

Perancangan Jalur Sistem Perpipaan *Water Injection* Pada Lapangan Eksplorasi Migas Tuban

Dinda Dwi Rahmadhoni Indra Yanti^{1*}, Adi Wirawan Husodo¹, Rahmat Basya Shahrys Tsany¹

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Email: dindadwi30@student.ppns.ac.id^{*}; adi_wirawan@ppns.id¹; rahmadtbasya@ppns.ac.id¹

Abstract - An oil and gas company in Tuban experienced a decrease in production due to a decrease in reservoir pressure, so a water injection system was planned to increase reservoir pressure and oil recovery. This final project includes pipeline design, head loss calculation, pump selection, and stress analysis. The final project uses software hydraulic analysis and software stress analysis using static methods. The results are in the form of 3D models and isometric drawings, with a total distance of 163.1 meters. Manual calculations show a total head of 156.65 meters, while software results are 155 meters with a difference of 1.1%. The manual pump head was 156.6 meters with a power of 19.5 kW, so a centrifugal pump with a maximum head of 165 meters and a power of 25.4 kW was selected. Stress analysis of sustained, occasional, and thermal loads resulted in values of 7962.4 psi, 15639.1 psi, and 42154.6 psi, respectively. From the analysis that has been carried out, it is found that all stress values are still below the allowable stress limits specified by the ASME B31.3 code. Thus, the piping system for water injection is declared safe and in accordance with the standard.

Keyword: Water Injection, Design, Headloss, Pump, Stress Analysis

Nomenclature

Re	Reynolds Number
ρ	Massa Jenis Fluida (kg/m ³)
V	Kecepatan Aliran (m/s)
ID	Diameter Dalam Pipa (m)
μ	Viskositas Dinamis (kg/m.s)
f	Koefisien Gesek
e	Relavite Roughness
HL_{Major}	Headloss Major
L	Panjang Pipa (m)
G	Percepatan Gravitasi (m/s ²)
HL_{Minor}	Headloss Minor
N	Jumlah Fitting
K	Nilai K Dari Fitting
ΔZ	Head Statik/Ketinggian (m)
Z₁	Ketinggian Awal (m)
Z₂	Ketinggian Akhir (m)
H_p	Head Tekanan (m)
P₂	Tekanan Titik Tekan Pompa (Pa)
P₁	Tekanan Titik Tekan Pompa (Pa)
Hv	Head Kecepatan (m)
V₂	Kecepatan Titik Tekan Pompa (m/s)
V₁	Kecepatan Titik Tekan Pompa (m/s)
Ph	Daya Sistem (kW)
Q	Debit Aliran Fluida (m ³ /s)
H	Head Total Pompa (m)

1. PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan yang bergerak di bidang eksplorasi dan produksi minyak mentah di daerah Tuban mengalami penurunan tekanan

reservoir pada lapangan eksplorasi. Data produksi menunjukkan penurunan sebesar 20% pada tahun 2023, yang mengindikasikan perlunya intervensi teknis untuk meningkatkan efisiensi pengangkatan fluida. Salah satu metode yang digunakan adalah *water injection*, yaitu penginjeksian air ke dalam reservoir untuk meningkatkan tekanan pada reservoir [1].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan jalur perpipaan *water injection* mulai dari routing sesuai dengan layout, kemudian dimodelkan dalam desain 3d untuk menentukan *head* total sistem. Hasilnya digunakan sebagai acuan pemilihan pompa. Analisis tegangan mencakup *sustained load*, *occasioanal load* dan *thermal load* menggunakan software *stress analysis* sesuai code dan standar [2].

2. METODOLOGI

2.1 Perhitungan Headloss

2.1.1 Reynolds Number

Bilangan *Reynolds* digunakan untuk menentukan karakteristik utama aliran, apakah aliran termasuk aliran laminar, turbulen, atau transisi serta menunjukkan posisinya dalam skala yang membandingkan kecenderungan aliran turbulen terhadap aliran laminar [3] sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\mu} \quad (1)$$

2.2.2 Koefisien Gesek

Tingkat kekasaran pada pipa ditentukan oleh besarnya koefisien gesekan saat fluida mengalir di dalamnya. Koefisien gesekan ini dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kekasaran relatif dan bilangan *Reynolds*. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung koefisien gesek tersebut:

$$\frac{1}{f} = -0.782 \ln \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{e}{3.7D} \right)^{1.11} \right] \quad (2)$$

2.2.3 Headloss

Headloss adalah kehilangan *head* yang disebabkan oleh gesekan sepanjang pipa (*Headloss Mayor*) serta oleh penggunaan *fitting* pada jalur pipa (*Headloss Minor*). Berdasarkan [4] perhitungan *headloss* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$HL_{Major} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

$$HL_{Minor} = \frac{nk.v^2}{2g} \quad (4)$$

2.2 Pemilihan Spesifikasi Pompa

2.2.1 Head Ketinggian (Z)

Head ketinggian adalah *head* yang dihasilkan dari selisih ketinggian antara titik hisap dan titik tekan. Berdasarkan [4] perhitungan *head* ketinggian sebagai berikut:

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 \quad (5)$$

2.2.2 Head Tekanan (Hp)

Head tekanan adalah besarnya *head* yang diperoleh dari selisih tekanan antara titik hisap dan titik tekan. Berdasarkan [4] perhitungan *head* tekanan sebagai berikut:

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad (6)$$

2.2.3 Head Kecepatan (Hv)

Head kecepatan merupakan nilai *head* yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan antara titik hisap dengan titik tekan. Berdasarkan [4] perhitungan *head* kecepatan sebagai berikut:

$$H_v = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (7)$$

2.2.4 Head Total (H)

Head total merupakan *head* yang didapatkan dari penjumlahan antara *head* ketinggian, *headloss*, *head* tekanan, dan *head* kecepatan. Berdasarkan [4], perhitungan *head* total adalah sebagai berikut:

$$H = \Delta Z + H_p + H_l + H_v \quad (8)$$

2.2.5 Daya

Daya adalah energi yang diperlukan oleh pompa untuk mengalirkan fluida melalui jalur pipa. Berdasarkan [5], perhitungan daya adalah sebagai berikut:

$$Ph = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \quad (9)$$

2.3 Tegangan Pada Sistem Perpipaan

Analisis tegangan pada pipa mencakup tegangan akibat *sustained load*, *occasional load* dan *thermal load*. Proses analisis tegangan pada sistem perpipaan ini dilakukan menggunakan *software stress analysis* dengan batas tegangan yang diizinkan mengacu pada [2].

2.3.1 Tegangan Akibat Sustained Load

Analisis tegangan akibat *sustained load* pada sistem perpipaan menggunakan *load case sustain* dari *software*. *Load case sustain* merupakan kombinasi dari berat total sistem perpipaan dan tekanan desain sistem perpipaan.

2.3.2 Tegangan Akibat Occasional Load

Analisis tegangan akibat *occasional load* merupakan pembebanan yang timbul karena faktor angin, salju, es, seismik, perubahan suhu, arus, dan gelombang. Berdasarkan [2] beban yang berasal dari prategang, sisa tegangan dari proses instalasi, penurunan permukaan tanah, penurunan diferensial, kenaikan embun beku, serta penurunan akibat pencairan juga termasuk dalam kategori *occasional load*.

2.3.3 Tegangan Akibat Thermal Load

Analisis tegangan akibat *thermal load* pada sistem perpipaan dilakukan dengan menggunakan *load case expansion* dari *software*. *Load case expansion* merupakan hasil pengurangan *load case operating* oleh *load case sustain*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tabel Data Properti Pipa dan Fluida

Data yang digunakan pada Tugas Akhir pada sistem perpipaan *water injection* ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

3.2 Headloss

3.2.1 Headloss Mayor

Perhitungan *headloss mayor* memerlukan data panjang pipa berdasarkan gambar isometri dan kecepatan aliran sesuai dengan ukuran jalur tiap jalur pipa. Data *headloss mayor* masing-masing *line number* ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Data Pipa

Nominal Pipe Size (NPS)	OD	ID	Satuan
6"	168,3	146,36	mm
8"	219,1	193,7	mm

Tabel 2. Data Fluida

Parameter	Besaran	Satuan
Density	965	kg/m ³
Viscosity	219,1	m ² /s
Debit yang dibutuhkan	50	m ³ /h

3.2.2 Headloss Minor

Perhitungan *headloss minor* memerlukan data seluruh komponen yang digunakan dalam jalur perpipaan berdasarkan gambar isometri, dengan nilai K yang diambil dari buku referensi. Data *headloss mayor* masing-masing *line number* ditampilkan pada Tabel 4.

3.2.3 Headloss Total

Headloss merupakan kerugian keseluruhan tekanan yang harus diatasi dalam sistem perpipaan, mencakup kerugian akibat gesekan sepanjang pipa maupun kerugian dari komponen yang dilalui aliran. Nilai ini diperoleh dengan menambahkan nilai *headloss mayor* dan *headloss minor* sesuai dengan Tabel 3 dan Tabel 4, hasil dapat dilihat pada penjumlahan dibawah ini:

$$HL_{total} = 0,916 \text{ m} + 1,126 \text{ m} \\ = 2,043 \text{ m}$$

3.3 Spesifikasi Pompa

3.3.1 Head Static

Perbedaan ketinggian antara permukaan fluida pada sisi hisap setinggi 0,724 meter dan ketinggian fluida pada sisi tekan sebesar 0,749 meter. Dibawah ini perhitungan dari *head static*.

$$\Delta Z = 0,749 \text{ m} - 0,724 \text{ m} \\ = 0,025 \text{ m}$$

3.3.2 Head Velocity

Terdapat perbedaan kecepatan antara sisi hisap sebesar 0,468 m/s dan kecepatan tertinggi pada sisi tekan sebesar 0,819 m/s dengan hasil sebagai berikut:

$$H_v = \frac{(0,819 \text{ m/s})^2 - (0,468 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \\ = 0,023 \text{ m}$$

3.3.3 Head Pressure

Perbedaan tekanan antara sisi hisap dan tekan yang dibutuhkan untuk mengatasi kerugian tekanan pada jalur perpipaan.

$$H_p = \frac{1500000 \text{ Pa} - 100000 \text{ Pa}}{921,55 \text{ kg/m}^3 \times 9,83 \text{ m/s}^2} \\ = 154,54 \text{ m}$$

Tabel 3. Nilai *Headloss Mayor*

Line Number	Headloss Mayor (m)
8"-WI-SUC-CS600	0,006
6"-WI-UTAMA-CS600	0,803
6"-WI-WH X-CS600	0,053
6"-WI-WH Y-CS600	0,503
Total	0,916

Tabel 4. Nilai *Headloss Minor*

Line Number	Headloss Mayor (m)
8"-WI-SUC-CS600	0,093
6"-WI-UTAMA-CS600	0,522
6"-WI-WH X-CS600	0,255
6"-WI-WH Y-CS600	0,255
Total	1,126

3.3.4 Head Total

Penjumlahan seluruh *head* yang telah dihitung sebelumnya.

$$H = 0,025 \text{ m} + 154,55 \text{ m} + 1,11 \text{ m} + 0,017 \text{ m} \\ = 156,69 \text{ m}$$

Head pompa yang dibutuhkan sebesar 156,69 meter, digunakan sebagai acuan dalam menentukan spesifikasi pompa yang akan dipilih.

3.3.5 Daya Pompa

Perhitungan daya sistem diperlukan untuk mengetahui berapa daya yang diperlukan untuk mengalirkan fluida, dengan hasil sebagai berikut:

$$Ph = \frac{921,55 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,013 \text{ m}^3/\text{s} \times 156,11 \text{ m}}{1000} \\ = 19,47 \text{ kW}$$

3.3.6 Diagram Pompa

Berdasarkan nilai *head* total sistem dan daya pada sistem perpipaan *water injection*, berikut merupakan spesifikasi pompa yang digunakan sebagai pemilihan untuk memenuhi kebutuhan *head* total sistem dan daya. Diagram spesifikasi pompa dapat dilihat pada Gambar 1.

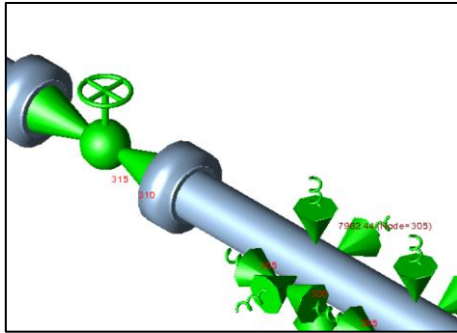
3.4 Analisis Tegangan Pipa dengan Software

3.4.1 Hasil Pemodelan

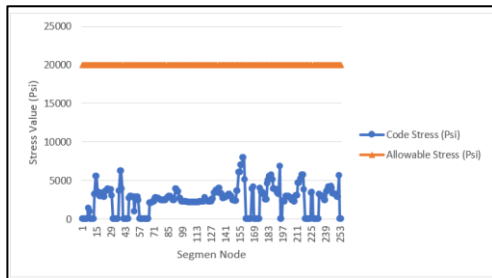
Pemodelan sistem perpipaan *water injection* menggunakan software dengan merancang jalur *water injection* pada area eksplorasi. Tujuannya adalah agar jalur tersebut dapat diimplementasikan serta memenuhi batasan yang telah ditetapkan sesuai standar [2]. Desain dapat dilihat pada Gambar 2.

3.4.2 Analisis Tegangan Akibat Sustained Load

Ditinjau dari Gambar 3 nilai maksimum akibat *sustained load* yang terletak pada node 305 yaitu 7962,4 Psi dengan rasio terhadap *allowable stress* sebesar 39.8%. Pada node 305 terjadi pada disekitar area yang terdapat komponen pipa yaitu *valve* yang dapat menambah beban. Beban yang terjadi pada *sustained load* disebabkan oleh berat pipa, berat fluida dan berat komponen selain pipa seperti *valve* dan *flange* yang memberikan beban secara terus menerus [6]. Namun nilai tegangan maksimum yang dihasilkan masih berada dalam batas tegangan yang diizinkan [2] pada Tabel A 1. Dapat disimpulkan bahwa hasil analisis tegangan sistem perpipaan *water injection* akibat *sustained load* tidak terjadi *over stress*. Gambar 4 merupakan grafik yang membandingkan nilai *code stress* dengan *allowable stress*.



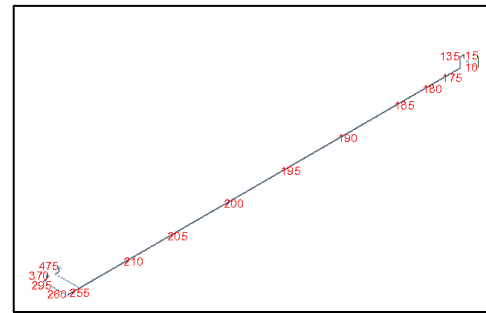
Gambar 3. Maximum Stress Akibat Sustained Load



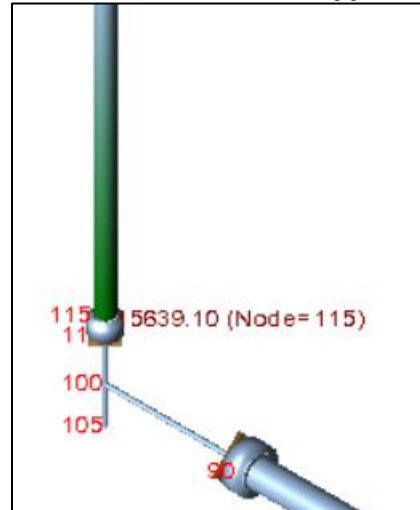
Gambar 4. Grafik Tegangan Akibat Sustained Load

3.4.3 Analisis Tegangan Akibat Occasional Load

Gambar 5 merupakan hasil analisis menggunakan software *stress analysis* menunjukkan bahwa beban *occasional* tertinggi pada sistem perpipaan *water injection* terjadi di *node 115* yaitu sebesar 15639,1 Psi dengan rasio terhadap *allowable stress* sebesar 58,8%. Dapat dilihat tegangan tertinggi akibat beban *seismic* ke arah -Y terjadi pada *discharge pompa*. Bagian ini merupakan area *outlet pompa* yang berada pada *above ground* dan juga berhubungan langsung dengan pompa yang dapat mengalami kerusakan saat terjadi gempa [6]. Namun nilai tegangan maksimum tersebut masih memenuhi syarat tegangan ijin pipa berdasarkan ASME B31.3. Dapat disimpulkan bahwa hasil analisis tegangan sistem perpipaan *water injection* akibat *occasional load* tidak terjadi *over stress*. Gambar 6 merupakan grafik yang membandingkan nilai *code stress* dengan *allowable stress*.



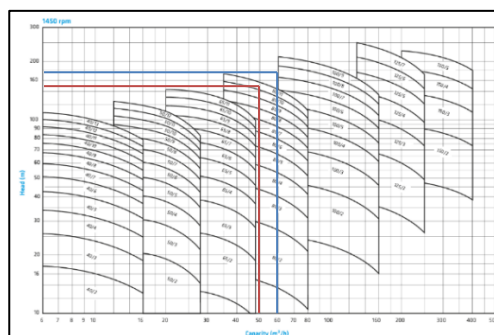
Gambar 2. Pemodelan Sistem Perpipaan



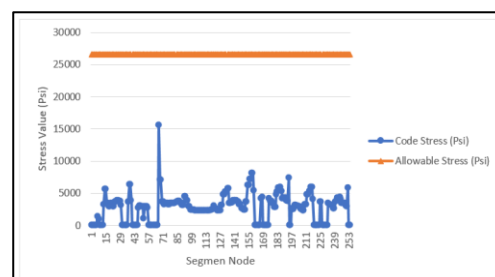
Gambar 5. Maximum Stress Akibat Occasional Load

3.4.4 Analisis Tegangan Akibat Thermal Load

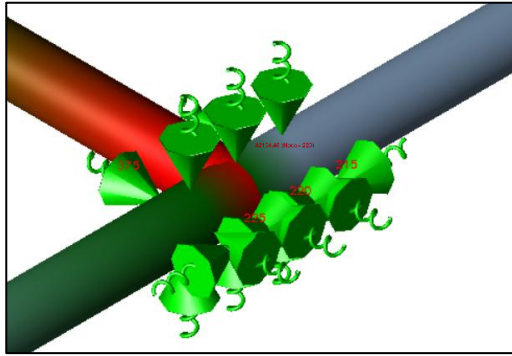
Ditinjau dari Gambar 7 tegangan maksimum akibat *thermal expansion load* terletak pada *node 220* terjadi pada area *tee* dengan nilai tegangan tertinggi sebesar 42154,6 Psi dengan rasio terhadap *allowable stress* sebesar 88,6%. Hal ini dikarenakan tegangan akibat *thermal expansion load* dipengaruhi oleh suhu [7]. Namun nilai tegangan maksimum tersebut masih memenuhi syarat tegangan ijin pipa berdasarkan [2]. Dapat disimpulkan bahwa hasil analisis tegangan sistem perpipaan *water injection* akibat *thermal expansion load* tidak terjadi *over stress*. Gambar 8 merupakan grafik yang membandingkan nilai *code stress* dengan *allowable stress*.



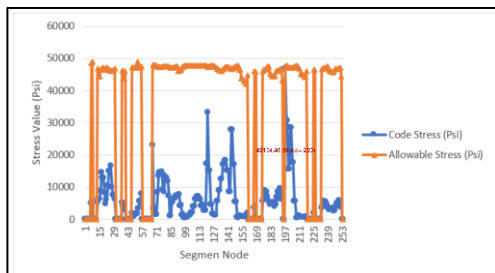
Gambar 1. Diagram Spesifikasi Pompa



Gambar 6. Grafik Tegangan Akibat Occasional Load



Gambar 7. Maximum Stress Akibat Thermal Load



Gambar 8. Grafik Tegangan Akibat Thermal Load

4. KESIMPULAN

Pada jalur perpipaan *water injection* didapatkan manual total *head* sebesar 156,65 meter, sementara hasil software 155 meter dengan selisih 1,1%. *Head* pompa manual sebesar 156,6 meter dengan daya 19,5 kW, sehingga dipilih pompa sentrifugal dengan *head* maksimal 165 meter dan daya 25,4 kW. Analisis tegangan terhadap *sustained*, *occasional*, dan *thermal load* masing-masing menghasilkan nilai 7962,4 Psi, 15639,1 Psi, dan 42154,6 Psi. Dari analisis yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semua nilai tegangan masih berada di bawah batas tegangan ijin yang ditentukan oleh [2]. Dengan demikian, sistem perpipaan *water injection* dinyatakan aman dan sesuai standar.

5. PUSTAKA

- [1] A. H. Alhuthali, "Optimal Waterflood Management Under Geologic Uncertainty Using Rate Control: Theory And Field Applications," *Proc. - Spe Annu. Tech. Conf. Exhib.*, Vol. 7, No. May, Pp. 4677–4693, 2009, Doi: 10.2118/129511-Stu.
- [2] "Asme B31.3 (2022). Process Piping Asme Code For Pressure Piping, B31.3. In Asme (Ed.), Asme B31.3 (2018th Ed., Pp. 1–538). The American Society Of Mechanical Engineers. [Http://Go.Asme.Org/B31committee](http://Go.Asme.Org/B31committee)."
- [3] J. Jalaluddin, S. Akmal, N. Za, And I. Ishak, "Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi

Computational Fluid Dynamic (Cfd)," *J. Teknol. Kim. Unimal*, Vol. 8, No. 1, P. 97, 2019, Doi: 10.29103/Jtku.V8i1.3396.

- [4] Sularso And H. Tahara, "Pompa Dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, Dan Pemeliharaan. Jakarta: Pradnya Paramita,," 2000.
- [5] G. E. Sanjaya *Et Al.*, *Perancangan Desain Jalur Perpipaan Utility*. 2024.
- [6] N. Rahmawati *Et Al.*, "Analisis Fleksibilitas Dan Allowable Span Pada Jalur Pipa Steam Dan Hot Brine Area Cluster-I Debottlenecking Ulubelu Project Pada Program Studi D4 Teknik Perpipaan."
- [7] Y. R. Lembang And E. Y. P, "Analisis Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Terhadap Tegangan Pada Crack Piping Di Medium Pressure Steam Desuperheater (21e-18)," Pp. 1774–1782, 2024.