

# Perancangan Insulasi Pipa Distribusi Air Dingin untuk Penghematan Energi Sistem Pendingin Hotel Grand Tjokro Bandung

Muhammad Rafif Musyaffa Al Fakhri<sup>1</sup>, Saptoprajogo<sup>2</sup>, Annisa Syafitri Kurniasetiawati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : Muhammad.rafif.tken417@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : saptoprajogo@gmail.com

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : annisa.syafitrik@polban.ac.id

## ABSTRAK

Sistem pendingin merupakan salah satu sistem yang sangat penting dan salah satu yang konsumsi energinya paling besar pada sebuah hotel termasuk di Hotel Grand Tjokro Bandung. *Heatloss* pada pipa air dingin adalah sebuah masalah yang ada pada sistem. *Heat loss* tersebut dapat diketahui melalui perbedaan temperatur air di dalam pipa *chilled water*. Perancangan perbaikan dimulai dari mencari *heatloss eksisting* yaitu sebesar 419.31 kW untuk pipa *supply AHU* dan 209.44 kW untuk *return chiller*. Lalu dilakukan sinkronisasi menggunakan *aspen plus* untuk *eksisting* adalah 410.41 kW dan 209.529 kW. Dilanjutkan dengan menentukan ketebalan perbaikan insulasi sesuai standar SNI-6390:2011 ketebalan minimum untuk tebal pipa *eksisting* dengan temperatur kerja 4,5 – 13° C adalah 25 mm ditambah apabila pada temperatur ambien ditambah lagi 12 mm sehingga menjadi 37 mm, sedangkan *eksisting* nya adalah 20 mm, artinya perlu penambahan 17 mm sedangkan di pasaran tersedia 19 mm, maka dipilihlah penambahan insulasi sebesar 19 mm. *Heat loss* yang didapat untuk insulasi *armaflex* adalah 39.688 kW dan 36.57 kW sedangkan untuk insulasi *glasswool* sebesar 36.689 kW dan 34.547. Dibandingkan dengan kondisi eksisting terlihat penurunan cukup jauh untuk menggunakan bahan *armaflex* ataupun *glasswool*.

## Kata Kunci

*Chiller, Heatloss, Insulasi, Software Aspen Plus*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem Pendingin *central* tipe *water chiller* banyak digunakan di sektor komersil salah satunya di perhotelan, salah satu hotel yang menggunakan sistem ini adalah Hotel Grand Tjokro Bandung. Alat ini merupakan salah satu sistem yang konsumsi energinya paling besar di suatu hotel., (Suwono, 2005) menyebutkan sekitar 60% konsumsi listrik hotel digunakan untuk memasok energi mesin AC. *Heat loss* pada pipa air dingin adalah sebuah masalah yang ada pada sistem. *Heat loss* tersebut dapat diketahui melalui perbedaan temperatur air di dalam pipa *chilled water* dapat diatasi dengan melakukan perancangan insulasi. Tujuan penelitian ini adalah merancang insulasi pipa distribusi air dingin untuk mengurangi rugi kalor pada *Chilled water system* di Hotel Grand Tjokro Bandung dan menganalisis penghematan energi pada dari segi teknis dan ekonomis. Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu analisis ekonomi teknik diperlukan untuk mengetahui kelayakan perbaikan yang dilakukan seperti Payback Period (PBP) dan Net Present Value (NPV), untuk analisis teknisnya dilihat dari rugi kalor yang terjadi pada pipa distribusi air dingin. Batasan masalah pada penelitian ini adalah penurunan kerja *AHU* diluar bahasan ini dan perpindahan panas *steady-state* satu dimensi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

*Chilled Water System* bekerja dengan menyediakan pendingin bagi sebuah bangunan dengan menggunakan *Chilled Water* untuk menyerap panas dari ruangan yang ada pada suatu bangunan

### 2.1 *Chilled Water System*

*Chilled Water System* bekerja dengan menyediakan pendingin bagi sebuah bangunan dengan menggunakan *Chilled Water* untuk menyerap panas dari ruangan yang ada pada suatu bangunan. Pada bagian inti dari *Chilled Water System*, 'chiller' atau pendingin bekerja dengan menghilangkan panas dari air melalui siklus pendinginan atau yang disebut juga dengan *Refrigation Cycle*.

Air dingin yang dihasilkan chiller didistribusikan melalui sistem sirkulasi pipa dengan jarak tertentu agar dapat mencapai lokasi beban pendingin. Kerugian energi dari chiller ke beban pendingin dan dari beban pendingin ke chiller dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dan dapat diatasi dengan insulasi yang baik dengan indikator perbedaan temperatur chiller ke beban Pendingin dan perbedaan temperatur beban pendingin ke chiller adalah tidak lebih dari 1°C. (SNI 03-6390-2000)

## 2.2 Perpindahan Panas pada Secara Konduksi

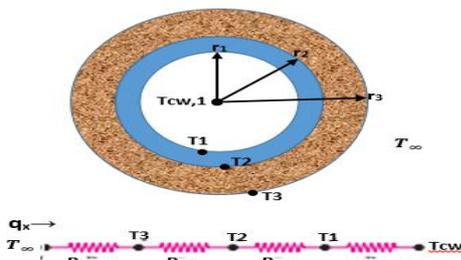
Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan energi sebagai kalor dengan melalui sebuah proses medium seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan tenaga akan timbul karena adanya atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih bergairah, sehingga atom-atom dapat memindahkan tenaga kepada atom-atom yang lebih lesu berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni panas. Pada logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran panas. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga mudah bergerak, dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul. (Reynold dan Perkins, 1983).

## 2.3 Perpindahan Panas pada Secara Konveksi

Konveksi adalah salah satu cara panas berpindah dari suatu media dengan media lainnya. Dalam ilmu teknik termal, cara panas berpindah yaitu dari media yang mempunyai temperatur tinggi, ke media dengan temperatur lebih rendah. Perpindahan panas secara konveksi terjadi dari fluida ke media lain dalam hal ini lingkungan ataupun sebaliknya karena adanya pergerakan fluida [Sri Wuryanti, 2010]

## 2.4 Perpindahan Panas pada Pipa Air Dingin

Perbandingan  $\Delta T/R$  melewati lintasan manapun hasilnya adalah sama atau tetap konstan apabila perpindahan panas steady state satu dimensi. Dapat dilihat pada gambar 1/ (Yunus A Cengel)



Gambar 1. Perpindahan panas pada pipa silinder distribusi air dingin  
(Sumber : Yunus A Cengel)

Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$q_x = \frac{T_1 - T_3}{R_{conv,1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{ins}} = \frac{T_3 - T_1}{R_{ins} + R_{pipa}} = \frac{T_2 - T_3}{R_{pipa}} = \frac{T_2 - T_{cw}}{R_{pipa} + R_{conv,2}}$$

$$= \dots$$

## 2.5 Insulasi Pipa

Insulasi pipa sangat dibutuhkan dalam sistem distribusi air dingin yang membutuhkan temperature agar dijaga konstan, karena dapat mempengaruhi heat loss pada distribusi air dingin. Dengan penggunaan insulasi pipa dengan material isolator yang mempunyai tingkat

konduktivitasnya rendah dapat mengurangi heat loss pada distribusi dan juga dapat mengurangi konsumsi energi pada chiller.

## 2.6 Analisis Ekonomi Teknik

### a) Payback Period (PBP)

Payback Period adalah lama waktu agar modal investasi dapat kembali lagi

### b) Net Present Value (NPV)

NPV adalah Keuntungan bersih yang didapat dari penanaman investasi setelah dikurangi discount factor. Discount factor bergantung kepada laju bunga tiap tahunnya. Apabila NPV nilainya diatas 0 berarti dapat dikatakan peluang penghematannya layak

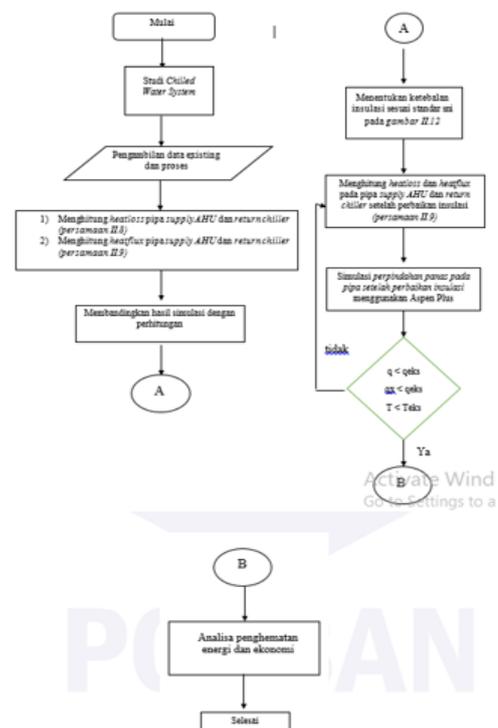
### c) MARR (Minimum attractive rate of return)

## 2.7 Software Aspen Plus

Aspen Plus digunakan untuk menganalisis heatloss yang terjadi pada pipa distribusi air dingin eksisting maupun setelah perbaikan insulasi. Aspen Plus menyediakan suatu unit permodelan dimana terdapat nilai masukan yang harus diberikan. Perancangan perbaikan insulasi menggunakan parameter heatflux yang tersedia pada Aspen plus , dimana heatflux yang sebelumnya telah didapat melalui perhitungan manual perancangan insulasi akan ada perubahan dari eksisting lalu didapat parameter seperti perubahan temperature, tekanan, dan heat duty / heatloss yang terjadi pada pipa distribusi air dingin di Hotel Grand Tjokro Bandung.

## 3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 yaitu pada diagram alur penelitian.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Rumus perhitungan yang digunakan dalam perancangan yaitu

1) *Heat loss Eksisting*

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

2) *Heatflux Eksisting*

$$q_x = \frac{q}{A_{ins}}$$

3) *Resistansi Termal Insulasi*

$$R_{ins} = \frac{\ln r_3 / r_2}{2\pi \times L \times K_{ins}}$$

4) *Heatflux setelah perbaikan insulasi*

$$q_x = \frac{T_3 - T_2}{R_{ins}}$$

5) *Heat loss setelah perbaikan insulasi*

$$q = q_x \times A_{ins}$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Eksisting chilled water system Hotel Grand Tjokro Bandung

Tabel 1. Data Lapangan Eksisting

Parameter Eksisting	
Temperatur Keluar Chiller (°C)	6
Temperatur Pipa Supply AHU (°C)	10
Temperatur Return AHU (°C)	11.5
Temperatur Pipa Return Chiller (°C)	13.5
Debit (Kg/s)	25.63
Temperatur Lingkungan (°C)	45
Daya Input Chiller (KW)	350
Jari Jari Luar (mm)	84.15
Jari Jari Dalam (mm)	77.05
Tebal Insulasi (mm)	20
Panjang Pipa (m)	200

1. Menghitung *Heatloss Eksisting*

Pipa Supply AHU

$$\begin{aligned} q_{eks1} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 25,63 \text{Kg/s} \times 4,09 \text{KJ/Kg.C} \times (10-6) \text{C} \\ &= 419,31 \text{ KW} \end{aligned}$$

Pipa Return Chiller

$$\begin{aligned} q_{eks2} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 25,63 \text{Kg/s} \times 4,086 \text{KJ/Kg.C} \times (13,5-11,5) \text{C} \\ &= 209,44 \text{ KW} \end{aligned}$$

2. Menghitung *Heatflux Eksisting*

Pipa Supply AHU

$$\begin{aligned} q_{x \text{ eks1}} &= \frac{q_{eks1}}{A_{ins \text{ eksisting}}} = \frac{419,31}{2\pi (0,104 \text{m})(200 \text{m})} \\ &= 3,208 \text{ KW/m}^2 \text{ atau } 2096 \frac{\text{W}}{\text{m}} \end{aligned}$$

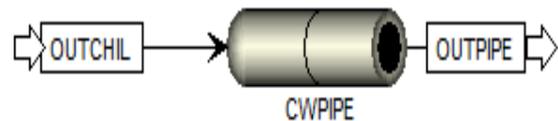
Pipa Return Chiller

$$\begin{aligned} q_{x \text{ eks2}} &= \frac{q_{eks2}}{A_{ins \text{ eksisting}}} = \frac{209,44}{2\pi (0,104 \text{m})(200 \text{m})} \\ &= 1,602 \text{ KW/m}^2 \text{ atau } 1047,2 \text{ W/m} \end{aligned}$$

3. Simulasi Aspen Plus Eksisting

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan untuk eksisting kemudian dilakukan simulasi. Agar terlihat data dan hasil perhitungan sudah valid atau belum. Menggunakan parameter input seperti pada Tabel.1 lalu untuk parameter hasil perhitungan heatflux diinputkan ke simulasi.

Berikut Rangkaian Simulasi dari data dan hasil eksisting pada gambar 3 dan gambar 4



Gambar 3. Rangkaian Simulasi Pipa Supply AHU



Gambar 4. Rangkaian Simulasi Pipa Return Chiller

Perbedaan pada rangkaian simulasi antara pipa supply AHU dan return chiller adalah pada input dan output pipa sedangkan untuk fluidanya masih sama yaitu menggunakan air.

Maka didapatkan hasil simulasi aspen sebagai berikut pada tabel 2

Tabel 2. Perbandingan Data Eksisting dan Simulasi

Parameter Eksisting	Lapangan	Simulasi
Temperatur Pipa Supply AHU (°C)	10	9.6
Temperatur Pipa Return Chiller (°C)	13.5	13.3
Heatloss Pipa Supply AHU (Q1) (KW)	419.31	410.41
Heatloss Pipa Return Chiller (Q2) (KW)	209.44	209.529

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *aspen plus* didapat perbandingan seperti pada Tabel.2 dan hasilnya sudah valid perbedaannya tidak terlalu jauh. Lalu penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan perancangan perbaikan insulasi.

#### 4. Menentukan Tebal Insulasi untuk Perbaikan

Berdasarkan Standar SNI 6390:2011 untuk ukuran pipa 6 inch atau 154.1 mm, ukuran insulasi minimumnya adalah 25mm, sedangkan insulasi eksisting yang digunakan adalah 20 mm berarti masih harus ditambah dan juga apabila pipa berada di lingkungan ambien perlu ditambah lagi 12 mm agar sesuai standar untuk menjaga temperature fluida agar tidak terpengaruh oleh panas dari luar dan juga mencegah kondensasi.

Maka dari itu perlu ada perbaikan insulasi yaitu penambahan 17 mm insulasi armafex yang sama dengan eksisting ataupun boleh menggunakan bahan insulasi lain. Pada tugas akhir ini akan ada 2 perbandingan perbaikan yaitu menggunakan insulasi yang sama yaitu armafex dan juga bahan insulasi lain.

Tebal Insulasi di pasaran tidak ada yang tepat 17 mm, sehingga dicari yang mendekati yaitu sebesar 19 mm. Standar SNI dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.

Sistem pemipaan	Temperatur fluida (°C)	Tebal isolasi minimum untuk ukuran pipa (mm)			
		Hingga 50 mm	Kurang dari 25 mm	Antara 31 – 50 mm	Diatas 200 mm
Jenis	Jelajah *)				
Air sejuk (chilled water)	4.5 – 13	12	12	20	25
Refrigeran	Dibawah 4.5	25	25	38	38

CATATAN :

- \*) - bila pipa berada di lingkungan ambien perlu ditambah isolasi 12 mm.
- tebal isolasi perlu ditambah bila ada kemungkinan terjadi kondensasi permukaan.
- tebal isolasi ini berlaku untuk bahan dengan resistansi termal 28 hingga 32 m<sup>2</sup>.K/W per meter tebal isolasi pada temperatur rata-rata permukaan 24 °C.
- \*) - berlaku untuk tarikan sambungan pipa ke unit-unit terminal atau coil pendingin hingga panjang 4 meter.

Gambar 5. Ketentuan Ketebalan Insulasi Pipa Air Dingin (SNI 6390:2011)

#### 5. Perhitungan Heatflux Setelah Perbaikan Insulasi

Setelah dilakukan penentuan ketebalan, selanjutnya dilakukan perhitungan *heatflux* setelah perbaikan untuk mengetahui nilai *heatloss* setelah perbaikan dan juga menjadi parameter *input* pada simulasi nanti. Sebelumnya adalah menghitung resistansi termal insulasi untuk *armaflex* dan *glasswool*.

##### a) armafex

$$R_{ins\ armafex} = \frac{\ln r^3 / r_2}{2\pi \times L \times K_{ins}}$$

$$R_{ins\ armafex} = \frac{\ln 103.65 / 84.15}{2\pi \times 200 \times 0.0036} = 0.0461 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

##### Pipa Supply AHU

Saya disini mengambil selisih 0.3°C karna keadaan di lapangan tidak akan ideal menjadikan temperature yang diinginkan (T2) adalah 6.3°C dan Temperatur surface pipa (T3)

$$q_{x1\ armafex} = \frac{T_3 - T_2}{R_{ins}}$$

$$q_{x1\ armafex} = \frac{20 - 6.3}{0.0461} = 303.687 \frac{w}{m^2} \text{ atau } 198.44 \text{ w/m}$$

##### Pipa Return Chiller

Untuk menghitung *heatflux* dan *heatloss* pada pipa return chiller dibutuhkan selisih temperature surface dan keluaran yang diinginkan. Dikarenakan kerja AHU tidak dibahas pada tugas akhir ini maka saya menggunakan asumsi dari data temperature keluaran AHU lalu diambil selisih temperature paling besar antara masukan AHU dan keluaran AHU yang menggambarkan bahwa kerja AHU ada pada kondisi paling besar sehingga dapat mewakili kondisi lapangan paling buruk, datanya seperti berikut :

Tabel 3. Data Lapangan

Parameter	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
Temperatur Pipa Supply AHU (°C)	8	8	9	10	9	8	10
Temperatur Return AHU (°C)	9	8.8	10.2	11	9.8	9.2	11.5
Daya Chiller (kW)	300	275	325	320	275	300	350

Dari data diatas maka diambil perubahan terbesar yaitu pada pukul 16.00 sebesar 1.5°C, dan juga karena temperature masuk AHU sudah ada perubahan karena penggantian insulasi menjadi 6.3°C pada perhitungan (qx1) sehingga berpengaruh pada temperature return AHU menjadi 7.8°C karena keadaan lapangan tidak akan ideal temperature yang diinginkan (T2) adalah 8.1°C dan Temperatur Surface pipa (T3) = 20°C maka :

$$q_{x2\ armafex} = \frac{T_3 - T_2}{R_{ins}}$$

$$q_{x2\ armafex} = \frac{21 - 8.1}{0.0461}$$

$$q_{x2\ armafex} = 279.826 \frac{w}{m^2} \text{ atau } 182.852 \text{ w/m}$$

##### b) Glasswool

$$R_{ins\ glasswool} = \frac{\ln r^3 / r_2}{2\pi \times L \times K_{ins}}$$

$$R_{ins\ glasswool} = \frac{\ln 103.65 / 84.15}{2\pi \times 200 \times 0.0034} = 0.0488 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

##### Pipa Supply AHU

$$q_{x1} = \frac{T_3 - T_2}{R_{ins}}$$

$$q_{x1} = \frac{20 - 6.3}{0.0488}$$

$$q_{x1} = 280.737 \frac{w}{m^2} \text{ atau } 183.45 \text{ w/m}$$

##### Pipa Return Chiller

$$q_{x2} = \frac{T_3 - T_2}{R_{ins}}$$

$$q_{x2} = \frac{21 - 8.1}{0.0488}$$

$$q_{x2} = 264.344 \frac{w}{m^2} \text{ atau } 172.735 \text{ w/m}$$

6. Perhitungan *Heatloss* setelah perbaikan

$$q = qx \times Ains$$

Dengan menggunakan persamaan diatas maka diketahui pada tabel 4 yaitu hasil perhitungan Heat Loss setelah dilakukan perbaikan

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Heatloss*

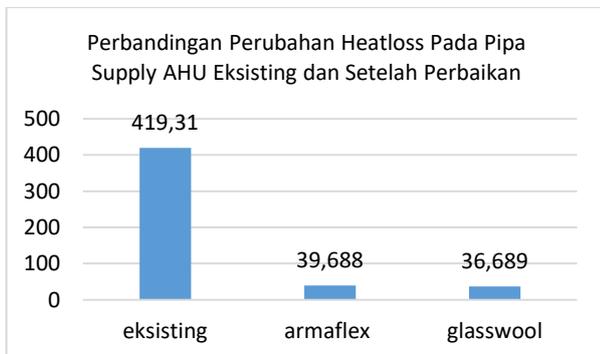
Bahan Insulasi	Parameter	Hasil
Armaflex	Heatloss Pipa Supply AHU (q1armaflex),kW	39.688
	Heatloss Pipa Return Chiller (q2armaflex),kW	36.57
Glasswool	Heatloss Pipa Supply AHU (q1glasswool),kW	36.689
	Heatloss Pipa Return Chiller (q2glasswool),kW	34.547

7. Analisis

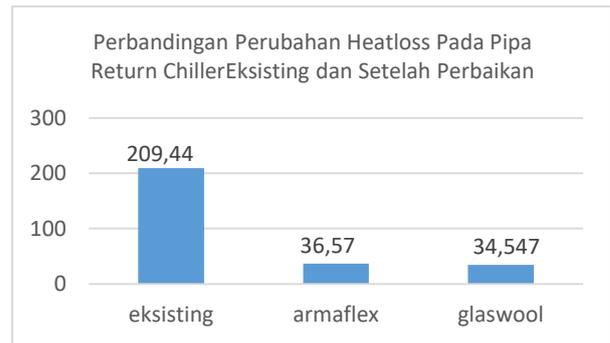
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada tabel 4 telah didapatkan heatloss yang terjadi pada pipa chilled water untuk pipa supply AHU dan pipa return chiller. Setelah dilakukan perbaikan terlihat bahwa terjadi penurunan besar heatloss yang terjadi pada pipa chilled water dikarenakan perbedaan temperature output dan input pipa berhasil dikurangi pada pipa supply AHU maupun pada pipa return Chiller.

Pada penelitian kali ini memperbaiki insulasi untuk mempertahankan temperatur input dan output sebisa mungkin tidak ada perubahan yang besar dikarenakan oleh panas dari luar atau lingkungan yang sebelumnya saat kondisi eksisting sebelum dilakukan perbaikan insulasi heatloss nya masing masing untuk pipa supply AHU dan return chiller adalah 419.31 kW dan 209.44 kW.

Perbandingan heatloss antara eksisting dan setelah perbaikan insulasi dapat dilihat pada diagram pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Diagram Perbandingan Perubahan Heatloss Pipa Supply AHU Eksisting dan Setelah Perbaikan



Gambar 7. Diagram Perbandingan Perubahan Heatloss Pipa Return Chiller Eksisting dan Setelah Perbaikan

Lalu dilakukan sinkronisasi menggunakan *aspen plus* dengan menginputkan *heatloss* hasil perhitungan ke simulasi untuk pipa *supply AHU* dan *return chiller* dan didapatkan hasil seperti berikut :

Tabel 5. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi

Bahan Insulasi	Parameter	Perhitungan	Simulasi
Armaflex	Heatloss Pipa Supply AHU (Q1) (KW)	39.688	39.715
	Heatloss Pipa Return Chiller (Q2) (KW)	36.57	36.6992
	Temperatur Supply AHU (°C)	6.3	6.347
	Temperatur Return Chiller (°C)	8.1	8.12
Glasswool	Heatloss Pipa Supply AHU (Q1) (KW)	36.689	36.7935
	Heatloss Pipa Return Chiller (Q2) (KW)	34.547	34.6458
	Temperatur Supply AHU (°C)	6.3	6.321
	Temperatur Return Chiller (°C)	8.1	8.102

maksimal toleransi perbedaan sekitar tidak lebih dari 15% (Aspen Technology, 2005) . Maka perancangan perbaikan dinyatakan layak dan valid.

Output pipa supply AHU mempengaruhi kerja dari AHU dan output pipa return chiller mempengaruhi konsumsi energi chiller. Karena kerja AHU tidak dibahas tetapi tetap mempengaruhi input dari pipa return chiller maka tetap dilakukan perbaikan tetapi nilai penghematannya tidak dapat dihitung secara langsung tapi mempunyai dampak kepada perubahan temperatur output AHU yang masuk ke pipa return chiller. Sehingga yang dilakukan perhitungan penghematan yang mempengaruhi langsung terhadap konsumsi chiller yaitu heatloss pada pipa return chiller dan penghematan yang dapat dilakukan adalah 172.87 kWh/hari atau Rp 89.908.304,04,- / tahun untuk bahan *armaflex* dan 174.893 kWh/hari atau Rp 90.960.450,16,- untuk bahan *glasswool* dengan biaya investasi meliputi insulasi 200 lembar, lem insulasi 10 kaleng, dan 10 pekerja selama 10 hari biaya total investasi untuk penggantian insulasi *armaflex* adalah Rp 87.400.000,- dan untuk *glasswool* adalah Rp 60.400.000,-.

Selanjutnya dilakukan analisis ekonomi teknik meliputi *payback period* dan *NPV* dengan nilai *i*% atau *marr* dihitung dari total suku bunga, inflasi dan resiko yang didapat dari (TRADING ECONOMICS, 2021) yaitu 6.18%. Maka didapat didapat untuk penggantian insulasi *armaflex payback period* selama 0.97 tahun dengan *NPV* selama 5 tahun sebesar Rp 340.320.774.8 dan untuk penggantian insulasi *glasswool payback period* selama 0.66 tahun dengan *NPV* selama 5 tahun sebesar Rp 372.326.149.8.

## 5. KESIMPULAN

1. Heatloss keadaan eksisting pipa supply AHU dan pipa return chiller adalah sebesar 419.31 kW dan 209.44 kW
2. Perancangan perbaikan insulasi yaitu menambah ketebalannya sebesar 19 mm berdasarkan SNI 6390:2011
3. Hasil perancangan perbaikan insulasi *armaflex* mempertahankan temperature fluida untuk supply AHU 6.3oC dan return chiller 8.10C
4. Hasil perancangan perbaikan insulasi menggunakan insulasi *armaflex* mengurangi heatloss menjadi 39.688 kW untuk supply AHU dan 36.57 kW untuk return chiller. Dengan penghematan energi sebesar 172.87 kWh/hari atau senilai Rp 89.908.304,04,-/tahun dengan pengembalian modal (*payback period*) selama 0.97 tahun dan didapatkan *NPV* sebesar Rp 340.320.774.8 selama 5 tahun. Sehingga perancangan ini layak dari segi ekonomi karena memenuhi standar.
5. Hasil perancangan perbaikan insulasi menggunakan insulasi *glasswool* mengurangi heatloss menjadi 36.689 kW untuk supply AHU dan 34.547 kW untuk return chiller. Dengan penghematan energi sebesar 174.893 kWh/hari atau senilai Rp 90.960.450,16,- dengan pengembalian modal (*payback period*) selama 0.66 tahun dan didapatkan *NPV* sebesar Rp 372.326.149.8 selama 5 tahun. Sehingga perancangan ini layak dari segi ekonomi karena memenuhi standar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kreith, Frank. 1997, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas. Edisi Ketiga. Erlangga: Jakarta.
- [2] Holman, J. P, 1997, Perpindahan Kalor, alih bahasa: Jasjfi. E, Ir. M.Sc. Edisi Keenam, Erlangga, Jakarta.
- [3] Stoecker, W.F., 1994, Refrigeransi dan Pangkondisian udara, Erlangga, Jakarta
- [4] Kern, D.Q. 1983. Process Heat Transfer. McGraw Hill International Book Company. Tokyo
- [5] Sri Wuryanti. 2010, Modul Perpindahan Panas. Politeknik Negeri Bandung
- [6] Ariyon, M. (2013). Analisis Ekonomi Pemilihan Electric Submersible Pump Pada Beberapa Vendor. Journal of Earth Energy Engineering, Jurusan Teknik Perminyakan - UIR, 9-19.
- [7] Aspen Technology. (2005). Dynamic Modeling. Cambridge, USA
- [8] Cengel, Y. 2006. Heat and Mass Transfer A Particle Approach Third Edition SI Units. The McGraw-Hill Companies: New York
- [9] 2021. IndonesiaEconomicsIndicators. <https://tradingeconomics.com/indonesia/indicators/> diakses pada 18 Juni 2021
- [10] Baliarta, Suamir, dan Arsana. 2016. Kajian Pengaruh Temperatur Approach Evaporator dan Kondenser terhadap Performansi Sistem AC Sentral Tipe Water Chillers. Jurnal. Bali.
- [11] SNI 6390. 2011. Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- [12] SANTOSO, S. J. (n.d.). ANALISA PERBANDINGAN KONSUMSI LISTRIK PADA AC SPLIT BERBAHAN PENDINGIN MC - 22. 1.
- [13] SNI 6390. 2000. Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- [14] Pei Huang, Godfried Augenbroeb.(2018). Investigation of maximum cooling loss in a piping network using Bayesian Markov Chain Monte Carlo method. College of architecture, Georgia Institute of Technology, Atalanta, GA, USA.
- [15] SNI 6196. 2011. Audit Energi pada Bangunan Gedung. Jakarta