

ANALISIS EFEKTIVITAS KONDENSOR DI PLTU PT. SEMEN  
TONASA BTG UNIT I 2×25 MW



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Muh. Aqsha Maulana  
Irfan

442 14 019  
442 14 023

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2018

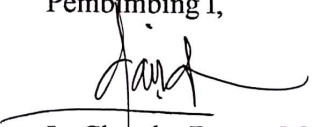
## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi dengan judul **Analisis Efektivitas Kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2X25 MW** oleh Muh. Aqsha Maulana 442 14 019 dan Irfan 442 14 023 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2018

Pembimbing I,


Pembimbing II,

  
Ir. Chandra Buana, M.T.  
NIP. 19650319 199103 1 003

  
Dr. Jamal, S.T., M.T.  
NIP. 19730228 200012 1 002

Mengetahui

Ketua Program Studi  
Teknik Pembangkit Energi

  
Ir. La Ode Musa, M.T.  
NIP. 19601231 199003 1 002



## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari jumat tanggal 31 Agustus 2018 , tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Muh. Aqsha Maulana 442 14 019 dan Irfan 442 14 023 dengan judul **Analisis Efektivitas Kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2X25 MW.**

Makassar, Agustus 2018

### Panitia Ujian Skripsi :

- |                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| 1. Ir. Andreas Pangkung, M.T.    | Ketua         |
| 2. Yiyin Klistafani , S.T., M.T. | Sekretaris    |
| 3. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd.      | Anggota 1     |
| 4. Dr. Ir. Firman, M.T.          | Anggota 2     |
| 5. Ir. Chandra Buana, M.T.       | Pembimbing I  |
| 6. Dr. Jamal, S.T., M.T.         | Pembimbing II |

The image shows handwritten signatures for each member of the thesis examination committee. The signatures are written over dotted lines that correspond to the names and roles listed in the table to the left. The signatures are: 1. Ir. Andreas Pangkung (Ketua), 2. Yiyin Klistafani (Sekretaris), 3. Dr. Jumadi Tangko (Anggota 1), 4. Dr. Ir. Firman (Anggota 2), 5. Ir. Chandra Buana (Pembimbing I), and 6. Dr. Jamal (Pembimbing II).

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Analisis Efektivitas Kondensator di PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2X2 MW" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Orang tua kami yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan bantuan baik berupa materi maupun berupa doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
3. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang;
4. Bapak Ir. Laode Musa, M.T. selaku Ketua Program Studi D-IV Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang;
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. sebagai pembimbing I dan Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan waktunya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Bapak Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D., selaku wali kelas yang selalu menyemangati kami dalam penyelesaian tugas akhir;
7. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah membimbing kami selama selama perkuliahan sejak semester pertama hingga semester akhir. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan ketulusan kalian;
8. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Pembangkit Energi 2014;
9. Keluarga besar UKM Tae Kwon Do PNUP yang memberikan semangat dan motivasi tiada henti;
10. Sahabat-sahabat kami yang banyak memberikan dorongan agar cepat selesai rekan-rekan lainnya yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu pada kesempatan ini;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Makassar, Agustus 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iiv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
SURAT PERNYATAAN.....	xiv
RINGKASAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan.....	3
1.4.1 Tujuan Kegiatan.....	3
1.4.2 Manfaat Kegiatan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) .....	4
2.1.1 <i>Boiler</i> .....	5
2.1.2 Turbin Uap .....	5
2.1.3 Kondensor .....	5
2.1.4 Pompa.....	5
2.2 <i>Heat Exchanger</i> .....	6
2.2.1 <i>Heat Exchanger</i> Tipe Kontak Tak Langsung .....	7
1. <i>Heat Exchanger Type Direct Transfer</i> .....	7
2. <i>Storage Type Exchanger</i> .....	7
3. <i>Fluidized-bed Heat Exchanger</i> .....	8
2.2.1 <i>Heat Exchanger</i> Tipe Kontak Langsung .....	8
2.3 Teori Perpindahan Panas .....	9
2.3.1 Konduksi.....	9
2.3.2 Konveksi.....	10
2.3.3 Radiasi .....	10
2.4 Kondensor.....	10
2.5 Cara Kerja Kondensor .....	13
2.6 Jenis-jenis Kondensor.....	14
2.6.1 Kondensor Kontak Langsung ( <i>Direct Contact Condensor/</i> <i>Jet Condensor</i> ).....	14

2.6.2 Kondensor Permukaan ( <i>Surface Condensor</i> ) .....	15
2.7 Komponen-komponen Kondensor.....	15
2.7.1 Pipa Kondensor ( <i>Condensor Tube</i> ) .....	15
2.7.2 <i>Cooling Water Pump</i> (CWP).....	16
2.7.3 Pompa Vakum ( <i>Vacuum Pump/Ejector Pump</i> ) .....	16
2.7.4 Ruang Kondensat ( <i>Hotwell</i> ) .....	17
2.7.5 Pompa Kondensat ( <i>Condensat Pump</i> ) .....	17
2.7.6 Sistem Uap Perapat.....	17
2.7.7 Ruang Air ( <i>Water Box</i> ).....	17
2.8 Sistem Air Pendingin.....	17
2.9 <i>Fouling</i> Pada Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa .....	18
2.9.1 Pipa Tertutupi Kerang ( <i>Fouling Biologis</i> ) .....	18
2.9.2 <i>Fouling</i> Akibat Endapan Kotoran.....	19
2.10 Rumus Perhitungan.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2 Parameter yang Digunakan Dalam Penelitian .....	23
3.2.1 Data yang Diambil Pada Kondensor Unit I PLTU PT. Semen Tonasa .....	23

3.2.2 Parameter yang Dihitung.....	23
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.4 Metode Analisis Data .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Hasil.....	27
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>34</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>36</b>





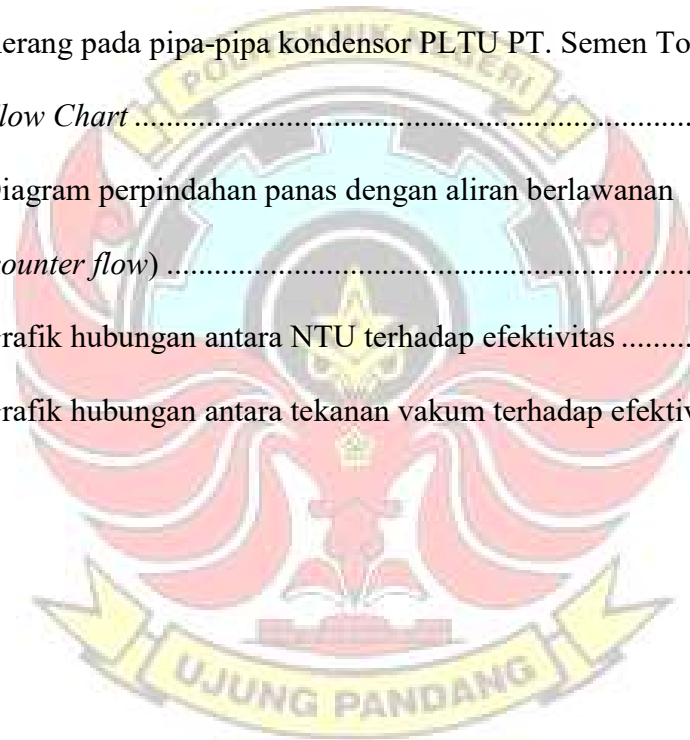
## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 1 Tabel Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa.....	36
Tabel 2 Tabel Hasil Perhitungan Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa .....	49
Tabel 3 Spesifikasi Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa .....	59



## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Siklus <i>Rankine</i> .....	6
Gambar 2.2 Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa. ....	12
Gambar 2.3 <i>Layout</i> sistem PLTU PT. Semen Tonasa .....	14
Gambar 2.4 Kerang pada pipa-pipa kondensor PLTU PT. Semen Tonasa.....	19
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> .....	25
Gambar 4.1 Diagram perpindahan panas dengan aliran berlawanan ( <i>counter flow</i> ) .....	27
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara NTU terhadap efektivitas .....	29
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tekanan vakum terhadap efektivitas .....	31



## DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
C	-	<i>Capacity ratio</i>
$\varepsilon$	-	Efektivitas
h	kJ/kg	Entalpi
S	kJ/kg °C	Entropi
x	-	Fraksi kekeringan
$C_{p_{cw}}$	kJ/kg °C	Kalor jenis air pendingin
$C_{p_s}$	kJ/kg °C	Kalor jenis uap
$C_{max}$	kW/°C	Kapasitas panas maksimum
$C_{min}$	kW/°C	Kapasitas panas minimum
$\dot{m}_{cw}$	kg/s	Laju aliran massa air pendingin
$\dot{m}_s$	kg/s	Laju aliran massa uap
Q	kW	Laju perpindahan panas
LMTD	°C	<i>Log Mean Temperature Difference</i>

$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	Massa jenis
NTU	-	<i>Number of Transfer Unit</i>
P <sub>cw</sub>	bar	Tekanan air pendingin
T <sub>hout</sub>	°C	Temperatur air kondensat
T <sub>cout</sub>	°C	Temperatur keluar air pendingin
T <sub>cin</sub>	°C	Temperatur masuk air pendingin
P <sub>s</sub>	bar	Tekanan masuk uap kekondensor
T <sub>hin</sub>	°C	Temperatur uap masuk
V	m <sup>3</sup> /kg	Volume spesifik



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa .....	36
Lampiran 2 Contoh Perhitungan .....	43
Lampiran 3 Tabel Hasil Perhitungan Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa.....	49
Lampiran 4 Gambar Teknik Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa .....	59
Lampiran 5 Surat Permohonan Izin Pengambilan Data.....	61
Lampiran 6 Surat Balasan Pengambilan Data.....	62
Lampiran 7 Surat Izin Untuk Pengambilan Data di Pembangkit.....	63
Lampiran 8 Tabel Uap .....	64
Lampiran 9 Prosedur Pengoperasian Pembakaran <i>Boiler</i> (Ketel Uap).....	69



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Aqsha Maulana

NIM : 442 14 019

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Analisis Efektivitas Kondensor Di PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit 1 2×25 MW** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.



Makassar, Agustus 2018

Muh. Aqsha Maulana

442 14 019

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Irfan

NIM : 442 14 023


menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Analisis Efektivitas Kondensor Di PLTU PT.Semen Tonasa BTG Unit 1 2×25 MW** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2018



  
Irfan  
442 14 023

# ANALISIS EFEKTIVITAS KONDENSOR DI PLTU PT. SEMEN TONASA BTG UNIT I 2X25 MW

## RINGKASAN

Kondensor yang merupakan peralatan penunjang PLTU di PT. Semen Tonasa, didalam pengoperasiannya menggunakan air laut sebagai air pendingin utama kondisi ini menyebabkan terjadinya *fouling* (pengendapan) yang mengotori pipa-pipa kondensor di pembangkit listrik tenaga uap PT. Semen Tonasa. Sehingga menyebabkan penurunan kinerja kondensor yang berdampak pada kualitas air yang terkondensasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fouling* (pengendapan) terhadap efektivitas kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa.

Metode penelitian yang digunakan yaitu dimulai dengan pengambilan data pada *central control room* PLTU PT. Semen Tonasa. Data yang diambil berupa temperatur uap masuk kondensor, temperatur air kondensat, tekanan uap masuk kondensor, tekanan air pendingin, temperatur masuk dan keluar air pendingin, laju aliran uap dan air pendingin. Kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai dari efektivitas, *number transfer of unit (NTU)*, *capacity ratio (C)*, *log mean temperature different (LMTD)* kondensor.

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa penurunan kinerja kondensor dipengaruhi oleh adanya efek *fouling* (pengendapan). *Overhaul* dilakukan setiap 2 tahun sekali. Dari April 2016 hingga Maret 2018 terjadi penurunan nilai NTU sebesar 31,69% dan nilai efektivitas 22.29%.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Suatu industri memerlukan tenaga listrik untuk kebutuhan produksi, sehingga beberapa industri membangun pembangkitan listrik. Pembangkit listrik yang sering digunakan ialah pembangkit listrik tenaga uap, karena cukup efisien sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Menurut *Energy Information Administration US (2009) capacity factor* dari pembangkit adalah *natural gas plant* 11,4%, *oil* 7,8%, *hydroelectric* 39,8%, *other renewable* 33,9%, *coal* 63,8%, *nuclear* 90,3 %.

Pembangkit listrik tenaga uap memiliki beberapa komponen utama diantaranya boiler, turbin uap, kondensor dan pompa. Sistem kerja pembangkit listrik tenaga uap dimulai dengan memanaskan air didalam boiler sehingga mengubah air menjadi uap. Uap yang dihasilkan tersebut mengalir ke turbin dengan tekanan tinggi yang mengakibatkan turbin berputar sehingga merubah energi panas menjadi energi mekanik. Turbin tersebut terhubung dengan generator sehingga generator ikut berputar dan menghasilkan energi listrik. Uap keluaran dari turbin mengalir ke kondensor dan didinginkan didalam kondensor oleh air pendingin, sehingga terkondensasi dan menyebabkan uap menjadi air. Air hasil kondensasi kemudian dipompa ke pemanas awal sebelum digunakan kembali didalam boiler. PT. Semen Tonasa salah satu industri yang memiliki pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)

sendiri untuk menunjang kegiatan operasionalnya. PLTU PT. Semen Tonasa mulai beroperasi pada tahun 1997 dan masih beroperasi hingga saat ini.

Menurut Karaeng dan Iswandi (2012) “Terjadi penurunan daya pada pembangkit listrik tenaga uap PT. Semen Tonasa dari 25 MW pada saat komisioning menjadi 20 MW pada tahun 2012.”. Penurunan efisiensi sistem pembangkit disebabkan oleh permasalahan yang sering terjadi pada komponen pembangkit tersebut “Efisiensi boiler unit 1 PLTU PT. Semen Tonasa mengalami penurunan sebesar 6,04%, dimana pada kondisi operasi tahun 1997 efisiensi boiler unit 1 sebesar 91%, sedangkan efisiensi boiler kondisi tahun 2012 sebesar 84,96%,” Karaeng dan Iswandi (2012).

Kondensor yang merupakan peralatan penunjang PLTU di PT. Semen Tonasa, didalam pengoperasiannya menggunakan air laut sebagai air pendingin utama kondisi ini menyebabkan terjadinya *fouling* (pengendapan) yang mengotori *tube-tube* kondensor di pembangkit listrik tenaga uap PT. Semen Tonasa. Pugh dkk (2003) mengatakan bahwa, “*fouling* terbagi 3 yaitu kristalisasi *fouling* yang disebabkan pengendapan kalsium karbonat, kalsium sulfat dan garam lain, korosi *fouling* disebabkan logam oksidasi dan *fouling* biologis disebabkan pertumbuhan mikro organisme menjadi makro organisme (kerang, teritip, dll).”.

Lebele-Alawa dan Ohia (2014) berpendapat bahwa, “penyebab utama penurunan kinerja alat perpindahan panas adalah efek *fouling* (pengendapan),” Sehingga mempengaruhi efektivitas perpindahan panas yang mempengaruhi penurunan tekanan dan kinerja sistem secara keseluruhan. Berdasarkan pernyataan tersebut maka kami

berkesimpulan untuk meneliti “pengaruh *fouling* (pengendapan) terhadap efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa BTG Unit I 2X25 MW “.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa Unit I 2X25 MW.
2. Bagaimana pengaruh *fouling* (pengendapan) terhadap efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa Unit I 2X25 MW?

## **1.3 Ruang Lingkup Kegiatan**

Penelitian ini dilakukan di PLTU PT. Semen Tonasa BTG I 25 MW pada kondensor unit I.

## **1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan**

### **1.4.1 Tujuan Kegiatan**

1. Bagaimana efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa Unit I 2X25 MW.
2. Mengetahui pengaruh *fouling* (pengendapan) terhadap efektivitas kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa Unit I 2X25 MW.

### **1.4.2 Manfaat Kegiatan**

1. Bahan referensi bagi peneliti lain.
2. Masukan bagi perusahaan dalam peningkatan kualitas pengoperasian kondensor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap**

Sianturi (2008) menyatakan bahwa, “PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energy bahan bakar seperti minyak residu, batu bara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang.”.

Sebuah pembangkit listrik jika dilihat dari bahan baku untuk memproduksinya, maka pembangkit listrik tenaga uap bisa dikatakan pembangkit yang berbahan baku air. Uap disini hanya sebagai tenaga pemutar turbin, sementara untuk menghasilkan uap dalam jumlah tertentu diperlukan air. Menariknya didalam PLTU terdapat proses yang terus menerus berlangsung dan berulang-ulang. Proses antara air menjadi uap kemudian uap kembali menjadi air dan seterusnya. Proses inilah yang dimaksud dengan siklus PLTU.

Pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu:

- a) Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
- b) Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
- c) Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik (Nugroho, 2013).

Siklus standar pembangkit tenaga uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin, dan kondensor. Fungsi dari masing – masing komponen utama adalah sebagai berikut:

#### 2.1.1 *Boiler*

*Boiler* berfungsi untuk mengubah air (*feedwater*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan digunakan untuk memutar turbin.

#### 2.1.2 Turbin uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

#### 2.1.3 Kondensor

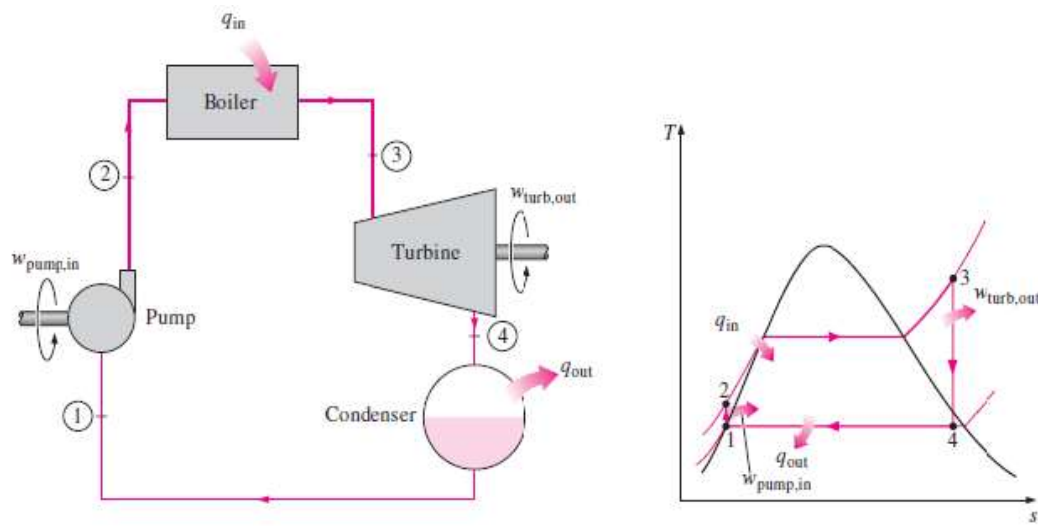
Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin).

#### 2.1.4 Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan air dari kondensor menuju *boiler*.

Terdapat 4 proses dalam siklus *Rankine*, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud) (Cengel dan Boles, 2006). sebagai berikut:

1. Proses 1 – 2: Kompresi isentropis pada pompa
2. Proses 2 – 3: Penambahan kalor dengan tekanan konstanta di *boiler*.
3. Proses 3 – 4: Ekspansi isentropis pada turbin
4. Proses 4 – 1: Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor.



Gambar 2.1 Siklus *Rankine*  
(Sumber: Cengel dan Boles, 2006)

## 2.2 Heat Exchanger

Salah satu cara yang dapat ditempuh agar pembangkit-pembangkit dapat berproduksi dengan maksimal adalah dengan menjaga efektivitas komponen-komponen didalamnya tetap baik. Salah satu komponen yang digunakan dalam suatu produksi adalah alat penukar panas. Menurut Holman (1989) “unit penukar panas adalah suatu alat untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida yang lain”. Sebagian besar dari industri-industri yang berkaitan dengan pemrosesan selalu menggunakan alat ini, karena alat penukar kalor ini mempunyai peran yang penting dalam suatu proses produksi atau operasi. *Heat Exchanger* dapat digunakan sebagai pemanas (regenerator) maupun sebagai pendingin (recuperator) tergantung pada tinjauan perpindahan panas yang terjadi.

Adapun macam-macam *heat exchanger* berdasarkan proses transfer panas:

### 2.2.1 *Heat Exchanger* Tipe Kontak Tak Langsung

*Heat exchanger* tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Ramesh dan Sekulic (2003) berpendapat bahwa, “*Heat exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat.” *Heat exchanger* jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

#### 1. *Heat Exchanger Type Direct-Transfer*

Pada *heat exchanger* tipe ini fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan *heat exchanger* tipe ini dengan tipe kontak tak langsung lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. *Heat exchanger* tipe ini sering disebut juga dengan *heat exchanger recuperator*.

#### 2. *Storage Type Exchanger*

*Heat exchanger* tipe ini memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin secara intermittent (bertahap) melalui dinding pemisah. Sehingga pada jenis ini, aliran fluida tidak secara terus-menerus terjadi, ada proses penyimpanan sesaat sehingga energi panas lebih lama tersimpan di dinding-dinding pemisah antara fluida-fluida tersebut. Tipe ini biasa pula disebut dengan regenerative *heat exchanger*.

### 3. *Fluidized-Bed Heat Exchanger*

*Heat exchanger* tipe ini menggunakan sebuah komponen solid yang berfungsi sebagai penyimpan panas yang berasal dari fluida panas yang melewatinya. Fluida panas yang melewati bagian ini akan sedikit terhalang alirannya sehingga kecepatan aliran fluida panas ini akan menurun, dan panas yang terkandung di dalamnya dapat lebih efisien diserap oleh padatan tersebut. Selanjutnya fluida dingin mengalir melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan melewati padatan penyimpan panas tersebut, dan secara bertahap panas yang terkandung di dalamnya ditransfer ke fluida dingin.

#### 2.2.2 *Heat Exchanger* Tipe Kontak Langsung

Ramesh dan Sekulic (2003) berpendapat bahwa, “dalam alat penukar panas tipe kontak langsung, dua aliran fluida bersentuhan langsung, pertukaran panas, dan kemudian dipisahkan.” *Heat Exchanger* Tipe Kontak Langsung Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti dengan terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan *heat exchanger* tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti pencampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan terjadinya perubahan fase dari salah satu atau lebih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi.

Salah satu contohnya adalah *Immiscible Fluid Exchangers*, *Heat exchanger* tipe ini melibatkan dua fluida dari jenis berbeda untuk dicampurkan sehingga terjadi perpindahan panas yang diinginkan. Proses yang terjadi kadang tidak akan



mempengaruhi fase dari fluida, namun bisa juga diikuti dengan proses kondensasi maupun evaporasi.

### **2.3 Teori Perpindahan Panas**

Haryadi dan Mahmudi (2012) menyatakan bahwa, “teori perpindahan panas adalah Ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin)”. Secara alami, panas atau kalor dengan sendirinya berpindah dari benda yang bertemperatur tinggi menuju benda yang bertemperatur rendah. Proses terjadinya perpindahan panas adalah suatu fenomena alam (hukum alam) dimana adanya suatu zat dengan temperatur yang lebih tinggi akan senantiasa menyamakan (menyeimbangkan) temperatur benda yang saling bersentuhan. “Mekanisme perpindahan panas dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu konduksi, konveksi dan radiasi” Buchori (2017).

#### **2.3.1 Konduksi**

“Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ketempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap.” Buchori (2017). Setiap benda mempunyai konduktivitas termal (kemampuan mengalirkan panas) tertentu yang akan mempengaruhi panasyang dihantarkan dari sisiyang lebih dingin. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu benda, maka semakin cepat ia mengalirkan panas yang diterima dari satu sisi ke sisi yang lain.

### 2.3.2 Konveksi

“Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas)” Buchori (2017). Secara global perpindahan panas antara fluida mengalir dengan benda solid dikatakan konveksi, dimana pada proses konveksi juga terjadi perpindahan panas fuida secara difusi (molekul fuida bertemperatur tinggi mentransfer panas ke molekul fluida bertemperatur yang lebih rendah).

Konveksi terbagi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa, “konveksi bebas adalah Perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya dan konveksi paksa adalah Perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar” Buchori (2017).

### 2.3.3 Radiasi

“Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara” Buchori (2017).

## 2.4 Kondensor

“Kondensor merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa kecil berisi *cooling water*” Lini dan Rudianto (2016), sedangkan Anggun dkk (2014) mengatakan bahwa, “kondensor adalah alat penukar panas yang menerima panas dari turbin uap tekanan rendah yang nantinya akan diubah menjadi air setelah melalui proses perpindahan panas”. Jadi menurut kami kondensor merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa

kecil yang berfungsi sebagai alat penukar panas yang menerima panas dari turbin dan mengubahnya menjadi air melalui proses perpindahan panas.

Dapat dikatakan fungsi kondensor adalah sebagai *heat exchanger* atau alat penukar kalor (APK), kerja kondensor sendiri adalah mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air. Air hasil kondensasi ini dipompa oleh CEP (*Condensate Extraction Pump*) menuju *boiler* dan akan digunakan kembali. Dalam perpindahan panas ini prinsip yang digunakan adalah prinsip pindah panas secara konduksi dan konveksi. Proses perpindahan panas secara konduksi ini terjadi saat *cooling water* mengalir dalam pipa-pipa kecil dan perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika *steam* melewati sisi luar pipa kecil tersebut.

Kondensor yang ada pada PLTU ini termasuk jenis *heat exchanger* pipa cangkang. Dimana *heat exchanger* ini memiliki 2 sisi, yaitu sisi *shell* dan sisi *tube*. Sisi *shell* disini merupakan wadah uap yang akan dikondensasikan sedangkan sisi *tube* disini merupakan sisi air pendingin sebagai pendingin yang berasal dari air laut. Berdasarkan media pendinginnya, kondensor ini tergolong *water cooled* kondensor dengan tipe horizontal.



Gambar 2.2 Kondensator PLTU PT. Semen Tonasa

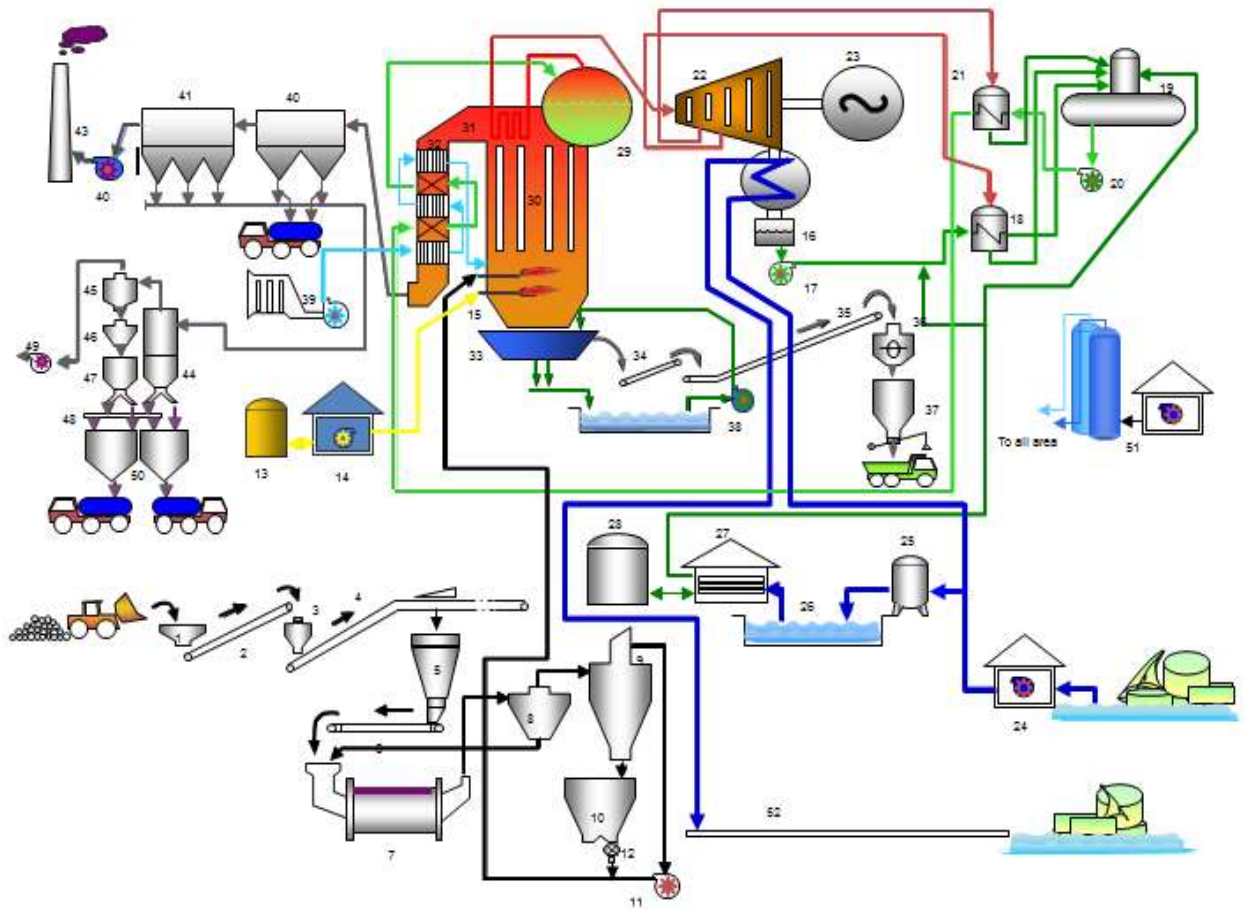
Kondensator tersebut buatan perusahaan dari China yang bertipe *N-2000-2/Two Channel System and Surface Heat Return*. Kondensator ini memiliki berat bersih tanpa air 30 metrik ton dan luas pendingin 2000 m<sup>2</sup>. Dalam kondensator terdapat pipa-pipa yang berjumlah 328 buah ( $\text{Ø}25 \text{ mm} \times 0,8 \text{ mm} \times 7566 \text{ mm}$ ). Alat ini menggunakan air laut sebagai air pendinginnya, dengan jumlah air yang masuk ke kondensator 1611

kg/detik dengan tekanan air 0,245 MPa dan temperatur 32°C serta laju alirannya 2,11 m/detik.

## 2.5 Cara Kerja Kondensor

Uap panas yang masuk ke kondensor dengan temperatur yang tinggi dan bertekanan yang merupakan hasil proses dari turbin. Kemudian uap panas masuk ke dalam *suction pipe* dan kemudian mengalir dalam tube. Dalam *tube*, uap panas didinginkan dengan media pendingin air yang dialirkan melewati sisi luar *tube*, kemudian keluar melalui *discharge pipe* dengan temperatur yang sudah turun dan berubah fasanya menjadi cair kemudian ditampung di *hotwell*. Air di *hotwell* tidak boleh penuh atau kurang dan harus dijaga level tinggi dan rendahnya. Untuk itu *hotwell* dilengkapi dengan pompa kondensat yang mengalirkan air kondensat di *hotwell* ke tangki deaerator.

Selain uap, di kondensor juga terdapat gas-gas yang tidak bisa dikondensasikan, gas-gas tersebut harus dibuang. Maka di kondensor juga terdapat alat yang berfungsi membuang gas-gas yang tidak terkondensasi tersebut ke luar kondensor. Tugas tersebut dijalankan oleh *vacuum system*.



Gambar 2.3 Lay out sistem PLTU PT. Semen Tonasa  
(Sumber: Arsip PLTU PT. Semen Tonasa, 2017)

## 2.6 Jenis-jenis Kondensor

Kondensor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu :

### 2.6.1 Kondensor kontak langsung (*Direct Contact Condensor/Jet Condensor*).

Prinsipnya mencampur uap dan air pendingin yang di spray kan dalam satu tabung sehingga terbentuk air kondensate dan biasanya campuran air yang terbentuk



diinjeksikan lagi keperut bumi untuk menjaga kelestarian alam. Kondensor jenis ini banyak digunakan pada PLTU.

#### 2.6.2 Kondensor Permukaan (*Surface Condensor*).

Prinsipnya air pendingin dan uap yang didinginkan tidak dicampur, terpisah air pendingin didalam pipa-pipa (*tubes*) pendingin sedangkan uap yang terkondensasi didalam cangkang (*shell*). Pada kondensor permukaan air pendingin yang tersedia dalam jumlah besar dan diharapkan air yang masuk kedalam kondensor air yang bersih

### 2.7 Komponen-komponen Kondensor

Kondensor terdiri dari banyak bagian alat / komponen yang bekerja bersama-sama. Supaya kondensor bisa bekerja normal, maka semua komponen kondensor harus bisa bekerja dengan maksimal. Kerusakan atau masalah pada salah satu komponen kondensor akan menyebabkan gangguan pada kondensor bahkan bisa menyebabkan trip turbin uap. Anggun (2014) berpendapat bahwa, “komponen kondensor terdiri dari *water box*, *hotwell*, dan pipa air pendingin.”

Berikut adalah Bagian / Komponen Kondensor:

#### 2.7.1 Pipa Kondensor (*Condenser Tube*)

Fungsinya untuk menyerap panas dari uap bekas turbin sehingga temperaturnya (suhu) uap turun dan berubah fasa menjadi air (cair). Terletak di bagian dalam kondensor dan terdiri dari banyak (ratusan/ribuan) pipa-pipa dengan diameter kecil yang disusun rapat dan biasanya tersusun secara horizontal. Air pendingin akan dimasukkan kedalam pipa kondenser dari bagian bawah (*inlet*) dan dikeluarkan dari

bagian atas (*outlet*). Sedangkan uap bekas turbin akan bersentuhan dengan pipa kondensor bagian luar.

### 2.7.2 *Cooling Water Pump (CWP)*

Adalah sebuah pompa air yang mengalirkan air pendingin ke bagian dalam pipa kondensor. Air pendingin bisa berasal dari air tawar (sumur, sungai, danau, rawa dll) atau air asin (air laut). Tergantung dari kapasitas turbin uap, semakin besar kapasitasnya maka akan memerlukan air dalam jumlah yang banyak dan biasanya menggunakan air laut yang melimpah.

Air pendingin kondensor bisa digunakan / disirkulasikan sekali saja setelah itu dibuang ke luar atau bisa digunakan berulang kali tapi harus memiliki alat tambahan untuk menjaga temperatur air pendingin tetap terjaga sesuai desain kondensor. Biasanya akan dilengkapi dengan suatu alat yang bernama menara pendingin (*Cooling Tower*).

### 2.7.3 Pompa Vakum (*Vacuum Pump/Ejector Pump*)

Pompa vakum berfungsi untuk menarik gas-gas yang tidak diperlukan keluar dari kondensor. Kegagalan dalam membuang gas-gas tersebut akan membuat tekanan di dalam kondensor turun/jelek/positif (*drop*) yang akan menyebabkan uap bekas turbin mengalami kesulitan mengalir ke kondensor dan bisa menyebabkan harus diturunkannya beban turbin atau bahkan membuat turbin uap trip.

Pompa vakum akan mengalirkan air dari tangki ejektor melewati suatu *nozzle* berkecepatan tinggi dan dilewatkan ke saluran pipa yang sempit yang terhubung ke



dalam kondensor. Akibatnya gas-gas di dalam kondensor akan tertarik dan dibuang bersama air ejektor ke udara luar (atmosfer).

#### 2.7.4 Ruang Kondensat (*Hotwell*)

*Hotwell* adalah suatu alat yang terdapat di bawah kondenser namun masih menjadi satu dengan kondensor dan berfungsi menampung air kondensat.

#### 2.7.5 Pompa Kondensat (*Condensate Pump*)

Berfungsi untuk memompakan air kondensat di *hotwell* ke tangki deaerator (*Deaerator Tank*).

#### 2.7.6 Sistem Uap Perapat (*Steam Seals System*)

Berfungsi untuk memberikan uap perapat pada labirin turbin agar udara luar tidak masuk ke dalam kondensor. Uap bertekanan rendah akan memenuhi labirin yang berfungsi sebagai perapat sehingga hanya uap yang akan di hisap vakum kondensor.

#### 2.7.7 Ruang Air (*Water Box*)

Ruang-ruang air pada sisi masuk dan keluar terbuat dari baja karbon dan masing-masing mempunyai lobang lalu orang. Dengan menggunakan air yang terpisah, maka pencucian setengah kondensor dapat dilakukan pada beban rendah.

### 2.8 Sistem Air Pendingin

“Pada suatu sistem unit pembangkit termal khususnya untuk PLTU diperlukan sistem pendingin utama, fungsi utama dari sistem air pendingin utama adalah menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk menyerap panas laten uap keluaran dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*) kemudian mengkondensasikan uap keluaran tersebut didalam kondensor. Jumlah dan temperatur

air pendingin yang tersedia akan menentukan kerja kondensor yang dapat dicapai, oleh karena itu PLTU dibangun di tepi pantai (laut) karena berhubungan dengan tersedianya sumber air yang tak terbatas” (Anggun dkk 2014).

Air pendingin utama merupakan media pendingin untuk menyerap panas laten uap bekas dari turbin yang mengalir kedalam kondensor. Untuk mengkondensasikannya uap menjadi air diperlukan air pendingin. Air yang digunakan sebagai media pendingin utama yang akan dibahas disini ialah air laut. Tanpa pasokan air pendingin turbin tidak dapat dioperasikan. Sedangkan aliran air pendingin utama yang kurang dapat menyebabkan vakum kondensor menjadi rendah dan dapat mengakibatkan unit trip. “Kondensor sangat dipengaruhi oleh kondisi air pendingin baik temperatur maupun kebersihannya.” Atoni dan Mahmud (2015).

## **2.9 Fouling pada Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa**

### **2.9.1 Pipa Tertutupi Kerang (*Fouling Biologis*)**

Banyaknya kerang yang menutupi *tube* (pipa-pipa kondensor) berasal dari sumber pengambilan bahan baku air pendingin kondensor yang diambil langsung dari laut kerang-kerang tersebut masuk berupa telur-telur kerang melalui pipa SWI karena perkembangbiakkannya yang sangat cepat maka ketika memasuki kondensor kerang-kerang tersebut menutupi pipa-pipa kondensor yang menyebabkan penurunan kerja kondensor. Hal ini diatasi dengan pemberian bahan kimia, pemberian bahan kimia bertujuan untuk membunuh bibit-bibit kerang laut yang melewati penyaringan pada saat pemompaan air laut menuju ke kondensor dikarenakan apabila kerang tersebut

dibiarkan untuk tumbuh maka dapat menutupi pipa-pipa kondensor namun tetap saja bibit kerang yang masih kecil dapat berkembang biak.



Gambar 2.4 Kerang pada pipa-pipa kondensor di PLTU PT. Semen Tonasa  
(Sumber: Arsip PLTU PT. Semen Tonasa, 2018)

### 2.9.2 *Fouling* Akibat Endapan Kotoran

*Fouling* atau endapan sangat mungkin terjadi pada kondensor, endapan yang mengotori pipa-pipa kondensor ini berasal dari sumber pengambilan bahan baku air pendingin. Seperti yang kita ketahui tempat pengambilan air pendingin berasal dari laut dan kemungkinan besar air tersebut mengandung endapan-endapan kotor yang ikut masuk dan mengendap pada pipa-pipa kondensor, hal ini dapat menyebabkan menurunnya laju perpindahan panas pada kondensor, sehingga kualitas air pendingin sangat diperlukan agar mengurangi penyebab *fouling* pada kondensor.

## 2.10 Rumus Perhitungan

Saat menentukan efektivitas alat penukar panas menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU(1-C)}}{1 - C \cdot \exp[-NTU(1-C)]} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = Efektivitas Heater

NTU = Number of Transfer Unit

C = Capacity Ratio

Persamaan efektivitas melibatkan besaran tak berdimensi. Besaran ini dapat disebut *number of transfer unit* (NTU). Nilai NTU adalah ukuran dari luas permukaan APK, sehingga semakin besar NTU semakin besar pula ukuran APK.

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

A = Luas perpindahan kalor (m<sup>2</sup>)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m<sup>2</sup> °C)

C<sub>min</sub> = Kapasitas panas minimum

Selain NTU besaran yang tak berdimensi maka pada APK terdapat nilai C yang besarnya tak berdimensi. *Capacity Ratio* (C) dapat ditentukan dengan membandingkan kapasitas panas maksimum dan kapasitas panas minimum.

$$C = \frac{\dot{m}_s \cdot C_{ps}}{\dot{m}_{cw} \cdot C_{pcw}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$C$  = Capacity Ratio

$\dot{m}_s$  = Steam Flow at rated operation (kg/s)

$\dot{m}_{cw}$  = Cooling Water Flow (kg/s)

$C_{ps}$  =  $C_p$  (Heat Capacity at Constant Pressure) Steam (kJ/(kg °C))

$C_{pcw}$  =  $C_p$  (Heat Capacity at Constant Pressure) Cooling Water (kJ/(kg °C))

Besarnya koefisien pindah panas menyeluruh dapat diperoleh dari perhitungan laju perpindahan kalor ( $Q$ ) dan perhitungan LMTD (*Log Mean Temperature Difference*)

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \dots\dots\dots(2.4)$$

Debit dapat dihitung dengan:

$$Q = \dot{m}_s \cdot C_{ps} (T_{hin} - T_{hout})$$

Dengan kondenser yang mempunyai arah aliran yang berlawanan (*counter flow*) maka LMTD dapat dihitung dengan rumus:

$$LMTD = \frac{(T_{hin} - T_{cout}) - (T_{hout} - T_{cin})}{\ln(T_{hin} - T_{cout}) / (T_{hout} - T_{cin})} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$T_{hin}$  = temperatur masuk fluida panas (°C)

$T_{\text{out}}$  = temperatur keluar fluida panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{in}}$  = temperatur masuk fluida dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{out}}$  = temperatur keluar fluida dingin ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Lini dan Rudianto, 2016).



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di PLTU PT. Semen Tonasa sektor Pembangkitan Biringkassi BTG Unit I 25 MW. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Maret sampai April 2018.

#### 3.2 Parameter yang digunakan dalam Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah:

3.2.1 Data yang diambil pada kondensor Unit I PLTU PT. Semen Tonasa adalah:

1.  $T_{c_{in}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) adalah temperatur masuk air pendingin.
2.  $T_{c_{out}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) adalah temperatur keluar air pendingin.
3.  $T_{h_{in}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) adalah temperatur uap dari LP Turbin 1.
4.  $T_{h_{out}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) adalah temperatur air kondensat.
5.  $P$  (bar) adalah tekanan vakum kondensor.
6.  $\dot{m}_s$  ( $\text{kg}/\text{s}$ ) adalah laju aliran massa uap.
7.  $\dot{m}_{cw}$  ( $\text{kg}/\text{s}$ ) adalah laju aliran air pendingin.

3.2.2 Parameter yang dihitung berdasarkan data adalah:

1. LMTD ( $^{\circ}\text{C}$ ) adalah (*Log Mean Temperature Difference*).
2.  $C$  adalah (*Capacity Ratio*).
3. NTU adalah (*Number of Transfer Unit*).

4.  $\epsilon$  adalah (*Efektivitas Kondensor*).

### 3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Melakukan pengambilan data di *Central Control Room (CCR)*:

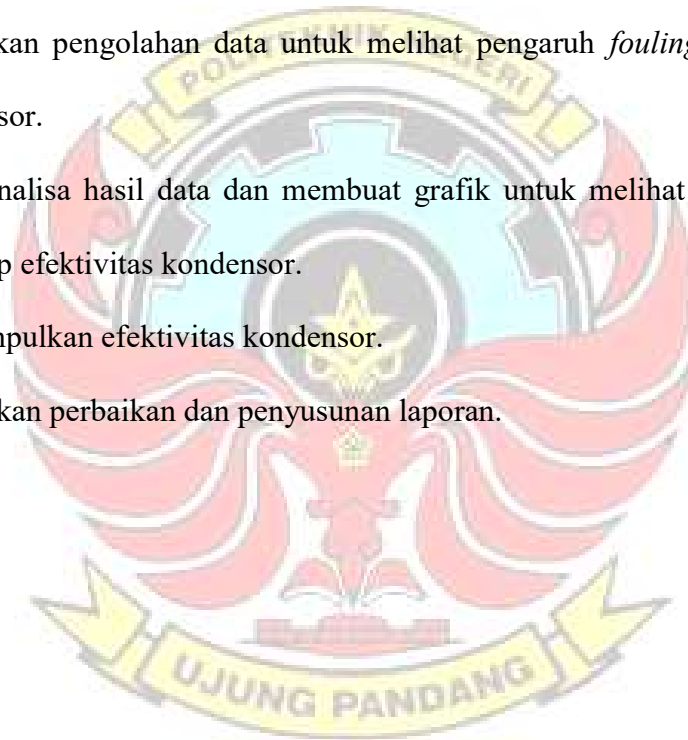
1. Data terlama yang tersimpan
2. Data sebelum *overhaul* dan sesudah *overhaul* pada kondensor.
3. Data terbaru tahun 2018 dari kondensor.

3.3.2 Melakukan pengolahan data untuk melihat pengaruh *fouling* pada efektivitas kondensor.

3.3.3 Menganalisa hasil data dan membuat grafik untuk melihat pengaruh *fouling* terhadap efektivitas kondensor.

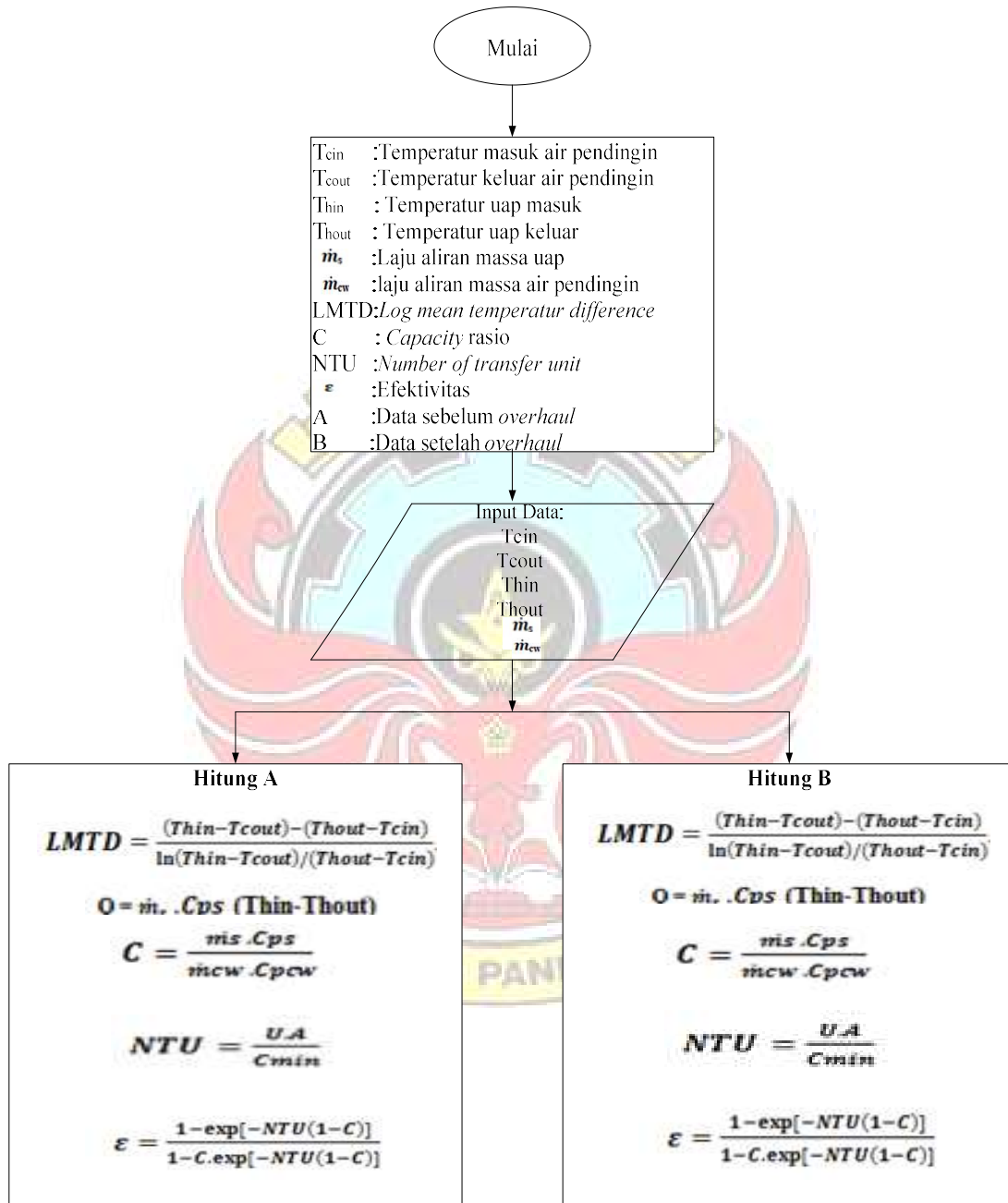
3.3.4 Menyimpulkan efektivitas kondensor.

3.3.5 Melakukan perbaikan dan penyusunan laporan.

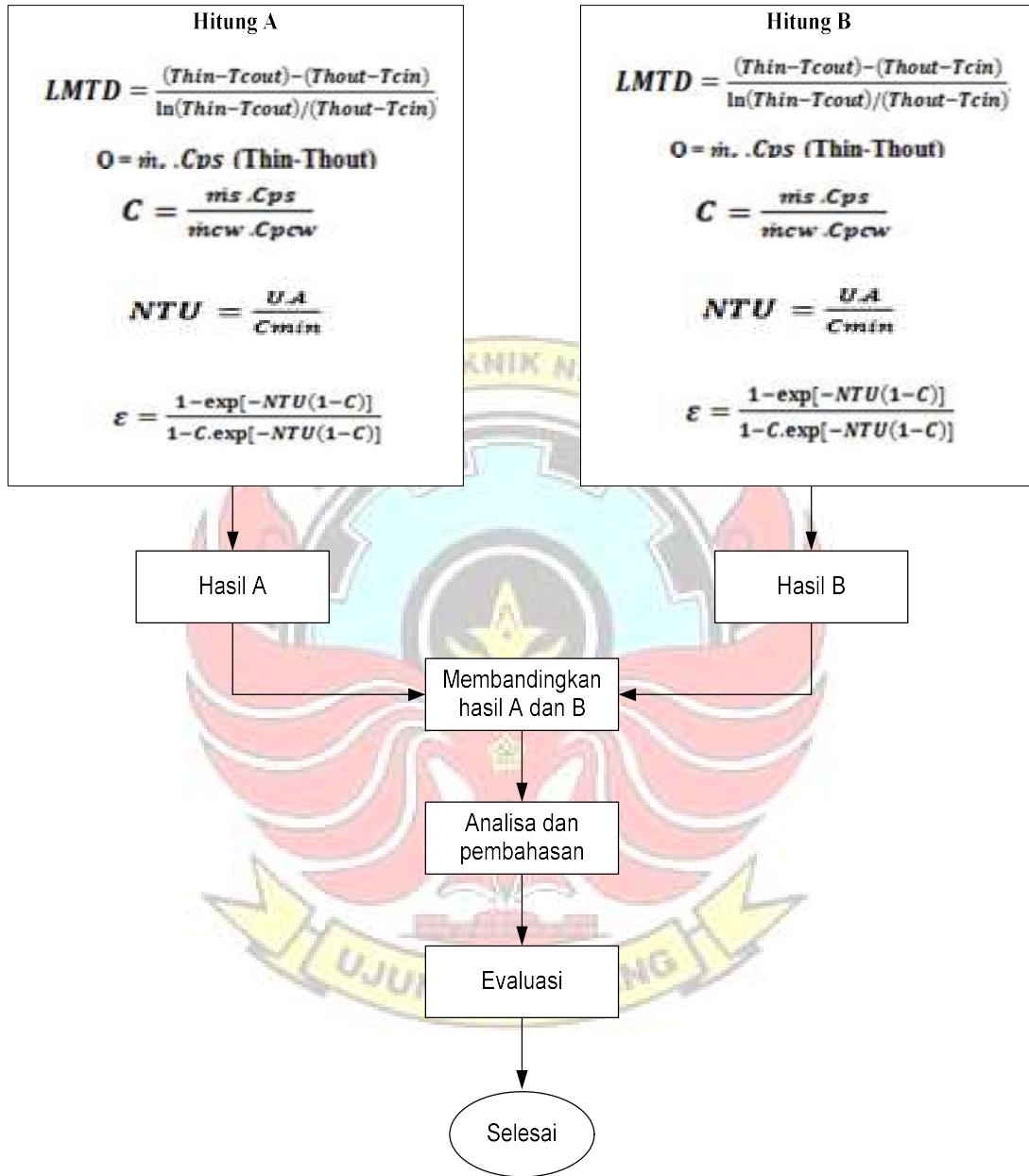




### 3.4 Metode Analisis Data



Gambar 3.1 Flow chart

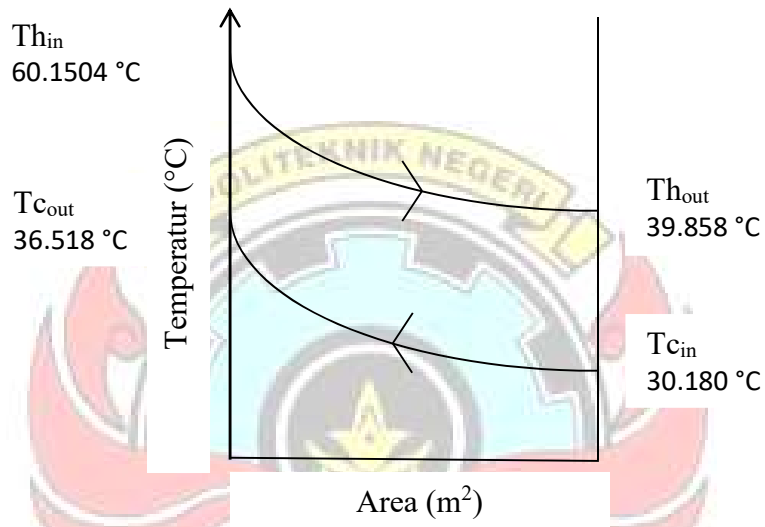


Gambar 3.1 Flow chart

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil



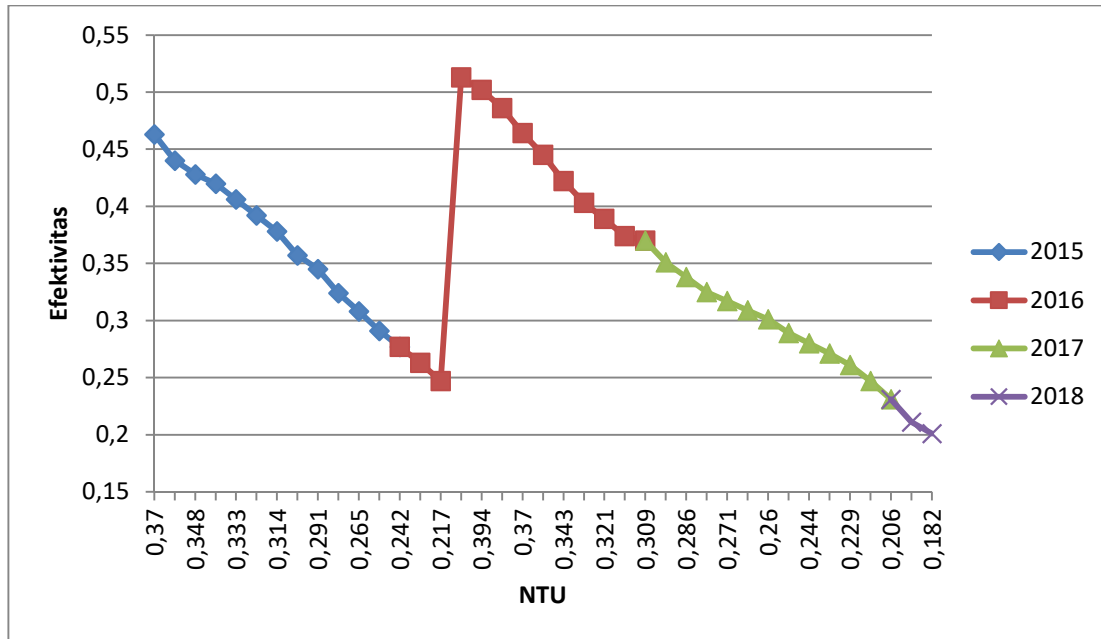
Gambar 4.1 Diagram perpindahan panas dengan aliran berlawanan (*counter flow*)

Berdasarkan gambar 4.1 terjadi perubahan fasa dari fasa uap dengan nilai temperatur uap yang masuk sebesar  $60.1504^{\circ}\text{C}$  menjadi fasa cair dengan nilai temperatur air yang keluar sebesar  $39.858^{\circ}\text{C}$  dan tekanan vakum  $0.201\text{ bar}$  dengan bantuan air pendingin yang masuk bertemperatur  $30.180^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan  $1.145\text{ bar}$ . Setelah terjadi proses kondensasi, maka temperatur air yang keluar dari kondensor sebesar  $36.518^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan tabel uap A-2 (*Ideal-gas specific heats of various common gases*) diperoleh nilai  $C_p$  sebesar  $1.8723\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  dan nilai laju aliran massa uap dari tabel

uap A-2 data sebesar 0.004704 kg/s, kemudian dikalikan dengan selisih temperatur uap sehingga diperoleh laju perpindahan kalor (Q) sebesar 0.178726 kW. Kemudian untuk memperoleh nilai rasio kapasitas (C) diperoleh dari table uap A-3 (*Properties of common liquid, solid, and foods*) diperoleh nilai  $C_{p_{cw}}$  sebesar 4.18 kJ/kg°C dan nilai laju aliran massa air pendingin 1546.815 kg/s, dengan membandingkan kapasitas panas minimum dengan kapasitas panas maksimum maka diperoleh nilai sebesar 0.00000136.

Nilai logaritma rata-rata perbedaan temperatur (LMTD) diperoleh dari perbandingan antara selisih temperatur uap dan air pendingin dengan  $\ln$  selisih temperatur uap dan air pendingin sebesar 42.70217°C. Kemampuan memindahkan panas (NTU) diperoleh dengan membandingkan laju perpindahan kalor dengan hasil kali kapasitas panas minimum dan LMTD, maka diperoleh nilai NTU sebesar 0.475208. Nilai efektivitas dipengaruhi oleh nilai NTU dan nilai rasio kapasitas (C), sehingga diperoleh nilai efektivitas sebesar 0.378244.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara NTU terhadap efektivitas

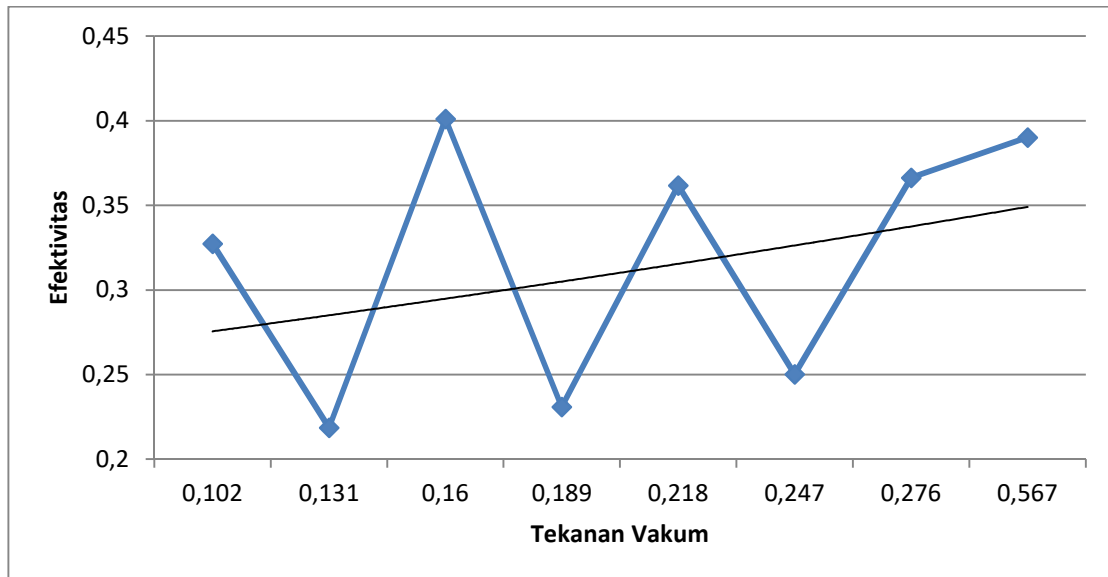
Lebele-alawa dan Ohia (2014) melakukan penelitian dengan judul “*Influence of Fouling on Heat Exchanger Effectiveness in a Polyethylene Plant*” dan mengatakan bawah, “penyebab utama penurunan kinerja alat perpindahan panas adalah efek *fouling* (pengendapan)”. Hal yang sama diperoleh pada penelitian kami, dimana efek *fouling* itu mempengaruhi kinerja alat penukar kalor yaitu kondensor. Dari grafik diatas dinyatakan bahwa efek *fouling* yang menyebabkan turunnya proses transfer panas (NTU) sehingga mempengaruhi efektivitas kondensor. Nilai NTU dipengaruhi oleh nilai laju perpindahan kalor (Q) yang ditentukan oleh laju aliran massa uap dan beda temperatur uap yang masuk dan keluar, nilai *log mean temperature difference* (LMTD) ditentukan oleh nilai temperatur masuk dan keluar uap serta nilai temperatur masuk dan keluar air pendingin, dan nilai kapasitas panas minimum (Cmin)

ditentukan oleh aliran uap. Semakin besar nilai dari LMTD dan  $C_{min}$  maka nilai NTU semakin kecil.

Nilai efektivitas tertinggi yaitu 0.402182 pada nilai NTU 0.514469, sedangkan nilai efektivitas terendah yaitu 0.179259 dengan nilai NTU 0.197548. Berdasarkan grafik pada tahun 2015 hingga 2016 terjadi penurunan nilai NTU dari 0.475208 hingga 0.238164 juga mempengaruhi nilai efektivitas dari 0.378244 hingga 0.211926 yang disebabkan oleh efek *fouling* yang terjadi pada kondensor. Pada tahun 2016 bulan April nilai NTU naik menjadi 0.514469 dengan efektivitas kondensor sebesar 0.402182 dikarenakan adanya *overhaul* maka terjadi perbaikan kondensor pada bagian pengotoran. Setelah beroperasi kondensor kembali mengalami penurunan dalam proses mentransfer panas sebesar 31.69% menjadi 0.197548, begitu pula nilai efektivitas kondensor juga turun sebesar 22.29% menjadi 0.179259 pada tahun 2018. Nilai NTU sebelum dilakukan *overhaul* pada tahun 2016 yaitu 0.238164, sedangkan nilai NTU pada tahun 2018 sebelum dilakukan *overhaul* sebesar 0.197548, dari kedua nilai NTU tersebut terjadi penurunan 4.06% dikarenakan usia kerja kondensor yang lama.

Adanya efek *fouling* menyebabkan turunnya kinerja kondensor yang akan berimbas pada kualitas air yang dihasilkan oleh kondensor. Sehingga menyebabkan banyaknya air hasil demineralisasi yang dibutuhkan untuk memenuhi pasokan air kedalam *boiler*. Mengakibatkan kerugian bagi perusahaan dikarenakan banyaknya biaya yang harus dikeluarkan dalam proses demineralisasi. Penurunan efektivitas kondensor juga menyebabkan proses kondensasi uap tidak sempurna. Sehingga

mengganggu kinerja pompa kondensat yang menyebabkan level air pada *hotwell* tinggi hingga merendam pipa-pipa pendingin dan memenuhi ruang kondensor.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tekanan vakum terhadap efektivitas

Berdasarkan gambar 4.3 dinyatakan bahwa tekanan vakum berpengaruh, namun tidak secara signifikan terhadap perubahan nilai efektivitas kondensor. Dilihat bahwa grafik mengalami fluktuasi, pada tekanan vakum 0.102 bar ternyata nilai efektivitas kondensor sebesar 0.327329 sedangkan pada tekanan vakum 0.131 bar nilai efektivitas kondensor turun yaitu 0.218573 dan nilai efektivitas kembali naik hingga 0.401133 dengan tekanan vakum yaitu 0.160 bar, pada tekanan vakum 0.189 efektivitas kondensor kembali mengalami penurunan dengan nilai 0.230984. Berdasarkan trendline, memiliki kecenderungan naik. Adanya gas-gas yang tidak terkondensasi dengan baik dapat menyebabkan penurunan tingkat kevakuman dalam kondensor. Karena kondensor memiliki tekanan dibawah tekanan atmosfer maka

akan memungkinkan adanya gas-gas dari luar yang masuk ke dalam kondensor. Gas-gas tersebut menutup permukaan luar pada pipa-pipa kondensor, sehingga menyebabkan berkurangnya kecepatan dalam perpindahan panas antara uap dengan air pendingin.





## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Efektivitas kondensor pada PLTU PT. Semen Tonasa dipengaruhi oleh adanya efek *fouling* (pengendapan). Hal tersebut dibuktikan bahwa setiap 2 tahun dilakukan *overhaul*, maka terjadi perbaikan kondensor pada bagian pengotoran. Dari Maret hingga April 2016 dilakukan *overhaul* sehingga nilai NTU menjadi 0.514469 dan efektivitas kondensor sebesar 0.402182.
2. Tahun 2015 hingga 2016 terjadi penurunan nilai NTU dari 0.475208 hingga 0.238164, sehingga nilai efektivitas turun dari 0.378244 hingga 0.211926. Begitupula April 2016 hingga Maret 2018 nilai NTU kondensor kembali mengalami penurunan sebesar 31.69% menjadi 0.19548 begitupula nilai efektivitas kondensor juga turun sebesar 22.29% menjadi 0.179259, akibat pengotoran pada kondensor.

#### 5.2 Saran

Sebaiknya PLTU PT. Semen Tonasa menggunakan peralatan yang mendukung seperti *Ball Cleaning Condenser* yang berfungsi membersihkan permukaan pipa pada kondensor. Selain itu, juga dapat menggunakan *Cek Air Leakage* yang menggunakan plastik yang direkatkan pada sisi-sisi pipa yang berfungsi untuk mengangkat *fouling* dari kondensor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggun, Sukarno, Bono, dan Prasetyo Bhudi. 2014. Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kinerja Kondensor Di PLTU Tanjung Jati B. *Jurnal Teknik Energi*. Vol.10 No. 2. Mei. Diambil dari: <http://www.polines.ac.id> (8 Januari 2018).
- Atoni, dan Kisman H Mahmud. 2015. Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensor Terhadap Tekanan Pada Beban Tetap. *Jurnal Integrasi Sistem Industri*. Hal. 1. Diambil dari: <http://www.ijstr.org> (8 Januari 2018).
- Buchori, Luqman. 2017. Perpindahan Panas (*Heat Transfer*). Semarang: UNDIP Semarang.
- Cengel, Yunus A dan M.A. Boles. 2006. *Thermodynamic: An Engineering Approach, 5<sup>th</sup> Ed.* Boston: McGraw-Hill College.
- Haryadi dan Ali Mahmudi. 2012. Perpindahan Panas. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Holman, J.P. 1989. Perpindahan Kalor. Terjemahan E Jasfi. Jakarta: Erlangga.
- Karaeng, Christian Tallu dan Iswandi. 2012. Analisis Kinerja Boiler pada PLTU Unit 1 PT. Semen Tonasa, Skripsi, Makassar, Jurusan Teknik Mesin Politenik Negeri Ujung Pandang.
- Lebele-alawa, B.T, dan Innocent Okpara Ohia. 2014. *Influence of Fouling on Heat Exchanger Effectiveness in a Polyethylene Plant.* *jurnal energy and power*. Vol.4No.2. Diambil dari: <https://mail-attachment.googleusercontent.com> (31 Januari 2018).
- Lini, Asrorin Safira Zata, dan Bayu Rudianto. 2016. Menentukan Nilai Efektivitas Condenser di PLTU PAITON Unit 5 PT. YTL Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Rotary*. Vol.1.No.1.Agustus. Diambil dari: <https://publikasi.polije.ac.id> (6 September 2017).
- Nugroho, Danang Dwi. 2013. Evaluasi *Steam Cycle Heat Rate* dan Efisiensi Termal Turbin Uap Unit 2 Tipe N300-16.7/538/538-8 di PLTU 1 Jawa Tengah Rembang. *Tugas Akhir*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- PLTU PT. Semen Tonasa. 2018. Arsip. Pangkep.

PLTU PT. Semen Tonasa. 2017. Arsip. Pangkep.

Pugh, S.J, G.F.Hewitt dan H.Muller-Steinhagen. 2003. *Fouling During the Use of Seawater as Coolant-The Development of a'User Guide'*. *Jurnal Heat Exchanger Fouling and Cleaning*. No.3. Diambil dari: <http://dc.engconfintl.org> (5 januari 2018).

Rosyadi, Imron, Dhimas Satria dan Cecep. 2016. Pengaruh Penurunan *Vacuum* Pada Saat *Backwash Condenser* Terhadap *Heat Rate* Turbin Di PLTU. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. Vol.2 No. 1. April. Diambil dari: <http://mesin.untirta.ac.id> (5 Januari 2018).

Shah, Ramesh K., dan Dusan P. Sekulic. 2003. *Fundamenals Of Heat Exchanger Design*. New York: Rochester Institute of Technolgy.

Sianturi, Ronni Samuel. 2008. Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Mas Kim II Medan, Skripsi, Medan, Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.

Sulaiman, dan Novita Satria. 2014. Analisa Efektivitas Penukar Panas. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.4 No.1, April:22– 24. Diambil dari: <http://download.portalgaruda.org> (14 November 2017).

US Energy Information Administration. 2011. *Electrical Power Annual 2009*. Washinton DC: US Department Of Energy



Lampiran 1

Tabel Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa

Tabel 1 Data Sebelum *Overhaul*

Data Tahun 2015

Tanggal	P <sub>s</sub> (bar)	P <sub>cw</sub> (bar)	T <sub>c<sub>in</sub></sub> (°C)	T <sub>c<sub>out</sub></sub> (°C)	T <sub>h<sub>in</sub></sub> (°C)	T <sub>h<sub>out</sub></sub> (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (m <sup>3</sup> /jam)	$\dot{m}_s$ (m <sup>3</sup> /jam)
1/01	0.201	1.145	30.18	36.518	60.1504	39.858	5568.534	112
5/01	0.236	1.181	28.22	35.539	63.3144	38.309	5733.627	111.548
10/01	0.298	1.076	29.07	35.032	68.9192	38.459	5799.545	111.651
15/01	0.446	0.992	30.74	38.998	78.3816	41.002	6013.778	112.853
20/01	0.234	0.848	28.76	35.945	63.1336	39.076	6493.743	113.386
25/01	0.284	0.823	30.42	38.542	67.6536	41.081	6285.684	112.874
1/02	0.124	1.164	30.02	33.637	49.23	40.039	6775.269	113.739
5/02	0.256	0.759	29.34	38.443	65.1224	41.431	5617.584	110.574
10/02	0.241	0.824	31.16	40.348	63.7664	45.414	6238.312	112.884
15/02	0.158	1.506	29.42	34.601	54.075	40.422	5820.832	111.869
20/02	0.153	0.798	29.06	33.664	53.3625	39.162	6349.548	113.467
25/02	0.168	0.738	29.04	34.233	55.5	39.487	5898.092	112.543
1/03	0.171	0.868	29.4	34.373	55.9275	39.782	5989.746	112.487
5/03	0.24	0.918	29.21	35.372	63.676	39.648	5743.927	111.448
10/03	0.319	0.741	27.53	32.345	70.3863	37.424	6335.129	113.534
15/03	0.186	0.889	28.96	32.081	58.065	38.001	5932.067	112.284
20/03	0.146	0.990	29.37	32.281	52.365	38.161	5702.728	111.217
25/03	0.274	0.923	29.998	33.088	66.7496	39.281	5672.644	112.624
1/04	0.591	1.031	31.08	41.131	85.5251	42.741	6233.505	113.324
5/04	0.195	1.044	30.12	35.914	59.3475	41.016	5195.983	108.684
10/04	0.275	0.803	29.49	36.488	66.84	40.552	6076.263	112.748
15/04	0.259	0.854	27.45	33.528	65.3936	38.112	6405.854	113.658
20/04	0.218	1.072	26.87	36.678	61.6872	43.081	5283.85	108.824
25/04	0.227	1.035	29.77	38.213	62.5008	43.659	5765.981	110.937
1/05	0.158	1.093	30.22	35.083	54.075	42.854	5076.567	107.458
5/05	0.273	0.955	29.01	32.003	66.6592	38.699	6272.644	113.375
10/05	0.279	0.947	30.26	36.998	67.2016	41.542	6458.725	113.759
15/05	0.288	0.954	29.02	35.432	68.0152	40.096	6436.752	113.668
20/05	0.31	0.982	29.23	36.272	69.777	40.824	6263.718	113.321
25/05	0.302	0.937	30.21	34.892	69.2354	40.881	6278.981	113.421
1/06	0.278	0.946	31.02	36.703	67.1112	42.169	6320.022	113.443
5/06	0.256	0.877	29.56	36.161	65.1224	41.385	6471.771	113.836

10/06	0.217	1.064	29.33	35.535	61.5968	41.227	7096.618	114.273
15/06	0.198	0.786	28.85	34.012	59.775	40.048	6603.607	113.667
20/06	0.307	0.826	29.32	35.526	69.5739	40.849	6790.375	113.723
25/06	0.278	0.735	29.3	34.996	67.1112	40.761	6677093	113.657
1/07	0.303	0.808	29.22	36.196	69.3031	41.359	6582.32	113.483
5/07	0.285	0.808	29.54	35.279	67.744	41.199	6619.399	113.56
10/07	0.371	0.849	29.23	34.085	73.9067	40.605	6597.427	113.357
15/07	0.349	0.839	29.31	34.688	72.4173	40.91	6396.927	113.321
20/07	0.275	0.821	29.09	34.01	66.84	40.557	6486.877	113.344
25/07	0.286	0.826	29.26	34.007	67.8344	40.695	6445.565	113.321
1/08	0.253	0.842	29.34	34.089	64.8512	41.08	6431.259	113.302
5/08	0.332	0.835	29.37	35.38	71.2664	41.819	6291.87	113.342
10/08	0.307	0.833	29.39	33.37	69.5739	40.966	6512.97	113.475
15/08	0.308	0.844	27.45	32.837	69.6416	39.819	6494.431	113.327
20/08	0.285	0.623	29.04	32.313	67.744	40.51	5713.028	110.486
25/08	0.302	0.726	29.21	32.089	69.2354	40.65	5832.943	110.452
1/09	0.466	0.994	29.38	33.907	79.4736	41.84	6563.095	113.642
5/09	0.255	0.766	31.54	37.996	65.032	45.836	6593.994	113.66
10/09	0.267	0.799	29.22	35.681	66.1168	42.882	6486.19	113.473
15/09	0.257	0.816	29.29	34.062	65.2128	41.819	6428.513	113.386
20/09	0.289	0.843	29.45	34.225	68.1056	41.999	6322.77	113.328
25/09	0.248	0.882	29.993	33.601	64.3992	41.979	6345.876	113.421
1/10	0.206	0.821	30.02	33.676	60.6024	42.325	6436.752	113.424
5/10	0.249	0.840	30.01	34.559	64.4896	43.189	6245.178	112.874
10/10	0.252	0.828	31.64	38.246	64.7608	50.357	6563.19	113.586
15/10	0.255	0.882	31.32	37.401	65.032	46.793	6245.178	113.273
20/10	0.226	0.872	29.67	35.82	62.4104	45.982	6192.307	112.683
25/10	0.232	0.826	30.65	35.756	62.9528	45.36	6193.974	112.987
1/11	0.226	0.914	31.98	36.63	62.4104	46.619	6284.317	113.23
5/11	0.22	0.906	31.45	35.976	61.868	45.921	6116.775	112.642
10/11	0.14	0.909	32.27	34.066	51.51	45	5925.888	112.508
15/11	0.384	0.955	29.21	35.146	74.7868	43.985	6085.876	112.483
20/11	0.244	0.858	31.57	35.655	64.0376	45.548	6222.519	113.236
25/11	0.237	0.782	32.87	36.261	63.4048	46.676	6116.973	113.001
1/12	0.221	0.817	31.97	36.37	61.9584	47.894	6033.691	112.645
5/12	0.196	0.845	31.73	34.903	59.49	45.897	6312.47	113.544
10/12	0.242	0.868	31.73	36.265	63.8568	47.285	6111.969	112.975
15/12	0.234	0.835	31.08	36.206	63.1336	48.587	6192.993	112.865
20/12	0.282	0.904	29.67	34.377	67.4728	45.09	6252.045	113.352
25/12	0.275	0.936	29.54	34.099	66.84	45.1	6312.044	113.456

Data Tahun 2016

Tanggal	$P_s$ (bar)	$P_{cw}$ (bar)	$T_{cin}$ (°C)	$T_{cout}$ (°C)	$T_{hin}$ (°C)	$T_{hout}$ (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (m <sup>3</sup> /jam)	$\dot{m}_s$ (m <sup>3</sup> /jam)
1/01	0.342	1.048	32.12	37.076	71.9434	47.92	6085.189	110.438
5/01	0.253	0.146	27.98	33.706	64.8512	45.172	6227.325	113.234
10/01	0.272	0.928	30.12	34.511	66.5688	45.896	6192.993	113.126
15/01	0.225	0.893	31.89	35.91	62.32	48.609	6119.522	113.119
20/01	0.239	0.941	31.64	35.599	63.5856	48.001	6008.285	112.97
25/01	0.245	0.927	31.64	36.001	64.128	49.002	6001.455	112.345
1/02	0.249	0.983	31.65	35.582	64.4896	48.066	5873.016	111.763
5/02	0.235	0.935	30.97	34.647	63.224	47.117	5871.643	111.732
10/02	0.256	0.941	31.67	36.009	65.1224	49.001	6056.351	112.876
15/02	0.245	0.922	30.67	34.504	64.128	47.396	5989.746	111.98
20/02	0.237	0.951	31.72	35.513	63.4048	49.307	6004.852	112.543
25/02	0.265	0.947	31.43	35.541	65.936	49.297	6009.772	112.576
1/03	0.27	0.977	31.09	34.683	66.388	48.182	6066.65	112.652
5/03	0.244	0.958	31.02	34.985	64.0376	50.031	5926.574	111.945
10/03	0.188	0.938	32.98	34.844	58.35	53.081	5878.509	111.647
15/03	0.21	0.993	29.83	32.799	60.964	48.016	5688.995	110.894





Tabel 2 Data Setelah *Overhaul*

Data Tahun 2016

15/04	0.264	0.987	31.89	42.994	65.8456	48.021	5667.709	110.958
20/04	0.16	0.977	32.21	35.745	54.36	49.008	5804.352	111.782
25/04	0.186	0.936	31.21	37.261	58.065	49	5823.098	111.678
1/05	0.253	0.950	30.67	35.982	64.8512	39.008	5847.61	111.783
5/05	0.239	0.932	32.23	41.648	63.5856	48.464	5772.079	111.003
10/05	0.146	0.917	32.78	35.528	52.365	48.021	5816.024	111.723
15/05	0.234	0.984	32.65	41.042	63.1336	50.207	5624.451	110.967
20/05	0.372	0.938	31.24	46.989	74.3412	50.002	5641.617	110.973
25/05	0.567	0.925	30.12	40.46	84.4187	47.016	5787.092	111.098
1/06	0.193	0.917	31.13	39.023	59.0625	45.019	5892.929	111.742
5/06	0.216	0.906	31.34	40.311	61.5064	45.509	5735	111.037
10/06	0.273	0.840	31.87	43.098	66.6592	47.554	5672.516	110.954
15/06	0.206	0.929	31.87	39.792	60.6024	47.283	5579.132	110.532
20/06	0.121	0.901	31.79	33.677	48.8025	45.623	5689.682	110.957
25/06	0.143	0.916	31.43	35.143	51.9375	45.524	5634.743	110.876
1/07	0.185	0.992	27.02	32.383	57.9225	36.131	5566.085	110.458
5/07	0.14	0.898	31.97	34.999	51.51	46.344	5666.336	110.945
10/07	0.168	0.942	31.87	37.164	55.5	46.104	5544.113	110592
15/07	0.253	0.946	27.01	36.999	64.8512	38.723	6162.78	112.98
20/07	0.277	1.025	29.56	37.488	67.0208	40.078	5859.283	111.874
25/07	0.209	0.984	30.75	37.176	60.8736	40.945	5865.756	111.756
1/08	0.297	0.953	32.43	39.192	68.8288	42.451	5701.354	111.098
5/08	0.239	1.008	32.89	40.228	63.5856	44.012	5520.08	110.354
10/08	0.219	0.964	32.84	39.765	61.7776	44.206	4535.623	106.567
15/08	0.233	0.984	31.02	38.312	63.0432	42.202	5516.647	110.652
20/08	0.175	0.984	31.32	37.075	56.4975	43.309	5415.023	109.985
25/08	0.182	0.927	31.34	37.364	57.495	43.505	5411.021	109.786
1/09	0.194	0.936	31.39	38.107	59.205	44.201	5336.746	109.563
5/09	0.151	1.108	31.86	35.846	53.0775	45.001	5235.809	108.567
10/09	0.167	0.995	27.26	32.002	55.3575	37.297	5037.369	107.893
15/09	0.205	0.879	31.07	38.196	60.512	44.032	4843.048	106.89
20/09	0.15	0.797	32.99	36.436	52.935	45.475	4912.399	107.326
25/09	0.162	0.837	33.03	37.055	54.645	46.045	4876.452	107.336
1/10	0.174	0.861	33.09	37.328	56.355	48.326	4770.264	106.457
5/10	0.164	0.916	32.02	36.401	54.93	45.801	4746.918	106.489
10/10	0.12	1.062	31.54	33.483	48.66	40.242	5158.218	109.108
15/10	0.198	0.824	28.02	33.559	59.775	39.142	5697.922	110.876
20/10	0.111	0.790	31.93	33.256	47.3775	40.041	4781.25	106.489

25/10	0.102	0.825	31.65	33.012	46.095	40.002	4898.435	106.763
1/11	0.216	0.997	31.05	36.004	61.5064	42.018	4944.671	106.969
5/11	0.263	0.846	27.01	33.005	65.7552	38.374	5227.569	109.467
10/11	0.186	0.976	31.01	36.644	58.065	44.284	5005.096	108.783
15/11	0.193	0.988	32.99	37.712	59.0625	50.433	5032.562	108.752
20/11	0.155	0.667	31.87	35.434	53.6475	46.023	5102.6	108.985
25/11	0.175	0.732	33.01	36.843	56.4975	49.034	5078.923	108.478
1/12	0.192	0.902	32.98	37.929	58.92	49.018	5069.641	108.348
5/12	0.114	0.979	31.54	33.052	47.805	40.567	5163.711	108.94
10/12	0.177	0.884	31.03	35.603	56.7825	43.342	5196.67	108.932
15/12	0.13	0.843	31.57	33.898	50.085	42.065	5243.362	109.672
20/12	0.15	0.930	30.76	34.336	52.935	43.106	5054.535	108.673
25/12	0.157	0.927	30.88	34.779	53.9325	43.764	5065.765	108.876

Data Tahun 2017

Tanggal	$P_s$ (bar)	$P_{cw}$ (bar)	$T_{c_{in}}$ (°C)	$T_{c_{out}}$ (°C)	$T_{h_{in}}$ (°C)	$T_{h_{out}}$ (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (m <sup>3</sup> /jam)	$\dot{m}_s$ (m <sup>3</sup> /jam)
1/01	0.172	0.913	30	35.055	56.07	46.5	5108.093	108.982
5/01	0.149	0.608	26.84	31.879	52.7925	35.733	5610.717	110.783
10/01	0.257	0.803	31.56	38.302	65.2128	42.501	5513.901	110.451
15/01	0.19	0.881	31.08	35.9	58.635	41.633	5216.583	109.493
20/01	0.195	0.883	31.88	35.594	59.3475	45.022	4977.63	106.746
25/01	0.173	0.738	31.32	31.383	56.2125	43.388	4923.49	106.389
1/02	0.163	0.954	29.43	32.208	54.7875	39.133	4937.805	106.487
5/02	0.169	0.943	30.06	34.034	55.6425	41.634	5217.27	109.963
10/02	0.167	0.921	31.24	34.064	55.3575	44.602	5077.194	108.563
15/02	0.18	0.980	31.12	34.034	57.21	47.002	4796.356	104.893
20/02	0.192	1.088	32.68	37.034	58.92	50.202	4499.725	103.987
25/02	0.216	0.783	31.83	37.284	61.5064	50.004	4643.594	104.440
1/03	0.138	0.634	32.56	34.034	51.225	50.006	4780.583	104.879
5/03	0.202	0.739	31.59	36.65	60.2408	46.043	4754.47	104.863
10/03	0.166	0.903	31.43	34.144	55.215	44.686	4895.92	105.007
15/03	0.138	0.885	31.86	34.034	51.225	46.332	4822.449	105.003
20/03	0.15	1.010	31.94	34.034	52.935	47.014	4667.954	103.431
25/03	0.184	0.957	31.86	35.233	57.78	47.006	4729.284	104.473
1/04	0.176	0.927	32.44	36.026	56.64	47.164	4876.964	105.023
5/04	0.163	0.945	26.67	31.502	54.7875	37.501	5628.57	110.487
10/04	0.175	0.975	32.56	32.335	56.4975	48.021	4896.606	105.13
15/04	0.166	0.908	32.43	32.628	55.215	46.782	4759.267	104.976
20/04	0.148	0.955	32.32	32.335	52.65	47.404	4750.351	104.937



25/04	0.175	0.837	31.48	34.348	56.4975	46.398	4724.327	104.327
1/05	0.193	0.975	31.66	35.448	59.0625	46.201	4748.291	104.982
5/05	0.157	0.962	31.76	32.685	53.9325	44.722	4762.023	104.934
10/05	0.154	1.090	32.87	31.343	53.505	50.052	4468.139	103.964
15/05	0.136	1.086	32.57	32.746	50.94	48.834	4413.268	103.956
20/05	0.182	0.974	31.56	34.548	57.495	45.946	4730.438	104.922
25/05	0.163	0.893	32.38	34.343	54.7875	48.113	4428.467	104.238
1/06	0.141	1.007	31.85	33.545	51.6525	44.769	4776.443	104.846
5/06	0.121	1.014	31.46	32.658	48.8025	45.568	4703.659	104.953
10/06	0.122	0.999	33.23	33.997	48.945	45.322	4398.102	103.529
15/06	0.16	0.941	31.73	34.045	54.36	45.137	4507.985	105.032
20/06	0.168	0.861	30.21	33.647	55.5	45.199	5043.549	108.563
25/06	0.183	0.837	31.38	34.548	57.6375	44.294	5021.422	104.326
1/07	0.154	1.017	31.68	33.356	53.505	44.529	4376.129	103.483
5/07	0.191	0.975	30.27	32.548	58.7775	41.962	4886.307	105.834
10/07	0.175	0.889	30.25	33.241	56.4975	42.918	5208.343	109.241
15/07	0.17	0.907	30.15	33.042	55.785	42.961	5137.619	108.953
20/07	0.274	0.954	29.43	31.149	66.7496	40.043	5045.608	108.552
25/07	0.261	0.836	28.46	32.257	65.5744	40.034	5133.544	108.457
1/08	0.259	0.945	26.45	31.228	65.3936	38.004	5224.136	109.365
5/08	0.232	0.781	29.52	31.442	62.9528	38.023	5377.945	109.783
10/08	0.246	0.756	29.75	31.345	64.2184	40.161	5501.541	110.742
15/08	0.239	0.770	29.33	31.338	63.5856	39.902	5428.07	110.351
20/08	0.236	0.830	31.12	31.44	63.3144	44.034	5386.872	109.946
25/08	0.264	0.826	30.24	31.223	65.8456	43.003	5364.654	109.489
1/09	0.255	0.798	30.65	31.245	65.032	43.018	5215.896	109.263
5/09	0.249	0.755	29.87	33.346	64.4896	43.602	5607.285	110.433
10/09	0.248	0.797	29.46	33.226	64.3992	39.502	5526.947	110.032
15/09	0.216	0.859	31.23	33.328	61.5064	42.323	5395.798	109.567
20/09	0.242	0.811	31.69	33.045	63.8568	45.002	5504.974	110.135
25/09	0.211	0.832	30.84	33.548	61.0544	47.005	5432.498	110.232
1/10	0.272	0.821	32.45	31.328	66.5688	49.308	5476.135	109.974
5/10	0.249	0.796	32.57	34.548	64.4896	46.314	5320.953	109.542
10/10	0.2	0.785	32.85	32.242	60.06	50.034	5319.58	109.526
15/10	0.224	0.820	32.54	32.448	62.2296	46.028	5305.161	109.562
20/10	0.186	0.795	31.83	32.523	58.065	47.09	5091.614	108.562
25/10	0.168	0.826	31.47	32.788	55.5	46.511	5430.432	109.348
1/11	0.179	0.846	32.64	34.548	57.0675	47.125	5027.755	108.654
5/11	0.189	0.825	32.35	32.341	58.4925	46.51	4989.304	108.238
10/11	0.202	0.795	31.53	33.444	60.2408	45.056	5116.333	108.925
15/11	0.271	0.688	29.84	32.073	66.4784	41.24	5519.044	110.024
20/11	0.241	0.753	31.67	31.444	63.7664	45.121	5304.474	109.953

25/11	0.194	0.826	30.78	32.042	59.205	43.236	5406.358	110.012
1/12	0.172	1.045	31.98	32.265	56.07	48.7	4771.637	107.789
5/12	0.168	1.008	31.36	32.243	55.5	41.725	5050.415	108.658
10/12	0.184	0.945	29.23	31.038	57.78	40.243	5270.142	108.876
15/12	0.209	0.800	31.56	31.142	60.8736	45.032	5314.733	109.043
20/12	0.198	0.787	27.86	31.244	59.775	39.002	5319.58	109.078
25/12	0.225	0.768	31.73	31.174	62.32	45.2	5326.458	109.013

Data Tahun 2018

Tanggal	Ps (bar)	Pcw (bar)	Tcin (°C)	Tcout (°C)	Thin (°C)	Thout (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (m <sup>3</sup> /jam)	$\dot{m}_s$ (m <sup>3</sup> /jam)
1/01	0.144	0.857	31.45	31.198	52.08	47.926	4968.017	106.983
5/01	0.191	0.855	31.56	31.025	58.7775	53.682	5028.442	108.342
10/01	0.141	0.892	32.34	31.196	51.6525	47.305	4860.214	106.683
15/01	0.126	0.783	31.87	31.098	49.515	45.503	4883.56	106.653
20/01	0.159	0.844	26.56	31.113	54.2175	50.316	3974.441	100.342
25/01	0.152	0.828	30.34	31.006	53.22	48.961	4965.874	108.847
1/02	0.160	0.844	26.44	31.024	54.36	50.608	5763.84	111.645
5/02	0.190	0.800	32.65	31.031	58.635	54.303	5075.701	108.546
10/02	0.161	0.820	32.84	31.198	54.5025	50.081	4991.363	108.046
15/02	0.146	0.811	31.7	31.167	52.365	48.468	5075.821	108.367
20/02	0.114	0.797	30.54	31.124	47.805	44.726	5184.998	109.093
25/02	0.125	0.738	30.32	31.186	49.3725	46.181	5162.836	109.261
1/03	0.152	0.844	29.23	31.065	53.22	49.943	5283.875	109.589
5/03	0.189	0.834	32.5	31.125	58.4925	54.219	5086.12	108.463
10/03	0.182	0.871	31.88	31.004	57.495	53.606	4959.778	108.092
15/03	0.158	0.896	31.32	31.198	54.075	50.253	5075.821	108.463
20/03	0.129	0.740	31.94	31.023	49.9425	46.398	5121.826	108.946
25/03	0.131	0.783	31.87	31.104	50.2275	46.856	5104.637	108.673

## Lampiran 2

### Contoh Perhitungan:

Perhitungan efektivitas berdasarkan jenis aliran fluida yang digunakan pada proses pembangkit listrik tenaga uap di Unit I PT. Semen Tonasa.

#### Diketahui

- Aliran *Steam*

$$T_{h_{in}} = 60.1504^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_s = 112 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$T_{h_{out}} = 39.858^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_s} = 1.8723 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$$

$$P_s = 0.201 \text{ bar}$$

- Aliran *Cooling Water*

$$T_{h_{in}} = 30.18^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_{cw} = 5568.534 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$T_{h_{out}} = 36.518^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{cw}} = 4.18 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$$

#### Ditanyakan:

- Laju Perpindahan Kalor ( $Q$ ) = .....?
- *Capacity Ratio* ( $C$ ) = .....?
- *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) = .....?
- *Number of Transfer Unit* (NTU) = .....?
- Efektivitas Kondensor ( $\epsilon$ ) = .....?

Penyelesaian:

Berdasarkan prosedur pengoperasian pembakaran boiler PT. Semen Tonasa diperoleh Tsuperheater sebesar 435°C dan tekanan 3.45 MPa sehingga dari tabel uap A-4 (*properties of superheated vapor*) pada tekanan 3 MPa maka diperoleh S pada temperatur 400°C adalah 6.9212 kJ/kg°C dan S pada temperatur 440°C adalah 7.0520 kJ/kg°C maka dengan menginterpolasikannya maka diperoleh S pada temperatur 435°C dan tekanan 3 MPa adalah

$$\frac{440^{\circ}\text{C} - 435^{\circ}\text{C}}{440^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}} = \frac{7.0520 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} - S_x}{7.0520 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} - 6.9212 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$\frac{5^{\circ}\text{C}}{10^{\circ}\text{C}} = \frac{7.0520 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} - S_x}{0.1308 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$S_x = \frac{7.0520 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} - 0.654 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}}{10^{\circ}\text{C}}$$
$$= 7.0356 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

Dari tabel uap A-4 (*properties of superheated vapor*) pada tekanan 4 MPa maka diperoleh S pada temperatur 400°C adalah 6.7690 kJ/kg°C dan S pada temperatur 440°C adalah 6.9041 kJ/kg°C maka dengan menginterpolasikannya maka diperoleh S pada temperatur 435°C dan tekanan 4 MPa sebesar 6.8872 kJ/kg°C. Sehingga dengan menginterpolasikan S pada tekanan 3 MPa dan 4 MPa diperoleh:

P (MPa)	S (kJ/kg°C)
3	7.0356
3.45	6.9688
4	6.8872

Berdasarkan diagram T-S nilai Ssuperheater sama dengan nilai S uap masuk ke kondensator yaitu 6.9688 kJ/kg°C maka berdasarkan tabel uap A-3 (*properties of saturated water (liquid and vapor)*) pada tekanan 0.21 bar dengan metode interpolasi maka diperoleh Sf = 0.833119 kJ/kg°C dan Sg = 7.907101 kJ/kg°C maka nilai x (fraksi kekeringan) diperoleh dengan:

- $S = S_f + x (S_g - S_f)$

$$6.9688 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 0.833119 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} + x (7.907101 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} - 0.833119 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})$$

$$x = \frac{6.9688 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} - 0.833119 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}}{7.907101 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} - 0.833119 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}}$$

$$x = 0.867359$$

Kemudian berdasarkan tabel uap A-2 (*properties of saturated water (liquid and vapor)*) pada tekanan 0.21 bar dengan metode interpolasi maka diperoleh nilai vf = 0.0010117 m³/kg dan vg = 7.6248 m³/kg maka nilai v diperoleh dengan:

- $v = v_f + x (v_g - v_f)$   
 $= 0.0010117 \text{ m}^3/\text{kg} + 0.867359 (7.6248 \text{ m}^3/\text{kg} - 0.0010117 \text{ m}^3/\text{kg})$   
 $= 6.613573 \text{ m}^3/\text{kg}$

Nilai massa jenis uap diperoleh dengan:

- $\rho = \frac{1}{v}$   
 $= \frac{1}{6.613573 \text{ m}^3/\text{kg}}$   
 $= 0.151204 \text{ kg/m}^3$

Sehingga diperoleh nilai laju aliran massa uap yaitu:

- $\dot{m}_s = 112 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0.151204 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}}$   
 $= 0.004704 \text{ kg/s}$

- $\dot{m}_{cw} = 5568.534 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}}$   
 $= 1546.815 \text{ kg/s}$

- $Q = \dot{m}_s (C_p (T_s - T_{out}))$   
 $= 0.004704 \text{ kg/s} \cdot (1.8723 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (60.1504^\circ\text{C} - 39.858^\circ\text{C}))$   
 $= 0.178726 \text{ kJ/s}$   
 $= 0.178726 \text{ kW}$

$$\begin{aligned}
 \bullet \ C &= \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{\dot{m}_s \cdot c_{p_s}}{\dot{m}_{cw} \cdot c_{p_{cw}}} \\
 &= \frac{0.004704 \text{ kg/s} \cdot 1.8723 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}}{1546.815 \text{ kg/s} \cdot 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}} \\
 &= 0.00000136
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \ LMTD &= \frac{(T_{in} - T_{cou}) - (T_{out} - T_{ci})}{\ln(T_{in} - T_{cout}) / (T_{out} - T_{ci})} \\
 &= \frac{(60.1504^\circ\text{C} - 36.518^\circ\text{C}) - (39.858^\circ\text{C} - 30.18^\circ\text{C})}{\ln(60.1504^\circ\text{C} - 36.518^\circ\text{C}) / (39.859^\circ\text{C} - 30.18^\circ\text{C})} \\
 &= \frac{(23.6324^\circ\text{C} - 9.678^\circ\text{C})}{\ln(23.6324^\circ\text{C}) / (9.678^\circ\text{C})} \\
 &= 42.70217^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\bullet \ NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

$$\begin{aligned}
 U \cdot A &= \frac{Q}{LMTD} \\
 &= \frac{0.178726 \text{ kW}}{42.70217^\circ\text{C}}
 \end{aligned}$$

$$= 0.004185 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$C_{min} = 0.008808 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$NTU = \frac{0.004185 \text{ kW/}^\circ\text{C}}{0.008808 \text{ kW/}^\circ\text{C}}$$

$$= 0.475208$$

- $$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \cdot \exp[-NTU(1-C)]}$$
$$= \frac{1 - \exp[-0.475208(1-0.00000136)]}{1 - 0.00000136 \cdot \exp[-0.475208(1-0.00000136)]}$$
$$= 0.378244$$





Lampiran 3

Tabel Hasil Perhitungan Data Dari PLTU PT. Semen Tonasa

Tabel 3 Hasil Analisis Data Sebelum *Overhaul*

Data Tahun 2015

Tanggal	T <sub>Cin</sub> (°C)	T <sub>Cout</sub> (°C)	Th <sub>in</sub> (°C)	Th <sub>out</sub> (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (kg/s)	$\dot{m}_s$ (kg/s)	Q (kW)	C $1 \times 10^{-6}$	LMTD (°C)	NTU	$\epsilon$
1/01	30.18	36.518	60.1504	39.858	1546.815	0.004704	0.178726	1.36	42.70217	0.475208	0.378244
5/01	28.22	35.539	63.3144	38.309	1592.674	0.005238	0.245249	1.47	53.6793	0.465829	0.372386
10/01	29.07	35.032	68.9192	38.459	1610.985	0.006659	0.379778	1.85	65.28844	0.466548	0.372836
15/01	30.74	38.998	78.3816	41.002	1670.494	0.009565	0.669394	2.56	81.35514	0.459462	0.368377
20/01	28.76	35.945	63.1336	39.076	1803.818	0.005289	0.238225	1.31	52.70009	0.4565	0.366503
25/01	30.42	38.542	67.6536	41.081	1746.023	0.006342	0.315536	1.63	58.34882	0.455409	0.365812
1/02	30.02	33.637	49.23	40.039	1882.019	0.002868	0.049353	6.83	20.3311	0.452066	0.363688
5/02	29.34	38.443	65.1224	41.431	1560.44	0.005572	0.247165	1.6	53.7132	0.441072	0.356654
10/02	31.16	40.348	63.7664	45.414	1732.864	0.005393	0.1853	1.39	41.42332	0.443045	0.357922
15/02	29.42	34.601	54.075	40.422	1616.898	0.003423	0.087499	0.948	31.3932	0.434903	0.352673
20/02	29.06	33.664	53.3625	39.162	1763.763	0.003365	0.089477	0.855	32.52557	0.436595	0.353767
25/02	29.04	34.233	55.5	39.487	1638.359	0.003677	0.110247	1.01	36.9744	0.433083	0.351494
1/03	29.4	34.373	55.9275	39.782	1663.818	0.003752	0.113421	1.01	37.77551	0.427407	0.347802
5/03	29.21	35.372	63.676	39.648	1595.535	0.005306	0.238694	1.49	55.78377	0.430735	0.349969
10/03	27.53	32.345	70.3863	37.424	1759.758	0.007135	0.440364	1.82	76.53599	0.430677	0.349931
15/03	28.96	32.081	58.065	38.001	1647.796	0.004184	0.157168	1.14	47.02458	0.426671	0.347321
20/03	29.37	32.281	52.365	38.161	1584.091	0.003163	0.084124	8.94	33.0931	0.429213	0.348979
25/03	29.998	33.088	66.7496	39.281	1575.734	0.006078	0.312575	1.73	64.35823	0.426808	0.347411

1/04	31.08	41.131	85.5251	42.741	1731.529	0.014443	1.156974	3.74	100.6301	0.425162	0.346336
5/04	30.12	35.914	59.3475	41.016	1443.329	0.004358	0.149574	1.35	43.31052	0.423257	0.34509
10/04	29.49	36.488	66.84	40.552	1687.851	0.006109	0.300657	1.62	62.52405	0.420446	0.343246
15/04	27.45	33.528	65.3936	38.112	1779.404	0.005791	0.295814	1.46	65.31013	0.417724	0.341456
20/04	26.87	36.678	61.6872	43.081	1467.736	0.004817	0.167811	1.47	44.3047	0.41996	0.342927
25/04	29.77	38.213	62.5008	43.659	1601.661	0.005056	0.178347	1.41	45.27589	0.416155	0.340422
1/05	30.22	35.083	54.075	42.854	1410.158	0.003288	0.069077	1.04	27.28481	0.411254	0.337182
5/05	29.01	32.003	66.6592	38.699	1742.401	0.006094	0.31903	1.57	68.22981	0.409794	0.336213
10/05	30.26	36.998	67.2016	41.542	1794.09	0.006263	0.30088	1.56	62.63965	0.409638	0.33611
15/05	29.02	35.432	68.0152	40.096	1787.987	0.006494	0.339466	1.63	68.37762	0.408309	0.335226
20/05	29.23	36.272	69.777	40.824	1739.922	0.006975	0.378103	1.8	72.34004	0.400235	0.329837
25/05	30.21	34.892	69.2354	40.881	1744.161	0.006856	0.363946	1.76	71.43069	0.39695	0.327632
1/06	31.02	36.703	67.1112	42.169	1755.562	0.00622	0.290483	1.59	62.88109	0.396657	0.327435
5/06	29.56	36.161	65.1224	41.385	1797.714	0.005736	0.25495	1.43	60.20205	0.394296	0.325845
10/06	29.33	35.535	61.5968	41.227	1971.283	0.005042	0.192304	1.15	51.68537	0.394112	0.325721
15/06	28.85	34.012	59.775	40.048	1834.335	0.004677	0.172738	1.14	50.20065	0.392963	0.324946
20/06	29.32	35.526	69.5739	40.849	1886.215	0.006952	0.373885	1.65	73.59338	0.390319	0.323159
25/06	29.3	34.996	67.1112	40.761	1854.748	0.006232	0.30746	1.51	68.23157	0.386188	0.320357
1/07	29.22	36.196	69.3031	41.359	1828.422	0.006875	0.359684	1.68	72.7286	0.384224	0.319021
5/07	29.54	35.279	67.744	41.199	1838.722	0.006407	0.318438	1.56	69.70282	0.380831	0.316707
10/07	29.23	34.085	73.9067	40.605	1832.619	0.008121	0.506356	1.98	87.82438	0.379185	0.315581
15/07	29.31	34.688	72.4173	40.91	1776.924	0.007663	0.45206	1.93	83.48854	0.377385	0.314348
20/07	29.09	34.01	66.84	40.557	1801.91	0.006141	0.302189	1.53	70.16484	0.374589	0.312428
25/07	29.26	34.007	67.8344	40.695	1790.435	0.00642	0.326237	1.61	72.71723	0.373218	0.311485
1/08	29.34	34.089	64.8512	41.08	1786.461	0.005648	0.251353	1.42	65.17862	0.364709	0.305601
5/08	29.37	35.38	71.2664	41.819	1747.742	0.007348	0.405112	1.88	81.49245	0.361351	0.303266
10/08	29.39	33.37	69.5739	40.966	1809.158	0.006937	0.37155	1.72	79.43141	0.360159	0.302434
15/08	27.45	32.837	69.6416	39.819	1804.009	0.006943	0.387703	1.72	83.82572	0.355769	0.299366
20/08	29.04	32.313	67.744	40.51	1586.952	0.006234	0.31786	1.76	77.03601	0.353523	0.29779

25/08	29.21	32.089	69.2354	40.65	1620.262	0.006676	0.357306	1.85	81.35326	0.351374	0.296279
1/09	29.38	33.907	79.4736	41.84	1823.082	0.010025	0.706405	2.46	108.0098	0.348428	0.294203
5/09	31.54	37.996	65.032	45.836	1831.665	0.005707	0.205103	1.4	55.23861	0.347511	0.293555
10/09	29.22	35.681	66.1168	42.882	1801.719	0.005959	0.25923	1.48	67.09285	0.346308	0.292705
15/09	29.29	34.062	65.2128	41.819	1785.698	0.005735	0.251188	1.44	67.84629	0.344806	0.291642
20/09	29.45	34.225	68.1056	41.999	1756.325	0.006502	0.317814	1.66	75.987	0.343567	0.290764
25/09	29.993	33.601	64.3992	41.979	1762.743	0.005553	0.233098	1.41	65.78728	0.340798	0.288798
1/10	30.02	33.676	60.6024	42.325	1787.987	0.004837	0.165511	1.21	54.63421	0.334541	0.284334
5/10	30.01	34.559	64.4896	43.189	1734.772	0.005546	0.221175	1.43	64.95353	0.327936	0.279591
10/10	31.64	38.246	64.7608	50.357	1823.108	0.005641	0.152134	1.39	44.52857	0.323473	0.276369
15/10	31.32	37.401	65.032	46.793	1734.772	0.005687	0.194214	1.47	56.681	0.321783	0.275145
20/10	29.67	35.82	62.4104	45.982	1720.085	0.005118	0.157433	1.33	51.10766	0.321447	0.274901
25/10	30.65	35.756	62.9528	45.36	1720.548	0.005235	0.172434	1.36	55.60863	0.316368	0.271209
1/11	31.98	36.63	62.4104	46.619	1745.644	0.005143	0.152063	1.32	50.19025	0.314631	0.269942
5/11	31.45	35.976	61.868	45.921	1699.104	0.005018	0.149826	1.32	50.79184	0.313968	0.269457
10/11	32.27	34.066	51.51	45	1646.08	0.003092	0.036536	0.841	20.42075	0.309097	0.265891
15/11	29.21	35.146	74.7868	43.985	1690.521	0.008353	0.48172	2.21	99.83866	0.308516	0.265464
20/11	31.57	35.655	64.0376	45.548	1728.478	0.005466	0.189232	1.42	60.17961	0.30724	0.264526
25/11	32.87	36.261	63.4048	46.676	1699.159	0.005325	0.166777	1.4	55.78109	0.299901	0.259108
1/12	31.97	36.37	61.9584	47.894	1676.025	0.005034	0.132567	1.35	47.4674	0.296296	0.256433
5/12	31.73	34.903	59.49	45.897	1753.464	0.004592	0.116861	1.17	46.09934	0.294863	0.255367
10/12	31.73	36.265	63.8568	47.285	1697.769	0.005405	0.167709	1.43	56.43749	0.293631	0.254448
15/12	31.08	36.206	63.1336	48.587	1720.276	0.005265	0.143383	1.37	50.08164	0.290458	0.252079
20/12	29.67	34.377	67.4728	45.09	1736.679	0.006317	0.264725	1.63	77.88773	0.287373	0.249768
25/12	29.54	34.099	66.84	45.1	1753.346	0.006147	0.250203	1.57	76.6308	0.283698	0.247006

Data Tahun 2016

Tanggal	T <sub>c</sub> <sub>in</sub> (°C)	T <sub>c</sub> <sub>out</sub> (°C)	T <sub>h</sub> <sub>in</sub> (°C)	T <sub>h</sub> <sub>out</sub> (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (kg/s)	$\dot{m}_s$ (kg/s)	Q (kW)	C $1 \times 10^{-6}$	LMTD (°C)	NTU	$\epsilon$
1/01	71.9434	37.076	71.9434	47.92	1690.33	0.007338	0.330045351	1.94	84.82627	0.283207	0.246636
5/01	64.8512	33.706	64.8512	45.172	1729.813	0.005644	0.207959598	1.46	69.76072	0.282096	0.245798
10/01	66.5688	34.511	66.5688	45.896	1720.276	0.006057	0.234439792	1.58	74.07604	0.279075	0.243517
15/01	62.32	35.91	62.32	48.609	1699.867	0.005121	0.131470765	1.35	49.49192	0.277035	0.241972
20/01	63.5856	35.599	63.5856	48.001	1668.968	0.00536	0.156393032	1.44	57.08946	0.272986	0.238896
25/01	64.128	36.001	64.128	49.002	1667.071	0.005442	0.154128078	1.46	56.0135	0.270042	0.236653
1/02	64.4896	35.582	64.4896	48.066	1631.393	0.005491	0.168856326	1.51	60.95593	0.269434	0.236188
5/02	63.224	34.647	63.224	47.117	1631.012	0.005229	0.157700657	1.44	59.8661	0.26905	0.235895
10/02	65.1224	36.009	65.1224	49.001	1682.32	0.005688	0.171690848	1.51	60.57216	0.266152	0.233677
15/02	64.128	34.504	64.128	47.396	1663.818	0.005425	0.169938679	1.46	63.66432	0.262816	0.231117
20/02	63.4048	35.513	63.4048	49.307	1668.014	0.005303	0.139977652	1.42	54.45084	0.258909	0.228107
25/02	65.936	35.541	65.936	49.297	1669.381	0.005867	0.182772152	1.57	65.55933	0.253801	0.224154
1/03	66.388	34.683	66.388	48.182	1685.181	0.005985	0.204002508	1.59	72.26016	0.251951	0.222717
5/03	64.0376	34.985	64.0376	50.031	1646.271	0.005404	0.141716159	1.47	56.66214	0.247195	0.219012
10/03	58.35	34.844	58.35	53.081	1632.919	0.004226	0.041693862	1.16	21.67829	0.243054	0.215771
15/03	60.964	32.799	60.964	48.016	1580.276	0.004787	0.116052205	1.36	54.36601	0.238164	0.211926



Tabel 4 Hasil Analisis Data Setelah *Overhaul*

Data Tahun 2016

15/04	31.89	42.994	65.8456	48.021	1574.364	0.005761	0.192250355	1.64	34.64662	0.514469	0.402182
20/04	32.21	35.745	54.36	49.008	1612.32	0.003464	0.034713182	0.962	10.43854	0.512715	0.401133
25/04	31.21	37.261	58.065	49	1617.527	0.004161	0.07062608	1.15	17.66606	0.513131	0.401381
1/05	30.67	35.982	64.8512	39.008	1624.336	0.005572	0.26959804	1.54	50.9071	0.507654	0.398094
5/05	32.23	41.648	63.5856	48.464	1603.355	0.005266	0.149104611	1.47	29.98257	0.504346	0.3961
10/05	32.78	35.528	52.365	48.021	1615.562	0.003178	0.025844603	0.881	8.614824	0.504247	0.39604
15/05	32.65	41.042	63.1336	50.207	1562.348	0.005176	0.125271947	1.48	25.72177	0.502555	0.395017
20/05	31.24	46.989	74.3412	50.002	1567.116	0.008349	0.380488368	2.39	48.70934	0.499682	0.393276
25/05	30.12	40.46	84.4187	47.016	1607.526	0.013474	0.418007203	3.75	33.51077	0.494456	0.390097
1/06	31.13	39.023	59.0625	45.019	1636.925	0.004406	0.11584671	1.21	28.49656	0.492814	0.389095
5/06	31.34	40.311	61.5064	45.509	1593.056	0.004884	0.146285909	1.37	32.60121	0.4907	0.387802
10/06	31.87	43.098	66.6592	47.554	1575.699	0.005964	0.213338261	1.7	39.10177	0.488602	0.386516
15/06	31.87	39.792	60.6024	47.283	1549.759	0.004713	0.11753824	1.36	27.40617	0.486	0.384918
20/06	31.79	33.677	48.8025	45.623	1580.467	0.002755	0.016403328	0.781	6.581973	0.483062	0.383108
25/06	31.43	35.143	51.9375	45.524	1565.206	0.003099	0.037215056	0.887	13.49172	0.475365	0.378342
1/07	27.02	32.383	57.9225	36.131	1546.135	0.004084	0.166618635	1.18	46.19432	0.471735	0.376081
5/07	31.97	34.999	51.51	46.344	1573.982	0.003049	0.029487491	0.868	10.95469	0.471579	0.375984
10/07	31.87	37.164	55.5	46.104	1540.031	0.003613	0.063568684	1.05	20.07238	0.468106	0.373813
15/07	27.01	36.999	64.8512	38.723	1711.883	0.005631	0.275489939	1.47	56.821	0.459834	0.368611
20/07	29.56	37.488	67.0208	40.078	1627.579	0.00611	0.30820395	1.68	59.07475	0.45608	0.366237
25/07	30.75	37.176	60.8736	40.945	1629.377	0.004809	0.179452468	1.32	43.48902	0.458244	0.367607
1/08	32.43	39.192	68.8288	42.451	1583.709	0.006597	0.325815595	1.87	58.00205	0.454774	0.365408
5/08	32.89	40.228	63.5856	44.012	1533.356	0.005236	0.191874561	1.53	43.18873	0.453211	0.364416
10/08	32.84	39.765	61.7776	44.206	1259.895	0.004732	0.155687917	1.68	39.14111	0.448929	0.361689
15/08	31.02	38.312	63.0432	42.202	1532.402	0.005144	0.200723158	1.5	47.22695	0.441299	0.356799



20/08	31.32	37.075	56.4975	43.309	1504.173	0.003774	0.093184393	1.12	30.0429	0.438989	0.355312
25/08	31.34	37.364	57.495	43.505	1503.061	0.003966	0.103896295	1.18	32.2778	0.433425	0.351715
1/09	31.39	38.107	59.205	44.201	1482.429	0.004356	0.122376039	1.32	34.8175	0.430933	0.350097
5/09	31.86	35.846	53.0775	45.001	1454.391	0.003181	0.048103005	0.98	18.8824	0.427726	0.34801
10/09	27.26	32.002	55.3575	37.297	1399.269	0.003501	0.118400959	1.12	42.42618	0.425692	0.346683
15/09	31.07	38.196	60.512	44.032	1345.291	0.004544	0.140209681	1.51	39.04499	0.422077	0.344317
20/09	32.99	36.436	52.935	45.475	1364.555	0.003126	0.043659468	1.03	17.87707	0.417294	0.341173
25/09	33.03	37.055	54.645	46.045	1354.57	0.00337	0.054258832	1.11	20.76622	0.414134	0.339088
1/10	33.09	37.328	56.355	48.326	1325.073	0.003627	0.054518822	1.23	19.60707	0.409495	0.336015
5/10	32.02	36.401	54.93	45.801	1318.588	0.003387	0.057896825	1.15	22.41337	0.407301	0.334556
10/10	31.54	33.483	48.66	40.242	1432.838	0.002696	0.042491385	0.843	20.71691	0.406335	0.333913
15/10	28.02	33.559	59.775	39.142	1582.756	0.004562	0.17623542	1.29	51.39512	0.401458	0.330657
20/10	31.93	33.256	47.3775	40.041	1328.125	0.002518	0.034586733	0.849	18.41266	0.398449	0.328639
25/10	31.65	33.012	46.095	40.002	1360.676	0.002421	0.027614626	0.797	15.36697	0.3965	0.327329
1/11	31.05	36.004	61.5064	42.018	1373.52	0.004705	0.171679916	1.53	49.22028	0.395942	0.326955
5/11	27.01	33.005	65.7552	38.374	1452.103	0.005662	0.29025718	1.75	69.65867	0.393077	0.325023
10/11	31.01	36.644	58.065	44.284	1390.304	0.004053	0.104585489	1.31	35.29052	0.390501	0.323282
15/11	32.99	37.712	59.0625	50.433	1397.934	0.004288	0.069281103	1.37	22.2662	0.38756	0.321289
20/11	31.87	35.434	53.6475	46.023	1417.389	0.003273	0.04671654	1.03	19.80187	0.385039	0.319576
25/11	33.01	36.843	56.4975	49.034	1410.812	0.003722	0.052011398	1.18	19.53296	0.382098	0.317572
1/12	32.98	37.929	58.92	49.018	1408.234	0.004237	0.078547874	1.35	26.09519	0.379457	0.315767
5/12	31.54	33.052	47.805	40.567	1434.364	0.002613	0.035415381	0.816	19.20477	0.376886	0.314005
10/12	31.03	35.603	56.7825	43.342	1443.519	0.003792	0.095425623	1.18	35.76006	0.375852	0.313296
15/12	31.57	33.898	50.085	42.065	1456.489	0.002853	0.042845119	0.877	21.45584	0.373791	0.311879
20/12	30.76	34.336	52.935	43.106	1404.038	0.003165	0.05824594	1.01	26.41009	0.372168	0.310762
25/12	30.88	34.779	53.9325	43.764	1407.157	0.00331	0.063024698	1.05	27.35873	0.371673	0.31042

Data Tahun 2017

Tanggal	T <sub>Cin</sub> (°C)	T <sub>Cout</sub> (°C)	Th <sub>in</sub> (°C)	Th <sub>out</sub> (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (kg/s)	$\dot{m}_s$ (kg/s)	Q (kW)	C $1 \times 10^{-6}$	LMTD (°C)	NTU	$\epsilon$
1/01	30	35.055	56.07	46.5	1418.915	0.003661	0.086145	1.16	33.313181	0.377298	0.314288
5/01	26.84	31.879	52.7925	35.733	1558.533	0.003207	0.071414	0.922	31.693321	0.375237	0.312873
10/01	31.56	38.302	65.2128	42.501	1531.639	0.005586	0.213632	1.63	54.971771	0.371551	0.310336
15/01	31.08	35.9	58.635	41.633	1449.051	0.004212	0.068902	1.3	23.595497	0.370283	0.309461
20/01	31.88	35.594	59.3475	45.022	1382.675	0.00428	0.130831	1.39	44.359001	0.368031	0.307904
25/01	31.32	31.383	56.2125	43.388	1367.636	0.003599	0.107298	1.18	44.285334	0.359589	0.302037
1/02	29.43	32.208	54.7875	39.133	1371.613	0.003365	0.092328	1.1	40.780382	0.359352	0.301871
5/02	30.06	34.034	55.6425	41.634	1449.242	0.003618	0.089463	1.12	37.183364	0.355226	0.298985
10/02	31.24	34.064	55.3575	44.602	1410.332	0.003523	0.086121	1.12	37.006534	0.352789	0.297275
15/02	31.12	34.034	57.21	47.002	1332.321	0.003733	0.104479	1.26	42.659187	0.350405	0.295597
20/02	32.68	37.034	58.92	50.202	1249.924	0.004066	0.067895	1.46	25.619418	0.348095	0.293968
25/02	31.83	37.284	61.5064	50.004	1289.887	0.004594	0.090383	1.6	30.396704	0.345709	0.292281
1/03	32.56	34.034	51.225	50.006	1327.94	0.00285	0.016856	0.961	9.1856767	0.343905	0.291004
5/03	31.59	36.65	60.2408	46.043	1320.686	0.004418	0.117018	1.5	41.69767	0.339295	0.287727
10/03	31.43	34.144	55.215	44.686	1359.978	0.003385	0.077433	1.11	36.068392	0.338745	0.287336
15/03	31.86	34.034	51.225	46.332	1339.569	0.002853	0.029878	0.954	16.554177	0.33786	0.286705
20/03	31.94	34.034	52.935	47.014	1296.654	0.003012	0.055391	1.04	29.375702	0.334324	0.284178
25/03	31.86	35.233	57.78	47.006	1313.69	0.003833	0.096689	1.31	40.350804	0.333921	0.28389
1/04	32.44	36.026	56.64	47.164	1354.712	0.00363	0.065346	1.2	29.062253	0.330876	0.281706
5/04	26.67	31.502	54.7875	37.501	1563.492	0.003491	0.07206	1	33.62236	0.327862	0.279538
10/04	32.56	32.335	56.4975	48.021	1360.168	0.003607	0.096757	1.19	43.913083	0.326247	0.278373
15/04	32.43	32.628	55.215	46.782	1322.019	0.003384	0.082574	1.15	40.15139	0.324596	0.277181
20/04	32.32	32.335	52.65	47.404	1319.542	0.00302	0.062311	1.03	34.023354	0.323895	0.276674
25/04	31.48	34.348	56.4975	46.398	1312.313	0.00358	0.083706	1.22	38.910702	0.320979	0.274561
1/05	31.66	35.448	59.0625	46.201	1318.97	0.004139	0.10673	1.41	43.039555	0.319973	0.273831

5/05	31.76	32.685	53.9325	44.722	1322.784	0.003191	0.070432	1.08	36.909945	0.31944	0.273444
10/05	32.87	31.343	53.505	50.052	1241.15	0.003103	0.069433	1.12	37.772447	0.316448	0.271267
15/05	32.57	32.746	50.94	48.834	1225.908	0.002794	0.047107	1.02	28.501035	0.315989	0.270932
20/05	31.56	34.548	57.495	45.946	1314.011	0.003791	0.092615	1.29	41.378327	0.315358	0.270473
25/05	32.38	34.343	54.7875	48.113	1230.13	0.003294	0.065851	1.2	33.873683	0.315215	0.270368
1/06	31.85	33.545	51.6525	44.769	1326.79	0.002897	0.044394	0.978	26.029486	0.314393	0.269768
5/06	31.46	32.658	48.8025	45.568	1306.572	0.002606	0.030814	0.894	20.285152	0.311287	0.267496
10/06	33.23	33.997	48.945	45.322	1221.695	0.002584	0.026818	0.947	17.962684	0.308584	0.265514
15/06	31.73	34.045	54.36	45.137	1252.218	0.003255	0.059865	1.16	31.930746	0.307635	0.264816
20/06	30.21	33.647	55.5	45.199	1400.986	0.003547	0.065225	1.13	32.017921	0.306734	0.264154
25/06	31.38	34.548	57.6375	44.294	1394.839	0.003798	0.089198	1.22	40.955759	0.30627	0.263812
1/07	31.68	33.356	53.505	44.529	1215.591	0.003088	0.057681	1.14	32.747797	0.304631	0.262605
5/07	30.27	32.548	58.7775	41.962	1357.308	0.004105	0.122311	1.35	52.564879	0.302778	0.261237
10/07	30.25	33.241	56.4975	42.918	1446.762	0.003748	0.08828	1.16	41.650117	0.302028	0.260683
15/07	30.15	33.042	55.785	42.961	1427.116	0.003609	0.080573	1.13	39.6375	0.300826	0.259794
20/07	29.43	31.149	66.7496	40.043	1401.558	0.005858	0.268534	1.87	81.796404	0.299324	0.258681
25/07	28.46	32.257	65.5744	40.034	1425.984	0.005568	0.239865	1.75	77.290253	0.297714	0.257486
1/08	26.45	31.228	65.3936	38.004	1451.149	0.005573	0.251546	1.72	81.208481	0.296885	0.256871
5/08	29.52	31.442	62.9528	38.023	1493.874	0.005087	0.194563	1.53	69.748951	0.292905	0.253907
10/08	29.75	31.345	64.2184	40.161	1528.206	0.005384	0.215274	1.58	74.185447	0.287892	0.250157
15/08	29.33	31.338	63.5856	39.902	1507.797	0.005236	0.204779	1.56	72.655836	0.287528	0.249885
20/08	31.12	31.44	63.3144	44.034	1496.353	0.005163	0.192184	1.55	69.578411	0.285727	0.248532
25/08	30.24	31.223	65.8456	43.003	1490.182	0.005684	0.240663	1.71	79.287027	0.285199	0.248136
1/09	30.65	31.245	65.032	43.018	1448.86	0.005486	0.222621	1.7	76.098335	0.284816	0.247847
5/09	29.87	33.346	64.4896	43.602	1557.579	0.005426	0.202038	1.56	70.312067	0.282848	0.246365
10/09	29.46	33.226	64.3992	39.502	1535.263	0.005387	0.200686	1.57	70.545534	0.282048	0.245762
15/09	31.23	33.328	61.5064	42.323	1498.833	0.004819	0.149312	1.44	59.41965	0.278484	0.243069
20/09	31.69	33.045	63.8568	45.002	1529.159	0.00528	0.186411	1.55	67.955576	0.277502	0.242326
25/09	30.84	33.548	61.0544	47.005	1509.027	0.004773	0.140754	1.42	56.916119	0.276712	0.241727



1/10	32.45	31.328	66.5688	49.308	1521.149	0.005888	0.241005	1.73	79.086746	0.276415	0.241502
5/10	32.57	34.548	64.4896	46.314	1478.043	0.005382	0.18114	1.63	65.623479	0.27392	0.239607
10/10	32.85	32.242	60.06	50.034	1477.661	0.004586	0.132467	1.39	56.813785	0.271519	0.237779
15/10	32.54	32.448	62.2296	46.028	1473.656	0.004944	0.159513	1.5	63.589969	0.27098	0.237368
20/10	31.83	32.523	58.065	47.09	1414.337	0.004045	0.102366	1.28	50.333155	0.268531	0.235498
25/10	31.47	32.788	55.5	46.511	1508.453	0.003573	0.071503	1.06	40.03291	0.267005	0.234331
1/11	32.64	34.548	57.0675	47.125	1396.599	0.003838	0.071452	1.23	37.368488	0.266066	0.233612
5/11	32.35	32.341	58.4925	46.51	1385.918	0.00413	0.106125	1.33	52.251471	0.262643	0.230984
10/11	31.53	33.444	60.2408	45.056	1421.204	0.004589	0.122359	1.45	54.244409	0.262549	0.230911
15/11	29.84	32.073	66.4784	41.24	1533.068	0.005868	0.236039	1.71	82.452829	0.260566	0.229385
20/11	31.67	31.444	63.7664	45.121	1473.465	0.005253	0.185308	1.6	72.712885	0.259134	0.228281
25/11	30.78	32.042	59.205	43.236	1501.766	0.004374	0.117104	1.3	55.774896	0.25637	0.226144
1/12	31.98	32.265	56.07	48.7	1325.455	0.003621	0.076573	1.22	44.441442	0.254177	0.224446
5/12	31.36	32.243	55.5	41.725	1402.893	0.00355	0.069829	1.13	41.694436	0.251952	0.222718
10/12	29.23	31.038	57.78	40.243	1463.928	0.003994	0.098992	1.22	53.25616	0.248553	0.220072
15/12	31.56	31.142	60.8736	45.032	1476.315	0.004693	0.139802	1.42	64.515248	0.246633	0.218573
20/12	27.86	31.244	59.775	39.002	1477.661	0.004488	0.115818	1.36	56.268327	0.244951	0.217257
25/12	31.73	31.174	62.32	45.2	1479.572	0.004935	0.155234	1.49	69.602987	0.241355	0.214437

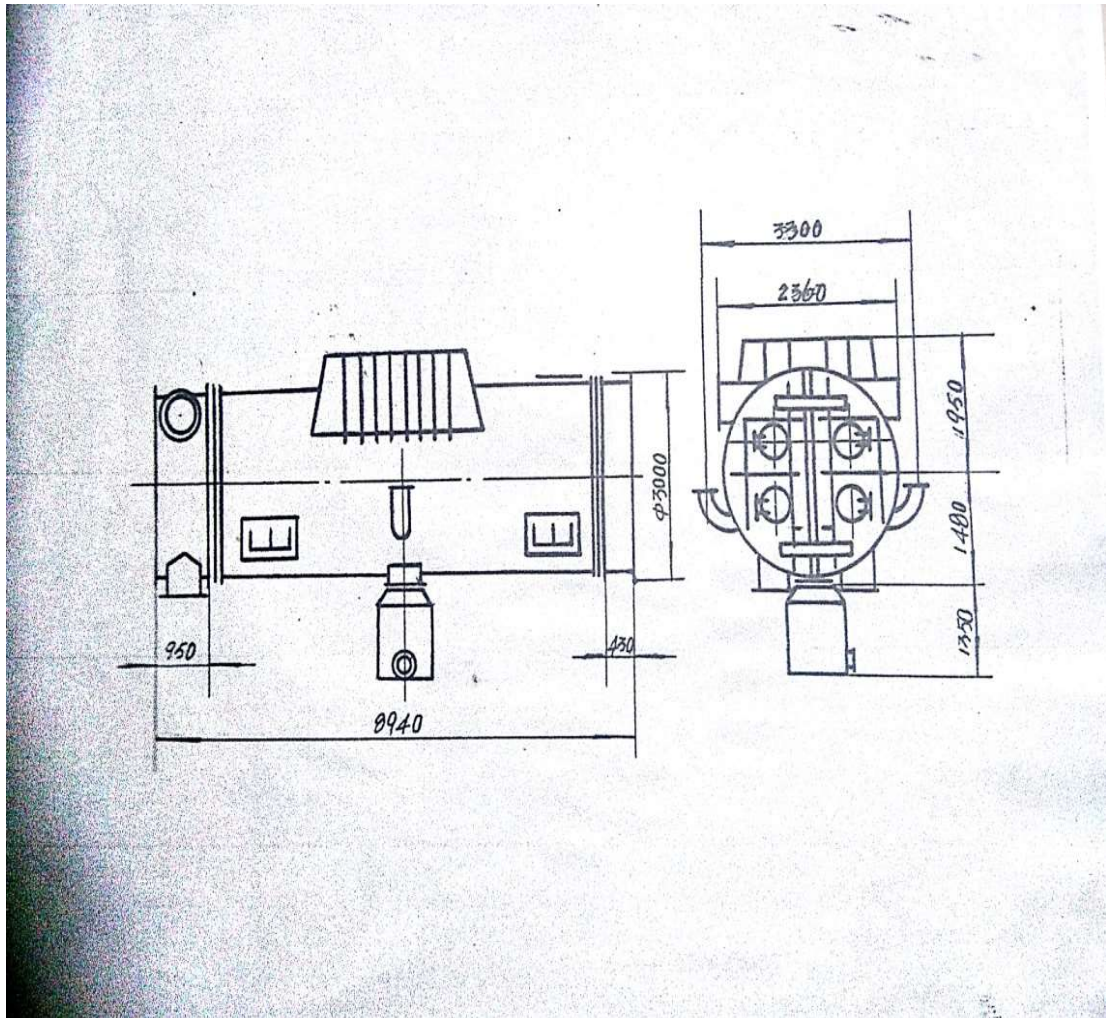


Data Tahun 2018

Tanggal	T <sub>Cin</sub> (°C)	T <sub>Cout</sub> (°C)	T <sub>Hin</sub> (°C)	T <sub>Hout</sub> (°C)	$\dot{m}_{cw}$ (kg/s)	$\dot{m}_s$ (kg/s)	Q (kW)	C 1 x 10 <sup>-6</sup>	LMTD (°C)	NTU	$\epsilon$
1/01	31.45	31.198	52.08	47.926	1380.005	0.003008	0.023392	0.976	17.29822	0.24014	0.213482
5/01	31.56	31.025	58.7775	53.682	1396.789	0.004202	0.040087	1.35	21.37107	0.23843	0.212136
10/01	32.34	31.196	51.6525	47.305	1350.059	0.002948	0.023997	0.978	18.30504	0.237503	0.211405
15/01	31.87	31.098	49.515	45.503	1356.544	0.002717	0.02041	0.897	17.50986	0.229128	0.204773
20/01	26.56	31.113	54.2175	50.316	1104.011	0.00309	0.02257	1.25	17.22925	0.226446	0.202638
25/01	30.34	31.006	53.22	48.961	1379.409	0.003209	0.025586	1.04	19.5571	0.217773	0.195692
1/02	26.44	31.024	54.36	50.608	1601.067	0.00346	0.024306	0.968	17.48082	0.214635	0.193164
5/02	32.65	31.031	58.635	54.303	1409.917	0.004176	0.033868	1.33	20.28029	0.213606	0.192334
10/02	32.84	31.198	54.5025	50.081	1386.49	0.00337	0.027899	1.09	20.77797	0.212797	0.19168
15/02	31.7	31.167	52.365	48.468	1409.95	0.003082	0.022489	0.979	18.40289	0.21176	0.190841
20/02	30.54	31.124	47.805	44.726	1440.277	0.002617	0.015087	0.814	14.64729	0.21021	0.189586
25/02	30.32	31.186	49.3725	46.181	1434.121	0.002769	0.016548	0.865	15.40124	0.207224	0.187162
1/03	29.23	31.065	53.22	49.943	1467.743	0.003231	0.019821	0.986	15.88252	0.206327	0.186433
5/03	32.5	31.125	58.4925	54.219	1412.811	0.004139	0.033116	1.31	20.91291	0.204347	0.184821
10/03	31.88	31.004	57.495	53.606	1377.716	0.003905	0.028436	1.27	19.13507	0.203239	0.183917
15/03	31.32	31.198	54.075	50.253	1409.95	0.003319	0.023749	1.05	19.05419	0.200586	0.181749
20/03	31.94	31.023	49.9425	46.398	1422.729	0.002819	0.018711	0.888	17.76633	0.199507	0.180865
25/03	31.87	31.104	50.2275	46.856	1417.955	0.002842	0.017943	0.898	17.06673	0.197548	0.179259

Lampiran 4

Gambar Teknik Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa



Tabel 3 Spesifikasi Kondensor PLTU PT. Semen Tonasa

N-2000-2	<i>TWO CHANNEL YSTEM AND SURFACE HEAT RETURN</i>
SPESIFIKASI PIPA	Ø25mm x 0,8mm x 7566mm (328 buah)
LUAS PENDINGIN	2000 m <sup>2</sup>

JUMLAH AIR PENDINGIN	1611 kg/detik
TEMPERATUR AIR PENDINGIN	32 °C
KECEPATAN ALIR AIR PENDINGIN	2,11 m/detik
RESISTANSI AIR	0,09 MPa
TEKANAN AIR MAKSIMUM	0,245 MPa
BERAT BERSIH TANPA AIR	30 metrik ton



Lampiran 5

Surat Permohonan Izin Pengambilan Data



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245  
Telepon : (0411)-585365, 585367, 585368; Faksimili : (0411)-586043  
Website : <http://www.poliupg.ac.id/>  
E-Mail : [pnup@poliupg.ac.id](mailto:pnup@poliupg.ac.id)

Nomor : 1045 /PL10/PP/2018  
Hal : Permohonan izin Pengambilan Data

5 Maret 2018

Yth. Pimpinan PT Semen Tonasa PLTU  
Biringkassi Kab. Pangkep Sulawesi Selatan

Schubungan dengan penyelesaian Tugas Akhir (Skripsi) mahasiswa pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi S1 Terapan (D4) Teknik Pembangkit Energi maka kami mengharapkan bantuan Bapak/Ibu kiranya dapat memberikan izin penelitian dan Pengambilan Data pada Perusahaan Bapak/ Ibu Pimpin

Adapun nama mahasiswa tersebut Sebagai berikut :

No	Nama Mahasiswa /Stambuk	Judul Skripsi
1	Muh. Aqsha Maulana 442 14 019	<i>Analisis Efektifitas Kondensor di PLTU Tonasa BTGI 2x25 MW</i>
2	Irfan 442 14 023	

Demikian Permohonan kami ,atas perhatian dan kerja sama yang baik, diucapkan terima kasih



Tembusan :  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

WAJIBAHAM



## Lampiran 6

### Surat Balasan Pengambilan Data



Scanned by CamScanner

## Lampiran 7

### Surat Izin Untuk Pengambilan Data di Pembangkit

Pangkep : 06 April 2018  
Kepada : Karo Operasi Pembangkit  
Dari : SM of HC & OD

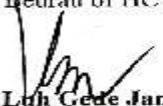
Dalam rangka penyusunan skripsi laporan  
Mahasiswi dari :

Nama : 1. Muh Aqsha Maulana  
2. Irfan  
Jurusan : Teknik Mesin  
Perguruan : Politeknik Negeri Ujung Pandang  
Judul/Materi : Analisis Efektivitas Kondensor Di PLTU PT  
Semen Tonasa BTG I 2x25 MW.

Schubungan dengan itu, mohon bantuan agar yang bersangkutan  
dapat dibantu untuk Penelitian/Pengambilan data di lingkungan :  
Seksi PPOP I

Demikian disampaikan, atas bantuannya diucapkan terima kasih.

Reurau of HC & OD

  
Luh Gede Januati  
Senior Manager

Suk/antar-takdir



Lampiran 8

Tabel Uap 1

722 Tables in SI Units

**TABLE A-3** Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Sat. Vapor $s_g$	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0
100.	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	100.
110.	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	110.



Tabel Uap 2

TABLE A-4 (Continued)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 5.0 \text{ bar} = 0.50 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 151.86^\circ\text{C}$ )				$p = 7.0 \text{ bar} = 0.70 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 164.97^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213	0.2729	2572.5	2763.5	6.7080
180	0.4045	2609.7	2812.0	6.9656	0.2847	2599.8	2799.1	6.7880
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592	0.2999	2634.8	2844.8	6.8865
240	0.4646	2707.6	2939.9	7.2307	0.3292	2701.8	2932.2	7.0641
280	0.5034	2771.2	3022.9	7.3865	0.3574	2766.9	3017.1	7.2233
320	0.5416	2834.7	3105.6	7.5308	0.3852	2831.3	3100.9	7.3697
360	0.5796	2898.7	3188.4	7.6660	0.4126	2895.8	3184.7	7.5063
400	0.6173	2963.2	3271.9	7.7938	0.4397	2960.9	3268.7	7.6350
440	0.6548	3028.6	3356.0	7.9152	0.4667	3026.6	3353.3	7.7571
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873	0.5070	3126.8	3481.7	7.9299
600	0.8041	3299.6	3701.7	8.3522	0.5738	3298.5	3700.2	8.1956
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952	0.6403	3476.6	3924.8	8.4391
$p = 10.0 \text{ bar} = 1.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 179.91^\circ\text{C}$ )				$p = 15.0 \text{ bar} = 1.5 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 198.32^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.1944	2583.6	2778.1	6.5865	0.1318	2594.5	2792.2	6.4448
200	0.2060	2621.9	2827.9	6.6940	0.1325	2598.1	2796.8	6.4546
240	0.2275	2692.9	2920.4	6.8817	0.1483	2676.9	2899.3	6.6628
280	0.2480	2760.2	3008.2	7.0465	0.1627	2748.6	2992.7	6.8381
320	0.2678	2826.1	3093.9	7.1962	0.1765	2817.1	3081.9	6.9938
360	0.2873	2891.6	3178.9	7.3349	0.1899	2884.4	3169.2	7.1363
400	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651	0.2030	2951.3	3255.8	7.2690
440	0.3257	3023.6	3349.3	7.5883	0.2160	3018.5	3342.5	7.3940
500	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622	0.2352	3120.3	3473.1	7.5698
540	0.3729	3192.6	3565.6	7.8720	0.2478	3189.1	3560.9	7.6805
600	0.4011	3296.8	3697.9	8.0290	0.2668	3293.9	3694.0	7.8385
640	0.4198	3367.4	3787.2	8.1290	0.2793	3364.8	3783.8	7.9391
$p = 20.0 \text{ bar} = 2.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 212.42^\circ\text{C}$ )				$p = 30.0 \text{ bar} = 3.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 233.90^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.0996	2600.3	2799.5	6.3409	0.0667	2604.1	2804.2	6.1869
240	0.1085	2659.6	2876.5	6.4952	0.0682	2619.7	2824.3	6.2265
280	0.1200	2736.4	2976.4	6.6828	0.0771	2709.9	2941.3	6.4462
320	0.1308	2807.9	3069.5	6.8452	0.0850	2788.4	3043.4	6.6245
360	0.1411	2877.0	3159.3	6.9917	0.0923	2861.7	3138.7	6.7801
400	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271	0.0994	2932.8	3230.9	6.9212
440	0.1611	3013.4	3335.5	7.2540	0.1062	3002.9	3321.5	7.0520
500	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317	0.1162	3108.0	3456.5	7.2338
540	0.1853	3185.6	3556.1	7.5434	0.1227	3178.4	3546.6	7.3474
600	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024	0.1324	3285.0	3682.3	7.5085
640	0.2091	3362.2	3780.4	7.8035	0.1388	3357.0	3773.5	7.6106
700	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487	0.1484	3466.5	3911.7	7.7571

H<sub>2</sub>O

Tabel Uap 3

726 Tables in SI Units

**TABLE A-4 (Continued)**

**H<sub>2</sub>O**

<i>T</i> °C	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
<i>p</i> = 40 bar = 4.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 250.4°C)					<i>p</i> = 60 bar = 6.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 275.64°C)			
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568	0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553	0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215	0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041	0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056	0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720	0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198	0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141	0.07677	3528.3	3989.2	7.5190
<i>p</i> = 80 bar = 8.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 295.06°C)					<i>p</i> = 100 bar = 10.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 311.06°C)			
Sat.	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432	0.01803	2544.4	2724.7	5.6141
320	0.02682	2662.7	2877.2	5.9489	0.01925	2588.8	2781.3	5.7103
360	0.03089	2772.7	3019.8	6.1819	0.02331	2729.1	2962.1	6.0060
400	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
440	0.03742	2946.7	3246.1	6.5190	0.02911	2922.1	3213.2	6.3805
480	0.04034	3025.7	3348.4	6.6586	0.03160	3005.4	3321.4	6.5282
520	0.04313	3102.7	3447.7	6.7871	0.03394	3085.6	3425.1	6.6622
560	0.04582	3178.7	3545.3	6.9072	0.03619	3164.1	3526.0	6.7864
600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
640	0.05102	3330.1	3738.3	7.1283	0.04048	3318.9	3723.7	7.0131
700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
740	0.05729	3520.4	3978.7	7.3782	0.04560	3512.1	3968.1	7.2670
<i>p</i> = 120 bar = 12.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 324.75°C)					<i>p</i> = 140 bar = 14.0 MPa ( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 336.75°C)			
Sat.	0.01426	2513.7	2684.9	5.4924	0.01149	2476.8	2637.6	5.3717
360	0.01811	2678.4	2895.7	5.8361	0.01422	2617.4	2816.5	5.6602
400	0.02108	2798.3	3051.3	6.0747	0.01722	2760.9	3001.9	5.9448
440	0.02355	2896.1	3178.7	6.2586	0.01954	2868.6	3142.2	6.1474
480	0.02576	2984.4	3293.5	6.4154	0.02157	2962.5	3264.5	6.3143
520	0.02781	3068.0	3401.8	6.5555	0.02343	3049.8	3377.8	6.4610
560	0.02977	3149.0	3506.2	6.6840	0.02517	3133.6	3486.0	6.5941
600	0.03164	3228.7	3608.3	6.8037	0.02683	3215.4	3591.1	6.7172
640	0.03345	3307.5	3709.0	6.9164	0.02843	3296.0	3694.1	6.8326
700	0.03610	3425.2	3858.4	7.0749	0.03075	3415.7	3846.2	6.9939
740	0.03781	3503.7	3957.4	7.1746	0.03225	3495.2	3946.7	7.0952



Tabel Uap 4

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases

(a) At 300 K

Gas	Formula	Gas constant, $R$ kJ/kg·K	$c_p$ kJ/kg·K	$c_v$ kJ/kg·K	$k$
Air	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argon	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	0.1889	0.846	0.657	1.289
Carbon monoxide	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helium	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hydrogen	H <sub>2</sub>	4.1240	14.307	10.183	1.405
Methane	CH <sub>4</sub>	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrogen	N <sub>2</sub>	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxygen	O <sub>2</sub>	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Steam	H <sub>2</sub> O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Note: The unit kJ/kg·K is equivalent to kJ/kg·°C.

Source: *Chemical and Process Thermodynamics 3/E* by Kyle, B. G., © 2000. Adapted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Tabel Uap 5


912 PROPERTY TABLES AND CHARTS							
TABLE A-3 Properties of common liquids, solids, and foods							
(a) Liquids							
Substance	Boiling data at 1 atm		Freezing data		Liquid properties		
	Normal boiling point, °C	Latent heat of vaporization $h_{fg}$ , kJ/kg	Freezing point, °C	Latent heat of fusion $h_{if}$ , kJ/kg	Temperature, °C	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specific heat $c_p$ , kJ/kg·K
Ammonia	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzene	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Brine (20% sodium chloride by mass)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Carbon dioxide	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Ethanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Ethylene glycol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosene	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
					25	787	2.55
Methanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
					20	703	2.10
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oil (light)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petroleum	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
					-50	1443	1.23
Refrigerant-134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
					0	1000	4.22
					25	997	4.18
Water	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

\* Sublimation temperature. (At pressures below the triple-point pressure of 518 kPa, carbon dioxide exists as a solid or gas. Also, the freezing-point temperature of carbon dioxide is the triple-point temperature of -56.5°C.)



## Lampiran 9

### Prosedur Pengoperasian Pembakaran *Boiler* (Ketel Uap)

	Tipe Dokumen : Prosedur	No. Kode Dok : 24.41/P/002
	<b>PROSEDUR PENGOPERASIAN PEMBAKARAN BOILER (KETEL UAP)</b>	Halaman : 3 – 6

4.0.0. Jika tekanan uap di superheater mencapai 0,1 Mpa lakukan flushing level glass steam drum dan jika tekanan telah mencapai 0,3 Mpa lakukan PBD Boiler, tiap valve PBD maksimal dibuka selama 1 menit dan tidak boleh bersamaan. Informasikan ke personil mekanik untuk pengencangan baut-baut.

5.0.0. Jika temperatur uap superheater (150 ~ 200) °C, buka valve exhaust steam (MO 105/MO 111) ± 5 %, buka valve main steam Boiler (MO 106/MO 107) dan tutup valve venting steam drum (1332A, 1333A/1332B, 1333B) serta buka (2-3) putaran valve CBD steam drum (0352A utara dan selatan serta 0,352 B utara dan selatan)

6.0.0. Jika level air steam drum mulai berkurang, maka start pompa BFW dan tutup valve sirkulasi (O 108 A/B) sedemikian rupa sehingga tekanan minimal mencapai 6,0 Mpa dan umpankan air ke Boiler hingga level dijaga 0 mm (± 5 mm)

7.0.0. Jika uap superheater telah mencapai suhu ± 435 °C dan tekanan ± 3,45 Mpa, tutup valve exhaust steam (MO 105/MO 111) dan tutup drain superheater (DO 313, DO 316, DO 319, DO 322/DO 313 B, DO 316 B, DO 319 B, DO 322 B) dan kerjakan pengurangan oil gun dengan mempertahankan suhu ± 435 °C dan tekanan ± 3,45 Mpa dengan penambahan coal gun, sehingga oil gun sisa satu.

#### 3.0 Pengawasan dan Pengendalian Kondisi Operasi Boiler

1.0.0. Jika suhu uap superheater terlalu tinggi, maka umpankan air pendingin spray (attemperatur/desuperheater) dan posisikan auto

2.0.0. Jaga kondisi uap superheater pada suhu ± 435 °C dan tekanan ± 3,45 Mpa dan level air steam steam drum 0 mm (± 5 mm)

3.0.0. Umpan air Boiler dapat dikondisikan kontrol auto terhadap level air steam drum jika flow umpan air Boiler ≥ 60 ton/jam jika kurang dari 60 ton/jam kembalikan ke posisi manual

4.0.0. Kontrol auto pembakaran Boiler jika beban uap telah mencapai ≥ 80 ton/jam, jika kurang dari 80 ton/jam, maka kembalikan ke posisi manual dan jika memungkinkan bahan bakar dapat 100 % batubara jika beban uap ≥ 90 ton/jam atau ≥ 20 MW

5.0.0. Kendalikan parameter tekanan, temperatur, level untuk uap dan air ketel uap sesuai dengan standart operasi

6.0.0. Parameter tersebut diatas tersimpan/terecord dalam DCS dan diprint out/cetak setiap hari pukul 10.00 wita




#### 4.0 Shut down normal pembakaran Boiler

1.0.0. Jika pembakaran Boiler 100 % batubara, maka nyalakan dulu satu oil gun burner, kemudian matikan satu persatu motor powder feeder dengan tetap memperhatikan tekanan di dalam furnace agar tetap stabil dan kadar oksigen 6 ~ 8 %, yaitu dengan mengatur penutupan damper air blower dan ID fan. Di lain pihak beban listrik diturunkan bertahap hingga stop turbin dan tutup valve main steam Boiler.

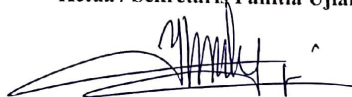
## LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : Muh. Aqsha Maulana / Irfan .....  
 NIM : 44214019 / 44214023 .....

**Catatan Daftar Revisi Penguji :**

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Dr. Jumadi Tangku, M.Pd.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rumusan masalah dikaji kembali</li> <li>* Bagaimana efektivitas kinerja kondensator</li> <li>* Bagaimana pengaruh fouling terhadap kinerja kondensator</li> </ul>	
2.	Yiyin Klistafani, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ringkasan</li> <li>- Daftar simbol</li> <li>- Kutipan</li> <li>- 1.3, 1.4</li> <li>- Nugroho, 2013 → belum ada pd daftar pustaka</li> <li>- istilah ming cetak miring.</li> <li>- flowchart</li> <li>- Gambar 4.1</li> <li>- Gambar 4.2</li> <li>- kesimpulan d saran</li> <li>- daftar pustaka</li> <li>- dll yg tertera pada dokumen TA</li> </ul>	
3.	Ir. Andreas Panglung, M.T.	—	

Makassar,  
Ketua / Sekretaris Panitia Ujian Sidang,

  
Yiyin Klistafani, S.T., M.T.  
 NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.