

## Usaha Penghematan Energi PLTU 450 Watt Dengan Mengurangi Rugi Kalor Condensate Di Jalur Condenser Menuju Boiler

Ibnu Roihan, Engkos A. Kosasih, Raldi A. Koestoer

Departemen Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI. Depok. Jawa Barat. 16424. Indonesia  
[ibnu.roihan@yahoo.com](mailto:ibnu.roihan@yahoo.com), [koestoer@eng.ui.ac.id](mailto:koestoer@eng.ui.ac.id)

### Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang digunakan adalah sebuah miniatur PLTU *Universal Steam Prime Mover Tester (Model: No. 100 SCR)*, keluaran *Shin Nippon Machinery Co., Ltd* dengan daya 450 Watt, yang mempunyai beberapa komponen yang dialiri air (*condensate*) sebelum dijadikan uap kembali antara lain, *condenser*, *water softener*, *condensate tank*, dan *feed water tank*. Kinerja beberapa komponen tersebut sebelumnya dapat ditunjukkan dari data temperatur *condensate* yang keluar *condenser* sebesar 82 °C. Tetapi dikarenakan adanya pencampuran air mentah (*raw water*) dari *water softener* dengan *condensate* pada *feed water tank* serta adanya kalor yang terlepas ke lingkungan, maka temperatur *condensate* sebelum masuk ke *boiler*, turun menjadi 46 °C. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah menjaga agar tidak banyak *heat loss* yang terbuang pada jalur tersebut, sehingga diharapkan adanya penghematan energi pada proses PLTU.

Perbaikan utama dalam PLTU tersebut antara lain pemasangan isolator dan penambahan katup pelampung. Pemberian isolator khususnya pada pipa di jalur *condenser* hingga *boiler* dan juga dinding *condensate tank*, dilakukan untuk menjaga kalor yang terbuang ke lingkungan. Sedangkan penambahan katup pelampung pada *feed water tank* bertujuan untuk mencegah pencampuran air dari *water softener* sehingga *condensate* yang tertampung pada *condensate tank* dapat disalurkan secara *continue*, dengan begitu diharapkan temperatur *condensate* tetap terjaga. Perbaikan tersebut mengurangi rugi kalor yang terjadi sebelumnya. Temperatur *condensate* yang keluar *condenser* menunjukkan hasil yang sama seperti sebelumnya yaitu 82 °C. Sedangkan temperatur *condensate* pada *feed water tank* meningkat menjadi 70 °C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya usaha mengurangi kehilangan energi *condensate* yang sebelumnya 150.6 [kJ/kg] hanya menjadi 50.33 [kJ/kg], atau dengan kata lain adanya pengurangan kalor yang terlepas ke lingkungan sebesar 66.6%.

**Keywords:** Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Energi, Temperatur, Kalor, *Heat Loss*, *Condensate*.

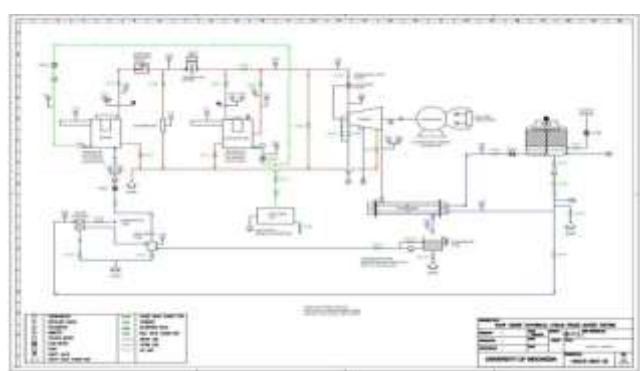
### Pendahuluan Dan Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang digunakan dalam penelitian ini adalah model miniatur suatu PLTU, *Universal Steam Prime Mover Tester (Model : No. 100 SCR)* keluaran *Shin Nippon Machinery Co., Ltd* dengan daya 450 Watt. Miniatur PLTU ini memang digunakan untuk meniru PLTU sebenarnya yang ukurannya lebih besar dan lebih kompleks, sehingga dapat dipelajari suatu sistem PLTU yang lengkap untuk pendidikan, bukan kepentingan komersil.

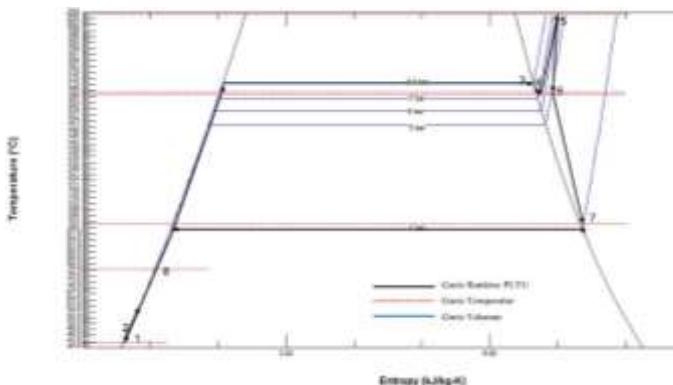


Gambar 1. *Modelling* Miniatur PLTU Sebagai Alat Uji Coba Penelitian. (Tampak Perspektif)

Untuk mempermudah dalam penglihatan secara mendetail, dibuatlah 3D *modeling* dari PLTU tersebut serta skematik yang ditunjukkan melalui *Pipe & Instrumen Diagram (P&ID)* keluaran *Shin Nippon Machinery Co., Ltd* dengan perbaikan dan modifikasi, sesuai apa yang ada.



Gambar 2. *Pipe & Instrument Diagram (P&ID)* PLTU



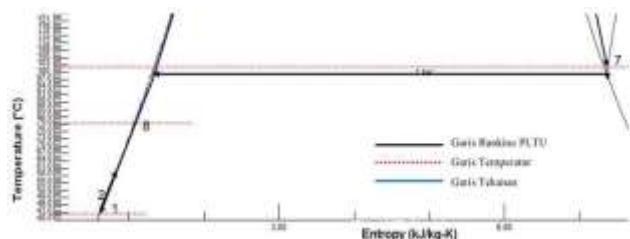
Gambar 3. Siklus Rankine Aktual (T-s Diagram) PLTU

Pada Uji Coba Temperatur *Superheater* 205 °C (Data Sebelumnya Gambar di atas adalah salah satu siklus *rankine* hasil dari data sebelumnya, yang setidaknya dapat memberikan gambaran hasil kinerja PLTU tersebut. Dari T-s diagram hasil data sebelumnya, jika dibandingkan dengan siklus *rankine* ideal, ada beberapa daerah yang terlihat janggal untuk sebuah siklus *rankine* yang terbentuk dari kinerja suatu PLTU. Area yang janggal yaitu proses pada titik 4-5-6 dan proses pada titik 7-8-1-2. Setelah diketahui, ternyata pada proses 4-5-6 adalah proses dari *pressure reducing valve* hingga keluar *superheater*. Dan untuk proses 7-8-1-2 adalah proses dari keluar turbin hingga pompa *boiler*.

Tetapi setelah dilihat di kondisi PLTU sebenarnya, bahwa dalam proses titik 4-5-6 adalah proses dari *pressure reducing valve* hingga keluar *superheater*, ternyata sulit untuk dirubah atau dimodifikasi karena susunan komponen setelah *superheater* menjadi susunan yang permanen. Oleh karena itu analisa menjadi fokus ke satu area, yaitu area di posisi proses titik 7-8-1-2.

Analisa dititikberatkan kepada terjadinya penurunan suhu yang drastis pada titik 8 menuju 1, yang di kondisi PLTU sebenarnya adalah posisi keluar *condenser* menuju *feed water tank*. Terlihat pada data, untuk posisi 8 menunjukkan suhu 82 °C dan untuk posisi 1 menunjukkan suhu 46 °C. Padahal untuk proses di jalur tersebut tidak lazim terjadi penurunan suhu yang cukup banyak.

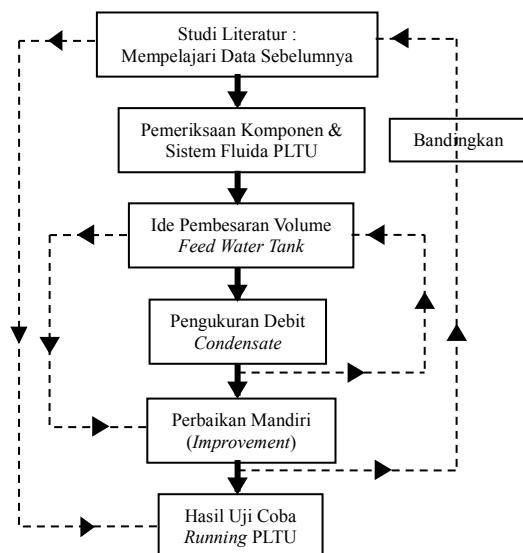
Penurunan suhu tersebut berakibat pada kinerja *boiler* yang semakin berat, karena harus memanaskan kembali air dengan suhu yang dikategorikan cukup rendah. Setidaknya, jika ada penurunan suhu, diharapkan tidak terjadi penurunan yang besar dari kondisi proses sebelumnya.



Gambar 4. Diagram T-s Untuk Proses Titik 7 Hingga 2

## Metodologi Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini ada beberapa susunan kronologis agar mempermudah dan memperjelas analisa secara bertahap. Berikut adalah diagram alir prosedur penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir.



Gambar 5. Alur Kerja - Metodologi Penelitian

### Data Sebelumnya

Dari data sebelumnya menunjukkan bahwa temperatur *condensate* yang keluar dari *condenser* adalah 82 °C. Tetapi hingga menuju ke *feed water tank*, temperatur menurun drastis hingga menunjukkan 46 °C. Itu menunjukkan bahwa adanya pelepasan kalor secara sia-sia, dikarenakan seharusnya tidak ada penurunan suhu yang drastis pada kondisi tersebut. Berdasarkan data inilah, dicari suatu solusi untuk mengurangi rugi kalor yang terjadi, sehingga dengan usaha tersebut maka diharapkan adanya penghematan energi dalam sistem PLTU.

### Pemeriksaan Komponen Dan Sistem Fluida

Pemeriksaan komponen PLTU ini, meliputi komponen utama dari PLTU, mulai dari pompa, *boiler*, *superheater*, *condenser*, *cooling tower*, dan lain sebagainya. Selain itu juga komponen

pendukung seperti jalur pipa, baik pengecekan jumlah *flange*, *elbow*, katup dan lain-lain, yang pada dasarnya dapat mempengaruhi suatu aliran fluida dan tentunya berimbang kepada kinerja PLTU. Dan juga yang krusial dalam pengambilan data, yaitu alat ukur, baik itu *flow meter*, termometer, *pressure gauge*, dan lain sebagainya. Ini semua dilakukan untuk memastikan tidak ada kerusakan pada komponen PLTU secara keseluruhan yang bisa mempengaruhi hasil.

Berikut data hasil pengukuran debit fluida yang dapat dicari dari serangkaian beberapa pompa sehubungan dengan sistem yang ada, antara lain :

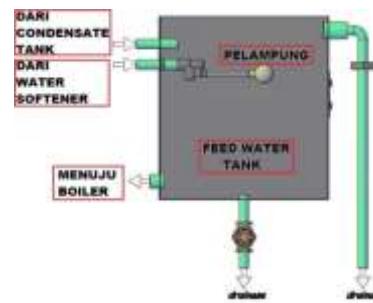
1. Sumber air (tangki air atas) ke *cooling tower*  
0,031 [liter/detik]
2. *Cooling tower* ke *condenser*  
0,623 [liter/detik]
3. *Cooling tower* ke *condenser* (dengan pembukaan katup untuk pendinginan *bearing* turbin dan generator)  
0,498 [liter/detik]
4. *Cooling tower* ke *condenser* (dengan pembukaan katup untuk pendinginan *bearing* turbin dan generator serta katup untuk *water softener*)  
0,466 [liter/detik]
5. *Water softener* ke *condensate tank*  
0,034 [liter/detik]
6. *Condensate tank* ke *feed water tank*  
0,279 [liter/detik]
7. *Feed water tank* ke *boiler*  
0,21 [liter/detik]

Dari sekian pengambilan data, dapat disimpulkan bahwa, dengan data yang ada, pompa masih dinilai layak untuk dipakai.

#### Ide Pembesaran *Feed Water Tank*

Pada awalnya, diperkirakan penurunan suhu di *feed water tank* terjadi karena pencampuran air *condensate* yang bersuhu 82 °C dengan air *water softener* yang bersuhu 46 °C.

Pencampuran tersebut dilakukan terus menerus karena katup yang digunakan adalah katup otomatis yang terbuka jika level air di *feed water tank* menurun dan mengakibatkan pelampung air yang tersambung katup pun turun, sehingga air dari *water softener* masuk. Berikut gambar penampang *feed water tank*.



Gambar 6. Penampang *Feed Water Tank* Beserta Arah Aliran Air

Untuk menentukan pembesaran volume *feed water tank*, data yang bisa membantu adalah debit air untuk keperluan *boiler* (FM-02) yang sudah ada yaitu pada data sebelumnya. Setidaknya data ini dapat memberikan bayangan untuk menentukan kapasitas yang baru.

Tabel 1. Debit Rata-Rata *Boiler* Dari Data FM-02

Jam	09.40	09.45	09.50	09.54	09.57	10.00	10.05
Beban (watt)	100	200	300	450	450	450	450
FM-02 (m³/liter)	22   537	22   543	22   547	22   551	22   554	22   558	22   566
Debit (liter/menit)	1.2	0.8	1	1	1.33	1.6	

Dari data tersebut, terlihat dalam keadaan beban penuh 450 watt, keperluan air untuk *boiler* sekitar 1 hingga 1.6 [liter/menit].

Untuk saat ini, volume air yang dapat ditampung oleh *feed water tank* adalah sekitar 21 liter. Sehingga dengan data debit pompa *boiler* di atas, waktu yang diperlukan untuk menghabiskan air di *feed water tank* hanya sekitar 21 hingga 13 menit. Ini adalah waktu terhitung secara teori dan tidak dapat dijadikan referensi utama karena tidak mungkin menghabiskan cadangan air di *feed water tank*. Sedangkan volume *condensate tank* yang aman dalam pengoperasian pompa *condensate* adalah sekitar 37 liter.

Dan muncul ide-ide untuk menentukan volume *feed water tank* (FWT). Penjelasan beberapa ide sebagai berikut:

**Ide Pertama** : dari volume tangki *condenser*  
Penjelasan : dengan patokan volume *condenser*, dimaksudkan mengambil semua pasokan yang ada di *condensate tank* dan segera dialirkan ke *feed water tank*. (Dengan kata lain, langsung mengambil air dari tangki *condenser* menuju *boiler*)

**Ide Kedua** : dari penentuan interval waktu  
Penjelasan : jika memang diinginkan berdasarkan waktu, maka yang pertama harus dilakukan adalah menentukan waktu interval menyalaikan pompa *condensate*. Contoh, jika diinginkan per 20 menit menghidupkan pompa

*condensate*, maka volume yang dibutuhkan *feed water tank* adalah sekitar minimal 20-32 liter.

**Ide Ketiga** :bukan menentukan volume Penjelasan :dengan membuat *by pass* dari *condensate tank* langsung di alirkan pompa *boiler* menuju *boiler*, tanpa ke *feed water tank*.

**Ide Keempat** :mencampurkan *water softener* Penjelasan :mencampurkan *water softener* ke *feed water tank* atau *condensate tank*, hanya saja mungkin dengan interval waktu dan penentuan seberapa banyak campuran *water softener* ke air *condensate*.

Dari sekian banyak ide, terkendala pada pencarian data pengukuran debit *condensate* keluar *condenser*, sehingga dapat memperkirakan waktu pengisian serta volume *feed water tank* yang diperlukan. Tentunya solusi langkah selanjutnya adalah dengan menyalakan PLTU tersebut, hanya saja fokus di pengambilan data debit dan waktu pengisian.

#### Pengukuran Debit Condensate

Hasil dari pengambilan data debit air *condensate* sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Debit Air *Condensate*

No	Volume [mililiter]	Waktu [detik]	Debit [ml/detik]	Konversi [liter/menit]
	(i)	(ii)	(i / ii)	
1	300	11.87	25.273	1.516
2	300	11.96	25.083	1.505
3	300	12.66	23.696	1.421
4	300	12.00	25	1.5
5	300	11.97	25.062	1.503
6	300	11.82	25.38	1.522
7	300	11.93	25.146	1.508
8	300	11.81	25.402	1.524
9	275	10.97	25.068	1.504
10	275	11.27	24.401	1.464
<b>Rata-rata</b>		<b>24.952</b>	<b>1.497</b>	

Dari hasil pengambilan data sekaligus uji coba pertama *running* PLTU, ternyata di luar dugaan analisa sebelumnya. Ditemukan data debit air *condensate* hampir sama dengan data debit pompa *boiler* (kebutuhan *boiler*). Sebagai data pembanding, lihat di tabel 1, bahwa debit *boiler* pada saat PLTU hidup, sebesar 1 – 1.6 [liter/menit], sedangkan untuk data debit air *condensate* sebesar 1.4 [liter/menit]. Dengan kata lain, kebutuhan air PLTU sebenarnya adalah hampir sama, tidak ada yang berubah, jika sudah dalam keadaan *steady*.

Dengan begitu, ide pembesaran kapasitas *feed water tank* dinilai tidak perlu, tetapi hanya perlu dilakukan perbaikan atau modifikasi agar air yang tertampung dalam *condensate tank* dapat tersalurkan semua, tanpa pencampuran *water softener*.

#### Perbaikan Mandiri (*Improvement*)

Adapun beberapa perbaikan mandiri yang dilakukan, terutama yang berhubungan dengan usaha peningkatan energi *condensate*, sebagai berikut:

##### 1. Penambahan seal karet pada *condensate tank*

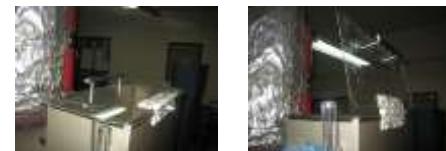
Bertujuan untuk merapatkan penutup ke bagian sisi atas tangki agar kalor tidak terbuang sia-sia.



Gambar 7. Seal Karet Pada *Condensate Tank*

##### 2. Pemberian penutup pada *feed water tank*

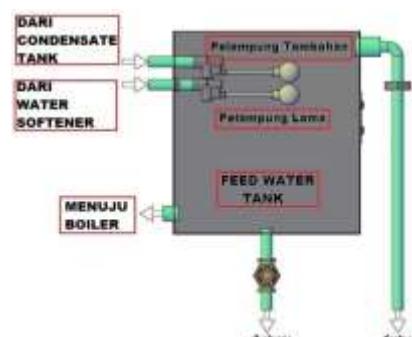
Bertujuan mencegah kalor terbuang ke lingkungan



Gambar 8. Penutup Pada *Feed Water Tank*

##### 3. Penambahan pelampung pada *feed water tank*

Bertujuan untuk mengatur dan mengisi air secara otomatis tanpa pencampuran *water softener*.



Gambar 9. Ilustrasi Posisi Pelampung Lama Dan Baru



Gambar 10. Penampakan Pelampung Lama Dan Baru (Tambahan) Di *Feed Water Tank*. (tampak atas)

##### 4. Pemasangan isolator pada jalur pipa keluar *condenser* hingga *feed water tank*.

Bertujuan untuk menjaga temperatur *condensate* yang mengalir di jalur tersebut.

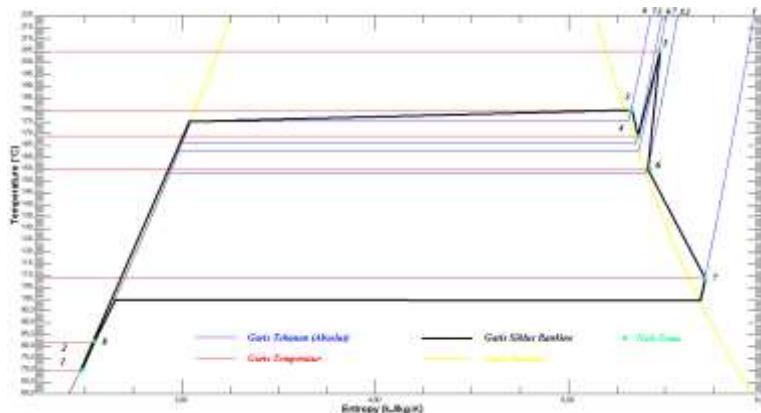


Gambar 11. Beberapa Isolator Yang Terpasang Di Jalur Pemipaan Condenser Hingga Feed Water Tank

## Hasil Uji Coba Dan Pembahasan

Setelah dilakukan berbagai macam solusi, baik itu analisa langsung ke sistem PLTU, perubahan prosedur *running* PLTU, maupun perbaikan mandiri, maka hasil yang didapatkan bernilai positif atau bisa dikatakan sesuai dengan rencana.

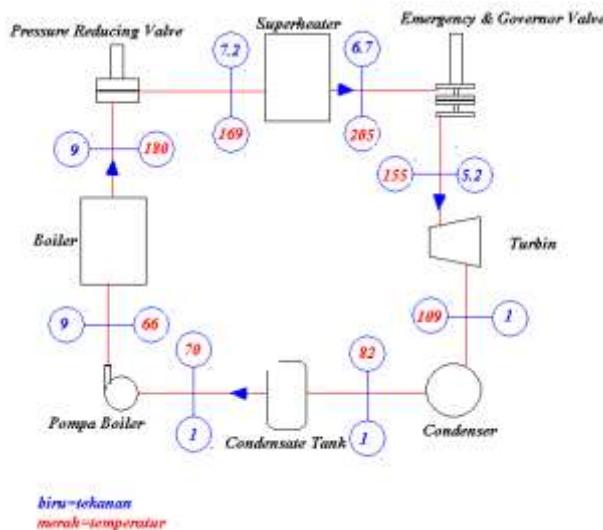
Untuk hasil secara keseluruhan sistem PLTU dapat dilihat pada siklus *rankine* yang terbentuk didapatkan dari hasil uji coba terakhir menjalankan PLTU tersebut. Berikut siklus *rankine* yang dimaksud.

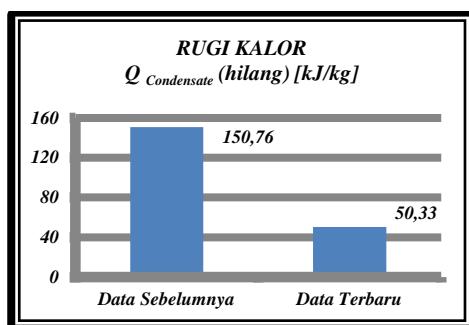


Gambar 12. Diagram T-s Untuk Kondisi Temperatur Superheater 205 °C (Data Terbaru)

Terlepas dari adanya perubahan nilai dari data yang baru ini dibandingkan dengan data sebelumnya (khususnya perubahan di kondisi titik 4-5-6), maka hal tersebut tidak mempengaruhi dari analisa di titik 7-8-1, sesuai penjelasan di bagian pendahuluan.

Berikut skematik PLTU yang bisa diilustrasikan, sehingga mempermudah dalam membayangkan posisi titik pengukuran yang ada.





Gambar 14. Data Pembanding Energi Condensate Yang Hilang

Dikarenakan adanya perubahan suhu tersebut, berimbas kepada nilai entalpi pada *condensate*. Dengan menggunakan *software REFPROP*, maka bisa didapatkan nilai energi yang terkandung dari *condensate* yang ada sesuai temperatur dan tekanan kerjanya. Pada kasus ini, keluaran *condenser* hingga *feed water tank*, tekanan kerjanya adalah tekanan atmosfer atau bisa dikatakan 1 bar absolute.

Dari tabel sifat air atau dengan menggunakan *software REFPROP*, air dengan suhu 82 °C dan tekanan kerja atmosfer, maka mempunyai energi sebesar 343.45 [kJ/kg]. Sedangkan air dengan suhu 46 °C dan tekanan kerja atmosfer, mempunyai energi sebesar 192.69 [kJ/kg]. Dan untuk air dengan suhu 70 °C pada tekanan atmosfer, mempunyai energi sebesar 293.12 [kJ/kg]. Sehingga dapat dicari kalor yang terlepas selama jalur keluaran *condenser* hingga *feed water tank* untuk data sebelumnya adalah sebesar 150.76 [kJ/kg]. Dan pada data yang baru, kalor yang terlepas hanya sebesar 50.33 [kJ/kg]. Ini menunjukkan keberhasilan dalam pengurangan kalor yang terlepas ke lingkungan sebesar 66.61%.

Keberhasilan meningkatkan energi *condensate* tidak terlepas dari peran isolator yang menjaga suhu *condensate* yang mengalir di pipa dan dinding *condensate tank*. Dengan cara yang mudah tersebut, maka kalor tidak banyak yang terbuang ke lingkungan sehingga energi yang bisa dimanfaatkan lebih banyak dibandingkan sebelumnya.

Selain itu juga, hal yang tidak kalah pentingnya adalah pengaturan sirkulasi *condensate* dari *condensate tank* ke *feed water tank*. Pengaturan debit *condensate* dengan cara mengatur besar kecil bukaan katup, sangat berpengaruh kepada ketersediaan air di *feed water tank*. Sehingga dengan bantuan pelampung tambahan di *feed water tank*, maka tidak ada pencampuran air dari *water softener* yang dilakukan pada uji coba sebelumnya, yang menyebabkan pencampuran air dengan suhu *ambient* dengan suhu *condensate* (82 °C). Dengan begitu

ketersediaan air dari *condensate tank* dapat dilakukan secara *continue*.

## Kesimpulan

Dari apa yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan dari tujuan penelitian ini, yaitu banyak hal untuk meningkatkan energi dari sistem PLTU 450 Watt tersebut, salah satu hal paling mudah adalah mencegah kalor yang terlepas ke lingkungan, khususnya dalam hal ini kalor *condensate* yang terlepas sepanjang jalur keluaran *condenser* hingga menuju *boiler*.

Dengan kata lain, usaha mencegah pelepasan kalor *condensate* adalah usaha secara tidak langsung mempertahankan kemungkinan adanya energi yang hilang dalam suatu sistem PLTU tersebut.

Pemberian isolator di sepanjang jalur *condensate* dan menjaga sirkulasi *condensate* yang dibutuhkan *feed water tank*, terbukti bisa meningkatkan energi *condensate*, yang tentunya itu juga bisa mengoptimalkan kinerja dari PLTU tersebut, walaupun hanya sebatas perlakuan minim secara keseluruhan dari sistem PLTU.

Dengan keberhasilan itu juga, secara tidak langsung dapat mengurangi konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *boiler*, karena *condensate* yang masuk ke sistem tidak mengalami banyak penurunan suhu, sehingga mengurangi usaha yang dilakukan *boiler* untuk menaikkan suhu air ke temperatur kerja *boiler*.

## Nomenklatur

T	: Temperatur
	: [°C]
s	: Entropi
	: [kJ/kg. °C]
FM-02	: Flow meter 02
	: Alat ukur debit aliran air di posisi antara <i>feed water tank</i> dengan pompa <i>boiler</i>
	: [liter   m³]
T-08	: Temperatur di titik 8
	: Termometer yang berada di posisi keluaran <i>condenser</i>
	: [°C]
T-08	: Temperatur di titik 9
	: Termometer yang berada di posisi <i>feed water tank condenser</i>
	: [°C]

## Daftar Referensi

- Beckerath, Alexander Von. (2008). *WIKA handbook: Pressure & temperature measurement U.S edition.* Lawrenceville: Wika Instrument Corporation.
- Budiarso & Nasruddin. (2010). *Optimasi sistem energi.* Jakarta: Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An engineering approach* (5<sup>th</sup> ed.). United States of America: McGraw-Hill Company Book.
- Deniarsah, Erman. (2012). *Validasi pressure gauge pada mesin pltu 450 watt dengan analisa pengukuran output pressure transducer.* Juni 2012. Universitas Indonesia. [www.library.ui.ac.id](http://www.library.ui.ac.id)
- Holman, J.P. (1986). *Heat transfer* (6<sup>th</sup> ed.). Singapore: McGraw-Hill Company Book.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., & Lavine, A.S. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6<sup>th</sup> ed.). United States of America: John Wiley & Sons.
- Koestoer, Raldi Artono. (2004). *Pengukuran teknik untuk mahasiswa.* Jakarta: Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Mardiyanto, Wawan. (2011). *Analisa dan unjuk kerja pltu 450 watt dengan variasi temperatur superheater 215 °C.* Juni 2011. Universitas Indonesia. [www.library.ui.ac.id](http://www.library.ui.ac.id)
- Marjo. (2011). *Analisa dan unjuk kerja pltu 450 watt dengan variasi temperatur superheater 205 °C.* Juni 2011. Universitas Indonesia. [www.library.ui.ac.id](http://www.library.ui.ac.id)
- Moran, Michael J., & Shapiro, Howard N. (2004). *Termodinamika teknik jilid 1* (edisi 4) (Yulianto Sulistyo Nugroho, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- Moran, Michael J., & Shapiro, Howard N. (2004). *Termodinamika teknik jilid 2* (edisi 4) (Yulianto Sulistyo Nugroho & Adi Surjosatyo, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.