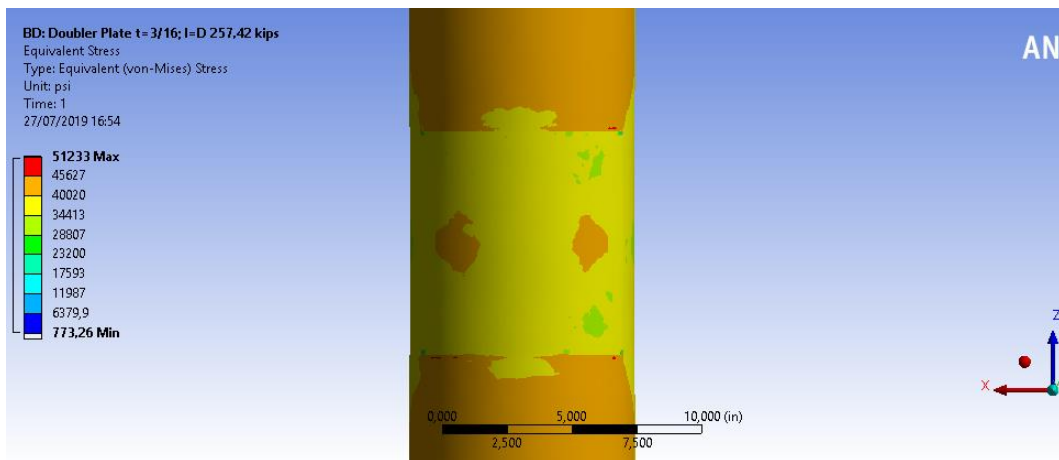
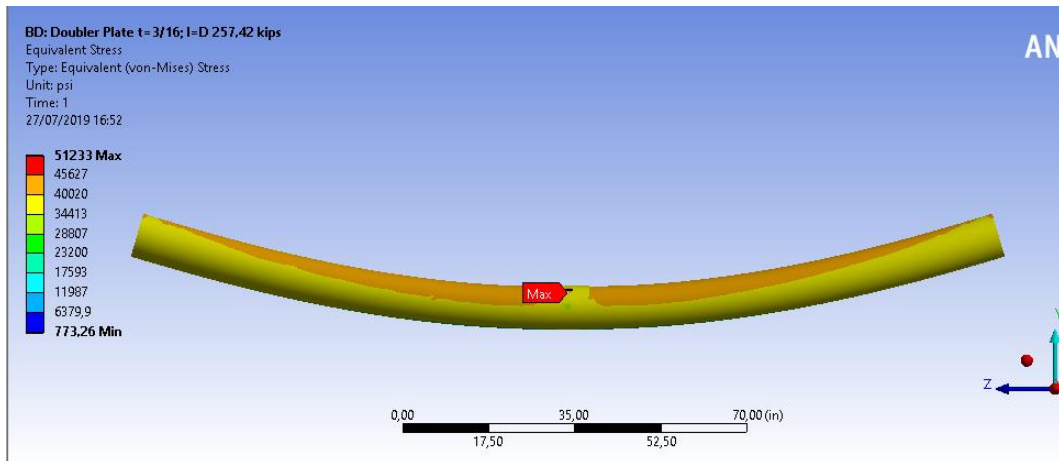


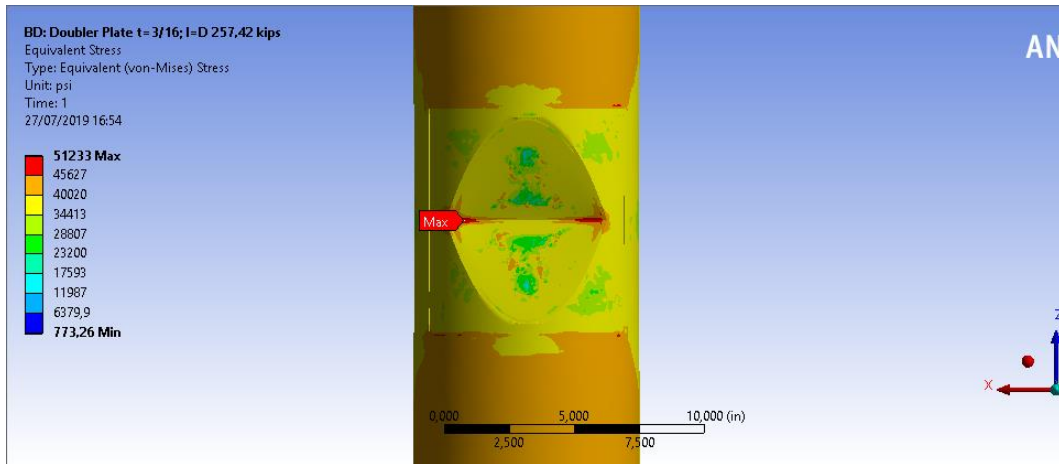
- Pinc = 247,42 kips



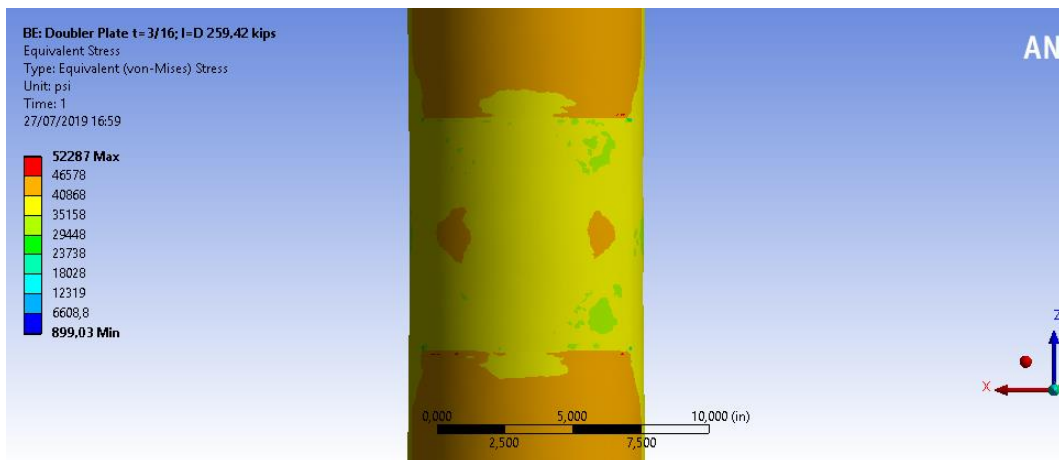
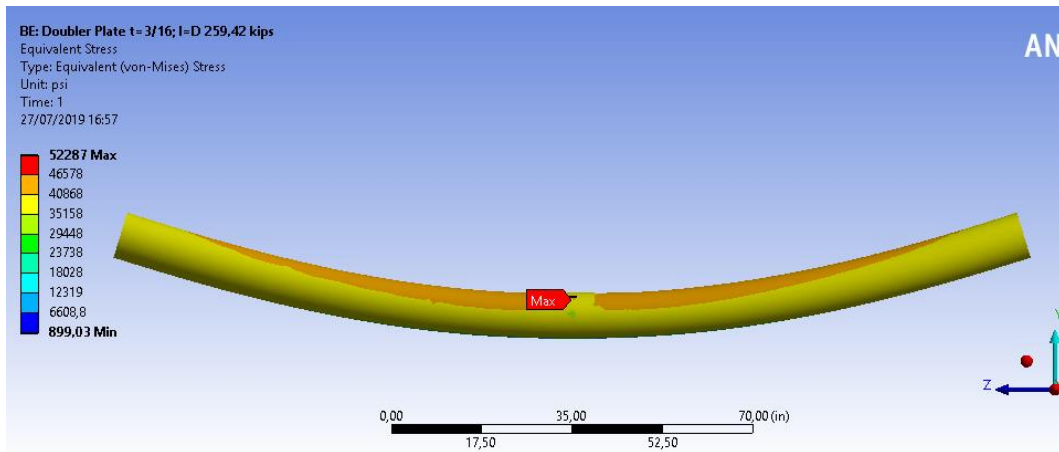


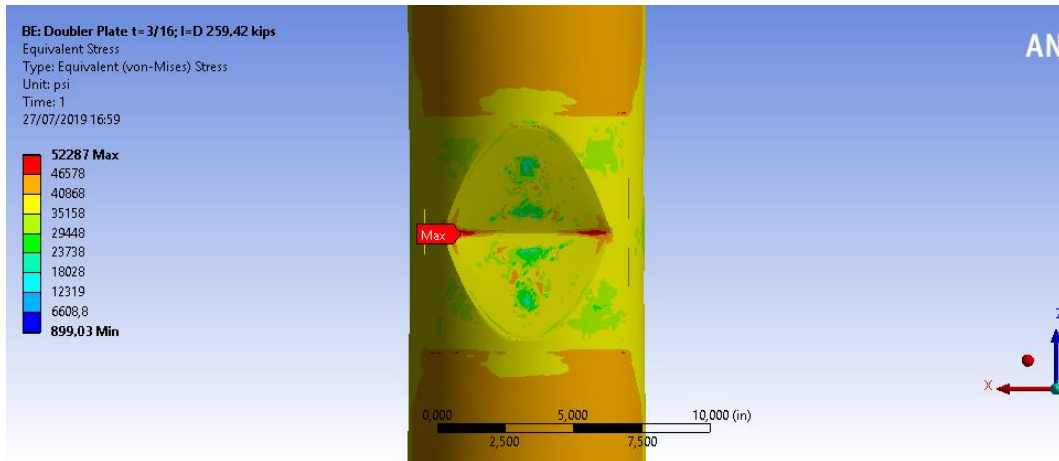
- Pinc = 257,42 kips



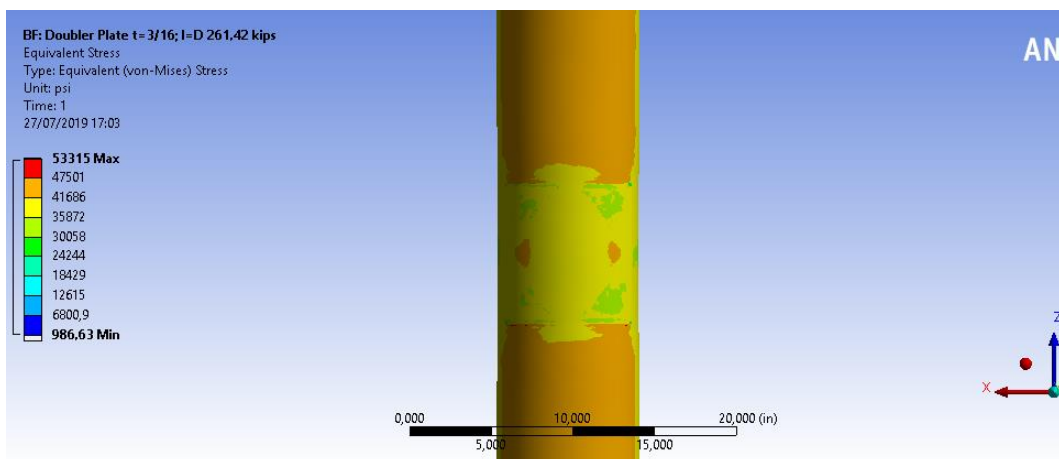
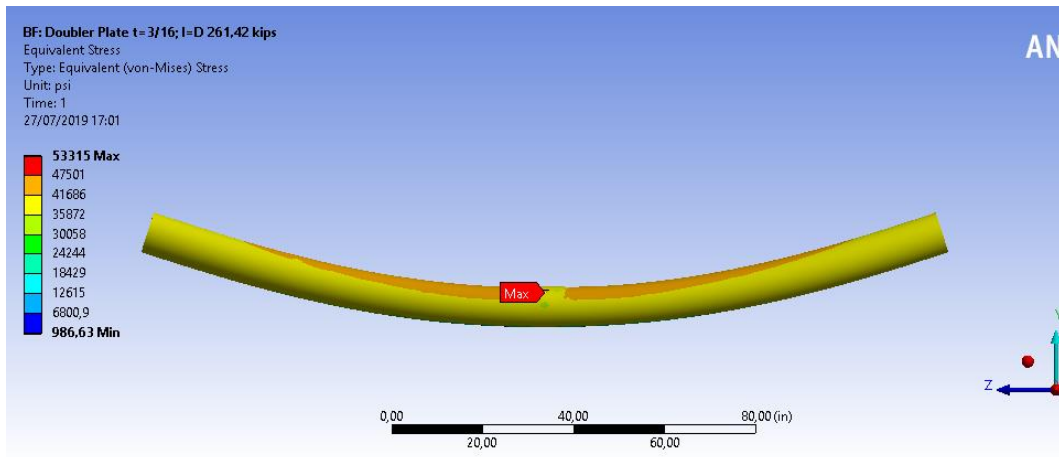


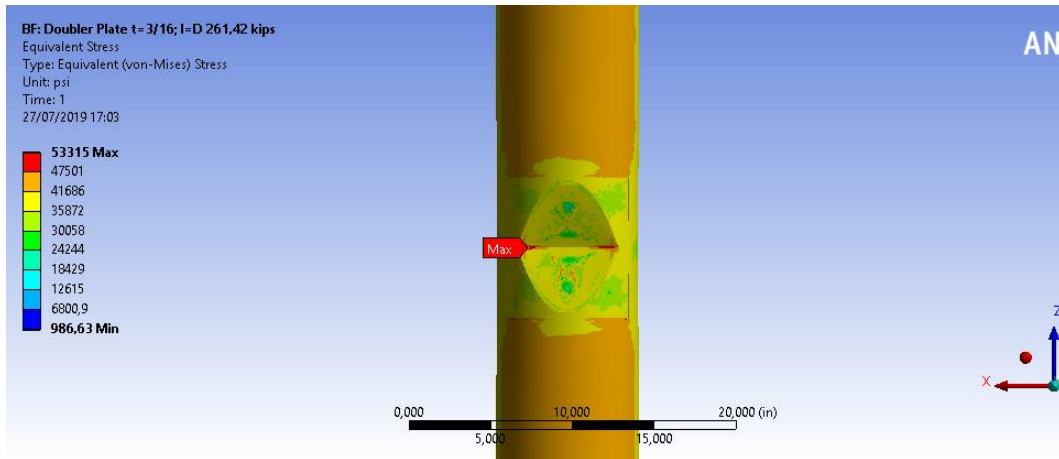
- Pinc = 259,42 kips



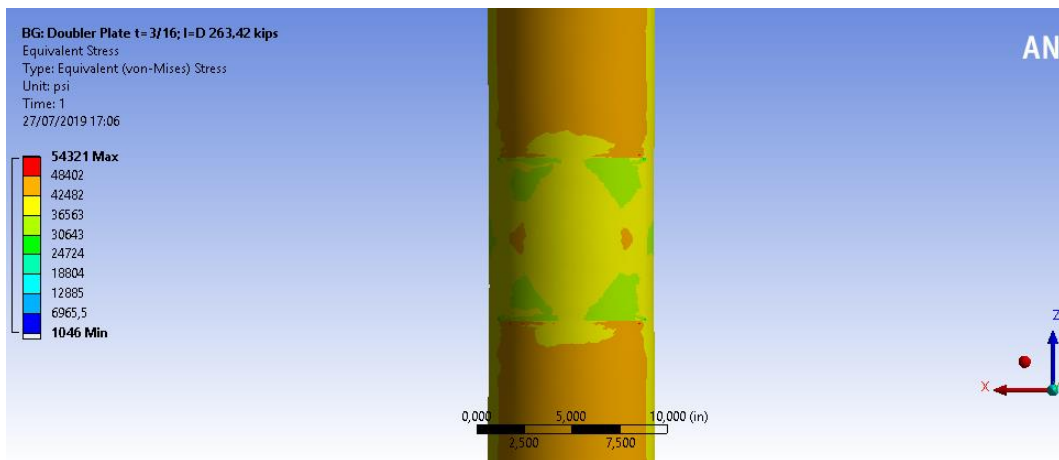
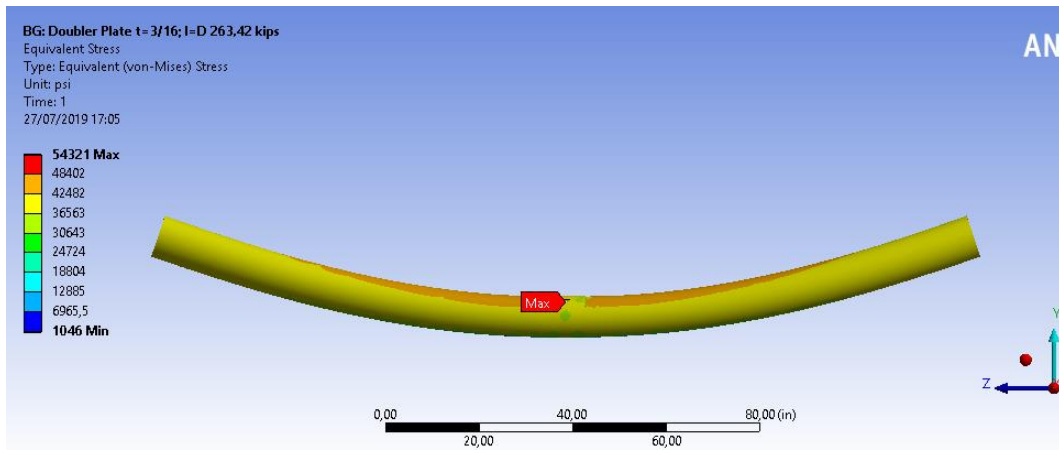


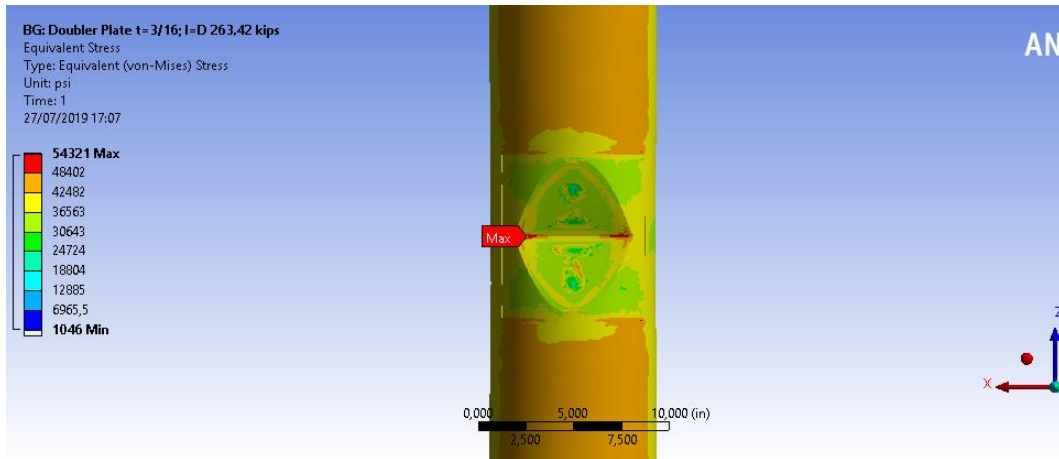
- Pinc = 261,42 kips



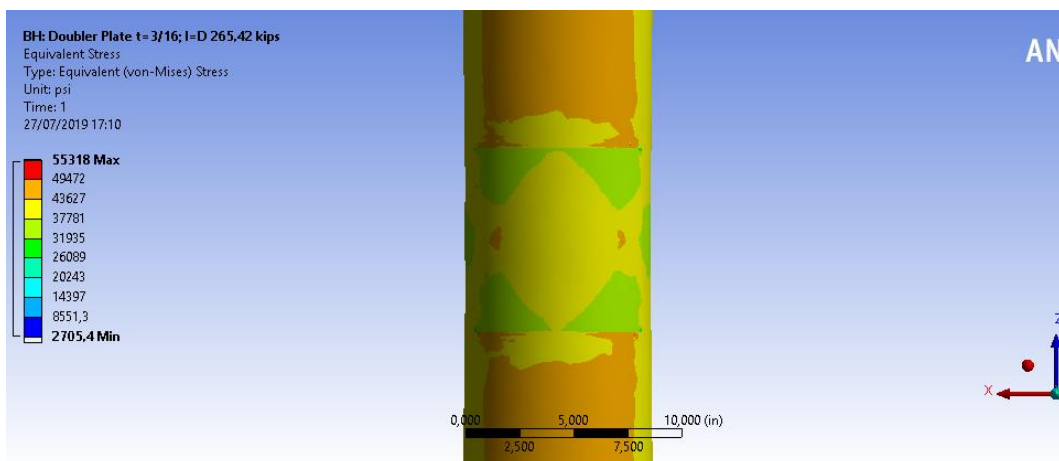
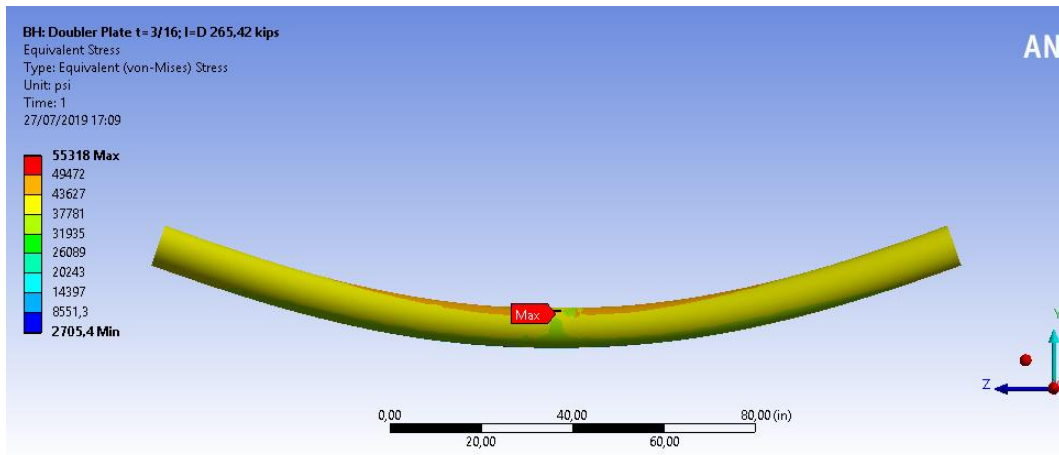


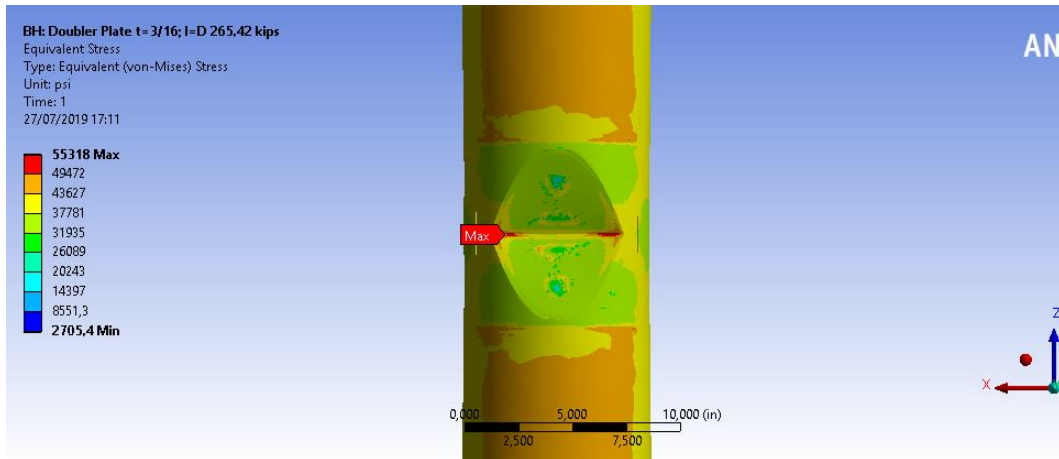
- Pinc = 263,42 kips



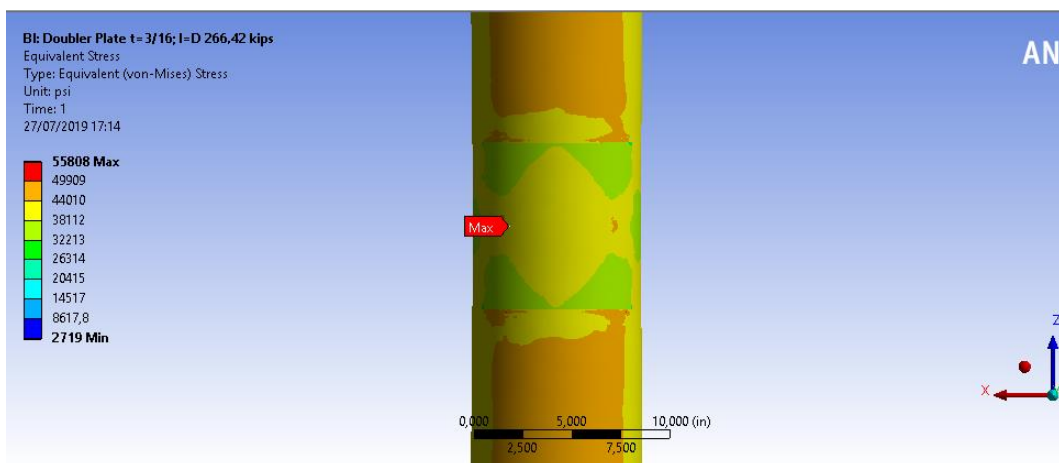
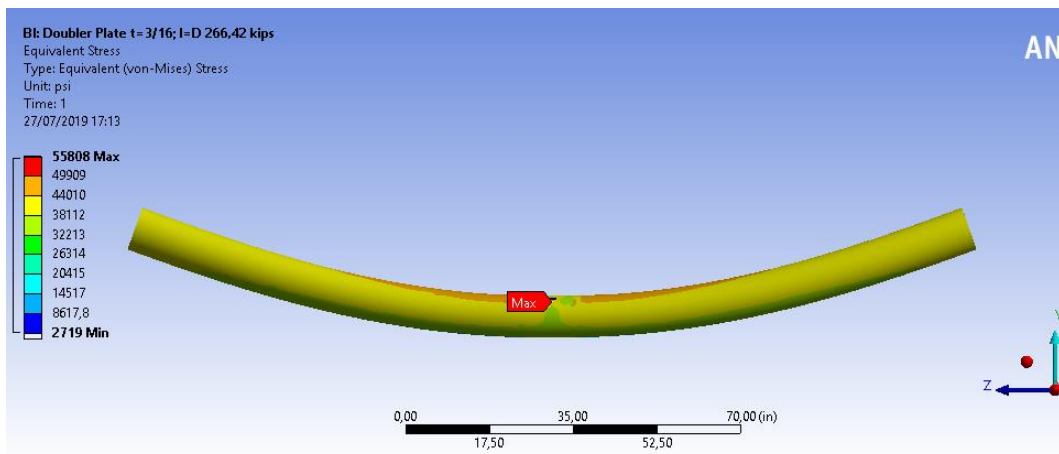


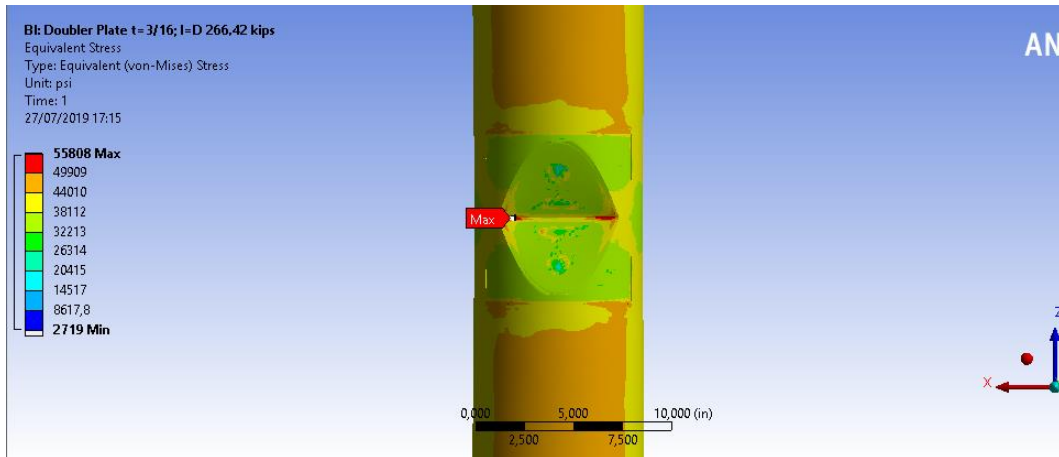
- Pinc = 265,42 kips



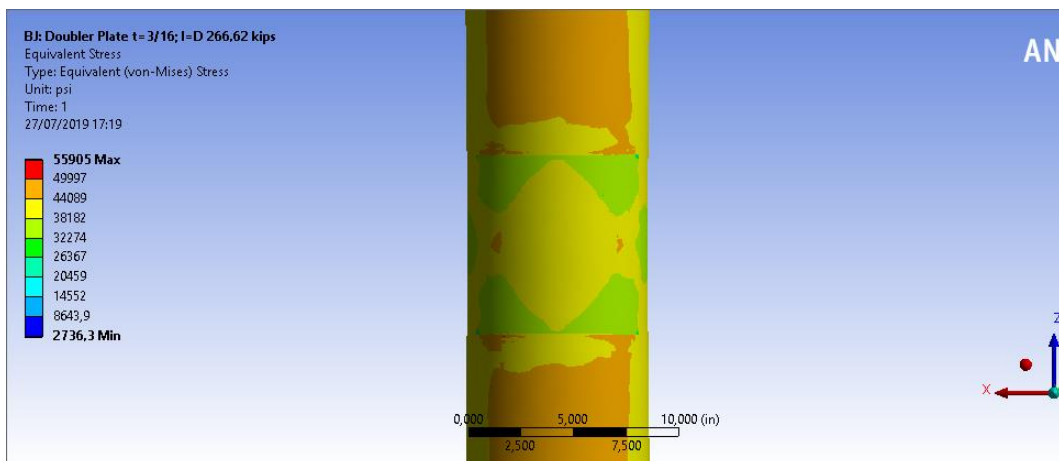
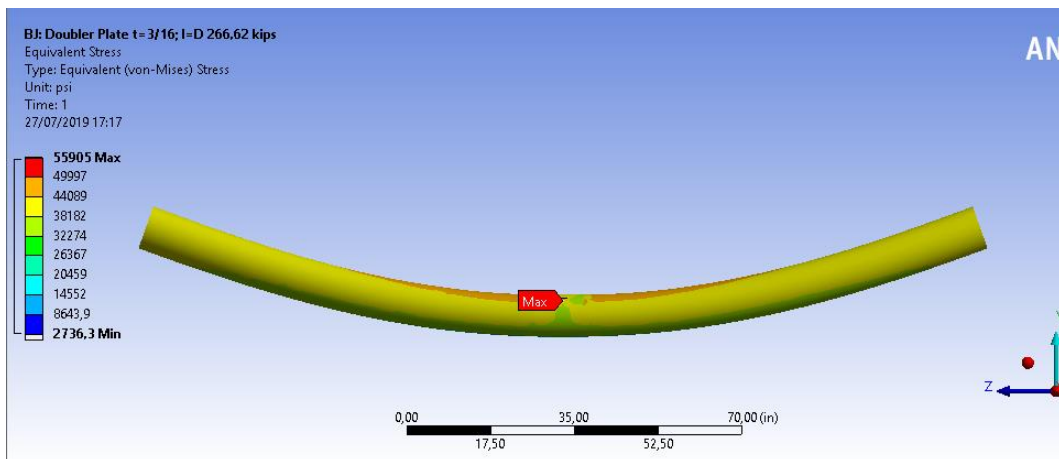


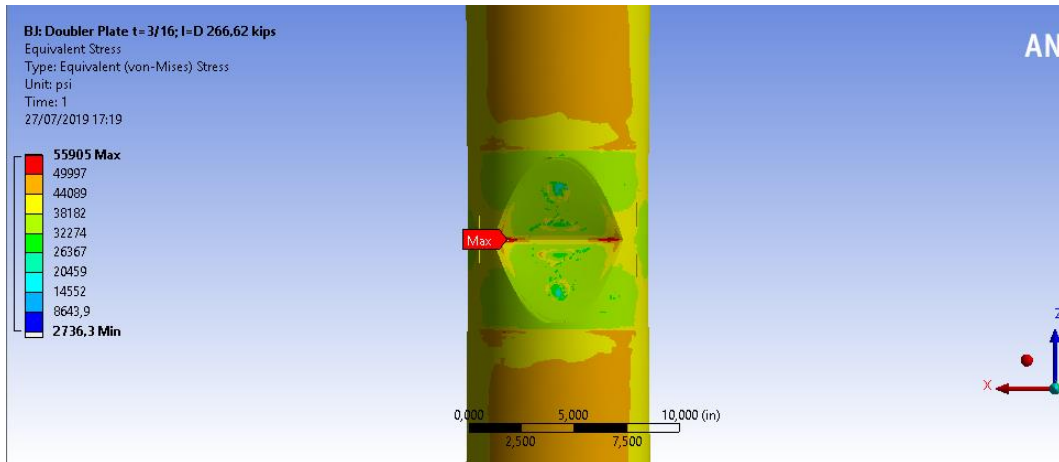
- Pinc = 266,42 kips (Pr)



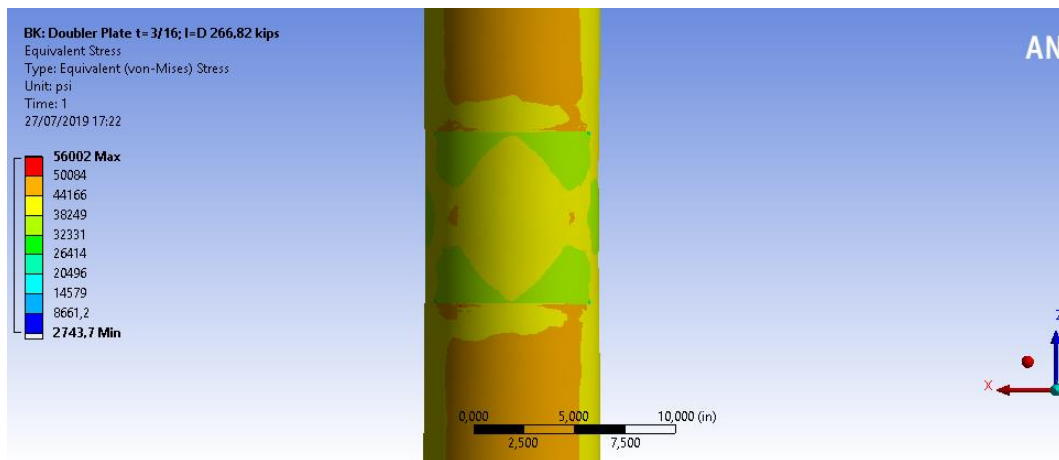
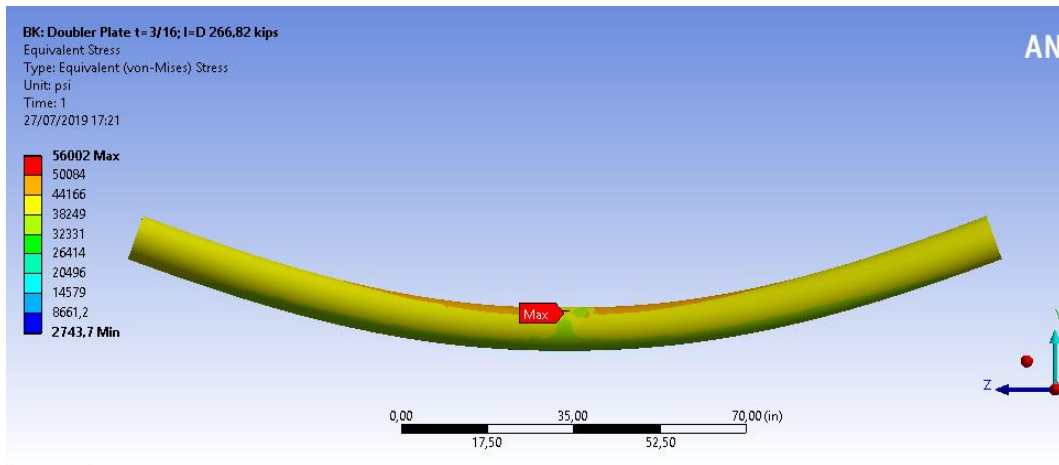


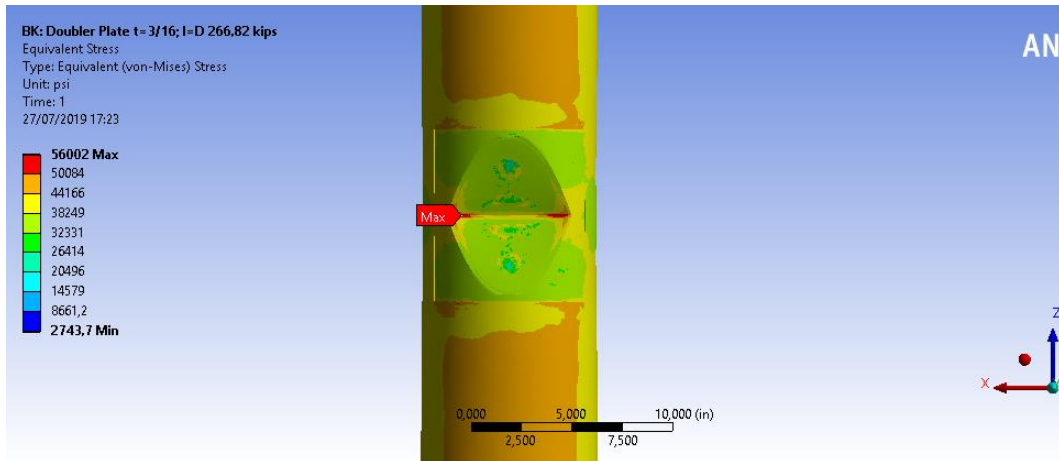
- Pinc = 266,62 kips



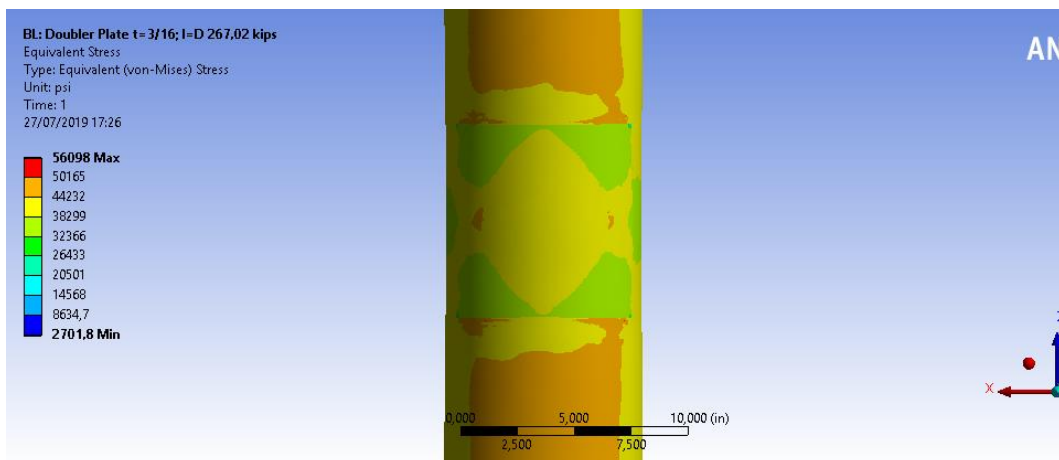
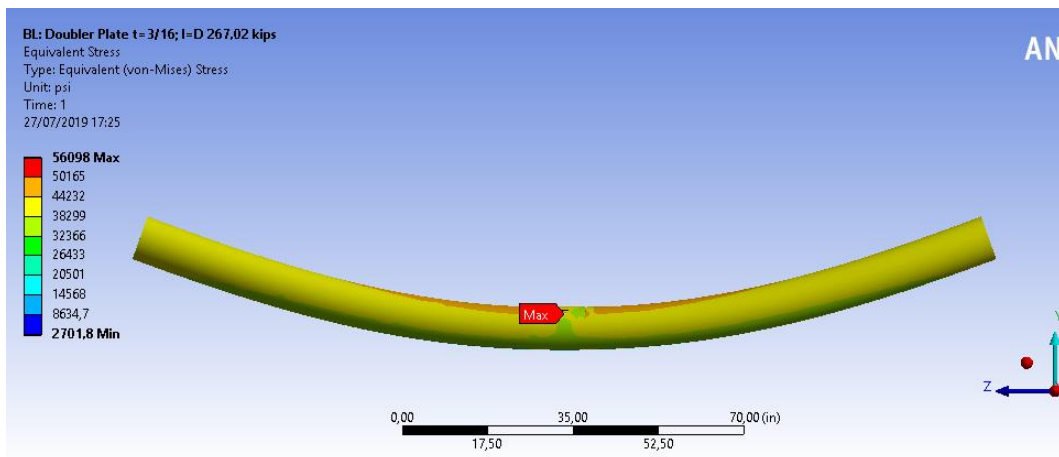


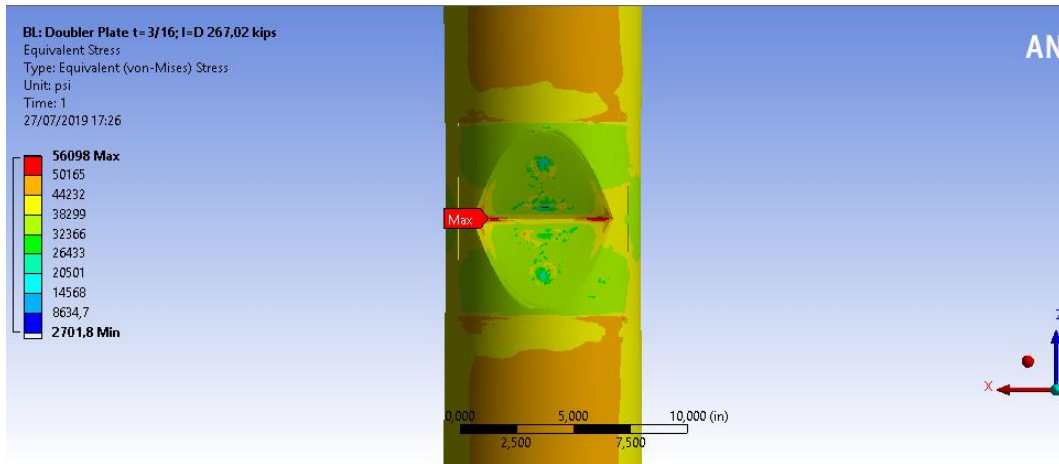
-Pinc = 266,82 kips



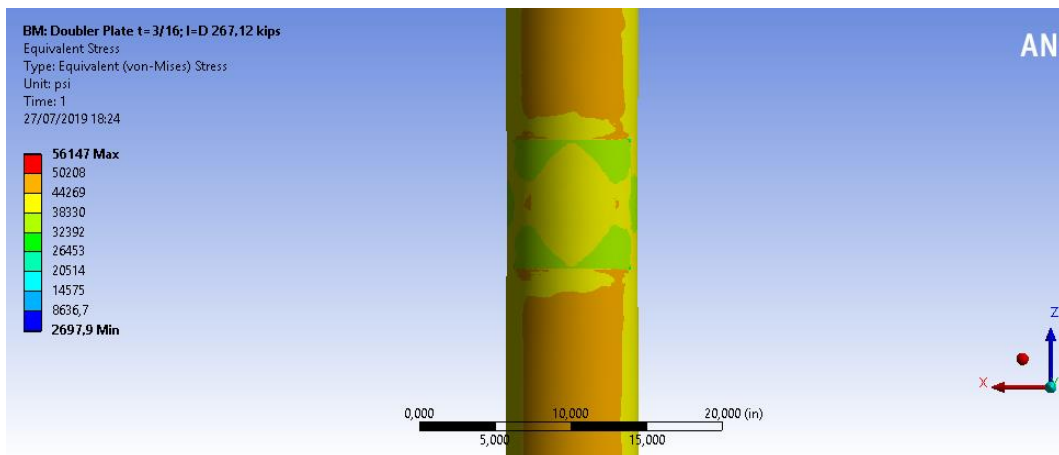
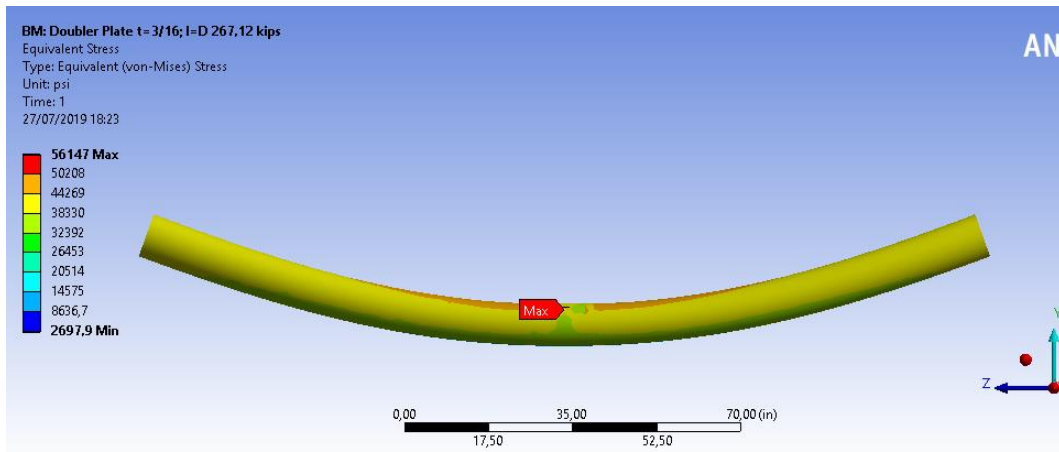


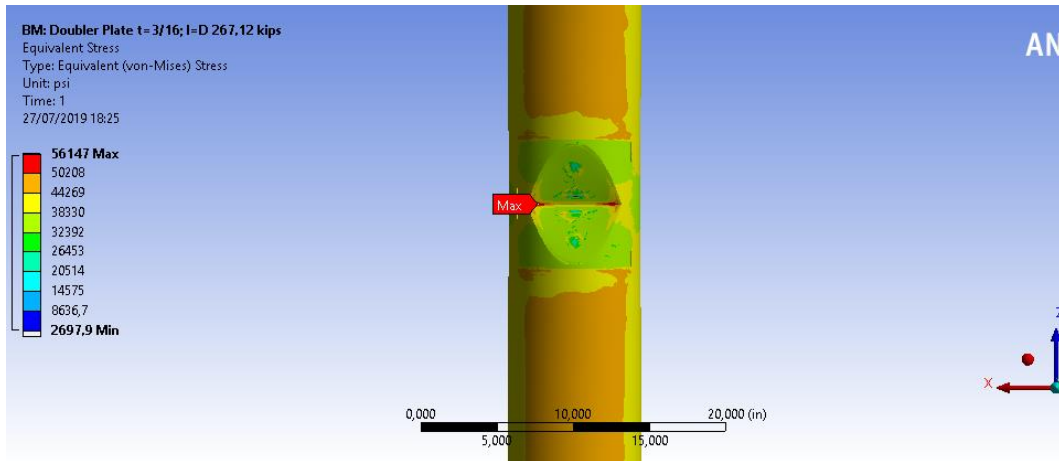
-Pinc = 267,02 kips



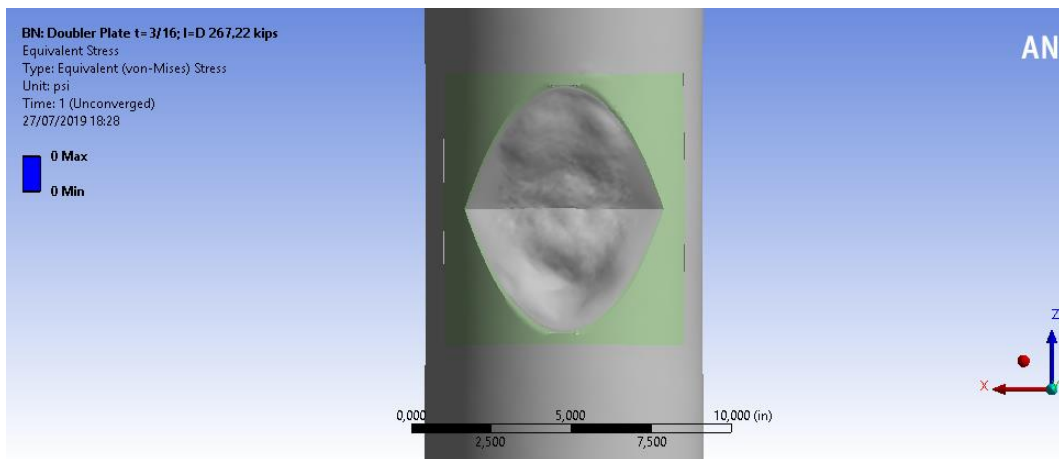


- Pinc = 267,12 kips



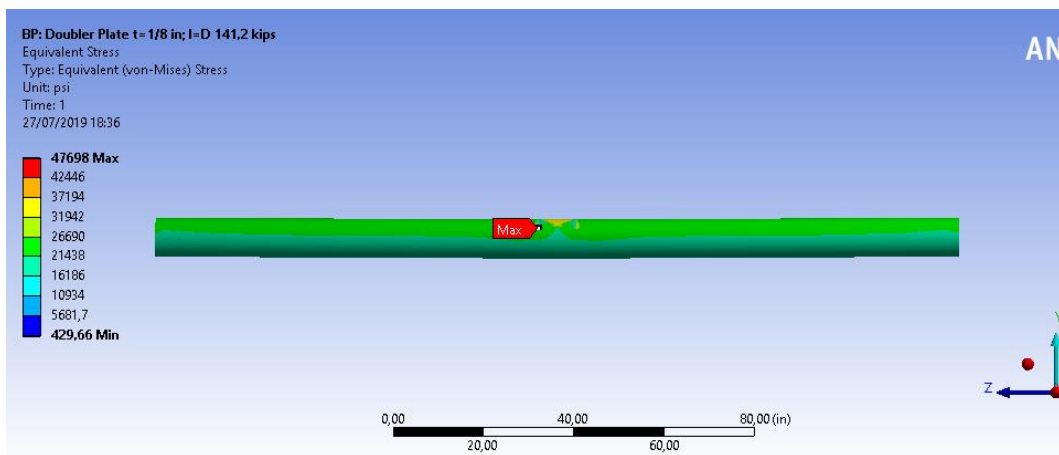


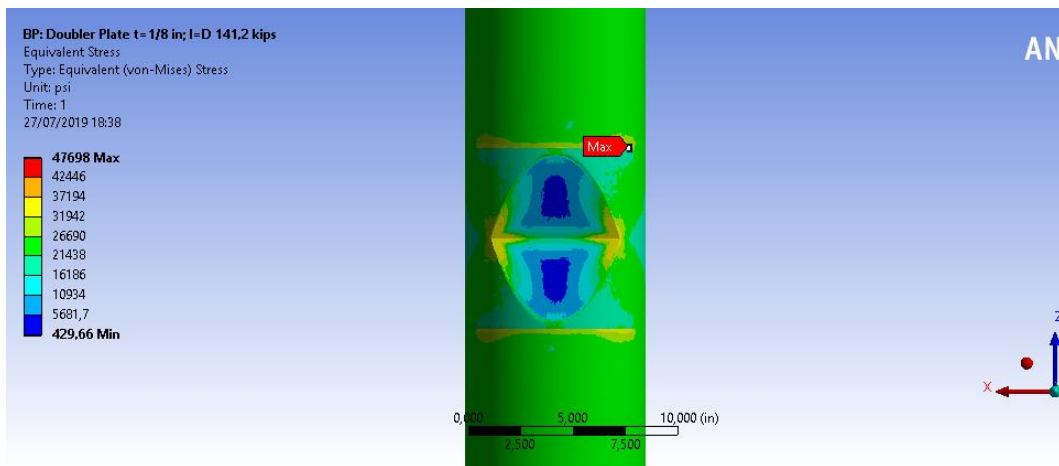
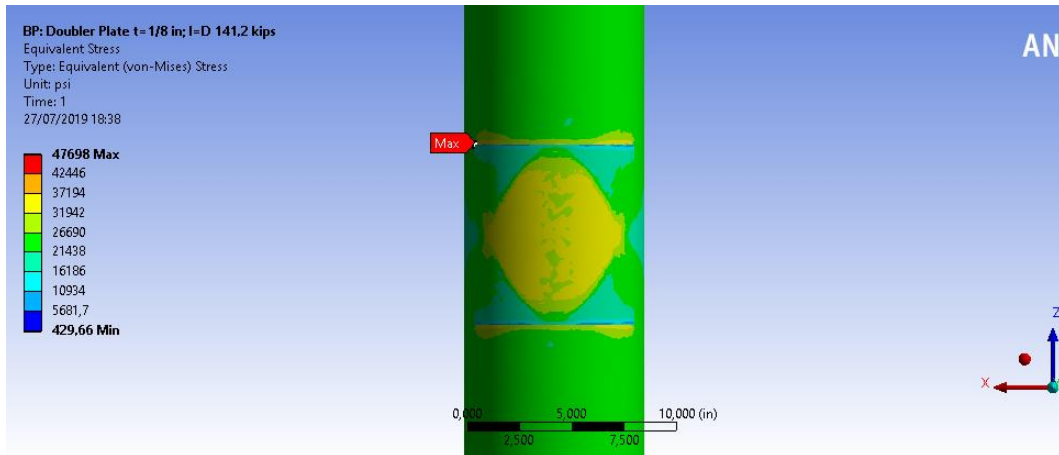
- Pinc = 267,22 kips



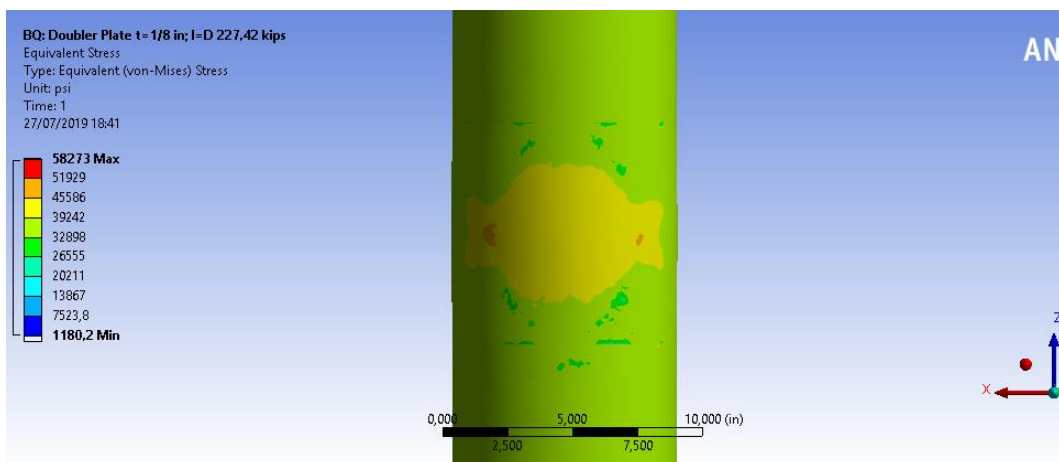
d. Variasi 4 (td = 1/8 in; ld = D)

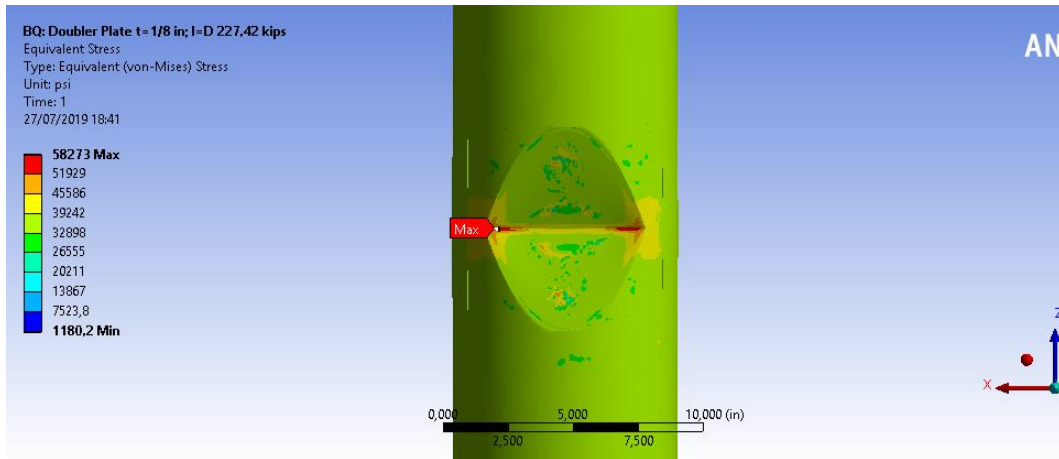
- Pinc = 141,2 kips



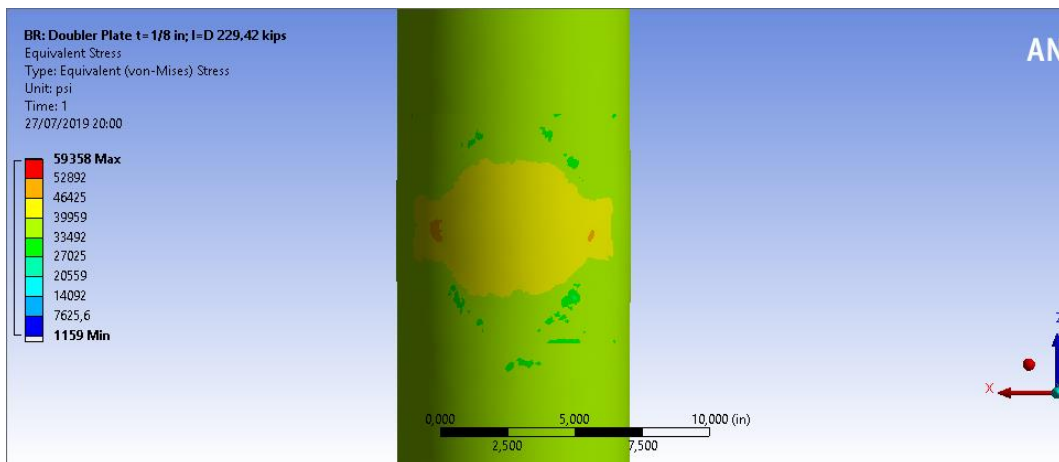
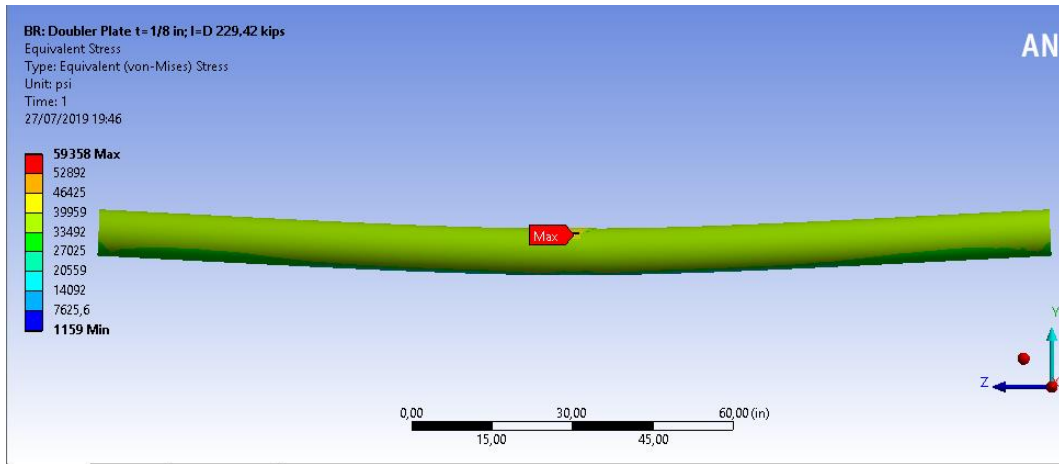


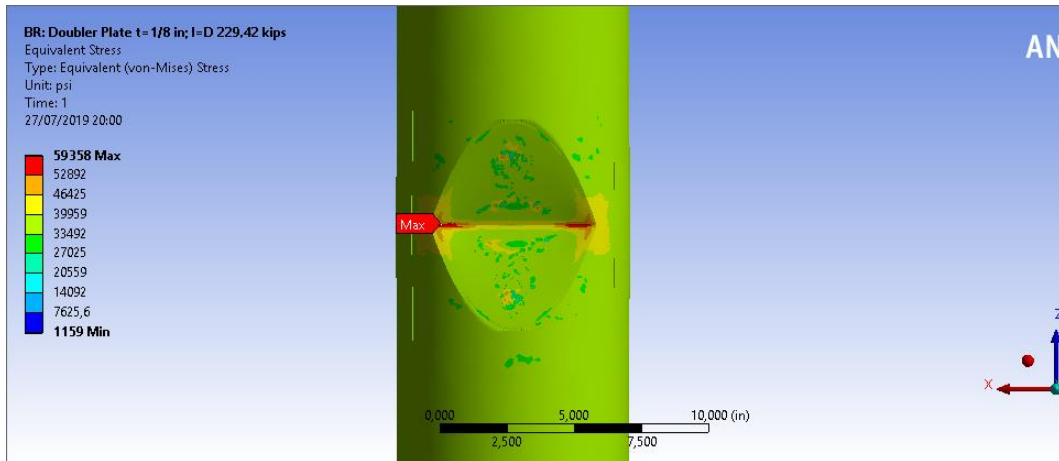
- Pinc = 227,42 kips



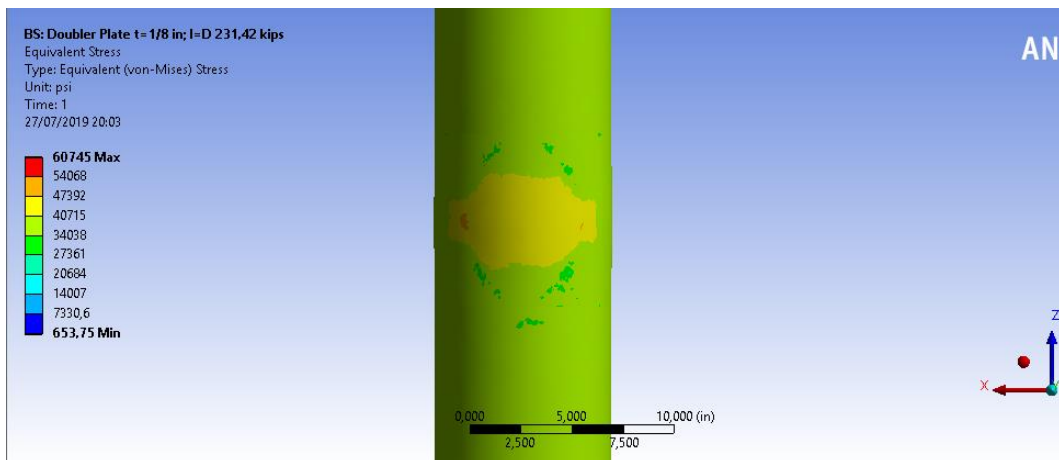
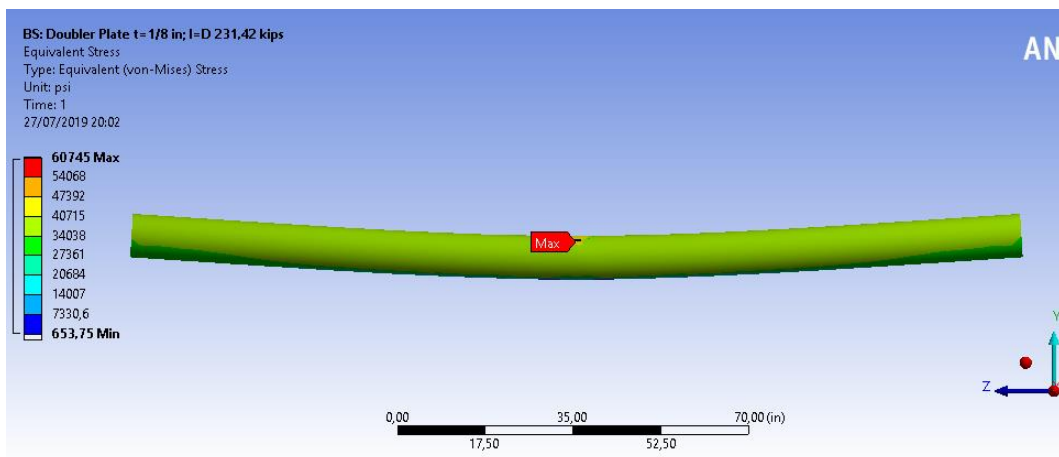


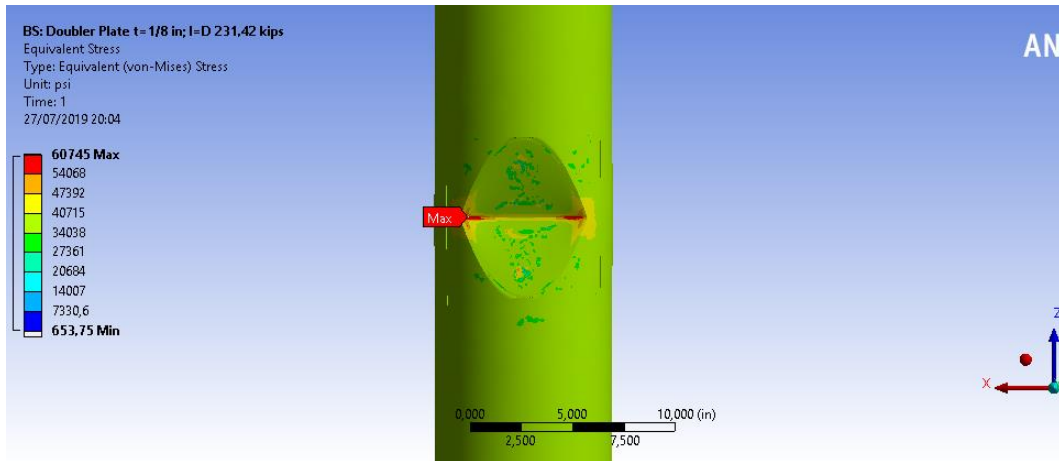
- Pinc = 229,42 kips



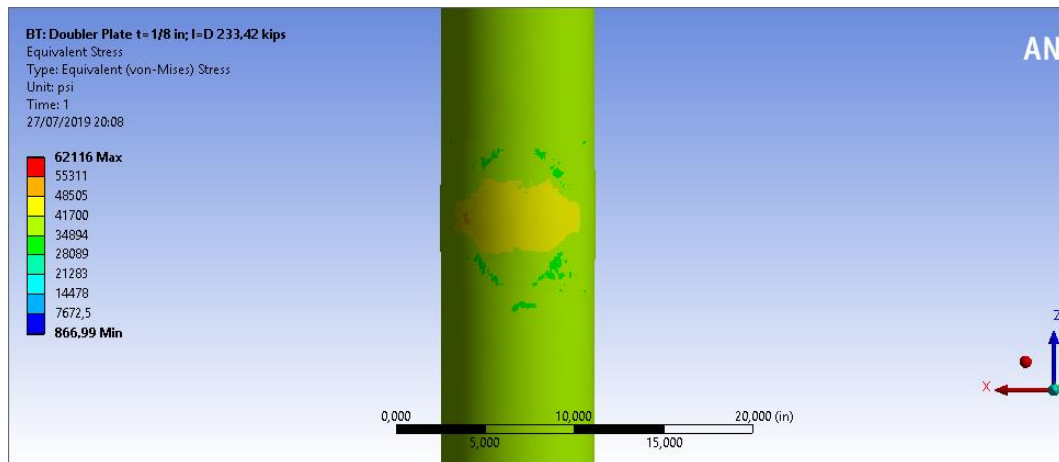
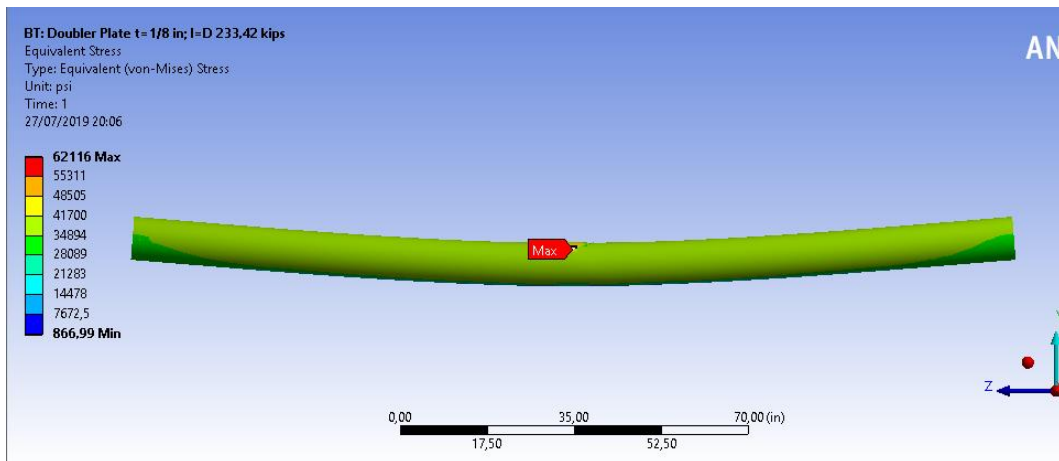


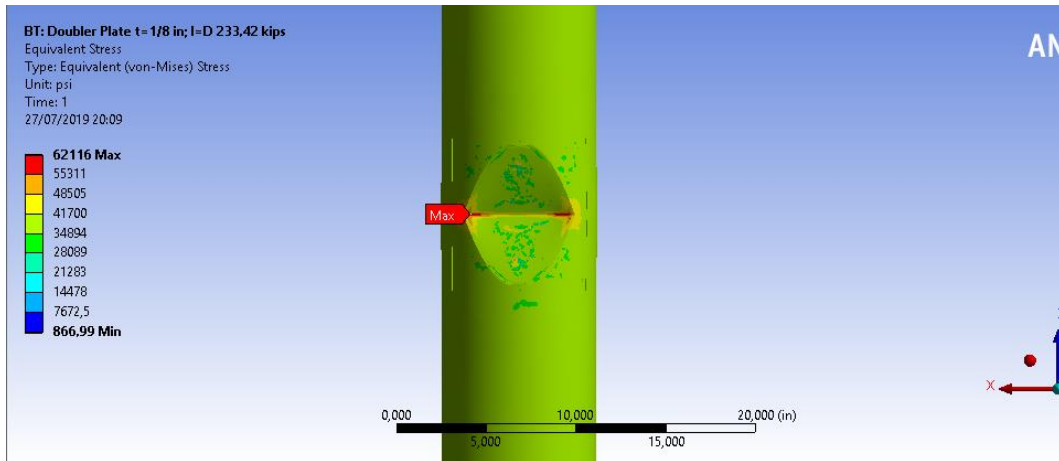
- Pinc = 231,42 kips



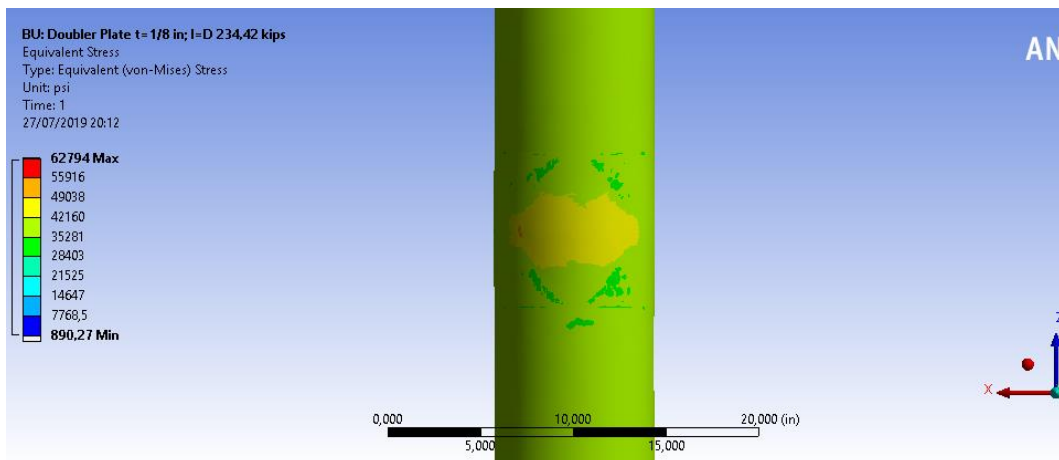
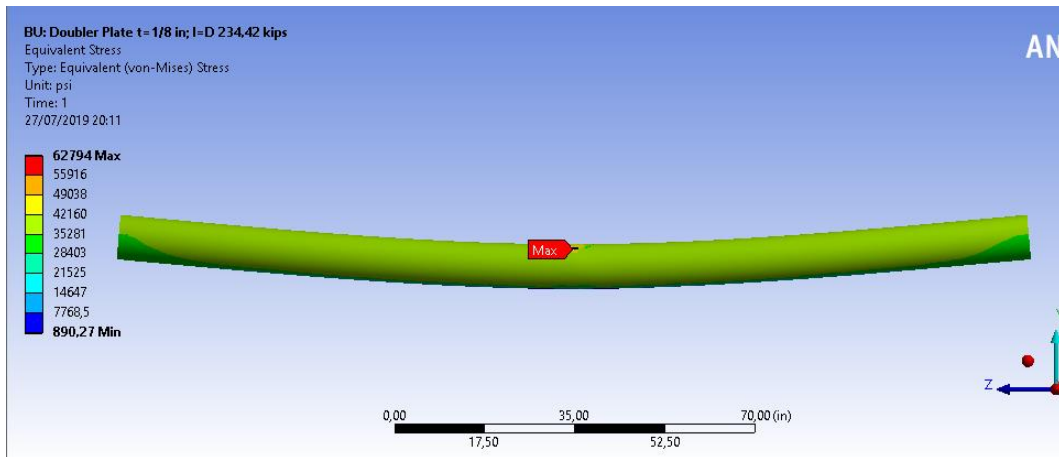


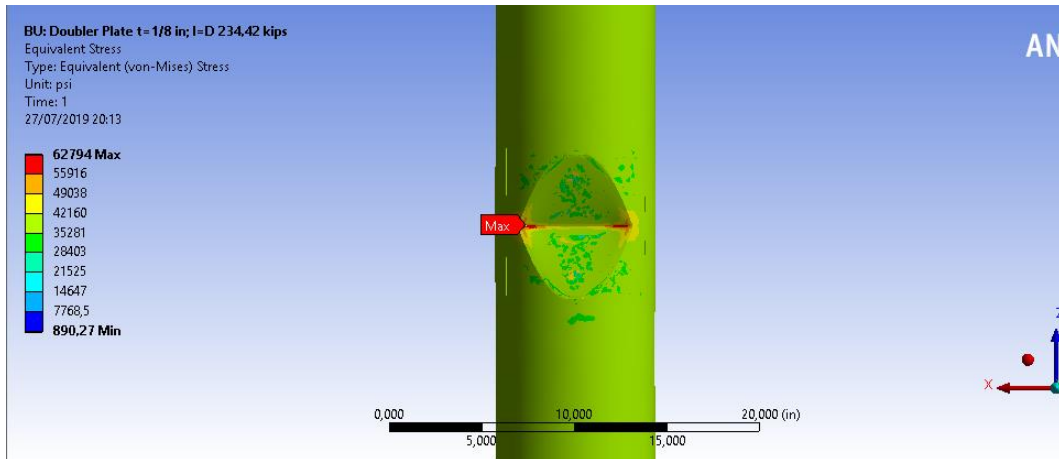
- Pinc = 233,42 kips



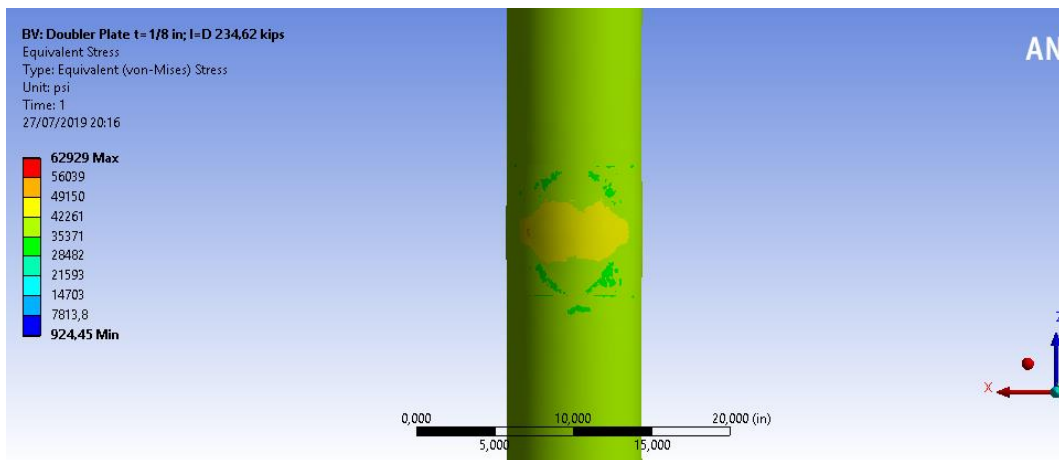
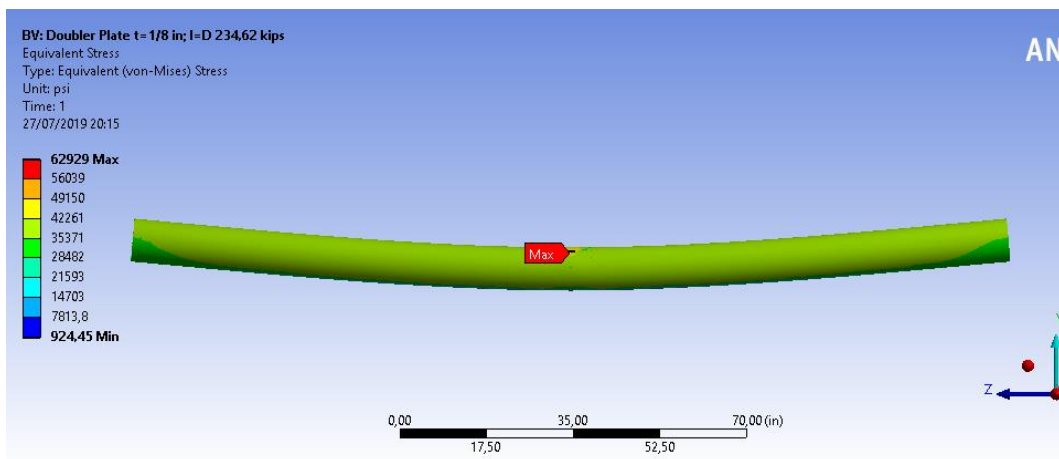


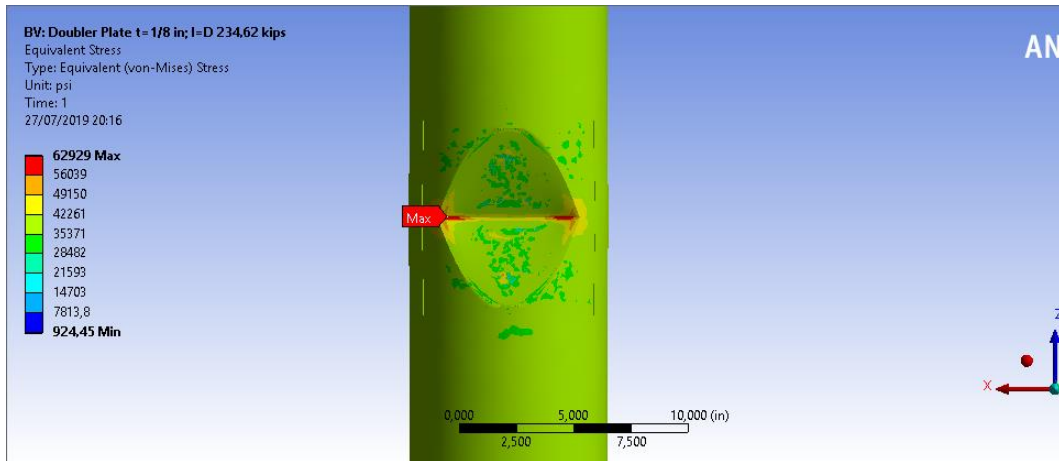
- Pinc = 234,42 kips



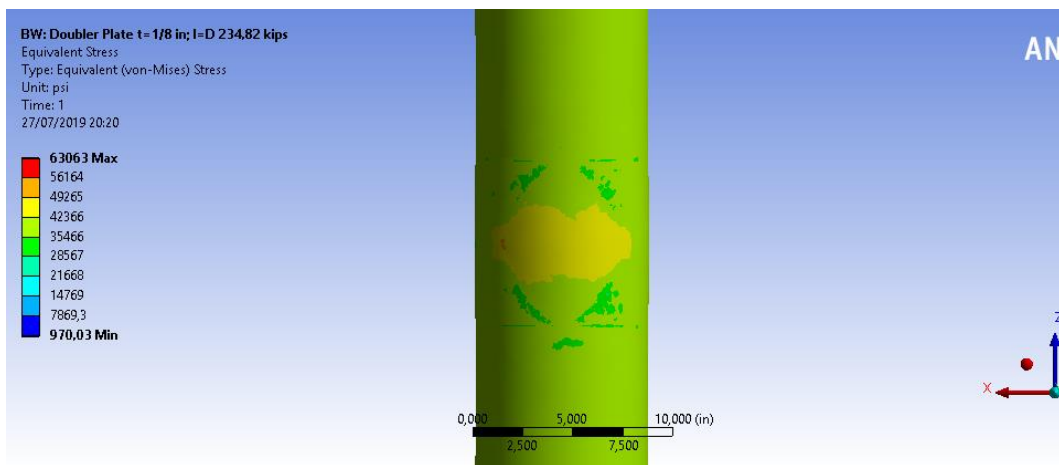
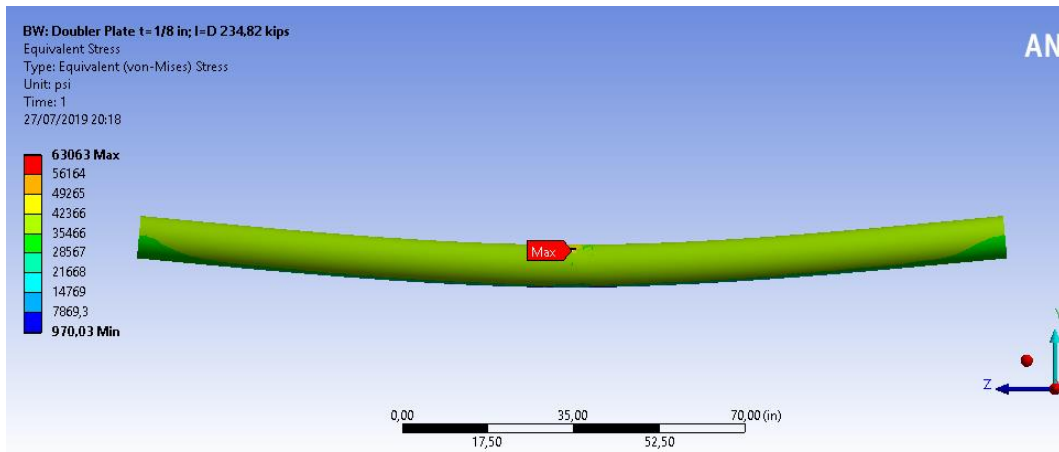


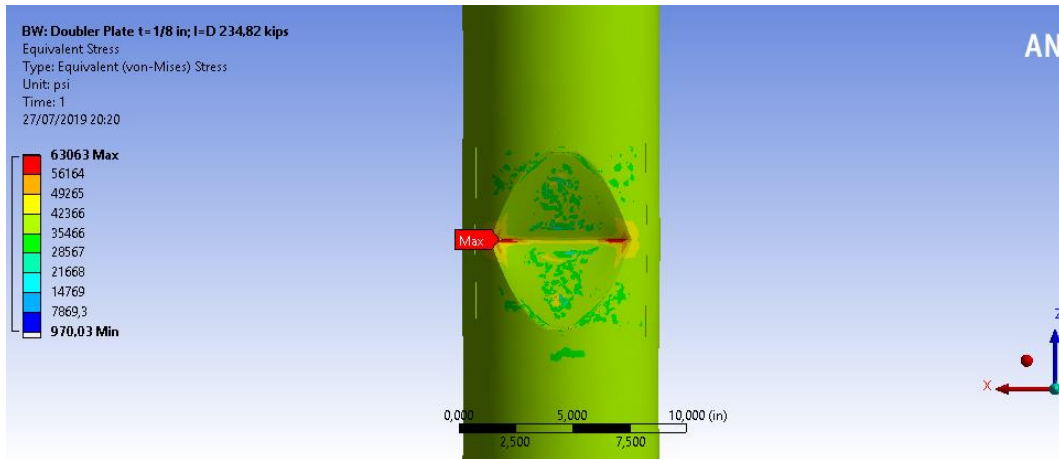
- Pinc = 234,62 kips



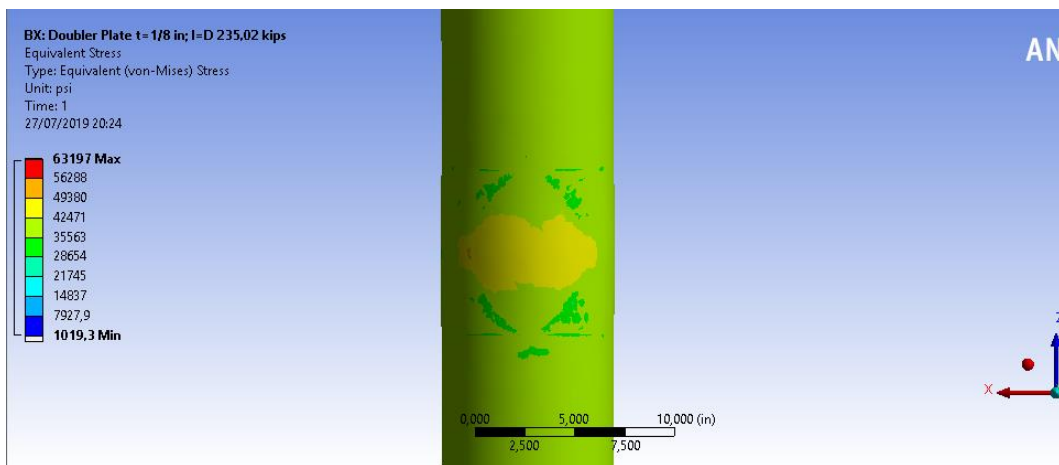
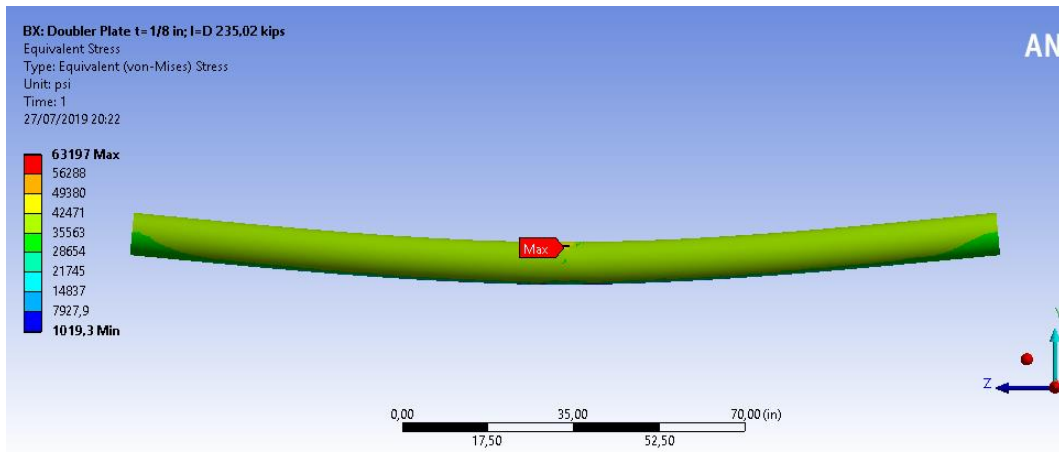


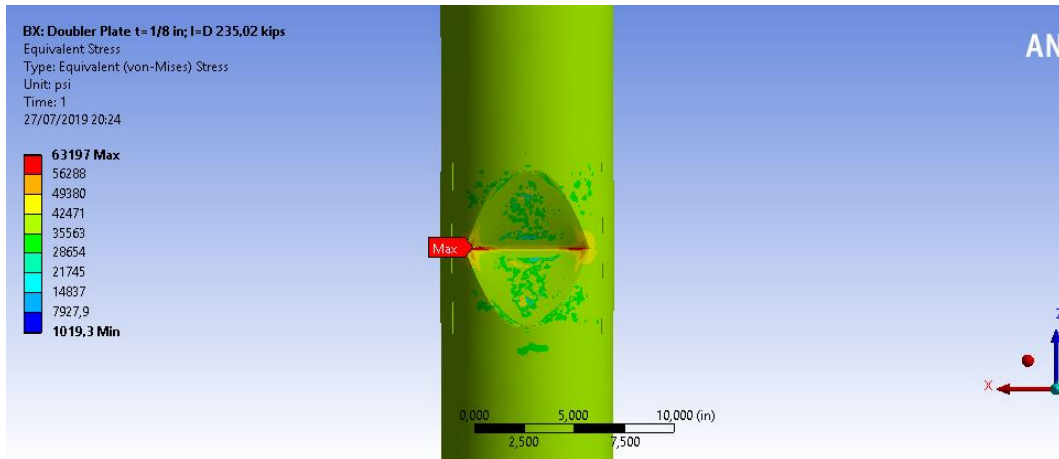
- Pinc = 234,82 kips



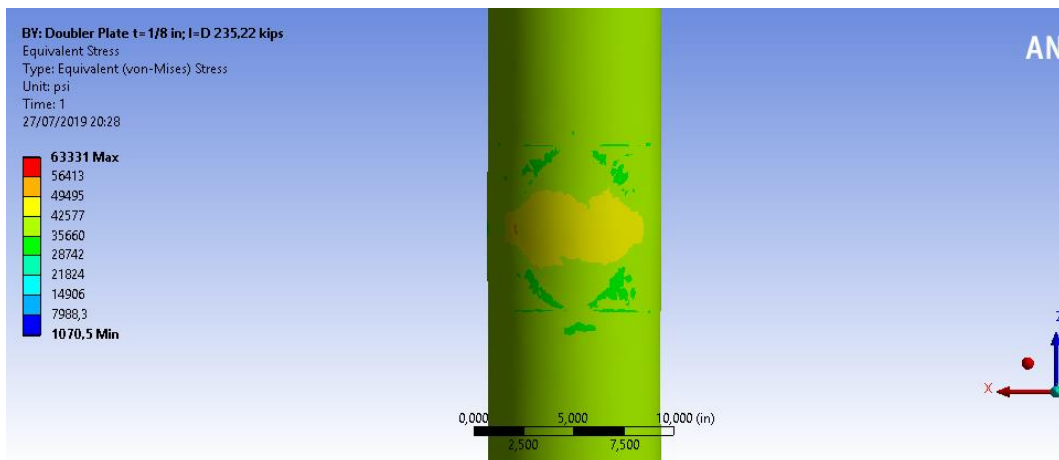
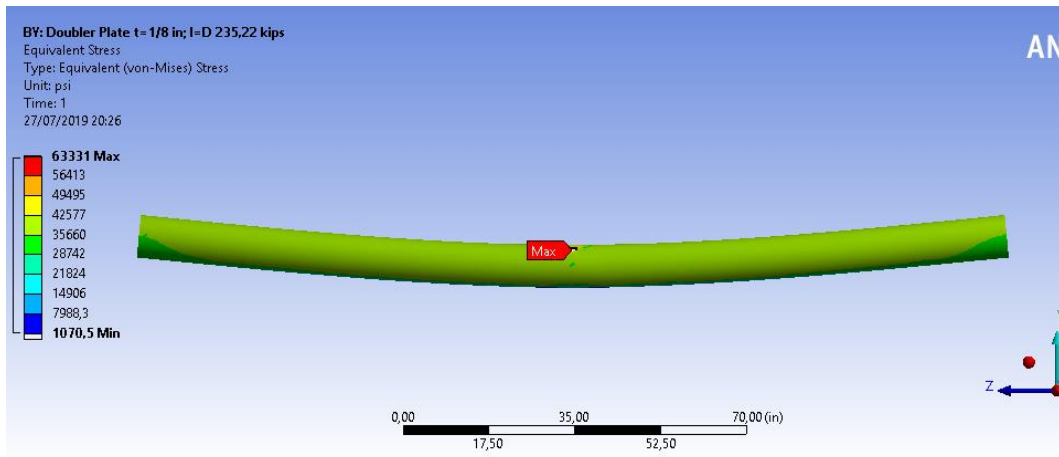


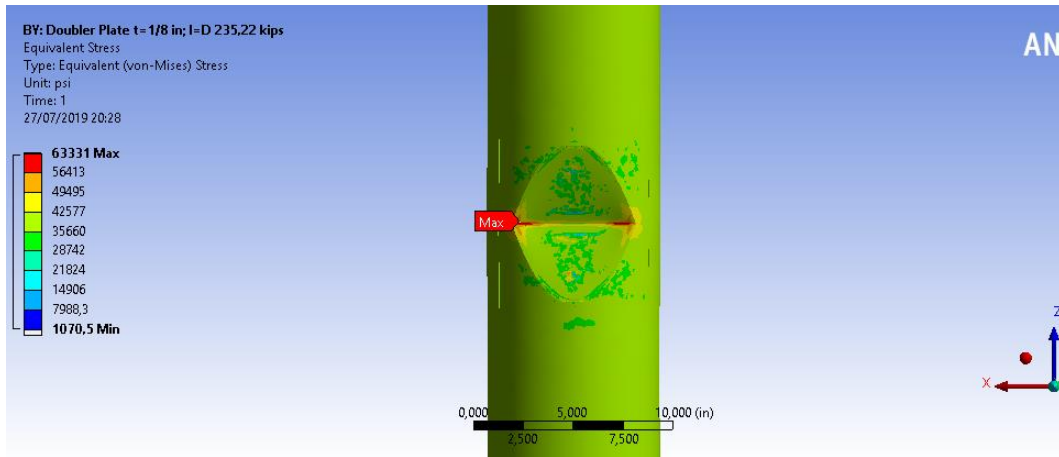
- Pinc = 235,02 kips



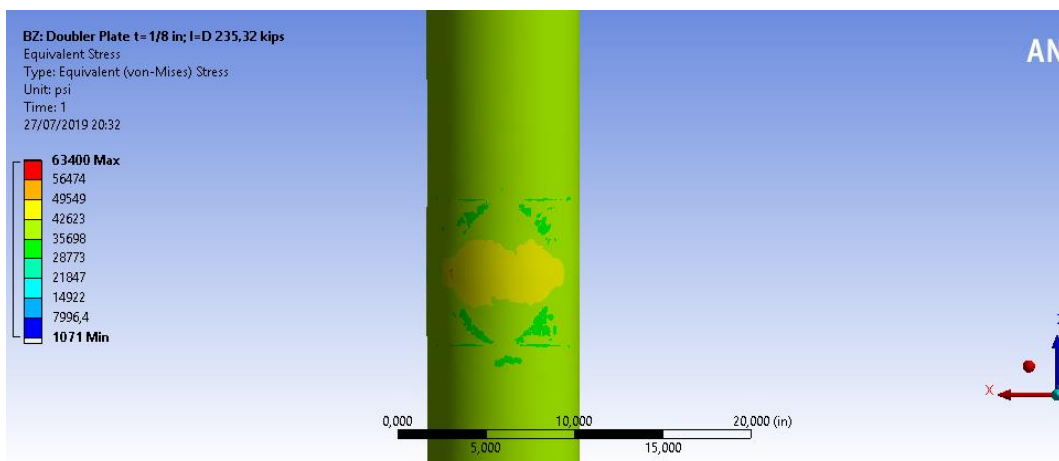
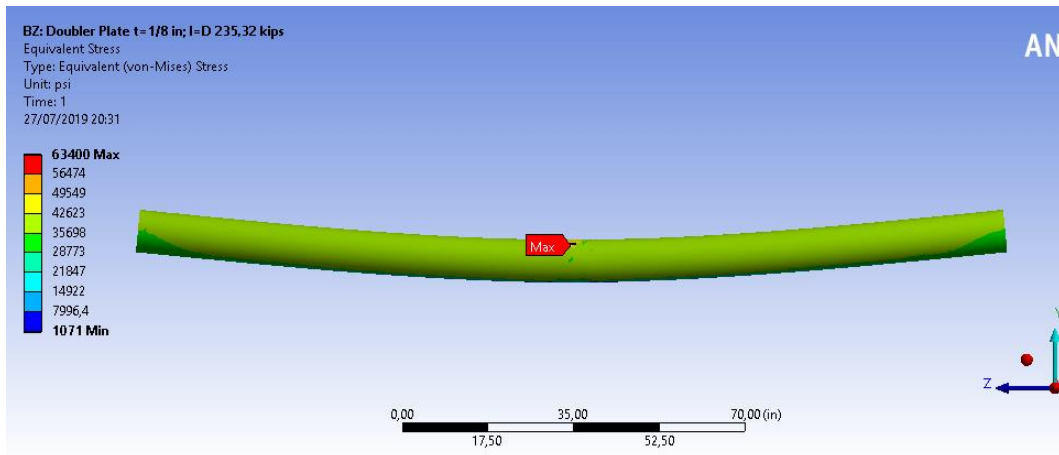


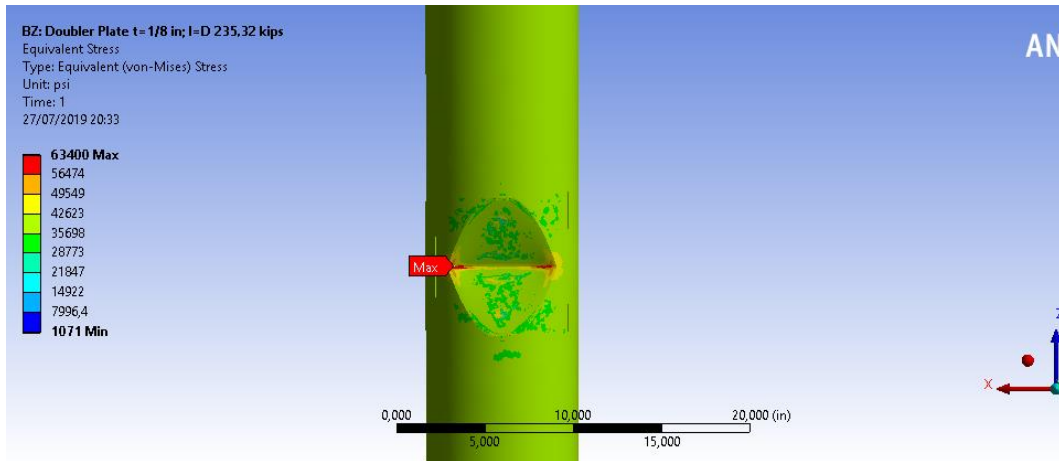
- Pinc = 235,22 kips



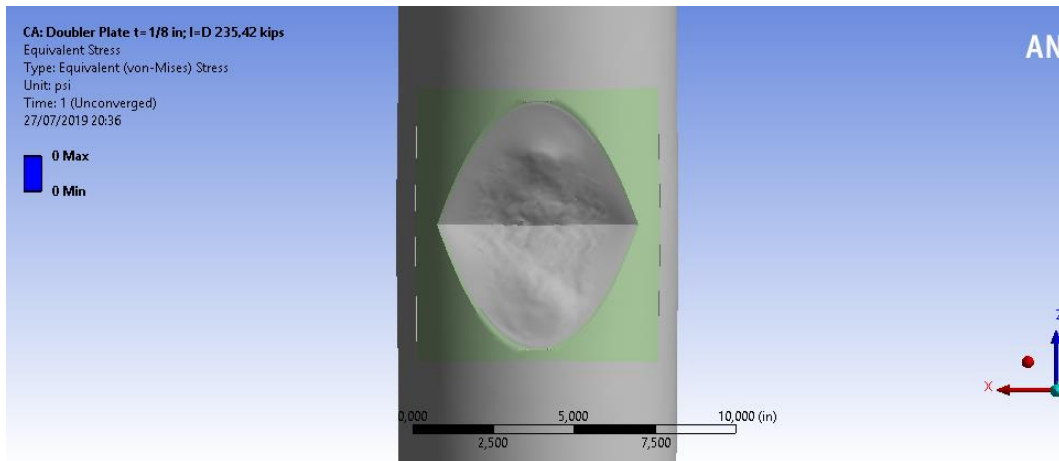


- Pinc = 235,32 kips





- Pinc = 235,42 kips



BIODATA PENULIS



Naufal Firaas, lahir di kota Malang, 23 September 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal selama 6 tahun di Sekolah Dasar Negeri Kauman 1 Malang. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 5 Malang, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Malang. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan Strata 1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SBMPTN. Selama kuliah penulis aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa serta kepanitiaan. Penulis pernah menjalani kerja praktek di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya selama 2 bulan. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir nya yang berjudul “Analisis Kapasitas *Ultimate Dented Tubular Member* Dengan Penambahan *Doubler Plate*” selama 1 semester sebagai syarat akhir kelulusan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan, yaitu Bidang Struktur Bangunan Lepas Pantai (*Offshore Structure*).

Email : naufalfiraas97@gmail.com