

# Penentuan Pemilihan Jenis Material dan Variasi Ketebalan Insulasi terhadap *Heat Loss* dan *Downstream Temperature*

Lulu Lutfiana<sup>1\*</sup>, Pekik Mahardhika<sup>2</sup>, Dianita Wardani<sup>3</sup>

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*,2,3</sup>

Email: [lulu.lutfiana@student.ppns.ac.id](mailto:lulu.lutfiana@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [pekikmahardhika@ppns.ac.id](mailto:pekikmahardhika@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [dianitawardani@ppns.ac.id](mailto:dianitawardani@ppns.ac.id)<sup>3</sup>;

**Abstract** – Design on line 11LCH-BR001-100-BB2-H, connected from the High Pressure Heater to the deaerator, has a diameter of 4 inches and a length of 53.3 meters. The specified temperature for the operating conditions is 186.6°C, and the pressure at the operating conditions is 23.45 bar. Due to the high temperature nature of the pipeline, insulation needs to be added, and an analysis is required to determine the optimal insulation thickness and material selection. The addition of insulation is necessary to prevent excessive heat loss and maintain the safety and performance of the piping system. Based on the analysis of nine insulation variations, it is determined that the type of material and insulation thickness have an impact on the heat loss value and downstream temperature of the pipe. For the optimal insulation selection, mineral wool material with a thickness of 50 mm is chosen. From a technical perspective, the heat loss value and downstream temperature for this material are 7077.056 watts and 186.095 degrees Celsius, respectively, which are considered low. In terms of economic cost, this material is affordable, with a total cost of Rp19,094,370.65. Therefore, mineral wool insulation with a thickness of 50 mm is deemed optimal both economically and technically.

**Keywords:** Downstream Temperature, Economic, Heat Loss, Insulation

## Nomenclature

- OD** Outside Diameter (in)
- ID** Inside Diameter (in)
- P** Tekanan (bar)
- V** Kecepatan aliran fluida (m/s)
- $\mu$**  Viskositas fluida (kg/m.s)
- C<sub>p</sub>** Heat Capacity (J/kg.K)
- K** Konduktivitas Thermal (W/m.K)
- $\dot{m}$**  mass flow (kg/s)

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan pembangunan, ekonomi, masyarakat dan sosial budaya terutama di wilayah Sulawesi Utara. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan listrik di wilayah tersebut pemerintah merencanakan pembangunan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). PLTU tersebut mempunyai 2 unit pembangkit dengan kapasitas 2X50 MW. Pada proyek ini salah satu perusahaan swasta yang bergerak dibidang EPC (*Engineering, Procurement, Construction*) mendapat kesempatan untuk pembangunan PLTU di wilayah tersebut.

Secara sederhana prinsip kerja dari PLTU yaitu air dipanaskan di boiler sampai menghasilkan uap panas (*superheated*). Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin. Dari putaran turbin, dihasilkan energi mekanis yang akan digunakan untuk menggerakkan generator. Pada generator, energi mekanis diubah menjadi energi listrik [3].

Dapat diketahui bahwa proses pemanasan air pengumpan menuju boiler menjadi hal penting. Pada proses tersebut salah satu komponen pendukung yaitu *High Pressure Heater* yang merupakan *feedwater*

*heater* bertekanan tinggi. Pada *outlet High Pressure Heater* merupakan *drain outlet* yaitu saluran keluar fluida campuran antara uap ekstraksi yang telah terkondensasi yang akan dialirkan masuk ke deaerator sehingga temperatur fluida harus dijaga.

Desain pada jalur line 11LCH-BR001-100-BB2-H terhubung dari *High Pressure Heater* menuju deaerator tersebut berdiameter 4 inch sepanjang 53,3 m dengan spesifikasi *temperature operation conditions* 186,6° C serta tekanan pada *operation conditions* 23,45 bar. Dengan spesifikasi *line* tersebut jalur pipa dengan high temperature sehingga perlu adanya penambahan insulasi dan diperlukan analisis perhitungan tebal dan pemilihan material insulasi yang optimal. Penambahan insulasi tersebut digunakan untuk menahan panas agar *heat loss* yang dihasilkan tidak terlalu besar serta menjaga sistem perpipaan tetap aman dan menghindari penurunan performa. Hasil analisis yang didapatkan diharapkan dapat menjadi acuan dalam penyelesaian masalah serta rekomendasi kepada perusahaan terkait.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menjelaskan analisis pengaruh jenis dan ketebalan insulasi terhadap *heat loss* dan *downstream temperature* pada pipa jalur *outlet High Pressure Heater* menuju deaerator serta menjelaskan analisis pemilihan variasi material dan ketebalan insulasi yang optimal berdasarkan perhitungan perpindahan panas.

### 2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena

adanya perbedaan temperatur. Pada penelitian ini perpindahan panas dilakukan hanya secara konveksi dan konduksi karena perpindahan panas dari permukaan yang panas menuju fluida yang ada disekitarnya sehingga perpindahan panas secara radiasi diabaikan. Adapun persamaan untuk mencari nilai *heat loss* perpanjangan pipa adalah sebagai berikut:

$$Q_{total} = \frac{T_a - T_u}{R_{total}} \tag{1}$$

**2.2 Perpindahan Panas Konveksi**

Perpindahan konveksi adalah perpindahan panas dari material padat menuju ke *liquid* atau gas yang bergerak mengenainya, dan proses perpindahan panas ini akan melibatkan kombinasi efek konduksi dan pergerakan fluidanya. Adapun persamaan untuk perpindahan panas konveksi sebagai berikut:

$$Q_{convection} = h \cdot A_s (T_s - T_{\infty}) \tag{2}$$

**2.3 Perpindahan Panas Konduksi**

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi akibat adanya perpindahan energi dari partikel yang memiliki energi lebih tinggi menuju partikel didekatnya yang memiliki energi lebih sedikit. Perpindahan panas konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \tag{3}$$

**2.4 Downstream Temperature**

Perhitungan *downstream temperature* ini dilakukan untuk mengetahui nilai perubahan suhu dari *inlet* menuju *outlet* pipa dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_i = T_a - \frac{Q_{total}}{\dot{m}C_p} \tag{4}$$

**2.5 Pemilihan Insulasi yang Optimal**

Pemilihan insulasi pada penelitian ini mempertimbangkan dari segi ekonomis dan segi teknis dengan menitik beratkan jenis dan ketebalan material insulasi mana yang harganya murah serta mempertimbangkan dari segi teknis insulasi yang dipilih memiliki nilai *heat loss* rendah, penurunan temperatur operasi sesuai dengan spesifikasi, dan tebal insulasi tidak kurang dari perhitungan *critical insulation thickness*.

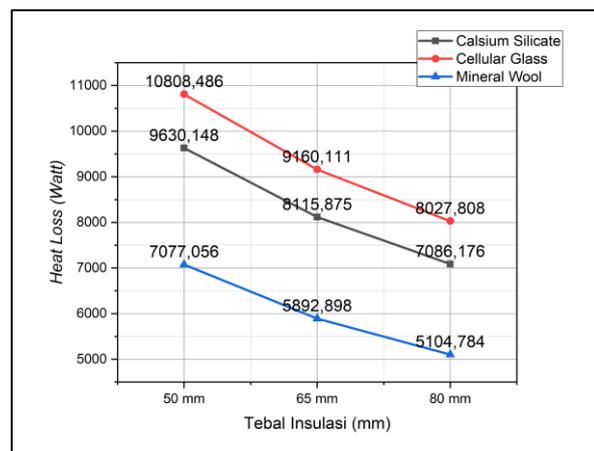
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Perhitungan Heat Loss**

Perhitungan *heat loss* pada penelitian ini sesuai dengan rangkaian thermal dengan menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan untuk keseluruhan variasi terdapat pada tabel 1.

Tabel 1: Hasil Perhitungan *Heat Loss* pada Semua Variasi

CALSIUM SILICATE		
Insulation Thickness (mm)	R Total (K/W)	Heat Loss (W)
50	5,556	9630,148
65	6,593	8115,876
80	7,551	7086,176
CELLULAR GLASS		
Insulation Thickness (mm)	R Total (K/W)	Heat Loss (W)
50	4,950	10808,486
65	5,841	9160,111
80	6,665	8027,808
MINERAL WOOL		
Insulation Thickness (mm)	R Total (K/W)	Heat Loss (W)
50	7,560	7077,056
65	9,079	5892,898
80	10,481	5104,784



Gambar 1 Grafik Pengaruh Ketebalan Insulasi Pipa terhadap Nilai *Heat Loss* Semua Variasi

Dari tabel 1 dan gambar 1 nilai *heat loss* terbesar terdapat pada insulasi dengan ketebalan 50 mm menggunakan material *calcium silicate* sebesar 10808,486 watt sedangkan nilai *heat loss* terkecil terdapat pada insulasi dengan ketebalan 80 mm menggunakan material *mineral wool* sebesar 5104,784 watt sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tebal ketebalan insulasi maka nilai *heat loss* semakin menurun, begitupun sebaliknya.

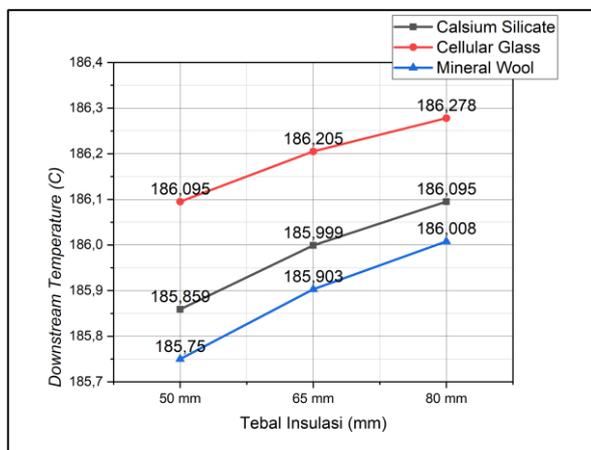
Perbedaan material insulasi juga mempengaruhi nilai *heat loss* meskipun dengan ketebalan yang sama namun material berbeda cukup mempengaruhi. Hal ini disebabkan material insulasi memiliki konduktivitas thermal yang berbeda – beda pada setiap jenis material insulasi. Konduktivitas thermal adalah kemampuan material untuk menghantarkan panas. Semakin rendah nilai konduktivitas thermal suatu material, semakin baik insulasi tersebut dalam mengurangi transfer panas, begitupun sebaliknya [1].

**3.2 Perhitungan Downstream Temperature**

Perhitungan *downstream temperature* menggunakan persamaan (4). Berikut hasil perhitungan *downstream temperature* pada keseluruhan insulasi terdapat pada tabel 2.

Tabel 2: Hasil Perhitungan *Downstream Temperature* Semua Variasi

CALSIUM SILICATE	
Insulation Thickness (mm)	Downstream Temperature (C)
50	185,859
65	185,999
80	186,095
CELLULAR GLASS	
Insulation Thickness (mm)	Downstream Temperature (C)
50	185,750
65	185,903
80	186,008
MINERAL WOOL	
Insulation Thickness (mm)	Downstream Temperature (C)
50	186,095
65	186,205
80	186,278



Gambar 2 Grafik Pengaruh Ketebalan Insulasi Pipa terhadap Nilai *Downstream Temperature* Semua Variasi

Ditinjau dari hasil kalkulasi bahwa hasil perhitungan nilai *downstream temperature* yang paling kecil terjadi pada pipa menggunakan insulasi jenis *mineral wool* dengan tebal 80 mm sebesar 186,278 C. Dan untuk nilai *downstream temperature* yang paling besar terjadi pada pipa menggunakan insulasi jenis *calcium silicate* dengan tebal 50 mm sebesar 185,750 C. Ditinjau dari hasil kalkulasi bahwa semakin tebal insulasi, temperatur fluida di dalam pipa dapat dipertahankan dengan baik dan jenis material insulasi juga mempengaruhi nilai *downstream temperature* pada suatu sistem perpipaan hal ini dikarenakan material insulasi memiliki konduktivitas thermal yang berbeda – beda. Dengan menggunakan material insulasi yang memiliki konduktivitas thermal rendah, temperatur fluida di dalam pipa akan lebih terlindungi dari perubahan temperatur lingkungan.

### 3.3 Pemilihan Insulasi Berdasarkan Analisis Ekonomis dan Teknis

Pemilihan insulasi ini mempertimbangkan dari segi ekonomis dan segi teknis. Dari segi ekonomis dengan menitik beratkan jenis dan ketebalan material insulasi mana yang harganya murah serta mempertimbangkan dari segi teknis insulasi yaitu memiliki nilai *heat loss*

rendah, penurunan temperatur operasi sesuai dengan spesifikasi dan tebal insulasi tidak kurang dari perhitungan *critical insulation thickness*. Berikut pemilihan insulasi dapat ditinjau pada tabel 3.

Tabel 3: Hasil Analisis Pemilihan Insulasi Berdasarkan Segi Ekonomis dan Segi Teknis Semua Variasi

Jenis Insulasi	Tebal (mm)	Parameter		
		Heat Loss (Watt)	Downstream Temperature (C)	Total Biaya (Rp)
Calsium Silicate	50	9630,148	185,859	Rp 45.821.650,97
	65	8115,876	185,999	Rp 61.852.690,50
	80	7086,176	186,095	Rp102.153.329,18
Celullar Glass	50	10808,486	185,750	Rp 35.756.862,16
	65	9160,111	185,903	Rp 46.960.314,17
	80	8027,808	186,008	Rp 59.933.880,66
Mineral Wool	50	7077,056	186,095	Rp 19.094.370,65
	65	5892,898	186,205	Rp 21.315.583,04
	80	5104,784	186,278	Rp 23.171.069,80

Semua variasi jenis dan ketebalan insulasi, memiliki masing-masing nilai *heat loss* cukup rendah, penurunan temperatur operasi (*downstream temperature*) masing-masing masih sesuai dengan spesifikasi, dan tebal insulasi tidak lebih dari *critical insulation thickness*. Untuk itu pemilihan insulasi yang optimal langsung berfokus dari segi ekonomis. Dari segi ekonomis biaya, material insulasi *mineral wool* dengan tebal 50 mm lebih terjangkau yaitu sebesar Rp19.094.370,65 jika dibandingkan dengan material *calcium silicate* dan *cellular glass*. Sehingga dapat direkomendasikan material insulasi yang optimal dengan mempertimbangkan dari segi ekonomis dan teknis adalah insulasi *mineral wool* dengan tebal 50 mm. Material insulasi *mineral wool* lebih murah dibandingkan dengan variasi material yang lain dikarenakan material insulasi *mineral wool* dibuat dengan hingga 60% bahan baku daur ulang dengan proses produksi relatif efisien menghasilkan volume produksi yang besar dengan biaya produksi rendah serta permintaan pasar yang tinggi dan kemampuan daur ulang yang tinggi yang ramah lingkungan [2].

### 4. KESIMPULAN

Jenis material dan ketebalan insulasi pada pipa memiliki pengaruh terhadap *heat loss* dan *downstream temperature*. Semakin tebal nilai ketebalan insulasi pipa maka nilai *heat loss* semakin menurun sedangkan untuk nilai *downstream temperature*, semakin tebal insulasi pipa maka temperature fluida didalam pipa dapat dipertahankan dengan baik. Jenis material insulasi pipa juga mempengaruhi nilai *heat loss* dan *downstream temperature* hal ini dikarenakan material insulasi pipa memiliki nilai konduktivitas thermal yang berbeda-beda yang mana semakin besar nilai konduktivitas thermal pada material insulasi maka semakin besar pula nilai *heat loss* yang dihasilkan dan nilai semakin

rendah juga nilai temperature fluida yang dapat dipertahankan. Direkomendasikan material insulasi yang optimal dengan mempertimbangkan dari segi ekonomis dan teknis adalah insulasi *mineral wool* dengan tebal 50 mm.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Allah SWT karena tanpa rahmat dan ridhoNya penulis tidak bisa mengerjakan jurnal ini dengan baik dan lancar.
2. Orang tua penulis, Ibu Nurul Hidayati dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa mencurahkan doa, dukungan dan kasih sayang.
3. Bapak Pekik Mahardhika, S. ST., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi arahan, bimbingan dan motivasi.
4. Ibu Dianita Wardani, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberi arahan, bimbingan dan motivasi.
5. Teman – teman seperjuangan Teknik Perpipaan angkatan 2019 yang saling berbagi cerita dan masalah, serta selalu memberikan semangat, bantuan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh pihak yang secara langsung atau tidak langsung membantu dan mendukung dalam menyelesaikan jurnal ini.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Y. A. (2004). *Heat Transference a Practical Approach*. MacGraw-Hill, 4(9), 874. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5)
- [2] Eurima. (2023). *Mineral wool insulation and the road to a climate neutral Europe*. European Insulation Manufacturers Association.
- [3] Wijanarko, N. P. (2017). *Re-Design High Pressure Heater ( Hph ) 5 Unit 1 Di Pt . Pjb . Up Gresik Menggunakan Analisis Termodinamika dan Perpindahan Panas*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember