

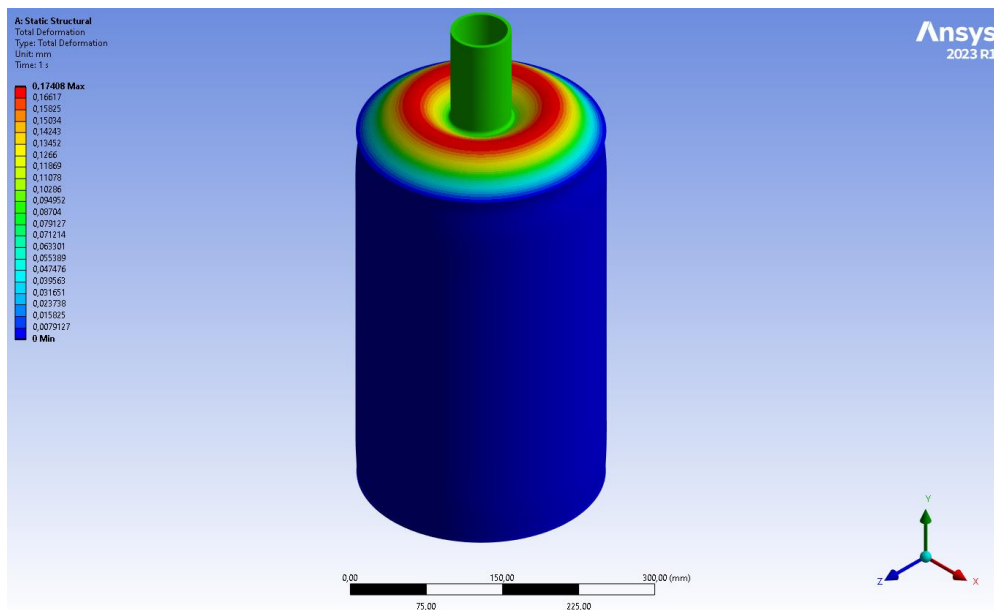
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

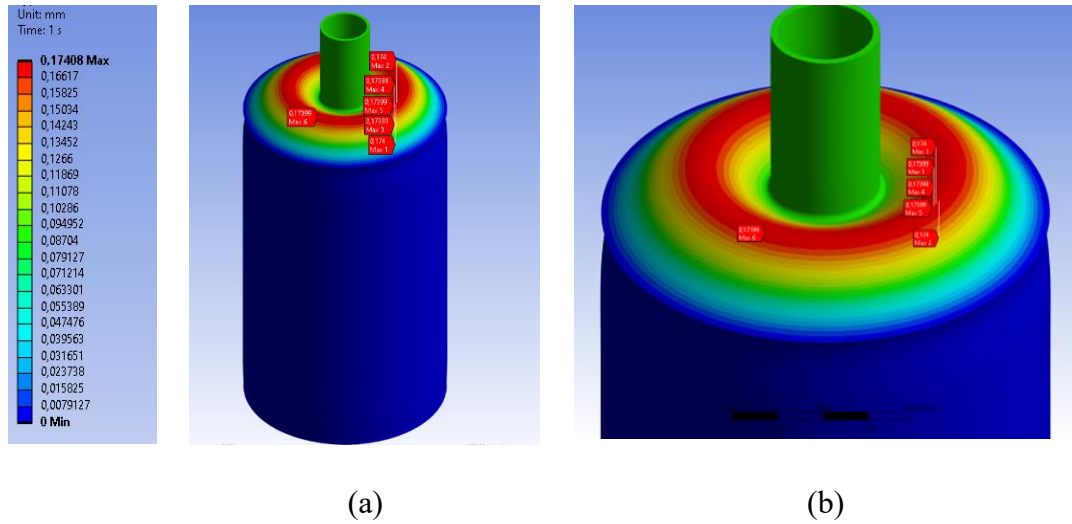
Fokus penelitian yang dilakukan yaitu analisis kekuatan struktur desain tabung *boiler laundry*. Analisis tersebut dilakukan dengan metode FEA menggunakan perangkat lunak Ansys dengan sistem analisis *Static Structural*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa hasil sesuai dengan *solution* yang telah dimasukkan, yaitu *Total Deformation*, *Equivalent Stress (von-Mises)*, *Normal Stress*, dan *Factor of Safety (FOS)*. Analisis dilakukan pada dua pembebanan yaitu tekanan 3 bar dan 6 bar. Hasil analisis tersebut selanjutnya dijabarkan pada pembahasan.

4.1 Analisis Kekuatan Struktur pada Tekanan 3 Bar

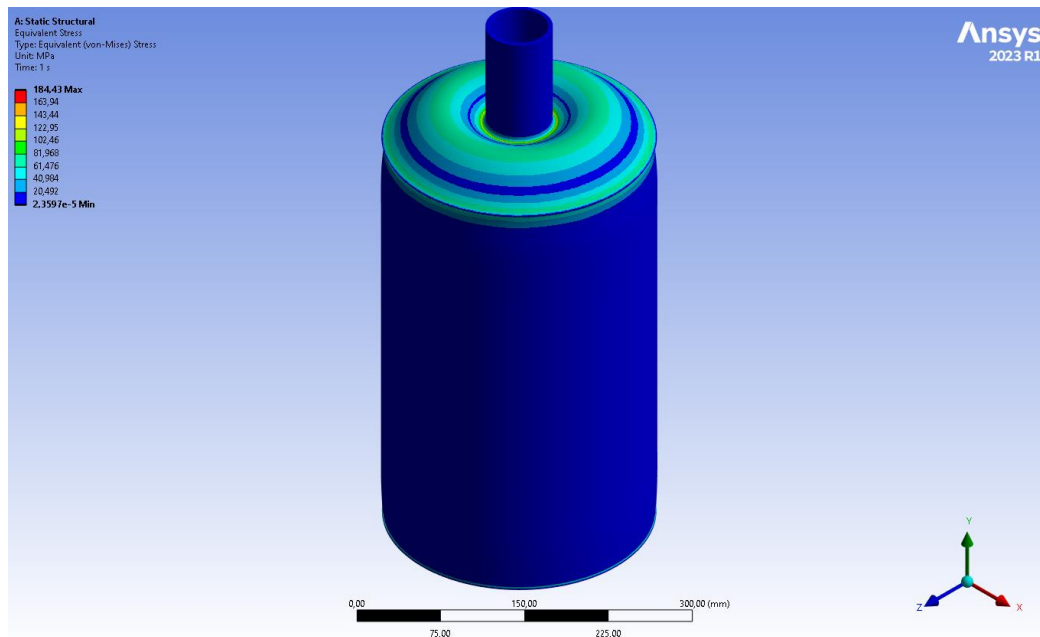
Hasil simulasi FEA pada kondisi 3 bar dapat diinterpretasikan dengan melihat hasil pada setiap *solution*. Berikut merupakan hasil dari simulasi FEA pada tekanan 3 bar.



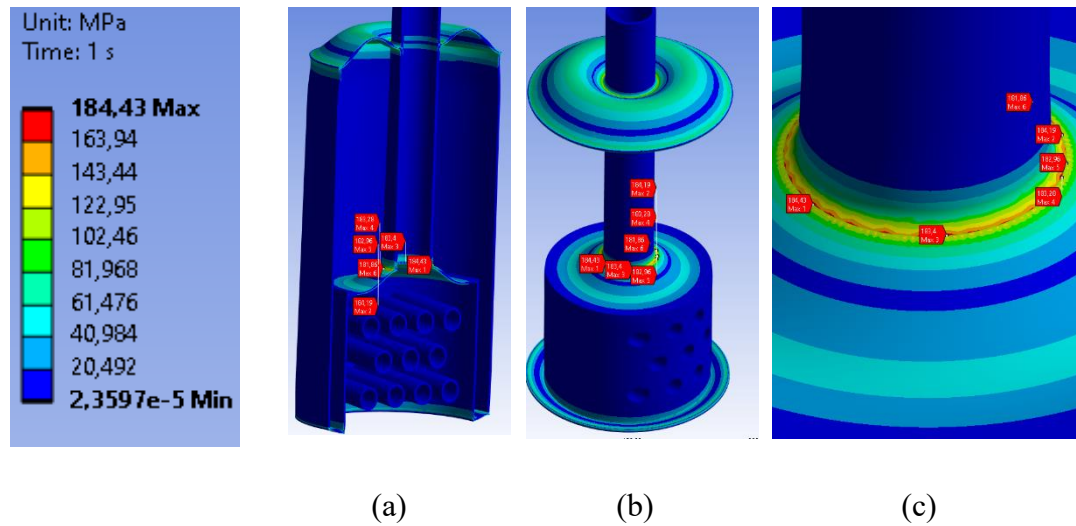
Gambar 4.1 *Total Deformation Boiler Tekanan 3 Bar*



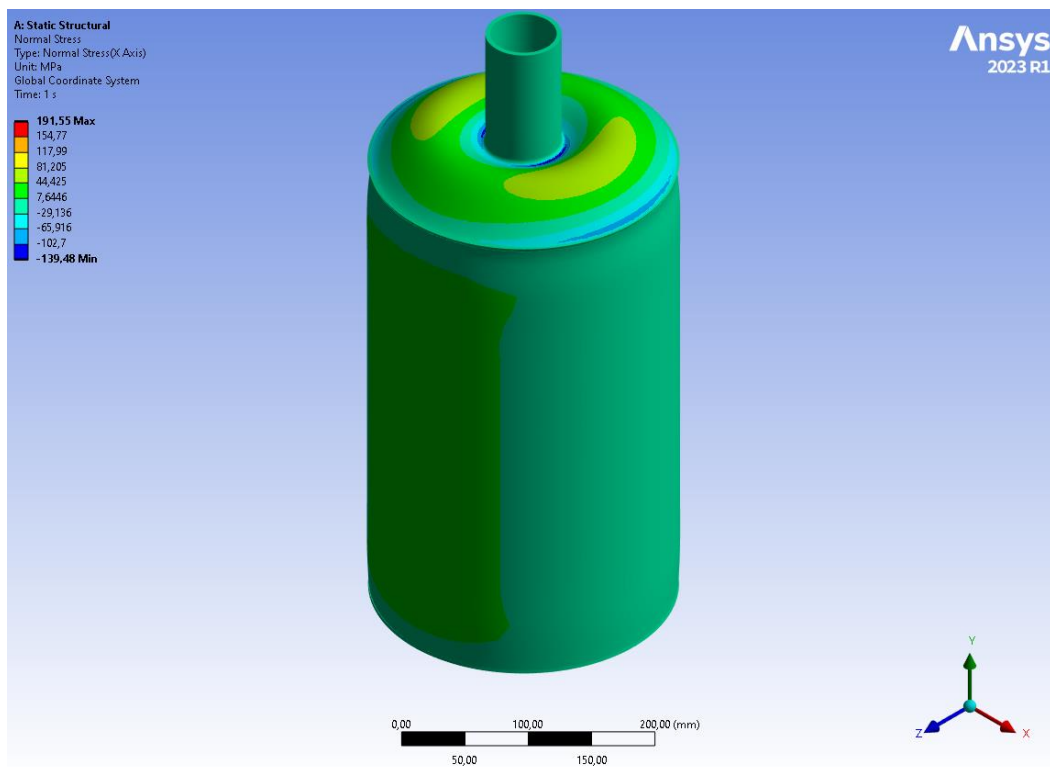
Gambar 4.2 Area Kritis *Total Deformation* (Letak Maksimum Deformasi) (a) Zoom Out Area Kritis *Total Deformation* (b) Zoom In Area Kritis *Total Deformation*



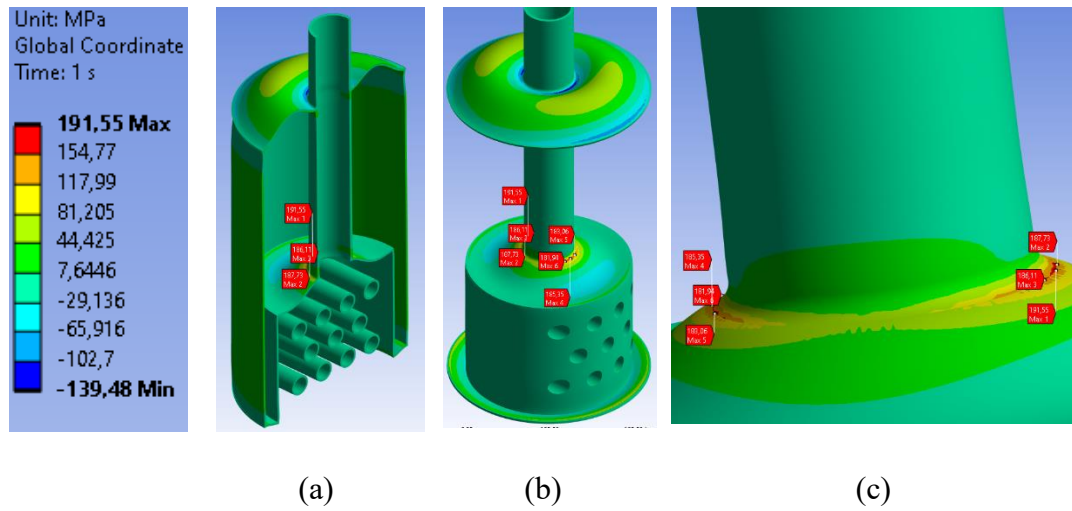
Gambar 4.3 *Equivalent Stress (von-Mises)* Boiler Tekanan 3 Bar



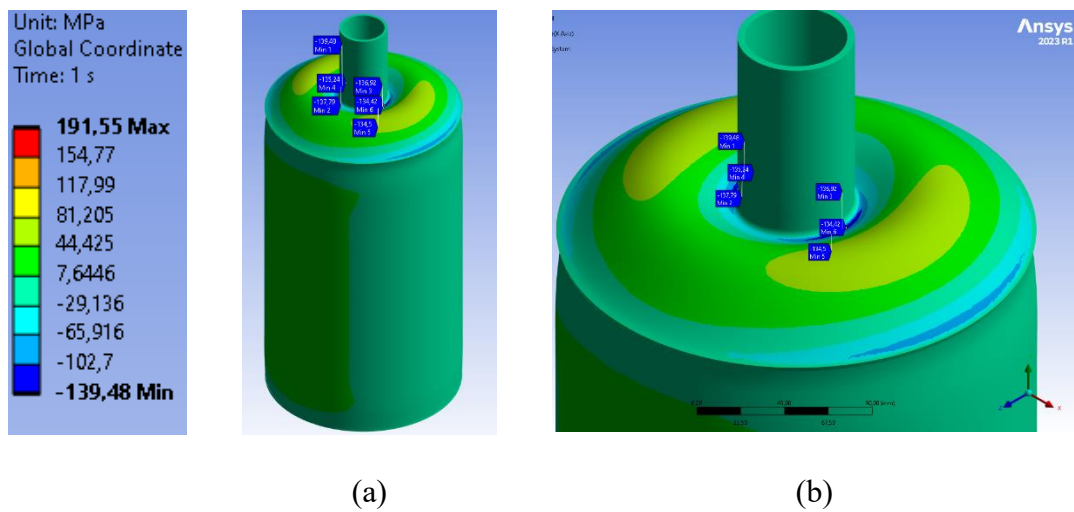
Gambar 4.4 Area Kritis (Letak Maksimum *Equivalent Stress*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis



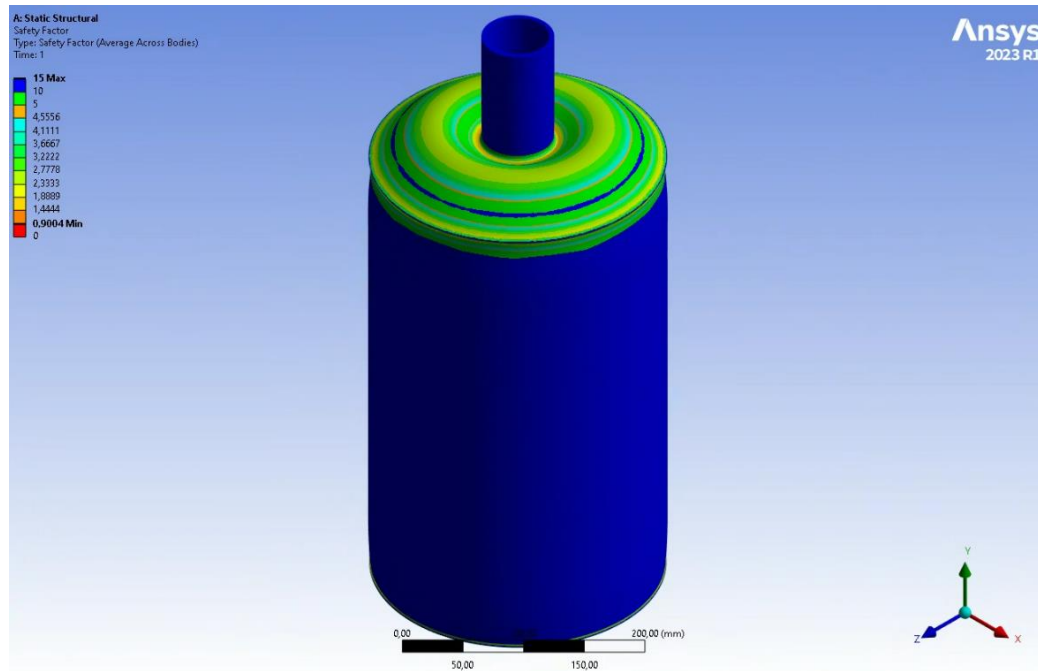
Gambar 4.5 *Normal Stress Boiler Tekanan 3 Bar*



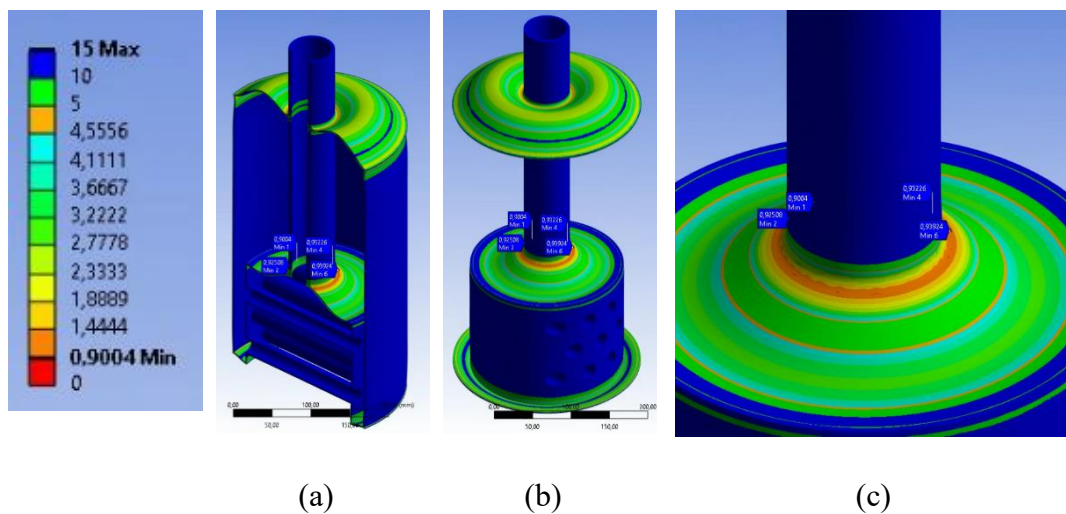
Gambar 4.6 Area Kritis Pertama (Letak Maksimum *Normal Stress*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis



Gambar 4.7 Area Kritis Kedua (Letak Minimum *Normal Stress*) (a) Zoom Out Area Kritis (b) Zoom In Area Kritis



Gambar 4.8 *Factor Of Safety* Tekanan 3 Bar



Gambar 4.9 Area Kritis (Letak Minimum *Factor Of Safety*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai Tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada struktur *boiler* ketika menerima tekanan sebesar 3 bar adalah 184,43 MPa ditunjukkan gambar 4.4. Nilai maksimum ini teridentifikasi pada area sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air yaitu area yang berwarna merah ditunjukkan pada gambar 4.4(c), area tersebut menjadi titik kritis akibat adanya

konsentrasi tegangan.

Berdasarkan nilai tegangan maksimum tersebut, maka dapat diperoleh nilai *Factor of Safety* (FOS) minimum yaitu 0,9004 ditunjukkan gambar 4.9. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan yang terjadi mendekati nilai kekuatan luluh (*Yield Strength*) pada suhu 371°C material pipa api yang sebesar 173 MPa. Ini mengindikasikan bahwa pada kondisi kerja normal, struktur sudah berada pada batas kegagalan luluh.

Pada hasil simulasi juga menunjukkan nilai Tegangan Normal dengan maksimum (Tegangan Tarik) +191,55 MPa yang terjadi pada area sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air ditunjukkan gambar 4.6. Kedua hasil tegangan ini secara konsisten menunjukkan bahwa lokasi kritis dengan tegangan tertinggi di area yang sama yaitu sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air. Selain tegangan tarik, pada nilai Tegangan Normal juga menunjukkan adanya Tegangan Normal minimum (Tegangan Tekan) sebesar -139,48 MPa pada sambungan pipa api dengan *top head* ditunjukkan gambar 4.7.

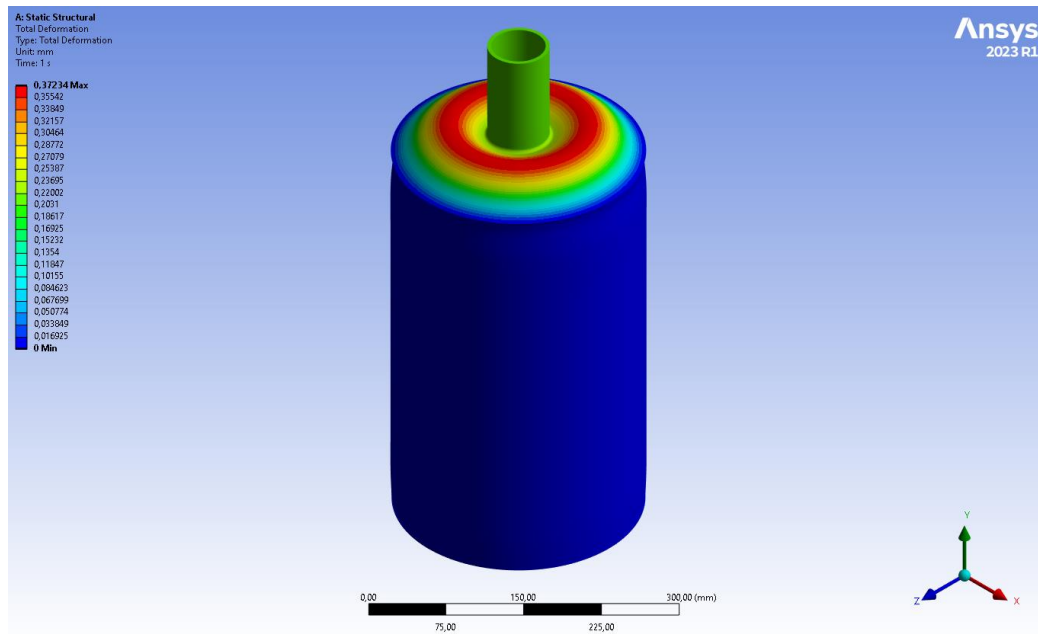
Hasil simulasi juga menunjukkan nilai deformasi maksimum yaitu 0,17408 mm yang berada pada bagian tengah dari tutup atas (*top head*) yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Area ini mengalami deformasi paling besar karena merupakan area yang paling jauh dari tumpuan kaku pada sambungan, sehingga sangat bebas untuk melengkung ke luar (menggembung) akibat tekanan internal.

Besaran deformasi sebesar 0,17408 mm tergolong sangat kecil dan mengindikasikan bahwa struktur *boiler* memiliki kekakuan yang tinggi. Dengan nilai ini, dapat mengindikasikan bahwa pada kondisi operasional normal, *boiler* tidak akan mengalami perubahan bentuk yang signifikan yang dapat mempengaruhi fungsi atau

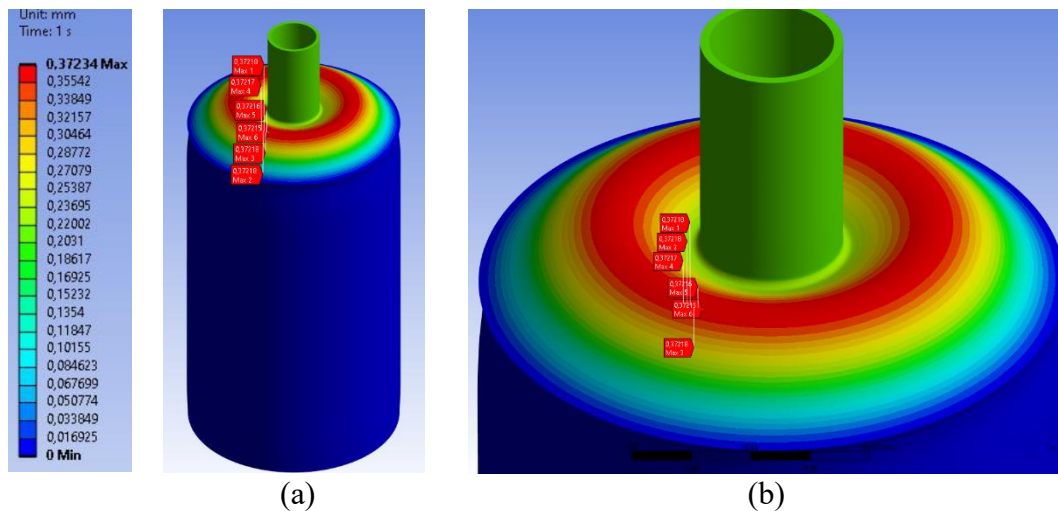
strukturalnya.

4.2 Analisis Kekuatan Struktur pada Tekanan 6 Bar

Hasil simulasi FEA pada kondisi 6 bar dapat diinterpretasikan dengan melihat hasil pada setiap *solution*. Berikut merupakan hasil dari simulasi FEA pada tekanan 6 bar.

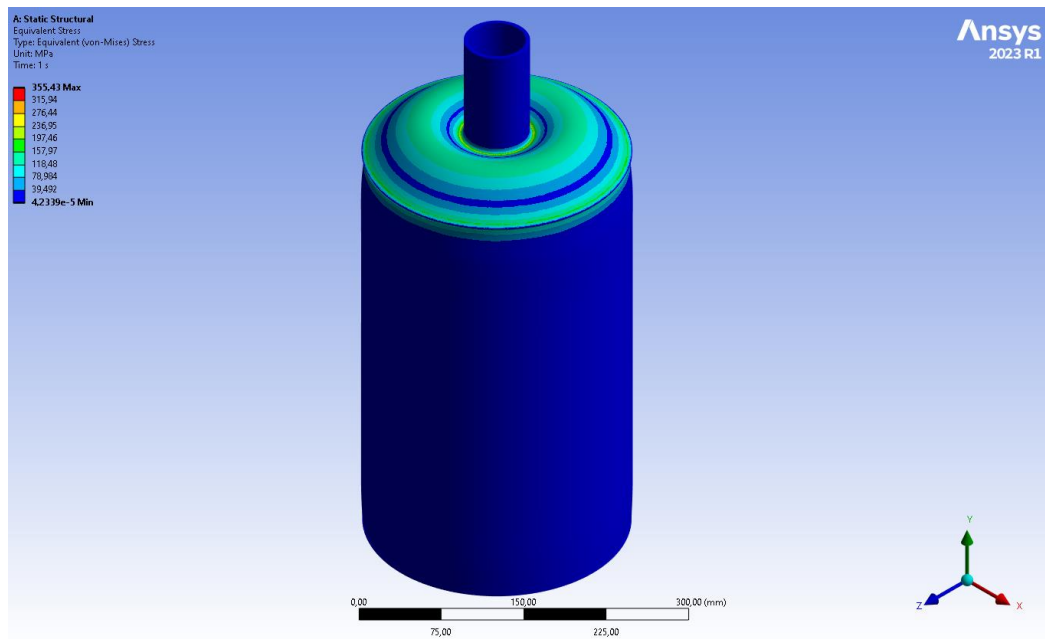


Gambar 4.10 *Total Deformation Boiler Tekanan 6 Bar*

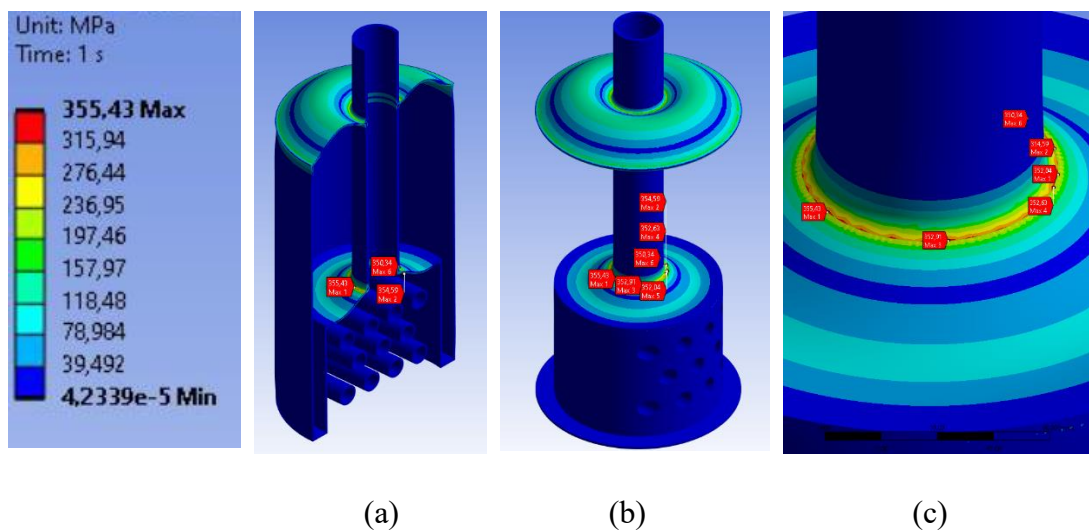


Gambar 4.11 *Area Kritis Total Deformation (Letak Maksimum Deformasi) (a)*

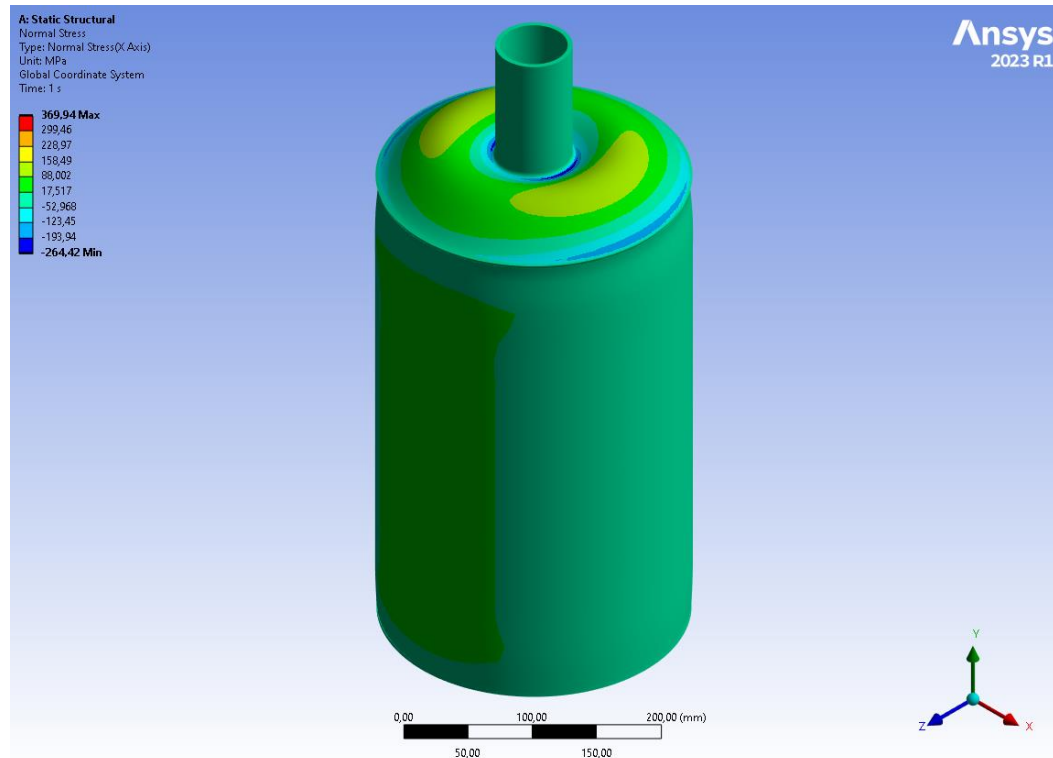
Zoom Out Area Kritis (b) Zoom In Area Kritis



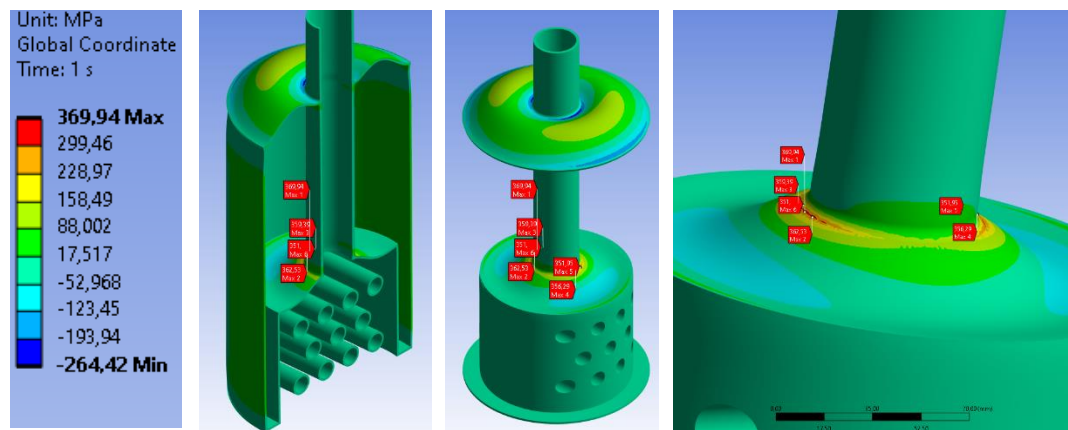
Gambar 4.12 *Equivalent Stress (von-Mises) Boiler Tekanan 6 Bar*



Gambar 4.13 Area Kritis (Letak Maksimum *Equivalent Stress*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis



Gambar 4.14 *Normal Stress Boiler Tekanan 6 Bar*

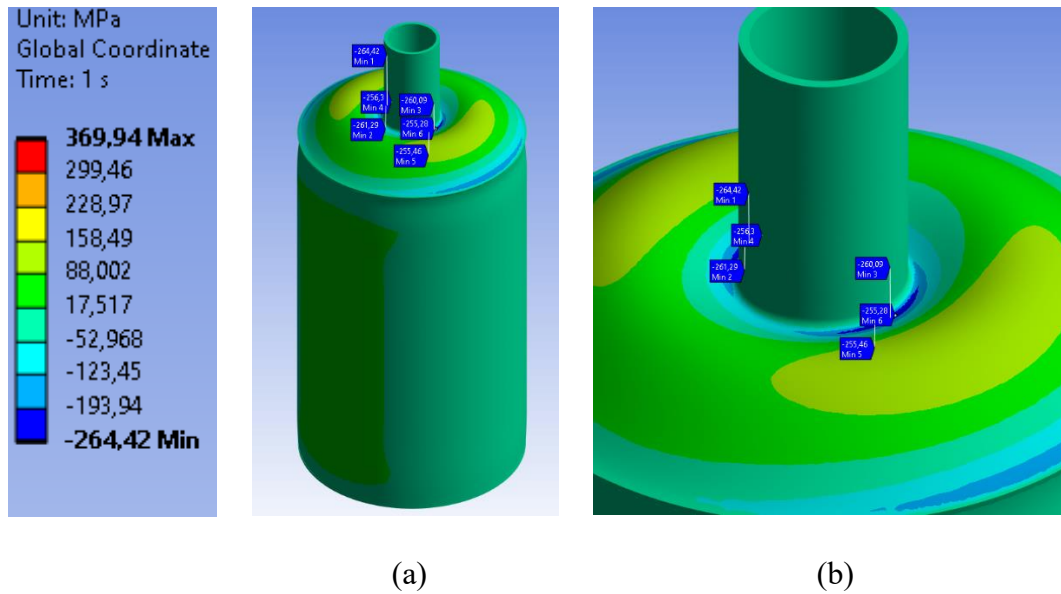


(a)

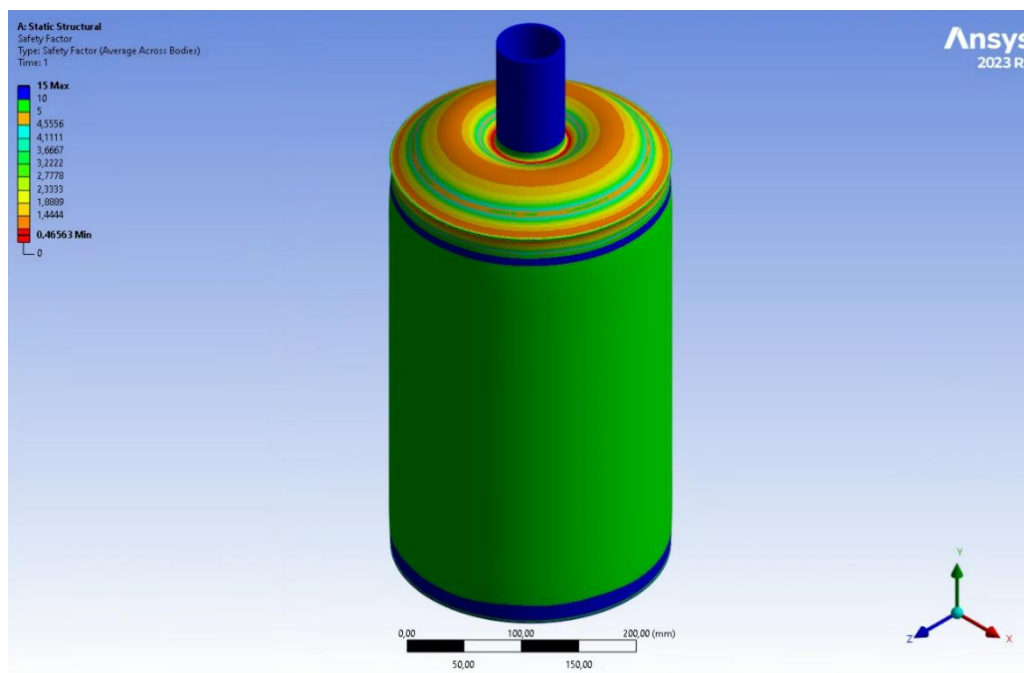
(b)

(c)

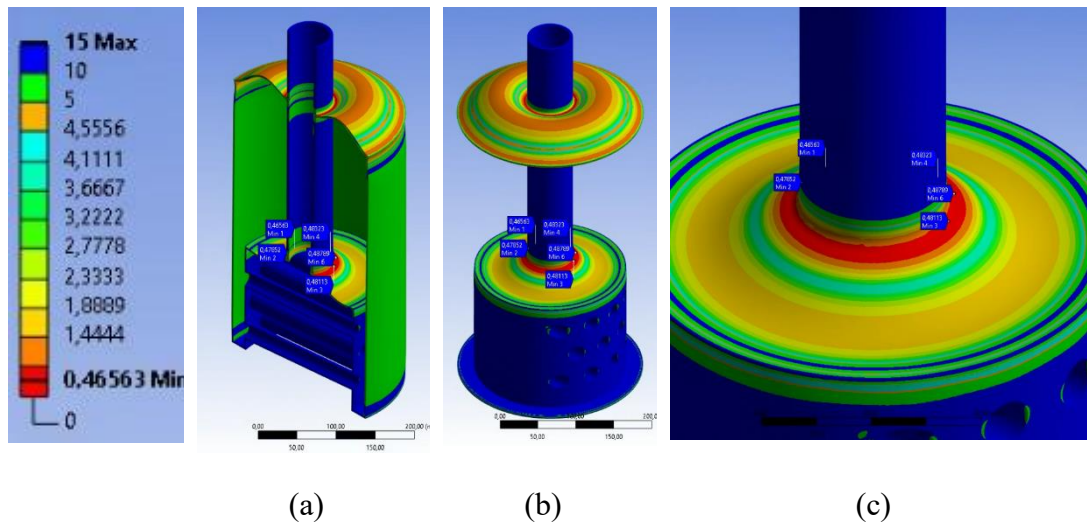
Gambar 4.15 Area Kritis Pertama (Letak Maksimum *Normal Stress*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis



Gambar 4.16 Area Kritis Kedua (Letak Minimum *Normal Stress*) (a) Zoom Out Area Kritis (b) Zoom In Area Kritis



4.17 *Factor Of Safety* Tekanan 6 Bar



Gambar 4.18 Area Kritis (Letak Minimum *Factor Of Safety*) (a) Potongan Area Kritis (b) Zoom Out Area Kritis (c) Zoom In Area Kritis

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi berlebih, nilai Tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada struktur *boiler* ketika menerima tekanan sebesar 6 bar meningkat sangat drastis yaitu sebesar 355,43 MPa ditunjukkan gambar 4.13. Nilai maksimum ini teridentifikasi pada area sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air yaitu area yang berwarna merah ditunjukkan pada gambar 4.13(c), area tersebut menjadi titik kritis akibat adanya konsentrasi tegangan.

Berdasarkan nilai tegangan maksimum tersebut, maka dapat diperoleh nilai *Factor of Safety* (FOS) minimum yaitu 0,46563 ditunjukkan gambar 4.18. Hal tersebut menunjukkan nilai *Factor of Safety* (FOS) minimum juga mengalami penurunan yang sangat signifikan. Dikarenakan nilai $FOS < 1$, maka pada kondisi tekanan 6 bar, desain boiler ini diprediksi akan mengalami kegagalan struktural yaitu deformasi plastis permanen atau patah pada titik kritisnya.

Pada hasil simulasi juga menunjukkan nilai Tegangan Normal dengan maksimum (Tegangan Tarik) +369,94 MPa yang terjadi pada area sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air ditunjukkan gambar 4.15. Kedua hasil tegangan

ini masih secara konsisten menunjukkan lokasi kritis dengan tegangan tertinggi di area yang sama yaitu sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air. Selain tegangan tarik, pada nilai Tegangan Normal juga menunjukkan adanya Tegangan Normal minimum (Tegangan Tekan) sebesar -264,42 MPa pada sambungan pipa api dengan *top head* ditunjukkan gambar 4.16.

Pada tekanan 6 bar juga menunjukkan nilai deformasi maksimum yang lebih besar yaitu 0,37234 mm yang masih sama letaknya berada pada bagian tengah dari tutup atas (*top head*) yang ditunjukkan pada gambar 4.11. Area ini mengalami deformasi paling besar karena merupakan area yang paling jauh dari tumpuan kaku pada sambungan, sehingga sangat bebas untuk melengkung ke luar (menggembung) akibat tekanan internal.

Dengan besaran deformasi sebesar 0,37234 mm meskipun masih tergolong sangat kecil, tetapi dari peningkatan nilai ini menunjukkan kemungkinan lebih besar dapat terjadi perubahan bentuk pada struktur *boiler*. Peningkatan nilai deformasi ini konsisten dengan peningkatan beban tekanan yang mengindikasikan bahwa struktur merespon secara linear terhadap penambahan beban.

4.3 Perbandingan Hasil Simulasi

Hasil analisis kekuatan struktur dari kedua pembebanan tekanan yang berbeda, selanjutnya dilakukan perbandingan. Hal ini bertujuan untuk memahami respon struktur *boiler* pada kondisi operasional normal yaitu 3 bar dan pada kondisi beban berlebih yaitu 6 bar, serta untuk mengetahui batas keamanan desain. Table 4.1 menunjukkan hasil dari analisis kekuatan struktur dari kedua pembebanan.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi FEA Geometri *Boiler Laundry*

Hasil Analisis	Tekanan 3 Bar	Tekanan 6 Bar
<i>Equivalent Stress (von-Mises)</i>	184,43 MPa	355,43 MPa
<i>Normal Stress Maksimum</i> (Tegangan Tarik)	+191,55 MPa	+369,94 MPa
<i>Normal Stress Minimum</i> (Tegangan Tekan)	-139,48 MPa	-264,42 MPa
<i>Deformasi Total</i>	0,17408 mm	0,37234 mm
<i>Factor of Safety (FOS)</i>	Minimum 0,9004	Minimum 0,46563

Perbandingan hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan tekanan dari 3 bar menjadi 6 bar menyebabkan semua nilai analisis struktur meningkat secara signifikan, mendekati dua kali lipat yang mengindikasikan perilaku material yang linear. Nilai tegangan *von-Mises* maksimum meningkat dari 184,43 MPa menjadi 355,43 MPa. Nilai pada tekanan 6 bar telah jauh melampaui nilai kekuatan luluh (*Yield Strength*) pada suhu 371°C material pipa api yang sebesar 173 MPa, yang mengindikasikan terjadinya kegagalan. Lokasi tegangan maksimum pada kedua scenario tetap konsisten, yaitu pada area sambungan antara pipa api dengan surface atas pipa air.

Pada analisis tegangan normal memberikan pemahaman mengenai kondisi di titik kritis. Tegangan normal maksimum (tegangan tarik) meningkat dari +191,55 MPa menjadi +369,94 MPa, sementara tegangan normal minimum (tegangan tekan)

meningkat dari -139,48 MPa menjadi -264,42 MPa.

Nilai FOS yang dihasilkan pada tekanan 3 bar, FOS minimum yaitu 0,9004 yang menunjukkan struktur berada pada batas keamanan. Ketika tekanan ditingkatkan menjadi 6 bar, nilai FOS turun drastis menjadi 0,46563. Nilai FOS ini mengindikasikan bahwa desain *boiler* akan mengalami kegagalan struktural pada kondisi beban berlebih. Deformasi yang terjadi juga meningkat secara proporsional dari 0,17408 mm menjadi 0,37234 mm sejalan dengan peningkatan beban.