

Analisis Numeric Stress Struktural Kekuatan Bahan Tanki Reactor Beserta Pipa Reactor menggunakan Software Autodesk Inventor dan Hexagon Caesar II

I Made Rai Gunawan^{1, *}, Eko Yohanes Setyawan¹.

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Analisis Stress
Tanki Reactor
Pipa Reactor

ABSTRAK

Perancangan dan analisis kekuatan bahan pada struktur tanki reaktor serta pipa reaktor merupakan langkah penting untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stress struktural pada material tanki reaktor dan pipa reaktor menggunakan dua perangkat lunak, yaitu Autodesk Inventor untuk simulasi mekanik 3D dan Hexagon Caesar II untuk analisis tegangan pipa. Metode penelitian melibatkan pemodelan geometris tanki reaktor dan pipa reaktor menggunakan Autodesk Inventor, diikuti dengan analisis elemen hingga (FEA) untuk menentukan distribusi tegangan pada struktur. Selanjutnya, analisis tekanan termal dan mekanis pada sistem perpipaan dilakukan menggunakan Hexagon Caesar II untuk mengidentifikasi potensi kegagalan akibat beban operasi. Parameter yang dianalisis mencakup tegangan maksimum, deformasi, dan faktor keamanan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua perangkat lunak memberikan hasil yang komplementer dalam mengidentifikasi distribusi stress dan potensi kerusakan pada struktur yaitu analisis pada tanki reaktor menunjukkan Von Mises dengan hasil : 137.357 MPa, yang masih di bawah tegangan luluh material ($\sigma_y = 205$ MPa), dan untuk analisis pada pipa reaktor menunjukan Von Mises dengan hasil "90,631 Mpa" , jauh di bawah batas tegangan luluh material (140 MPa).

* Corresponding author:

I Made Rai Gunawan (gunawanrai4@gmail.com)

Diterima: 14 Maret 2025

Disetujui: 23 Mei 2025

Dipublikasikan: 11 November 2025

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi rekayasa telah berperan penting dalam desain dan analisis struktur mekanik di PT Allnex Resins Indonesia, khususnya dalam penggunaan tangki dan pipa reaktor yang berfungsi sebagai dapur panas untuk pembuatan produk resin.

Maka dari itu Tangki dan Pipa ini harus memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan tekanan dan beban lingkungan selama operasi. Untuk memastikan keamanan dan keandalannya.

Maka diperlukan melakukan Analisis Stress Struktural sebelum pembuatan dan instalasi. Dengan kemajuan teknologi perangkat lunak, simulasi numerik menjadi alat yang efektif dalam analisis dan optimasi desain, terutama dengan perangkat lunak seperti Autodesk Inventor untuk simulasi CAD dan Hexagon Caesar II untuk analisis perpipaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan bahan pada tangki dan pipa reaktor, mengevaluasi tegangan akibat tekanan operasi tinggi.

2 Metode Penelitian

Metode penelitian selanjutnya yaitu pengambilan data *analysis stucture stress* Tangki Reactor menggunakan *sofPware* Autodesk Inventor dan data *analysis structure stress* Pipa Reactor menggunakan

software Hexagon Caesar II dengan bertujuan untuk mengetahui hasil pendekatan numerik dengan perangkat lunak Autodesk Inventor dan Hexagon Caesar II.

2.1 Bahan Penelitian

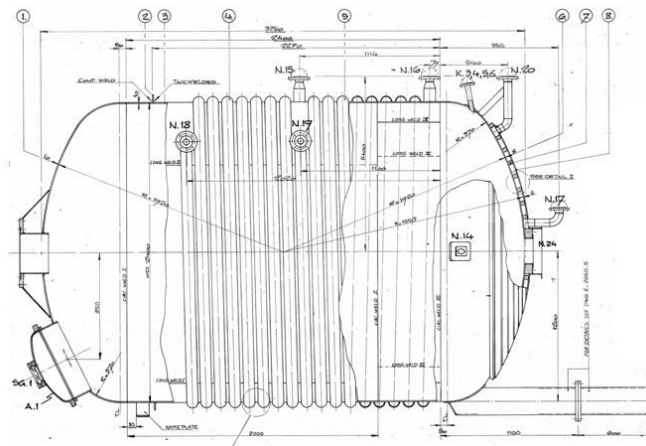
- Tanki Reaktor
- Pipa Reaktor

2.2 Pengujian Penelitian

- Pengujian Stress Struktur Kekuatan Tanki Reactor menggunakan software Autodesk Inventor.
- Pengujian Stress Struktur Kekuatan Pipa Reactor menggunakan software Hexagon Caesar II.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pada penelitian ini, analisis numerik dilakukan terhadap sistem tanki reaktor dan pipa reaktor untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur.



Gambar 1 Keterangan *design dimension* tanki reaktor

Data yang digunakan dalam analisis ini mencakup spesifikasi teknis tanki dan pipa, parameter operasional, sifat material, serta konfigurasi model yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak Autodesk Inventor dan Hexagon Caesar II.

Table 1 Data spesifikasi tanki reaktor

EQUIPMENT	MATERIAL	PARAMETER	VALUE	UNIT
Reactor JR1	SUS 316 Ti	Inside Radius, a	46.61	inch
		Outside Radius, b	47.00	inch
		Pressure, P	43.51	Psi
		Modulus Elasticity, E	27,990,000.00	
		Poisson Ratio, ν	0.29	
		Material Yield Strenght, σ_y	29,372.70	Psi
		Thickness, t	0.39	inch
		Height/Length, h/L	147.64	inch
		Area, inch ²	13,872.52	inch ²
		Volume, V	2,048,138.85	inch ³

Sumber: (Allnex S. P., 2000)

Table 2 Pressure vessel fatigue & life cycle analysis

Equipment	Material	Design Pressure, Psi	Design Temperature, °C	Life Time, Years	Stress Analysis Result	Acceptance Criteria for Failure Analysis
Reactor JR1	SUS 316Ti	43.51	325	46	No Failure Occure	Using Von Misses Yield Theory

Sumber: (Allnex S. P., 2000)

Von Misses Result, Mpa	Stress Amplitude, S3	Y Number in Fatigue Curve Value	Parameter X for Design Cycles	Design Number of Design Cycle, N per 10 Year	Actual Number of Cycles, N as per S3	Life Base on Cycles, Years	Remaining or Extended Life, Years
137,907.37	68,953.68	2.14	2.59	386.13	1500	39	-7.15

Sumber: (Allnex S. P., 2000)

3.2 Material Tanki dan PipaReactor

Berikut adalah sifat umum SUS 316 Ti yang dapat digunakan untuk membuat material di Autodesk Inventor:

Table 3 Spesifikasi material SUS 316Ti

Sifat Material	Spesifikasi	Value	Unit
Sifat Mekanik	Densitas (<i>Density</i>)	7.99	g/cm ³
	Modulus Elastisitas (<i>Young's Modulus</i>)	193	GPa
	Rasio Poisson (<i>Poisson's Ratio</i>)	0.30	%
	Kekuatan Tarik (<i>Ultimate Tensile Strength</i>)	580	MPa
	Tegangan Luluh (<i>Yield Strength</i>)	290	MPa
Sifat Termal	Koefisien Ekspansi Termal	16 x 10 ⁻⁶	/°C
	Konduktivitas Termal	16.2	W/m·K
	Kapasitas Panas (<i>Specific Heat</i>)	500	J/kg·K
Sifat Lainnya	Resistivitas Listrik	0.74	μΩ·m
	Ketahanan Korosi: Tinggi, khususnya dalam lingkungan yang mengandung klorida.		

Sumber: (ASME BPVC.VIII.3, 2023)

Pada Software Autodesk Inventor, material SUS 316Ti (*Stainless Steel 316Ti*) adalah jenis baja tahan karat yang tahan terhadap korosi dan memiliki stabilitas termal yang lebih baik karena adanya elemen titanium dalam komposisinya.

ASTM/A106 Grade B yaitu jenis pipa baja karbon yang banyak digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi dan suhu tinggi.

Table 4 Spesifikasi material ASTM/S A106 Grade B

Material Pipa	Spesifikasi	Value	Unit
ASTM/S A106 Grade B.	Kekuatan tarik (<i>Ultimate Tensile Strength</i>)	415	MPa
	Tegangan luluh (<i>Yield Strength</i>)	240	MPa
	Modulus elastisitas	200	GPa
	Rasio Poisson	0,3	%
	Koefisien ekspansi termal	11,7 x 10 ⁻⁶	°C

Sumber: (ASME B31.3, 2022)

Material ini termasuk dalam standar ASTM A106/A106M, yang mengatur spesifikasi pipa baja karbon mulus (*seamless steel pipe*) untuk digunakan dalam sistem perpipaan yang membawa cairan dan gas pada tekanan tinggi.

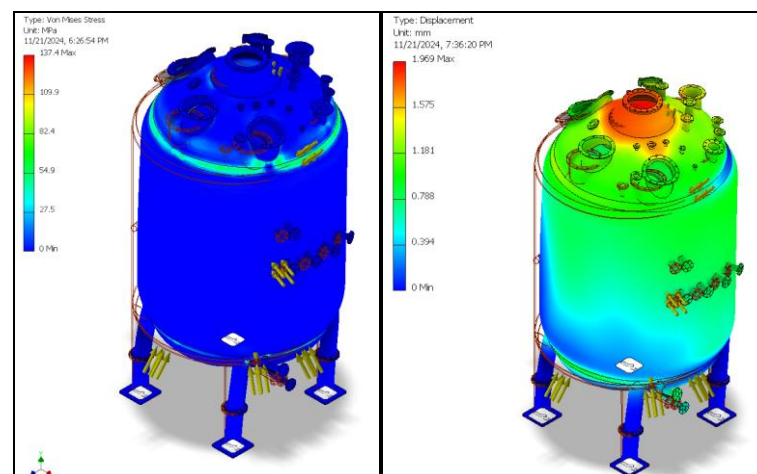
3.3 Hasil Stress Analysis Tanki dan Pipa Reactor

Hasil daripada stress analysis Tanki *Reactor* ada pada tabel 5 :

Table 5 Hasil *stress analysis* tanki reaktor

No.	Nama	Minimal (<i>Minimum</i>)	Maksimal (<i>Maximum</i>)
1.	Volume	845934000 mm ³	-
2.	Massa	6759.01 kg	-
3.	Von Mises Stress	0	137.357 MPa
4.	1st Principal Stress	-35.3104 MPa	148.936 MPa
5.	3rd Principal Stress	-120.856 MPa	26.9914 MPa
6.	Displacement	0	1.9689 mm
7.	Safety Factor	2.11129 ul	5 ul
8.	Stress XX	-95.6864 MPa	79.3405 MPa
9.	Stress XY	-49.7931 MPa	44.6778 MPa
10.	Stress XZ	-40.5816 MPa	47.2071 MPa
11.	Stress YY	-78.756 MPa	111.736 MPa
12.	Stress YZ	-47.7054 MPa	53.9968 MPa
13.	Stress ZZ	-118.982 MPa	69.4509 MPa
14.	X Displacement	-0.0620251 mm	0.837109 mm
15.	Y Displacement	-0.553478 mm	1.65697 mm
16.	Z Displacement	-1.30888 mm	0.000420302 mm
17.	Contact Pressure	0	58.521 MPa
18.	Contact Pressure X	-12.022 MPa	12.9985 MPa
19.	Contact Pressure Y	-30.501 MPa	35.5631 MPa
20.	Contact Pressure Z	-51.0236 MPa	37.6021 MPa

Sumber: (Data diolah oleh Pratikan, 2024)

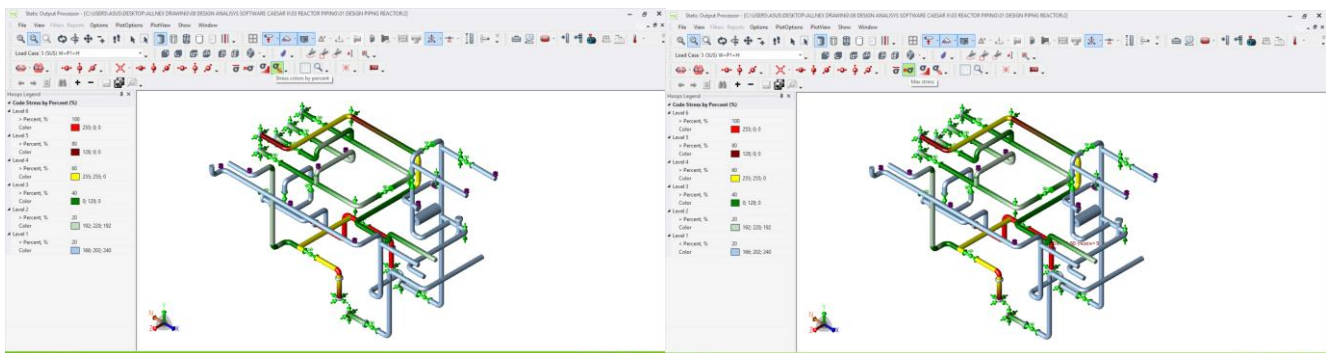


Von Mises stress merupakan kombinasi dari komponen-komponen stress yang digunakan untuk mengevaluasi apakah material akan gagal akibat deformasi plastis. Mengacu pada yield strength material untuk menentukan apakah material akan tetap elastis atau mulai mengalami deformasi permanen.

Analisis tegangan pada sistem perpipaan *reactor* adalah langkah penting dalam memastikan keamanan dan keandalan suatu sistem. Menggunakan perangkat lunak Hexagon CAESAR II, analisis ini mencakup evaluasi tegangan akibat berbagai beban, seperti tekanan internal, beban termal, dan gaya gravitasi.

Table 6 Hasil *stress analysis* pipa reaktor

Node	Axial Stress (N/mm ²)	Bending Stress (N/mm ²)	Torsion Stress (N/mm ²)	Max Stress (N/mm ²)	Code Stress (N/mm ²)	SIF/Index InPlane (Mpa)	SIF/Index OutPlane (Mpa)
10	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
20	48.13	18.16	-2.94	120.42	67.22	1	1
30	48.13	9.37	2.94	120.4	59.19	1	1
30	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0
40	48.13	3.67	-2.94	120.39	55.06	1	1
45	48.13	10.04	2.94	120.4	59.77	1	1
45	48.13	10.24	1.31	120.29	58.7	1	1
48	48.13	4.01	-1.31	120.29	52.92	1	1
48	48.13	7.03	1.31	120.29	55.63	1.787	1.489
49	48.11	6.98	-1.62	120.3	55.8	1.787	1.489
49	48.11	6.98	1.62	120.3	55.8	1.787	1.489
50	48.1	7.31	-1.39	120.29	55.92	1.787	1.489
50	48.1	4.14	1.39	120.29	53.09	1	1
60	48.1	6.99	-1.39	120.29	55.62	1	1
60	0	0	0	0	0	0	0



Tegangan *Von Mises Maksimum* pada sistem perpipaan adalah 90,631 Mpa, jauh di bawah batas tegangan luluh material (240 MPa).

4 Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa tangki *reactor* dan pipa reaktor mengalami distribusi tegangan yang bervariasi, seperti tekanan internal, berat sendiri, dan ekspansi termal. Tegangan maksimum terjadi pada area dengan konsentrasi tegangan, seperti sambungan las, tikungan pipa, atau area dengan variasi geometri. Nilai tegangan berada dalam batas aman sesuai standar desain material yang digunakan.

Tangki reaktor berhasil dirancang di Autodesk Inventor dengan mempertimbangkan dimensi geometris, material, dan parameter operasional. Simulasi tegangan memberikan wawasan mengenai kebutuhan material yang sesuai dan penguatan pada area kritis. Pipa *reactor* didesain dan dianalisis di Hexagon Caesar II, yang mencakup analisis fleksibilitas, tegangan pada fitting, serta pengaruh beban termal dan mekanis. Hasil analisis memastikan bahwa sistem perpipaan memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mengatasi ekspansi termal tanpa menyebabkan kegagalan mekanis.

Hasil simulasi tegangan dengan pendekatan *Von Mises Stress* menggunakan kedua perangkat lunak menunjukkan hasil yang konsisten dalam memprediksi tegangan maksimum pada tangki dan pipa reaktor. Nilai *Von Mises Stress* yang dihitung berada di bawah tegangan luluh material (*yield stress*) yaitu hasilnya 137.357 MPa untuk tangki *reactor* dan 90,631 Mpa untuk hasil pipa *reactor* sehingga desain dianggap aman untuk digunakan dalam kondisi operasional yang direncanakan.

5 Referensi

- [1] Abdillah, A. . (2014). Analisa Tegangan Pipa Pada Jalur Pemipaan Gas Dengan Pendekatan Perangkat Lunak. Bengkulu. *Universitas Bengkulu*.
- [2] Akzonobel. (1994). *Development Of Akzonobel Book*. Swedia: Akzonobel Industries.
- [3] Ali Afdil. (2021). Analisa Tegangan Sistem Perpipaan Minyak Dari Sumur A Ke Manifold Sumur Pada Pt. Sarana Pembangunan Riau (Spr) Langgak Menggunakan Software Caesar II 2019. *Universitas Islam Riau*, 1-85.
- [4] Allnex, R. (2013). *Pt Allnex Resins Surabaya Plant Manual Book*. Surabaya: Allnex Resins Surabaya Plant.
- [5] Allnex, S. P. (2000). *Panduan Book Of System Pt Allnex Resins Indonesia*. Surabaya: Global Express.
- [6] Arief Maulana. (2016). Perhitungan Tegangan Pipa Dari Discharge Kompresor Menuju Air Cooler Menggunakan Software Caesar II 5.10 Pada Proyek Gas Lift Compressor Station. *Universitas Mercubuana Jakarta*, 14-27.
- [7] ASME B31.3. (2022). *Process Piping*. America Usa: The American Society Of Mechanical Engineers.
- [8] ASME Bpvc.Viii.3. (2023). *Asme Boiler Dan Pressure Vessel Code Rules For Construction Of Pressure Vessels*. American Usa: The American Society Of Mechanical Engineers.
- [9] Curtis Waguespack. (2019). *Mastering Autodesk Inventor 2020*. Indianapolis, Indiana: Sybek.
- [10] Curtis, W. (2019). *Mastering Autodesk Inventor 2020*. Indianapolis, Indiana: Sybek.
- [11] Hafid Saputra. (2020). Analisis Tegangan Dan Struktur Girder Pada Overhead Crane 10 Ton Menggunakan Autodesk Inventor 2016. *Universitar Sriwijaya*, 1-22.
- [12] Maulana, A. (2016). Perhitungan Tegangan Pipa Dari Discharge Kompresor Menuju Air Cooler Menggunakan Software Caesar II 5.10 Pada Proyek Gas Lift Compressor Station. 50-63.
- [13] Randy Shih. (2023). *Parametric Modeling With Autodesk Inventor*. India: Global Express.
- [14] Shyam, G. (July 2000). Desain Dan Analisis Tegangan Reaktor Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Knowledge Consortium Of Gunjarat*, 1-6.
- [15] Swardika, A, Y, P. (2014). Analisa Tegangan Dan Defleksi Pipa Dengan Software Caesar II Verso 5.00 Pada Jalur Main Steam Pipe Di Pt. Pjb Unit Bisnis Jasa Operating & Maintenance PLTU Pacitan. *Repository Umy*, 1-10.