

BAB IV

PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

4.1 PENGUMPULAN DATA

Data-data yang diperoleh dari pencatatan dari *stand meter* yang berada pada masing-masing sistem. Adapun data yang diperlukan untuk penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

4.1.1 Data Jumlah Konsumsi Air PAM

Data yang ditampilkan ini ialah data jumlah konsumsi air PAM selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007, adapun data konsumsi air PAM dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut ini :

Tabel 4.1 Jumlah Konsumsi Air PAM

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (m3)	Total konsumsi Perbulan (m3)	Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (m3)	Total konsumsi Perbulan (m3)
2006	Januari	24	431	2007	Januari	9	217
	Februari	28	589		Februari	8	180
	Maret	23	488		Maret	7	190
	April	24	488		April	7	160
	Mei	27	567		Mei	7	159
	Juni	21	452		Juni	7	175
	Juli	14	295		Juli	9	189
	Agustus	10	238				
	September	9	263				
	Oktober	13	264				
	November	11	312				
	Desember	11	301				

Sumber data: PT. X, Jakarta

4.1.2 Data Jumlah Konsumsi Solar

Data yang ditampilkan ini ialah data jumlah konsumsi solar selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007, adapun data konsumsi solar dapat dilihat pada Tabel 4.2. berikut ini :

Tabel 4.2 Jumlah Konsumsi Solar

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (liter)	Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (liter)
2006	Januari	2574	2007	Januari	2102
	Februari	2424		Februari	2060
	Maret	2427		Maret	1758
	April	2710		April	1753
	Mei	2703		Mei	2197
	Juni	2787		Juni	2220
	Juli	3019		Juli	2464
	Agustus	2888			
	September	2480			
	Oktober	2220			
	November	2225			
	Desember	2451			

Sumber data: PT. X, Jakarta

4.1.3 Data Pengolahan Limbah *Condensate* Uap Air

Data yang ditampilkan ini ialah data pengolahan limbah *condensate* uap air selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007 .

Tabel 4.3 Data Pengolahan Limbah *Condensate* Uap Air

Tahun	Bulan	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m ³)	Tahun	Bulan	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m ³)
2006	Januari	25	2007	Januari	10
	Februari	29		Februari	9
	Maret	24		Maret	8
	April	25		April	8
	Mei	28		Mei	8
	Juni	22		Juni	8
	Juli	15		Juli	10
	Agustus	11			
	September	10			
	Oktober	14			
	November	12			
	Desember	12			

Sumber data: PT. X, Jakarta

4.1.4 Data Biaya Operasi Sistem Berjalan

Biaya operasi sistem yang berjalan saat ini mencakup berbagai jenis pengeluaran harian yang saat ini masih berjalan. Pengeluaran tersebut meliputi; biaya penggunaan air PAM, biaya penggunaan solar, biaya pengolahan *condensate* uap air.

Tabel 4.4 Biaya Operasi dan Perawatan

No	Elemen Biaya	Satuan	Biaya per Satuan
1	Biaya konsumsi Air PAM	m ³	Rp.15.000,-
2	Biaya konsumsi solar	liter	Rp.5.480,-
3	Biaya pengelolaan limbah <i>condensate</i> uap air	m ³	Rp.10.500,-

Sumber data: PT. X, Jakarta

4.2 PENGOLAHAN DATA

4.2.1 Perhitungan Biaya Air PAM

Hasil perhitungan biaya untuk konsumsi Air PAM rata-rata perhari selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007 dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5 Biaya Konsumsi Air PAM

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (m ³)	Biaya Air PAM (Rp/m ³)	Total Biaya Rata-rata perhari (Rp/m ³)
2006	Januari	24	15.000	360.000
	Februari	28	15.000	420.000
	Maret	23	15.000	345.000
	April	24	15.000	360.000
	Mei	27	15.000	405.000
	Juni	21	15.000	315.000
	Juli	14	15.000	210.000
	Agustus	10	15.000	150.000
	September	9	15.000	135.000
	Oktober	13	15.000	195.000
	November	11	15.000	165.000
	Desember	11	15.000	165.000

Sumber data: PT. X, Jakarta

Tabel 4.5 Biaya Konsumsi Air PAM (cont')

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (m3)	Biaya Air PAM (Rp/m3)	Total Biaya Rata-rata perhari (Rp/m3)
2007	Januari	9	15.000	135.000
	Februari	8	15.000	120.000
	Maret	7	15.000	105.000
	April	7	15.000	105.000
	Mei	7	15.000	105.000
	Juni	7	15.000	105.000
	Juli	9	15.000	135.000

Sumber data: PT. X, Jakarta

Grafik biaya konsumsi Air PAM dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.2.2 Perhitungan Biaya Solar

Hasil perhitungan biaya untuk konsumsi solar rata-rata perhari selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007 dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut ini :

Tabel 4.6 Biaya Konsumsi Solar

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (liter)	Biaya Solar (Rp/lit)	Total Biaya Rata-rata perhari (Rp/lit)
2006	Januari	2574	5.480	14.105.520
	Februari	2424	5.480	13.283.520
	Maret	2427	5.480	13.299.960
	April	2710	5.480	14.850.800
	Mei	2703	5.480	14.812.440
	Juni	2787	5.480	15.272.760
	Juli	3019	5.480	16.544.120
	Agustus	2888	5.480	15.826.240
	September	2480	5.480	13.590.400
	Oktober	2220	5.480	12.165.600
	November	2225	5.480	12.193.000
	Desember	2451	5.480	12.828.680

Sumber data: PT. X, Jakarta

Tabel 4.6 Biaya Konsumsi Solar (cont')

Tahun	Bulan	Konsumsi rata-rata Perhari (liter)	Biaya Solar (Rp/lt)	Total Biaya Rata-rata perhari (Rp/lt)
2007	Januari	2102	5.480	11.518.960
	Februari	2060	5.480	11.288.800
	Maret	1758	5.480	9.633.840
	April	1753	5.480	9.606.440
	Mei	2197	5.480	12.039.560
	Juni	2220	5.480	12.165.600
	Juli	2464	5.480	13.502.720

Sumber data: PT. X, Jakarta

Grafik biaya konsumsi Solar dapat dilihat pada Lampiran 4.

4.2.3 Perhitungan Biaya Pengolahan Limbah

Hasil perhitungan biaya pengolahan limbah *condensate* uap air rata-rata perhari selama periode Januari 2006 sampai dengan Juli 2007 dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Biaya Pengolahan Limbah *Condensate* Uap Air

Tahun	Bulan	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m3)	Biaya Pengolahan Limbah (Rp/m3)	Total Biaya Pengolahan Limbah Rata-rata perhari (Rp/m3)
2006	Januari	25	10.500	262.500
	Februari	29	10.500	304.500
	Maret	24	10.500	252.000
	April	25	10.500	262.500
	Mei	28	10.500	294.000
	Juni	22	10.500	231.000
	Juli	15	10.500	157.500
	Agustus	11	10.500	115.500
	September	10	10.500	105.000
	Oktober	14	10.500	147.000
	November	12	10.500	115.500
	Desember	12	10.500	126.000

Sumber data: PT. X, Jakarta

Tabel 4.7 Biaya Pengolahan Limbah *Condensate* Uap Air (cont')

Tahun	Bulan	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m3)	Biaya Pengolahan Limbah (Rp/m3)	Total Biaya Pengolahan Limbah Rata-rata perhari (Rp/m3)
2007	Januari	10	10.500	105.000
	Februari	9	10.500	94.500
	Maret	8	10.500	84.000
	April	8	10.500	84.000
	Mei	8	10.500	84.000
	Juni	8	10.500	84.000
	Juli	10	10.500	105.000

Sumber data: PT. X, Jakarta

Grafik biaya konsumsi Solar dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.3 ANALISA DATA

4.3.1 Aspek Teknis

Perbandingan sistem antara instalasi pipa *condensate* uap panas sebelum *close loop* (*open loop*) dengan instalasi pipa *condensate* uap panas *close loop*, dilihat dari sudut pandang *quality, cost, delivery, safety, and environment* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut ini ;

Tabel 4.8 Perbandingan Instalasi Sebelum dan Sesudah *Closetloop*

Aspek	Sebelum (<i>Open loop</i>)	Sesudah (<i>Close loop</i>)
<i>Quality</i>	konduktivitas Air PAM = 200 μ s , T = 30°C	Konduktivitas <i>condensate</i> uap panas = 10 μ s, T = 90°C
<i>Cost</i>	383 juta / bulan	296 juta / bulan
<i>Delivery</i>	<i>Heat up</i> ketel uap = 60 menit	<i>Heat up</i> ketel uap = 50 menit
<i>Safety</i>	Ada uap panas diarea kerja	Tidak ada uap panas diarea kerja
<i>Environment</i>	Area kerja kurang nyaman	Area kerja nyaman

Dari perbandingan sistem tersebut, maka manfaat yang diperoleh dengan diterapkannya sistem *close loop* pada instalasi pipa *condensate* uap panas adalah sebagai berikut:

1. Konduktivitas air PAM lebih besar dari pada konduktivitas *condensate* uap panas. Dengan lebih kecilnya konduktivitas *condensate* uap panas, maka komponen-komponen yang dilewati aliran *condensate* uap panas akan lebih terawat / lebih lambat terkena korosif. Sedangkan temperatur *condensate* lebih tinggi daripada temperatur air PAM hal ini mengakibatkan proses *Heat up* dari ketel uap akan jadi lebih cepat seperti yang dapat dilihat pada aspek *delivery*, dimana *Heat up* dengan air PAM membutuhkan waktu selama 60 menit sedangkan dengan *Heat up condensate* uap panas hanya membutuhkan waktu selama 50 menit.
2. Biaya konsumsi air PAM, solar dan pengolahan limbah *condensate* uap air panas dapat dikurangi, karena dengan sistem *close loop* ini *condensate* uap panas tidak langsung dibuang ke Unit Pengolahan Limbah (UPL) tetapi masih dapat digunakan kembali untuk pemanasan ketel uap hal ini akan mengurangi konsumsi air PAM, sedangkan untuk biaya konsumsi solar dapat berkurang karena ketel uap akan lebih sedikit membutuhkan kalor untuk membakar *condensate* uap panas jika dibandingkan kalor yang harus digunakan untuk membakar air PAM, karena temperatur dari *condensate* uap panas lebih tinggi daripada temperatur air PAM.
3. Area kerja lebih aman dan nyaman dikarenakan sudah tidak adanya uap panas disekitar lingkungan kerja.

4.3.2 Aspek Finansial

Dalam aspek finansial ini, akan dibahas beberapa hal yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan biaya yang harus dikeluarkan antara instalasi pipa *condensate* uap panas sistem *open loop* dengan sistem *close loop*. Durasi waktu sistem menggunakan sistem instalasi *open loop* ialah dari bulan Januari 2006 sampai dengan Agustus 2006 sedangkan durasi waktu dimana sistem menggunakan instalasi *close loop* ialah dari bulan September 2006 sampai dengan April 2007. Pada aspek finansial ini juga akan diketahui waktu yang dibutuhkan

untuk kembalinya investasi inisial untuk membangun instalasi pipa *condensate* uap panas dengan sistem *close loop*.

4.3.2.1 Pengeluaran Investasi

Data kebutuhan dana investasi inisial ini meliputi biaya pengadaan barang, yaitu peralatan, biaya instalasi dan biaya tenaga kerja. Biaya total untuk investasi inisial ialah sebesar **Rp. 85.937.500,-**. Adapun detail mengenai peralatan penunjang yang merupakan barang modal, beserta biaya investasi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 6.

4.3.2.2 Pengeluaran Biaya Operasional

4.3.2.2.1 Pengeluaran Biaya Operasional untuk Instalasi *Open loop*

Pengeluaran biaya dari instalasi pipa *condensate* uap panas dengan sistem *open loop* meliputi, biaya pemakaian air PAM, biaya pemakaian solar, biaya pengolahan limbah *condensate* uap panas, dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini ;

Tabel 4.9 Pengeluaran Biaya untuk Instalasi Pipa *Condensate* Uap Panas Sistem *Open loop*

Tahun	Bulan	Konsumsi Air PAM rata-rata Perhari (m3)	Konsumsi Solar rata-rata Perhari (liter)	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m3)
2006	Januari	24	2574	25
	Februari	28	2424	29
	Maret	23	2427	24
	April	24	2710	25
	Mei	27	2703	28
	Juni	21	2787	22
	Juli	14	3019	15
	Agustus	10	2888	11
Rata – rata / hari (selama 8 bulan)		21	2.692	22
Biaya operasional		Rp. 15.000,-	Rp. 5.480,-	Rp. 10.500,-
Total biaya Rata-rata / hari		Rp. 320.625,-	Rp. 14.749.420,-	Rp. 234.938,-
Biaya perbulan (25 hr)		Rp. 8.015.625,-	Rp. 368.735.500,-	Rp. 5.873.438,-
Total biaya rata-rata perbulan		Rp. 382.624.563,-		

Dari Tabel 4.9 diatas dapat dilihat bahwa biaya yang dikeluarkan untuk pengoperasian rata-rata perbulan untuk instalasi pipa *condensate* uap panas dengan sistem *open loop* ialah sebesar **Rp. 382.624.563,-** .

4.3.2.2.2 Pengeluaran Biaya Operasional untuk Instalasi Close loop

Sedangkan pengeluaran biaya dari instalasi pipa *condensate* uap panas dengan sistem *Close loop* meliputi , biaya pemakaian air PAM, biaya pemakaian solar, biaya pengolahan limbah *condensate* uap panas , dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah ini ;

Tabel 4.10 Pengeluaran Biaya untuk Instalasi Pipa *Condensate* Uap Panas Sistem *Close loop*

Tahun	Bulan	Konsumsi Air PAM rata-rata Perhari (m3)	Konsumsi Solar rata-rata Perhari (liter)	Pengolahan Limbah rata-rata Perhari (m3)
2006	September	9	2480	10
	Oktober	13	2220	14
	November	11	2225	12
	Desember	11	2451	12
2007	Januari	9	2102	10
	Februari	8	2060	9
	Maret	7	1758	8
	April	7	1753	8
Rata – rata / hari (selama 8 bulan)		9	2.117	10
Biaya opsional		Rp. 15.000,-	Rp. 5.480,-	Rp. 10.500,-
Total biaya Rata-rata / hari		Rp. 160.714,-	Rp. 11.603.215,-	Rp. 107.625,-
Biaya perbulan (25 hr)		Rp. 4.017.857,-	Rp.288.881.625,-	Rp. 2.723.438,-
Total biaya rata-rata perbulan		Rp. 295.622.920,-		

Dari Tabel 4.10 diatas dapat dilihat bahwa biaya yang dikeluarkan untuk pengoperasian rata-rata perbulan untuk instalasi pipa *condensate* uap panas dengan sistem *open loop* ialah sebesar **Rp. 295.622.920,-**.

4.3.2.3 Penghematan dari Instalasi Sistem Close loop

Dari dua perbandingan data diatas dapat dilihat bahwa biaya operasional instalasi pipa *condensate* uap air dengan sistem *close loop* lebih hemat, adapun penghematannya dapat dilihat pada Tabel 4.11 di bawah ini :

Tabel 4.11 Penghematan dari Instalasi Pipa *Condensate* Uap Panas Sistem *Close loop*

	Air PAM	Solar	Pengolahan Limbah
Penghematan / hari	12 m3	583 lt	12 m3

Sehingga penghematan perbulan yang terjadi ialah :

$$\begin{aligned}\text{Penghematan / bulan} &= \text{Rp. } 382.624.563 - \text{Rp. } 295.622.920,- \\ &= \text{Rp. } 87.001.643,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Penghematan} &= \frac{\text{Rp. } 87.001.643}{\text{Rp. } 382.624.563} \times 100 \\ &= 23\%\end{aligned}$$

Dari data diatas didapat BEP (*Break Event Point*) pemasangan instalasi pipa *condensate* uap panas sistem *close loop* ialah :

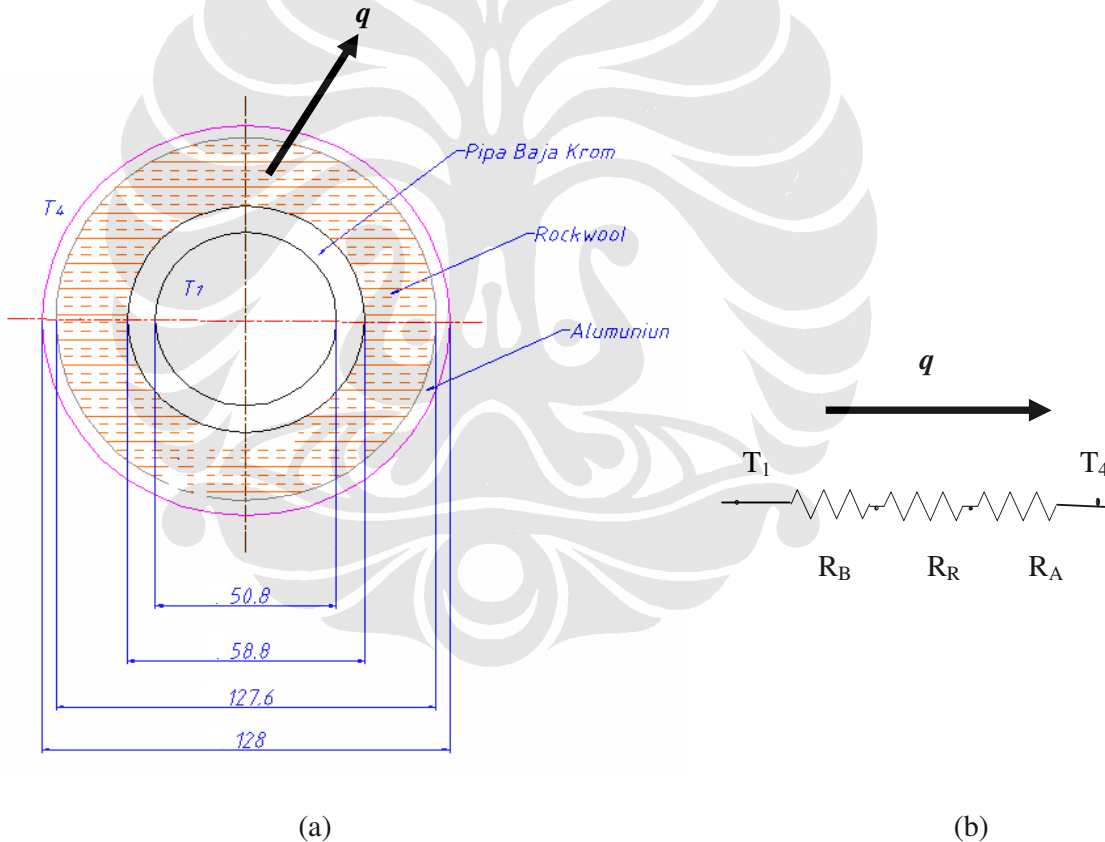
$$\begin{aligned}\text{BEP} &= \frac{\text{Total Investasi Inisial}}{\text{Penghematan/ Bulan}} \\ &= \frac{\text{Rp. } 85.937.500}{\text{Rp. } 87.001.643} \\ &= \pm 1 \text{ bulan}\end{aligned}$$

4.4 HEAT LOSS PADA INSTALASI PIPA

4.4.1 Heat loss untuk Instalasi Pipa Condensate Uap Panas

Instalasi pipa *condensate* uap panas terbuat dari pipa baja krom dengan diameter 50,8 mm dan tebal 4 mm mengalirkan uap panas dengan temperatur 90°C. Pipa ini dilapisi Rockwool dengan tebal 49,4 mm, lalu dilapisi lembaran alumunium dengan tebal 0,2 mm, untuk temperatur pada lapisan terluar dari pipa sebesar 40°C. Sedangkan temperatur ruang = 30°C, Konduktivitas termal untuk masing-masing material ialah :

Pipa baja krom	:	22 W/m °C
Rockwool	:	0,067 W/m °C
Alumunium murni	:	206 W/m °C



Gambar 4.1 Aliran kalor satu-dimensi melalui penampang silinder dan analogi listriknya

Heat loss →
$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}}$$

$$= \frac{(T_1 - T_4)}{R_B + R_R + R_A}$$

Tahanan termal untuk pipa baja krom

$$R_B = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi k_B}$$

$$R_B = \frac{\ln(29,4 / 25,4)}{2 \times 3,14 \times 22}$$

$$R_B = \frac{0,15}{138,2}$$

$$R_B = 1,09 \times 10^{-3} \text{ W / m}^{\circ} \text{ C}$$

Tahanan termal untuk *Rockwool*

$$R_R = \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi k_R}$$

$$R_R = \frac{\ln(63,8 / 29,4)}{2 \times 3,14 \times 0,067}$$

$$R_R = \frac{0,78}{0,421}$$

$$R_R = 1,85 \text{ W / m}^{\circ} \text{ C}$$

Tahanan termal untuk Aluminium

$$R_A = \frac{\ln(r_4 / r_3)}{2\pi k_A}$$

$$R_A = \frac{\ln(64 / 63,8)}{2 \times 3,14 \times 206}$$

$$R_A = \frac{3,13 \times 10^{-3}}{1293,7}$$

$$R_A = 2,42 \times 10^{-6} \text{ W / m}^{\circ} \text{ C}$$

Total Tahanan termal $\rightarrow \Sigma R_{th} = R_B + R_R + R_A$
 $= 1,09 \times 10^{-3} + 1.85 + 2.42 \times 10^{-6}$
 $= 1.851 \text{ W / m}^{\circ}\text{C}$

Total Heat loss $\rightarrow Q = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}}$
 $= \frac{(T_1 - T_4)}{R_B + R_R + R_A}$
 $= \frac{(90 - 40)}{1.851}$
 $= 27,01 \text{ W / L}$

Heat loss per meter panjang pipa ialah = 27,01 W

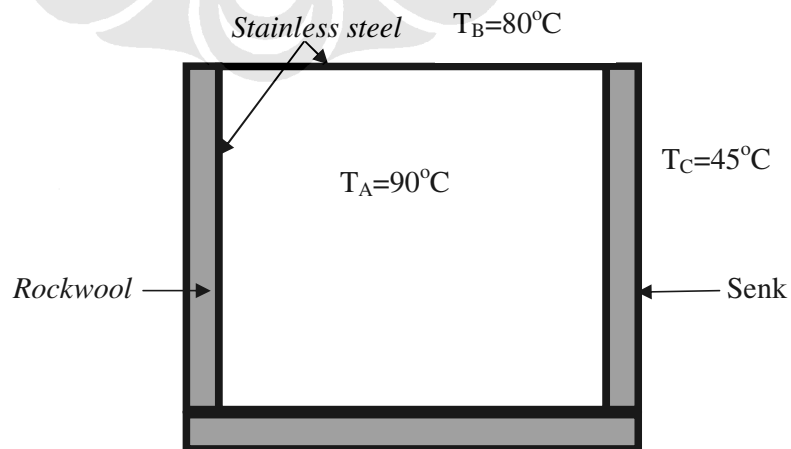
Panjang instalasi pipa *condensate* uap panas untuk pemanasan ketel uap :

(L) = 110m

Heat loss total instalasi pipa *condensate* uap panas ialah :

$Q_{tot} = Q \times L$
 $= 27,01 \times 110$
 $= 2.971,1 \text{ Watt}$
 $= 2,97 \text{ Kw}$

4.4.2 Heat loss untuk Tangki Condensat Uap Panas.



Gambar 4.2 Tangki *condensate* uap panas tampak depan

Data-data dari Tangki *Condensate* Uap Panas

Stainless steel

Tebal = 3 mm
Konduktivitas termal = 19 W/m °C

Rockwool

Tebal = 50 mm
Konduktivitas termal = 0,067 W/m °C

Seng

Tebal = 2 mm
Konduktivitas termal = 106 W/m °C

Heat loss → $Q = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}}$

$$\sum R_{th} = R_{SS} + R_R + R_S$$

Tahanan termal untuk *Stainless steel*

$$R_{SS} = \frac{X_{SS}}{k_{SS}}$$
$$R_{SS} = \frac{3}{10^3 \times 19}$$
$$R_{SS} = 1,58 \times 10^{-4} \text{ W / m}^0 \text{ C}$$

Tahanan termal untuk *Rockwool*

$$R_R = \frac{X_R}{k_R}$$
$$R_R = \frac{50}{10^3 \times 0,067}$$
$$R_R = 0,77 \text{ W / m}^0 \text{ C}$$

Tahanan termal untuk Seng

$$R_S = \frac{X_S}{k_S}$$

$$R_S = \frac{2}{10^3 \times 106}$$

$$R_S = 1,89 \times 10^{-5} \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Tahanan termal } \rightarrow \Sigma R_{th} &= R_{SS} + R_R + R_S \\ &= 1,05 \times 10^{-4} + 0,77 + 1,89 \times 10^{-5} \\ \Sigma R_{th} &= 0,7702 \text{ W/m}^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

Heat loss tangki bagian depan , belakang , samping & dasar =

$$Q_1 = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}}$$

$$Q_1 = \frac{(T_A - T_C)}{0,7702}$$

$$Q_1 = 58,43 \text{ Watt}$$

Heat loss per meter persegi (m²) tangki bagian samping , bawah , depan & belakang ialah (Q₁) = 58,43 Watt

$$\text{Heat loss tangki bagian atas} = Q_2 = \frac{\Delta T}{R_{SS}}$$

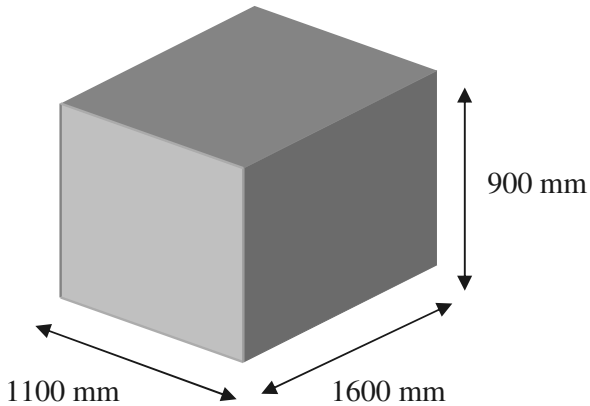
$$Q_2 = \frac{(T_A - T_B)}{1,58 \times 10^{-4}}$$

$$Q_2 = \frac{(90 - 80)}{1,58 \times 10^{-4}}$$

$$Q_2 = 63.291 \text{ Watt}$$

$$Q_2 = 63,3 \text{ Kw}$$

Heat loss per meter persegi (m²) tangki bagian atas ialah (Q₂) = 63,3 Kw



Gambar 4.3 Tangki *condensate* uap panas

Heat loss permukaan depan & belakang

$$\begin{aligned} Q' &= (t \times p \times Q_1) \times 2 \\ &= (0,9 \times 1,1 \times 58,43) \times 2 \\ &= 115,7 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Heat loss permukaan kanan & kiri

$$\begin{aligned} Q'' &= (l \times t \times Q_1) \times 2 \\ &= (1,6 \times 0,9 \times 58,43) \times 2 \\ &= 168,3 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Heat loss permukaan dasar

$$\begin{aligned} Q''' &= (p \times l \times Q_1) \\ &= (1,1 \times 1,6 \times 58,43) \\ &= 102,85 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Heat loss permukaan atas

$$\begin{aligned} Q'''' &= (p \times l \times Q_2) \\ &= (1,1 \times 1,6 \times 63.291) \\ &= 111.392 \text{ Watt} \\ &= 111,4 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Heat loss total untuk tangki *condensat* uap panas

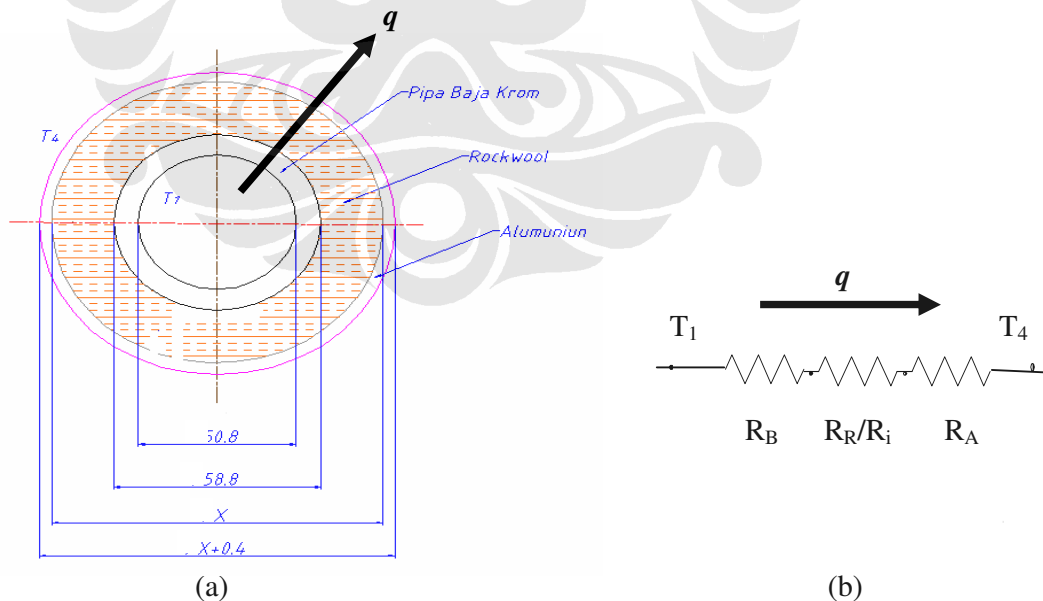
$$\begin{aligned} Q_{\text{tot}} &= Q' + Q'' + Q''' + Q'''' \\ &= 115,7 + 168,3 + 102,85 + 111.392 \\ &= 111.779,3 \text{ Watt} \\ &= 112 \text{ Kw} \end{aligned}$$

4.4.3 Heat loss untuk Instalasi Pipa Condensate Uap Panas Improvement

Dikarenakan temperatur terluar dari instalasi pipa = 40°C dan dirasa masih cukup tinggi yang akan berpengaruh kepada *heat loss* yang terjadi selain itu akan membahayakan maka diperlukan *improvement* atau perbaikan pada instalasi pipa tersebut. Dalam hal ini penulis memberikan dua *improvement* atau perbaikan untuk instalasi pipa *condensate* uap panas. Tujuan dari *improvement* atau perbaikan ini adalah agar temperatur terluar dari instalasi pipa sama dengan temperatur ruangan yaitu berkisar 30°C .

Alternatif pertama : *improvement* atau perbaikan dengan cara menambah ketebalan dari isolasi instalasi pipa. Instalasi pipa *condensate* uap panas ini terbuat dari pipa baja krom dengan diameter 50,8 mm dan tebal 4 mm mengalirkan uap panas dengan temperatur 90°C . Pipa ini dilapisi *Rockwool* dengan ketebalan X mm, lalu dilapisi lembaran aluminium dengan tebal 0,2 mm. Sedangkan temperatur ruang sama dengan temperatur lapisan terluar dari instalasi pipa yaitu 30°C . Konduktivitas termal untuk masing-masing material ialah :

Pipa baja krom	:	22 W/m $^{\circ}\text{C}$
<i>Rockwool</i>	:	0,067 W/m $^{\circ}\text{C}$
Alumunium murni	:	206 W/m $^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.4 Aliran kalor satu-dimensi melalui penampang silinder dan analogi listriknya

Heat loss → $Q = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}}$

$$Q = \frac{(T_1 - T_4)}{R_B + R_R + R_A}$$

$$\sum R_{th} = \frac{(90 - 30)}{27,01}$$

$$= 2.222 \text{ W / m}^{\circ} \text{C}$$

Tahanan termal untuk pipa baja krom

$$R_B = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi k_B}$$

$$R_B = \frac{\ln(29,4 / 25,4)}{2 \times 3,14 \times 22}$$

$$R_B = \frac{0,15}{138,2}$$

$$R_B = 1,09 \times 10^{-3} \text{ W / m}^{\circ} \text{C}$$

Tahanan termal untuk Rockwool

$$R = \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi k_R}$$

$$R_R = \frac{\ln(r_3 / 29,4)}{2 \times 3,14 \times 0,067}$$

$$R_R = \frac{\ln(r_3 / 29,4)}{0,421}$$

$$R_R = \frac{\ln r_3}{12,38}$$

Tahanan termal untuk Alumunium murni

$$R_A = \frac{\ln(r_4 / r_3)}{2\pi k_A}$$

$$R_A = \frac{\ln(r_3 + 0,2 / r_3)}{2 \times 3,14 \times 206}$$

$$R_A = \frac{\ln r_3 + 0,2 / \ln r_3}{1293,7}$$

$$R_A = \frac{\ln r_3 + 0,2}{\ln r_3 \cdot 1293,7}$$

Total Tahanan termal $\rightarrow \Sigma R_{th} = R_B + R_R + R_A$

$$2.222 = 1,09 \times 10^{-3} + \left(\frac{\ln r_3}{12,38} \right) + \left(\frac{\ln r_3 + 0,2}{\ln r_3 \cdot 1293,7} \right)$$

$$2.222 - (1,09 \times 10^{-3}) = \left(\frac{\ln r_3}{12,38} \right) + \left(\frac{\ln r_3 + 0,2}{\ln r_3 \cdot 1293,7} \right)$$

$$2.221 = 1293,7 \ln r_3^2 + 12,38 \ln r_3 + 2,48$$

Dari *trial & error* diperoleh :

$$r_3 = 74,9 \text{ mm}$$

Jadi :

Tahanan termal untuk *Rockwool*

$$R_R = \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi k_R}$$

$$R_R = \frac{\ln(74,9 / 29,4)}{2 \times 3,14 \times 0,067}$$

$$R_R = 2.2213 \text{ W / m}^\circ\text{C}$$

Tahanan termal untuk Alumunium murni

$$R_A = \frac{\ln(r_4 / r_3)}{2\pi k_A}$$

$$R_A = \frac{\ln(75,1 + 74,9)}{2 \times 3,14 \times 206}$$

$$R_A = 2,06 \times 10^{-6} \text{ W / m}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Tahanan termal} \rightarrow \Sigma R_{th} &= R_B + R_R + R_A \\ \Sigma R_{th} &= 1,09 \cdot 10^{-3} + 2,2213 + 2,16 \times 10^{-6} \\ \Sigma R_{th} &= 2,222 \text{ W/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Jika di *cross check* dengan temperatur yang diinginkan, maka akan didapat :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} \\ 27,01 &= \frac{(90 - T_4)}{2,222} \\ 60 &= 90 - T_4 \\ T_4 &= 30^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Alternatif Kedua : Dengan cara merubah material dari isolasi pipa.

Jika dengan ketebalan awal yaitu $r_3 = 63,8$ mm dan Tahanan termal isolasi yang harus diperoleh $(R_i) = 2,2213 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, maka material yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan $T_2 = 30^\circ\text{C}$ ialah :

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi k_i} \\ 2,2213 &= \frac{\ln(63,8 / 29,4)}{2,3,14 \cdot k_i} \end{aligned}$$

$$2,2213 \times 6,28 \cdot k_i = 0,78$$

$$k_i = \frac{0,78}{13,95}$$

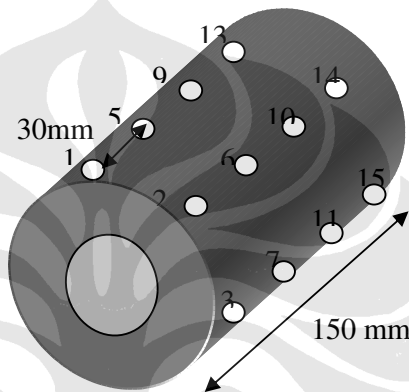
$$k_i = 0,0559 \text{ W / m}^\circ\text{C}$$

Maka dari lampiran 7 didapat material isolasi dengan konduktivitas termal $(k) = 0,0559 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ dimiliki oleh **serbuk kayu**.

4.4.4 Percobaan Perubahan Bahan Isolator

Melalui perhitungan yang dilakukan diatas untuk alternatif kedua dapat dilihat bahwa bahan isolator serbuk kayu dapat menghambat panas lebih baik dibandingkan bahan isolator *Rockwool*. Untuk membuktikan perhitungan diatas maka dilakukan percobaan penggantian bahan isolator dari *Rockwool* menjadi bahan isolator serbuk kayu.

Jumlah titik pengambilan data temperatur pada pipa *condensate* uap panas sebanyak 16 titik sedangkn panjang pipa 150 mm, dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Titik pengambilan data temperatur pada pipa *condensate* uap panas.

Metode pengambilan data temperatur pada pipa *condensate* uap panas ini menggunakan metode pengukuran langsung pada pipa, adapun ilustrasi pengukurannya dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Bahan Isolator Rockwool



Rockwool



Gambar 4.6 Ilustrasi Pengambilan data temperatur pada pipa *condensate* uap panas untuk bahan isolator *Rockwool*.

Tabel 4.12 Data Distribusi Temperatur Untuk Bahan Isolator *Rockwool*

Hari Pertama	Temperatur (°C)	Hari Kedua	Temperatur (°C)	Hari Ketiga	Temperatur (°C)
1	40.9	1	41.6	1	40.5
2	40.8	2	41.2	2	40.1
3	41.0	3	41.9	3	41.3
4	40.2	4	41.0	4	40.5
5	41.0	5	41.5	5	40.5
6	40.2	6	40.6	6	39.8
7	40.5	7	40.9	7	40.1
8	41.3	8	41.7	8	40.1
9	40.7	9	40.5	9	39.6
10	40.6	10	40.8	10	40.3
11	40.8	11	40.9	11	40.0
12	40.9	12	41.1	12	40.2
13	40.3	13	38.0	13	38.0
14	40.5	14	39.5	14	39.2
15	40.6	15	40.0	15	39.0
16	40.1	16	39.4	16	39.1

Bahan Isolator Serbuk Kayu



Gambar 4.7 Ilustrasi Pengambilan data temperatur pada pipa *condensate* uap panas untuk bahan isolator Serbuk Kayu.

Tabel 4.13 Data Distribusi Temperatur Untuk Bahan Isolator Serbuk Kayu

Hari Pertama	Temperatur (° C)	Hari Kedua	Temperatur (° C)	Hari Ketiga	Temperatur (° C)
1	30.0	1	30.4	1	30.6
2	31.0	2	31.4	2	31.3
3	30.4	3	30.8	3	30.6
4	31.2	4	31.5	4	31.2
5	30.5	5	30.9	5	31.5
6	30.5	6	30.6	6	31.3
7	30.9	7	31.2	7	32.2
8	30.5	8	30.7	8	31.6
9	30.4	9	31.4	9	31.6
10	30.1	10	31.0	10	31.1
11	30.4	11	31.7	11	32.0
12	31.4	12	32.1	12	32.2
13	30.9	13	31.5	13	31.6
14	30.4	14	30.9	14	31.1
15	30.6	15	31.3	15	31.5
16	30.1	16	31.0	16	31.5

4.4.5 Tekno Ekonomis Dari Perubahan Bahan Isolator

Dari perhitungan diatas dapat dilihat dari aspek teknis bahwa bahan isolator serbuk kayu lebih baik menghambat panasnya dibandingkan dengan bahan isolator *Rockwool*, jika dilihat dari aspek tekno ekonomisnya dapat dilihat berdasarkan perhitungan dibawah ini :

Bahan *Rockwool* per meter seharga = Rp.100.000,-.

Sehingga untuk 110 meter pipa *condensate* uap air untuk bahan isolatornya *Rockwool* membutuhkan biaya sebesar :

$$\text{Rp.100.000,-} \times 110 \text{ m} = \mathbf{\text{Rp.11.000.000,-}}$$

Sedangkan untuk 110 meter pipa *condensate* uap air untuk bahan isolatornya Serbuk kayu membutuhkan biaya sebesar :

Bahan Serbuk kayu per Kg seharga = Rp.5.000,-

Lem Kayu per 500 gr seharga = Rp.12.000,-



Gambar 4.8 Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat isolator berbahan serbuk kayu.

Untuk isolator sepanjang 150 mm membutuhkan :

1 kg serbuk kayu → Rp.5.000,-

300 gr lem kayu → Rp. 7.200,-

Biaya yang diperlukan untuk satu meter (1 m = 150mm x 6.667) isolator pipa *condensate* uap panas dengan menggunakan bahan serbuk kayu ialah :

Serbuk kayu = 6.667 x Rp.5.000,-
= Rp.33.335,-

Lem kayu = 6.667 x Rp.7.200,-
= Rp.48.000,-

Jadi biaya yang dibutuhkan untuk instalasi pipa *condensate* dengan menggunakan isolator berbahan serbuk kayu ialah :

Biaya isolator = (Biaya 1m serbuk kayu + Biaya 1m lem kayu) x 110 m
= (Rp.33.335,- + Rp.48.000,-) x 110m
= **Rp.8.946.850,-**.

Sehingga dapat dilihat bahwa isolator berbahan serbuk kayu lebih murah dan lebih baik menahan panas jika dibandingkan dengan isolator berbahan *Rockwool*, namun kekurangan isolator serbuk kayu ialah pada saat pemasangan isolator ke instalasi pipa akan sulit dan jika kurang hati-hati akan terjadi kerusakan isolator serbuk kayu.

4.4.6 Satuan Kalor

4.4.6.1 Penghematan Kalor Berdasarkan Jenis Instalasi

Pada instalasi *condensate* uap panas *Open loop* membutuhkan tambahan air PAM rata-rata perhari sebanyak 21 m^3 , sehingga kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan air PAM perharinya rata-rata :

$$Q' = W.Cp. (T_2 - T_1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W &= \text{Berat air yang dipanaskan (kg)} \rightarrow 21 \text{ m}^3 = 21.000 \text{ lt} \times \text{density air} \\ &= 21.000 \times 0.99 \\ &= 20.790 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Cp = \text{Spesifik Kalor (kcal/kg } ^\circ\text{C)} = 1 \times 10^{-3} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \text{Temperatur awal / Temperatur Air PAM (} ^\circ\text{C)} = 30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{Temperatur akhir (air panas) (} ^\circ\text{C)} = 110^\circ\text{C}$$

jadi

$$\begin{aligned} Q' &= W.Cp. (T_2 - T_1) \\ &= 20.790 \times 1.10^{-3} \times (110 - 30) \\ &= 1.663,2 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Dikonversikan ke watt

$$Q' = 1.933,4 \text{ Watt Hours.}$$

Sedangkan pada instalasi *condensate* uap panas *close loop* ini masih membutuhkan tambahan air PAM sebanyak 9 m^3 , sehingga kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan air PAM perharinya rata-rata :

$$Q'' = W.Cp. (T_2 - T_1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W &= \text{Berat air yang dipanaskan (kg)} \rightarrow 9 \text{ m}^3 = 9000 \text{ lt} \times \text{density air} \\ &= 9000 \times 0.99 \\ &= 8.910 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Cp = \text{Spesifik Kalor (kcal/kg } ^\circ\text{C)} = 1 \times 10^{-3} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \text{Temperatur awal / Temperatur Air PAM (} ^\circ\text{C)} = 30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{Temperatur akhir (air panas) (} ^\circ\text{C)} = 110^\circ\text{C}$$

jadi

$$\begin{aligned} Q'' &= W.Cp. (t_2 - t_1) \\ &= 8.910 \times 1.10^{-3} \times (110 - 30) \\ &= 712,8 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Dikonversikan ke watt

$$Q'' = 828,6 \text{ Watt Hours.}$$

Jadi penghematan kalor setelah *Improvement* ialah :

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q' - Q'' \\ &= 1.933,4 \text{ Watt Hours} - 828,6 \text{ Watt Hours} \\ &= 1.105 \text{ Watt Hours} \\ &= 1,11 \text{ Kwh.} \end{aligned}$$

4.4.6.2 Penghematan Kalor Berdasarkan Perubahan Isolasi

Pada instalasi *condensate* uap panas dengan menggunakan isolasi Rock wool , maka kalor yang dibutuhkan untuk mengalirkan Air PAM sebanyak 9 m³ ialah :

$$Q' = W.Cp. (T_2 - T_1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W &= \text{Berat air yang dipanaskan (kg)} \rightarrow 9 \text{ m}^3 = 9000 \text{ lt} \times \text{density air} \\ &= 9000 \times 0.99 \\ &= 8.910 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Cp = \text{Spesifik Kalor (kcal/kg } ^\circ\text{C)} = 1 \times 10^{-3} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \text{Temperatur awal (} ^\circ\text{C)} = 80^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{Temperatur akhir (air panas) (} ^\circ\text{C)} = 110^\circ\text{C}$$

jadi

$$\begin{aligned} Q' &= W.Cp. (T_2 - T_1) \\ &= 8.910 \times 1.10^{-3} \times (110 - 80) \\ &= 267,3 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Dikonversikan ke watt

$$Q' = 310,7 \text{ Watt Hours.}$$

Pada instalasi *condensate* uap panas jika menggunakan isolasi Serbuk kayu, maka kalor yang dibutuhkan untuk mengalirkan Air PAM sebanyak 9 m³ ialah :

$$Q'' = W.Cp. (T_2 - T_1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W &= \text{Berat air yang dipanaskan (kg)} \ 9 \text{ m}^3 &= 9000 \text{ lt} \times \text{density air} \\ & &= 9000 \times 0.99 \\ & &= 8.910 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Cp = \text{Spesifik Kalor (kcal/kg } ^\circ\text{C)} = 1 \times 10^{-3} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \text{Temperatur awal (} ^\circ\text{C)} = 90^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{Temperatur akhir (air panas) (} ^\circ\text{C)} = 110^\circ\text{C}$$

jadi

$$\begin{aligned} Q'' &= W.Cp. (T_2 - T_1) \\ &= 8.910 \times 1.10^{-3} \times (110 - 90) \\ &= 178,2 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Dikonversikan ke watt

$$Q'' = 207,1 \text{ Watt Hours}$$

Jadi penghematan kalor setelah ada perubahan bahan isolator ialah :

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q' - Q'' \\ &= 310,7 \text{ Watt Hours} - 207,1 \text{ Watt Hours} \\ &= 103,6 \text{ Watt Hours.} \end{aligned}$$