

Analisa Tegangan dan Alternatif Desain Insulasi Pipa dari *Tie-in Point* Existing menuju *Mist Eliminator Vessel*

Hizamul Fikry^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Dianita Wardani³

PT. Korindo Konstruksi, Jakarta, Indonesia¹

Program studi D4-Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: hizamulfikry29@student.ppns.ac.id^{1*}; Adi_wirawan@ppns.ac.id²; dianitawardani@ppns.ac.id³;

Abstract - The LBB10-BR001-16"-AA-H piping system with a temperature of 217 °C and a pressure of 1090 KPa is a piping system from the existing pipe to the mist eliminator vessel with steam fluid. In this line, a re-calculation of the 65 mm thick pipe insulation design was carried out using 3 different alternative materials to obtain an optimal insulation design to maintain temperature. Therefore it is necessary to calculate the heat loss and downstream temperature. The LBB10-BR001-16"-AA-H it has high temperature and pressure values, therefore it is necessary to do a stress analysis based on ASME B31.1 using software assistance. based on the calculation results, it was found that the rockwool material has the smallest value of 6230.137 W and a downstream temperature of 480.59 °K . Based on software modeling, the largest stress due to sustained load value is 55 MPa with a ratio of 46.65% and the largest stress due to thermal load value is 166,79 MPa with a ratio of 94.31%. It can be concluded that the stress value does not exceed the allowable stress limit based on ASME B31.1.

Keyword: downstream temperature, heatloss, insulation, sustained load, thermal load

Nomenclature

OD	Outside Diameter (mm)
ID	Inside Diameter (mm)
T_a	Temperature Fluida (°K)
T_u	Temperature Lingkungan (°K)
K	Konduktivitas thermal (W/m°K)
P	Tekanan (kPa)
Q	Heat Loss (W)
S_E	Stress akibat beban ekspansi(MPa)
S_L	Stress akibat beban sustain (MPa)
V	Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
μ	Viskositas fluida (kg/m.s)
g	Percepatan Gravitasi (m/s ²)
ρ	Massa Jenis Fluida (kg/m ³)
L	Panjang Pipa (m)
C_p	Heat Capacity (J/kg.K)
R	Jari-jari silinder (m)
v	Kinematik Viscosity (m ² /s)

1. PENDAHULUAN

Suatu perusahaan-X hendak menambah kapasitas produksi panas bumi karena meningkatnya kebutuhan energi untuk pembangkit listrik, oleh karena itu memerlukan penambahan *plant* baru guna memenuhi kebutuhan energi tersebut. Penambahan *plant* baru tersebut dilakukan dengan cara jalur pipa yang baru ini akan disambungkan dengan jalur eksisting menggunakan metode *tie-in point*. *line* LBB10-BR001-16"-AA-H merupakan sistem perpipaan dari *tie-in point* menuju ke *Mist Eliminator vessel* yang memiliki temperatur 217 °C dan pressure 1090 KPa dengan diameter pipa sebesar 16 inch dan menggunakan material API 5L Gr. B. Menurut [1] pipa dengan temperatur

217 °C dan ukuran 16 inch termasuk *critical line* ditinjau dari temperatur dan diameter pipa sehingga perlu dilakukan analisa tegangan. Temperatur fluida yang masuk ke dalam *mist eliminator vessel* tidak boleh mengalami penurunan kurang dari 200 °C sehingga perlu diberikan penambahan insulasi agar temperatur yang ada dalam fluida tetap konstan. Oleh karena itu diperlukan perhitungan desain insulasi pipa dengan menggunakan 3 material berbeda[2].

Pada penelitian ini, dilakukan analisa perpindahan panas dengan 3 variasi material yaitu *calcium silicate*, *rockwool*, dan *foam glass* yang dihitung menggunakan perhitungan manual. Dikarenakan *line* LBB10-BR001-16"-AA-H memiliki ukuran 16 inch dan temperature 217°C, sehingga setelah perhitungan desain insulasi perlu dilakukan analisa tegangan menggunakan *software stress analysis* yang mengacu pada *code* dan standart ASME B31.1 (*Power Piping*)[3]. Oleh karena itu, tujuan penulisan jurnal ini adalah untuk mendapatkan desain insulasi pipa yang optimal dari segi teknis dan sesuai dengan batas ijin yang telah ditentukan.

2. METODOLOGI

2.1 Perpindahan Panas Konveksi

Pada penelitian ini perpindahan panas konveksi terbagi menjadi dua yakni eksternal convection dan internal convection[4]. External convection adalah konveksi yang terjadi antara diameter luar pipa dengan lingkungan sekitar Rangkaian perhitungan koefisien eksternal convection mulai dari menentukan nilai expansion thermal menggunakan persamaan berikut:

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{T_a + T_u}{2}\right)} \quad (1)$$

Untuk mencari R_{ad} menggunakan persamaan berikut:

$$R_{ad} = G_r \times P_r \quad (2)$$

$$G_r = \left(\frac{r^3 \rho^2 g \beta (T_a - T_u)}{\mu^2}\right) \quad (3)$$

Selanjutnya mencari nusselt number menggunakan persamaan churchill and chu [5] sebagai berikut:

$$N_{uD} = \left\{ 0,6 + \frac{0,378 R_{ad}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{P_r}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2 \quad (4)$$

Lalu untuk mencari koefisien konveksi eksternal menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{N_u \times K_{udara}}{OD} \quad (5)$$

Internal convection terjadi antara fluida internal mengalir di internal pipa permukaan. Untuk mencari nilai koefisien internal convection diperlukan beberapa perhitungan yang dimulai dengan mencari nilai reynold number menggunakan persamaan berikut:

$$R_e = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu} \quad (6)$$

Lalu untuk menghitung nusselt number menggunakan persamaan Dittus-Boelter sebagai berikut:

$$N_u = 0,023 R_e^{0,8} P_r^{0,4} \quad (7)$$

Selanjutnya menghitung nilai koefisien internal convection menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{N_u \times K_{fluida}}{ID} \quad (8)$$

2.2 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan panas tanpa diikuti oleh perpindahan dari molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat diartikan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju benda yang memiliki energi yang rendah[6]. Pada proses konduksi diperlukan konduktivitas *thermal*. Konduktivitas *Thermal* merupakan *transport properties* yang dimiliki oleh material medium proses perpindahan panas.

2.3 Analisa Kehilangan Panas (Heat Loss)

Untuk mendapatkann nilai *heat loss* harus mencari *Thermal resistance* total terlebih dahulu. Untuk perpindahan panas konveksi menggunakan persamaan (9) dan konduksi menggunakan persamaan (10) sebagai berikut[6]:

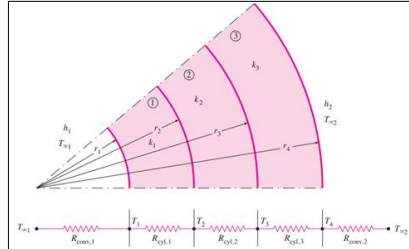
$$R_{conv} = \frac{1}{(2\pi r L)h} \quad (9)$$

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi L)K} \quad (10)$$

Lalu untuk mencari nilai *heat loss* menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{tot} = \frac{(T_a - T_u)}{R_{tot}} \quad (11)$$

Pada Perpindahan panas yang terjadi pada *Multiple layer Cylinder* merupakan perpindahan yang disertai dengan penambahan tebal insulasi pada benda Silinder. Konsep perhitungan *Multiple layer Cylinder*[6].



Gambar 1 Rangkaian *Thermal Multiple Layer*

$$R_{total} = R_{conv 1} + R_{cond 1} + R_{cond 2} + R_{conv 2} \quad (12)$$

2.4 Downstream Temperature

Perhitungan *downstream temperature* dilakukan untuk mengetahui nilai perubahan temperature dari titik awal pipa sampai titik akhir pipa[5].

$$D_i = T_a - \frac{Q_{total}}{\dot{m} C_p} \quad (13)$$

2.5 Allowable Pipe Span

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimial antar penyangga. Berikut merupakan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *deflection*[7].

limitation of stress

$$L_s = \sqrt{\frac{0,425 S_h}{W}} \quad (14)$$

limitation of deflection

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13,5W}} \quad (15)$$

2.6 Fleksibilitas Pipa

Analisa fleksibilitas pipa dilakukan pada design jalur pipa sehingga mampu menahan beban yang terjadi baik statis maupun dinamis. Maka dari itu diperlukan analisa menggunakan persamaan berikut[3].

$$\frac{DY}{(L-U)^2} \leq 208\,000 \frac{S_a}{E_c} \quad (16)$$

2.7 Pemodelan dengan Software Stress Analysis

Software stress analysis adalah sebuah program perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan analisa tegangan pada sebuah system perpipaan. Pembebanan yang dilakukan pada penelitian ini adalah *sustain load*, *dan thermal load*. Dimana analisa tegangan akibat pembebanan pada setiap segmen dicari menggunakan load case pada software.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Koefisien Konveksi Eksternal

Perhitungan koefisien konveksi eksternal dimulai dari perhitungan koefisien ekspansi thermal menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{394,75 K} = 0,0105K^{-1}$$

Dengan adanya penambahan insulasi dengan tebal 65 mm maka nilai grashof number, rayleigh number, nusselt number dan koefisien konveksi eksternal untuk pipa dengan insulasi tebal 65 mm dan tanpa insulasi akan memiliki nilai yang berbeda karena radius yang berbeda. Pada Perhitungan tersebut menggunakan persamaan (2), (3), (4), dan (5). Dan hasil perhitungan tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Eksternal konveksi

Variasi	Parameter	Units	Nilai
Pipa tanpa Insulasi	G_r Number	-	640144500,4
	P_r Number	-	0,7272
	R_{ad} Number	-	465513080,7
	Nusselt Number	-	91,4064
	Koefisien konveksi eksternal	W/m^2K	5,9246
Pipa dengan Insulasi 65 mm	G_r Number	-	999046391,4
	P_r Number	-	0,7272
	R_{ad} Number	-	726506535,8
	Nusselt Number	-	105,0766
	Koefisien konveksi Eksternal	W/m^2K	5,8285

3.2 Koefisien Konveksi Internal

Ada beberapa rangkaian untuk menentukan nilai internal convection mulai dari menentukan reynold number, nuselt number, dan koefisien internal convection. Rangkaian perhitungan tersebut menggunakan persamaan (6), (7), dan (8). Dan hasil perhitungan tertera pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Internal konveksi

Parameter	Units	Nilai
R_e Number	-	4988775,95
Nusselt Number	-	5278,84
Koefisien konveksi internal	W/m^2K	783,93

3.3 Analisa Kehilangan Panas

Perhitungan kehilangan panas pada penelitian ini sesuai dengan rangkaian thermal pada gambar 1 dan perhitungannya menggunakan persamaan (9), (10), dan (11). Hasil perhitungan heat loss tertera pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel tersebut didapatkan hasil bahwa pipa dengan insulasi rockwool memiliki nilai heat loss yang paling kecil yaitu 6230,137 W.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Heat Loss

Variasi	Parameter	Units	Nilai
Pipa tanpa Insulasi	Hambatan thermal konveksi	mK/W	0,0065
	Hambatan thermal konduksi	mK/W	0,00069
	Hambatan thermal konveksi 2	mK/W	0,8307
	Hambatan total	mK/W	0,8379
	Heat Loss	W	42332,1
Pipa dengan Insulasi Calciu m Silicate	Hambatan thermal konveksi	mK/W	0,0065
	Hambatan thermal konduksi	mK/W	0,00069
	Hambatan thermal konveksi 2	mK/W	0,6397
	Hambatan thermal konduksi 2	mK/W	3,19014
	Hambatan total	mK/W	3,8371
Heat loss	W	9243,81	
Pipa dengan Insulasi Rockwool	Hambatan thermal konveksi	mK/W	0,0065
	Hambatan thermal konduksi	mK/W	0,00069
	Hambatan thermal konveksi 2	mK/W	0,6397
	Hambatan thermal konduksi 2	mK/W	5,046
	Hambatan total	mK/W	5,6931
Heat loss	W	6230,137	
Pipa dengan Insulasi Foam glass	Hambatan thermal konveksi	mK/W	0,0065
	Hambatan thermal konduksi	mK/W	0,00069
	Hambatan thermal konveksi 2	mK/W	0,6397
	Hambatan thermal konduksi 2	mK/W	3,3847
	Hambatan total	mK/W	4,0316
Heat loss	W	8797,799	

3.4 Perhitungan Downstream Temperature

Perhitungan *downstream temperature* menggunakan persamaan (13) . hasil perhitungan pada keseluruhan variasi material terdapat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil perhitungan Downstream Temperature

Material	Units	Nilai
Calcium Silicate	K	476,03
Rockwool	K	480,59
Foam glass	K	476,71

3.5 Perhitungan Allowable Pipe Span

Perhitungan *Allowable Pipe Span* berdasarkan batasan tegangan dan defleksi menggunakan persamaan (14) dan (15). Hasil perhitungan pada keseluruhan pipa dengan insulasi rockwool terdapat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Allowable Pipe Span*

Deskripsi	Units	Nilai
Panjang Pipa	ft	97,27
Berat Pipa	lb/ft	52,22
Berat Fluida	lb/ft	115,867
Berat Insulasi	lb/ft	0,251
Berat total	lb/ft	168,339
Limitation of stress	ft	38,963
Limitation of deflection	ft	43,436
Jumlah support	ea	3

3.6 Analisis Fleksibilitas Pipa

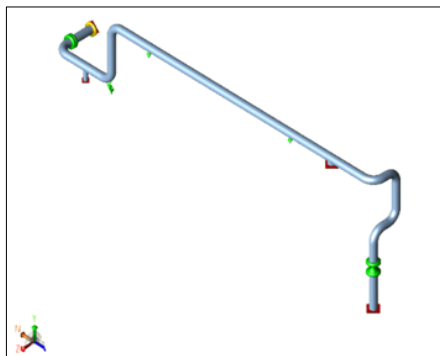
Perhitungan fleksibilitas pipa menggunakan persamaan (16), dari perhitungan tersebut kemudian dianalisa apakah melebihi batas ijin maksimum yaitu $208\,000 \frac{S_a}{E_c}$. Hasil perhitungan fleksibilitas terdapat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil perhitungan fleksibilitas pipa

Deskripsi	Units	Nilai
L pipa X	m	17,142
L pipa Y	m	2,076
L pipa Z	m	1,885
L Pipa total	m	30,389
Resultan Displacement (Y)	mm	43,494
Jarak kedua anchor (U)	m	17,37
OD pipa	mm	406,4
Batas ijin maksimum	-	170,978
$\frac{DY}{(L-U)^2}$	-	104,284

3.7 Tegangan Akibat beban sustain

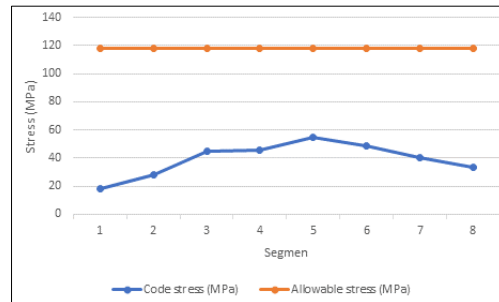
Pemodelan jalur perpipaan dari Tie-in Point Existing menuju Mist Eliminator Vessel menggunakan *software stress analysis*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan yang memenuhi batas ijin yang telah ditentukan [3]. Gambar 2 menunjukkan pemodelan sistem perpipaan yang telah dilakukan.



Gambar 2. Pemodelan Jalur Perpipaan

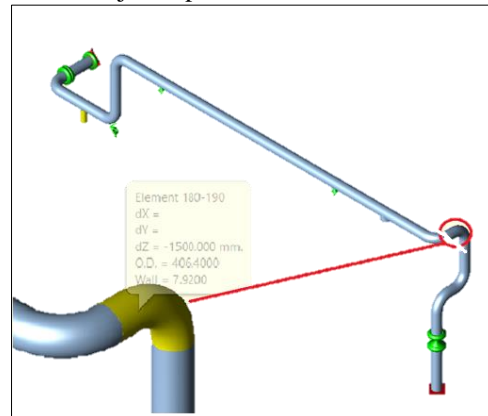
Analisa tegangan akibat beban sustain dilakukan pada keseluruhan pipa dengan insulasi rockwool. Gambar 3 merupakan grafik nilai

tegangan software stress analysis pada keseluruhan pipa yang dibagi menjadi 8 segmen hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat beban sustain masih dibawah batas ijin.



Gambar 3. Grafik Nilai Tegangan Akibat Beban Sustain

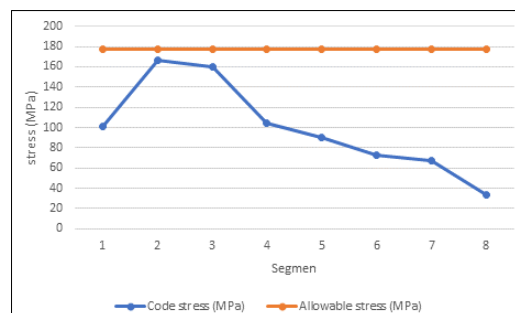
dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat beban sustain paling tinggi terletak pada segmen 5 yaitu sebesar 55 MPa yang akan ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Nilai Sustained Load Terbesar

3.8 Tegangan akibat beban Thermal

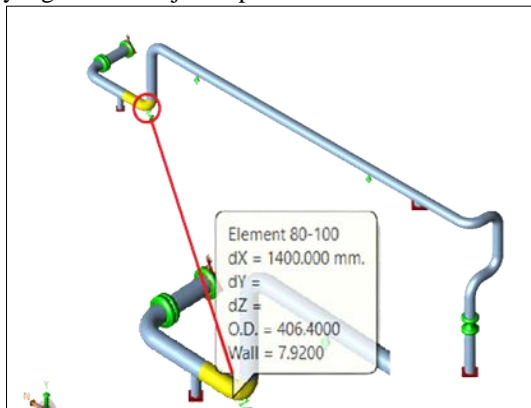
Analisa tegangan akibat beban thermal dilakukan pada keseluruhan pipa dengan insulasi rockwool. Gambar 5 merupakan grafik nilai tegangan software stress analysis pada keseluruhan pipa yang dibagi menjadi 8 segmen hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat beban thermal masih dibawah batas ijin.



Gambar 5. Grafik Nilai Tegangan Akibat Beban Thermal

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat beban thermal paling tinggi

terletak pada segmen 2 yaitu sebesar 166,79 MPa yang akan ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Nilai *Thermal Load* Terbesar

20279-7_5

- [7] S. Kannapan, *Introduction to Pipe Stress Analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1986.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan perpindahan panas dan penurunan temperature dipilih insulasi dengan material rockwool yang memiliki kualitas lebih baik dalam menjaga penurunan temperature. Selanjutnya dilakukan analisa tegangan pada pipa yang diberi insulasi rockwool dan didapatkan hasil bahwa *line* LBB10-BR001-16"-AA-H memenuhi batas ijin yang telah ditentukan berdasarkan ASME B31.1. Oleh karena itu, berdasarkan nilai *heat loss* dan nilai tegangan, maka desain insulasi pipa tersebut dinyatakan aman.

5. PUSTAKA

- [1] A. Chamsudi, "Piping Stress Analisis," *Diktat-Piing Stress Anal.*, p. 99, 2005.
- [2] E. Dewanti, H. Poernomo, and P. Mahardhika, "Analisis Tegangan dan Optimasi Ketebalan Insulasi Pipa Outlet Indirect Heater Menuju FWKO Tank pada Oil Plant Semberah," *Repos. ppns ac.id*, 2022, [Online].
- [3] ASME B31.1, *Power Piping - ASME Code for Pressure Piping, B31.1-2022*, vol. 1. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2022.
- [4] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Sixth edit., vol. 112. Canada: John Wiley & Sons, 2007. doi: 10.1007/978-3-319-15793-1_19.
- [5] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, and D. P. Dewwit, *Inroduction to heat transfer*, Sixth. Los Angeles: John Wiley & Sons, 2011.
- [6] Y. A. Cengel, *Heat Transference a Practical Approach*, vol. 4, no. 9. 2004. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642->