



Tesis - TF142320

**PERANCANGAN *PREHEATING BOILER FEED WATER PACKAGE BOILER#2* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS KOMPRESOR *PLANT AIR, THERMAL SECTION* PT. VALE INDONESIA**

BASO MURDIN  
NRP. 02311650022024

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Totok Suhartanto, DEA  
NIP. 19650309 199002 1 001

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

*Halaman sengaja dikosongkan*

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Baso Murdin

NRP. 02311650022024

Tanggal Ujian : 08 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Totok Suhartanto, DEA

NIP. 19650309 199002 1 001

 (Pembimbing)

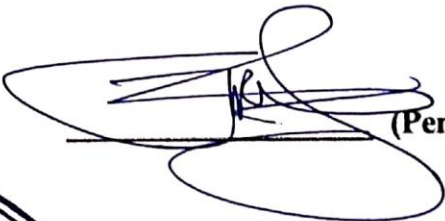
3. Gunawan Nugroho, ST, MT, Ph.D

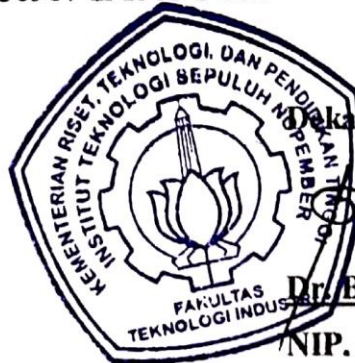
NIP. 19771127 200212 1 002

 (Penguji)

4. Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT.

NIP. 19630907 198903 1 001

 (Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri,

  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT

NIP. 19690507 199512 1 001

*Halaman sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN *PREHEATING BOILER FEED WATER***  
***PACKAGE BOILER#2* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS**  
**KOMPRESOR *PLANT AIR, THERMAL SECTION* PT. VALE**  
**INDONESIA**

Nama Mahasiswa : Baso Murdin  
NRP : 02311650022024  
Pembimbing : Dr.Ir. Totok Suhartanto,DEA

**ABSTRAK**

*Plant air* dalam peleburan nikel atau *smelter plant* merupakan penunjang terpenting dimana *plant air* tersebut memproduksi udara yang bertekanan yang digunakan sebagai bagian proses dalam pabrik peleburan tersebut. Adapun *boiler* dalam proses produksi *smelter plant* digunakan untuk memproduksi uap dimana uap tersebut bersifat saturated atau jenuh dengan nilai properties pada 11,500 KPa dengan temperature 185-190°C. Dalam proses produksi udara kompresor sentrifugal udara yang ditekan akibat putaran impeller mengakibatkan terjadinya panas sehingga udara yang masih panas tersebut didinginkan lagi pada cooler yang disebut *intercooler* ataupun *aftercooler*. Di PT Vale Indonesia Utilities, *Thermal Section* jumlah kompresor sentrifugal terdapat 14 unit dengan rata-rata produksi 47,572 – 56,067 m<sup>3</sup>/h dengan laju pendinginan air rata sekitar 0.23 – 0.3 m<sup>3</sup>/s, sedangkan *Package boiler#2* memproduksi uap sekitar 10,5-13 ton/joule, dimana energi untuk menghasilkan 1 ton *steam* dibutuhkan sekitar 1.024.000 kkal, sehingga penulis melihat ada peluang untuk memanfaatkan panas kompresor dimana berdasar data pengamatan selisih kenaikan temperatur antara air masuk dan keluar rata-rata 9 °C, jika panas buang itu dimanfaatkan dengan membuat jalur baru dimana sumber air pendingin kompresor berasal dari *feedwater boiler* maka dapat mengurangi pemakaian bahan bakar dengan energy sebesar 193,126 kkal/jam atau mengurangi biaya penggunaan energy seberar \$ 300.000,- setara Rp 4.4 Milyar setahun.

Kata kunci : *kompresor sentrifugal, Package Boiler 2, Feedwater, cooler, air pendingin, preheater*

*Halaman sengaja dikosongkan*

**DESIGN OF PREHEATING BOILER FEED WATER PACKAGE  
BOILER BY UTILIZING WASTE HEAT COMPRESSOR IN  
THERMAL SECTION PT. VALE INDONESIA**

*Student name* : Baso Murdin  
*NRP* : 02311650022024  
*Supervisor* : Dr.Ir. Totok Suhartanto,DEA

**ABSTRACK**

*Plant air at nickel processing plant is the most important support where the air plant produces pressurized air which is used as part of the process in the smelter. The boiler in the production process of the smelter plant use to produce steam saturated at 11,500 bar of pressure and 185-190oC of temperature. In the process of producing air, the centrifugal compressor compressed the air and result in high temperature of air, in the next process this heat temperature is cooled by cooler (intercooler or aftercooler). At PT Vale Indonesia's Utilities departmenet, Thermal Section have 14 units of centrifugal compressors with an average production of air about 47,572 – 56,067 m<sup>3</sup>/h and cooled by cooling water with an average flow about 0.23-0.3 m<sup>3</sup>/s while Package boiler # 2 produces steam around 10.5-13 ton/hour where to produces 1 ton of steam will require around 1,024,000 kCal of energy. So the authors chance an opportunity to utilize compressor waste heat where base on observational data, there is differentiation between inlet and outlet compressor about 9 °C, if this temperature differentiation can be utilized to increase feed water temperature thru a new line of cooling system than it will potential to increase a boiler efficiency about 1,5 to 2 %, when it converts to fuel, it will save about 193,126 kkal / hour of fuel or save \$300.000,- equivalent IDR 4.4 M in a year.*

*Keywords: Centrifugal Compressor, Boiler Package Boiler 2, Feedwater, cooler, cooling water, preheater*

*Halaman sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan berkah dan limpahan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga tesis yang berjudul “ PERANCANGAN *PREHEATING BOILER FEED WATER PACKAGE BOILER#2* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS KOMPRESOR *PLANT AIR, THERMAL SECTION PT. VALE INDONESIA* ” ini dapat penulis selesaikan.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) dalam bidang keahlian Rekayasa Energi Terbarukan pada program studi Pascasarjana Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan suatu karya ilmiah tidaklah mudah, oleh karena itu tidak tertutup kemungkinan dalam penyusunan tesis ini terdapat kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritikan yang bersifat membangun guna kesempurnaan tesis ini.

Proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, pengumpulan data sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moral. Olehnya itu dalam kesempatan ini izinkanlah penulis mengucapkan Jazakumullahu Khairan katsira kepada yang terhormat:

1. Kedua orang tuaku Andi Mahadin dan Hajja Hasmi.
2. My Lovely wife drg. Andi Sulfadliana dan ketiga anakku yang cantik dan ganteng Zahra, Farraas dan Wetenri Abshari Muliana yang selalu memdampingi dan memberikan inspirasi
3. Bapak Dr. Ir. Totok Suhartanto, DEA atas bimbingan dan arahan yang telah meluangkan waktu kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi dosen pembimbing.
4. Ketua program studi Pascasarjana Teknik Fisika Bapak Dr.rer.nat.Ir. Aulia. M.T. Nasution MSc.
5. Seluruh Dosen program Pascasarja Teknik Fisika khususnya dosen Rekayasa Energi Terbarukan yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk

mendalami ilmu Rekayasa Energi Terbarukan.

6. Seluruh Keluarga besarku dan rekan-rekan Persatuan Insinyur Indonesia khususnya cabang Luwu Timur
7. Rekan-rekan mahasiswa pascasarjana Teknik Fisika kerjasama Vale-ITS (mas Anang, pak Andi, mas Andrie, mas Anom, mas Ardian, om Asgar, mas Asrul, mas Bagus, Kang Baso yang agresif, mas Farhan, mas Febrin, pak Dewa, om Indin, pak Kasman, mas Leo, om Muammar, pak Asril, mas Nurkholis, pak Rajab, pak Pamrih, lae Ricky, om Rustam yang Saleh, pak Teguh, om Wafir, de Erwin, bang Zai dan seluruh rekan mahasiswa pascasarjana Teknik Fisika angkatan 2016.
8. Admin TU Pascasarjana Teknik Fisika Mbak Martha Hardiyah yang senantiasa memberikan pelayanan administrasi yang memuaskan.
9. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Selain itu, penulis juga mengucapkan permohonan maaf yang sedalam-dalamnya jika penulis telah banyak melakukan kesalahan dan kekhilafan, baik dalam bentuk ucapan maupun tingkah laku, semenjak penulis menginjakkan kaki pertama kali di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga selesainya studi penulis. Semua itu adalah murni dari penulis sebagai manusia biasa yang tak pernah luput dari kesalahan dan kekhilafan. Adapun mengenai kebaikan-kebaikan penulis, itu semata-mata datangnya dari Allah SWT, karena segala kesempurnaan hanyalah milik-Nya

Akhirnya, penulis berharap bahwa apa yang disajikan dalam tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga kesemuanya ini dapat bernilai ibadah di sisi-Nya. Amin.

Surabaya, 07 Januari 2019

Baso Murdin

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Lingkup Thesis .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Plant Air Kompresor.....	5
2.2 Boiler Pembangkit Steam .....	10
2.3.Operasional Existing Pada Utilities Departemen PT. Vale Indonesia .....	14
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	21
3.2 Pengumpulan data/pengukuran.....	23
3.3 Perhitungan Jumlah Air Pendingin Dan Efisiensi Boiler.....	23
3.4 Perancangan jalur preheating boiler feedwater.....	25
3.5 Heat Loss pada Perpindahan Panas Pipa.....	30
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Performansi Unit Kompresor Dalam Menghasilkan Panas Buang .....	33
4.2 Korelasi Produksi dan Konsumsi pada Pemanfaatan Panas Kompresor ...	36
4.3 Perhitungan Desain Preheating Berdasarkan Efektifitas Produksi dan Efisiensi.....	44
4.4 Penghematan Penggunaan Panas Buang Kompresor .....	51
4.5 Perhitungan Heat loss Pada Perancangan .....	51
4.6 Desain Pemanfaatan Panas Kompresor Thermal Plant .....	56

<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN 2 .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN 3 .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN 4 .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN 5 .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN 6 .....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN 7 .....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN 8 .....</b>	<b>107</b>
<b>LAMPIRAN 9 .....</b>	<b>109</b>
<b>BIODATA .....</b>	<b>111</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> <i>Unit</i> kompresor sentrifugal 3 <i>stage</i> ( Ingersol, 2000 ).....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Bagian-bagian kompresor sentrifugal ( Ingersol, 2000 ).....	5
<b>Gambar 2. 3</b> komponen plant air system ( Gupta, 2013 ).....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Diagram of a typical shell and tube heat exchanger .....	7
<b>Gambar 2. 5</b> Inlet and outlet pada kedua sisi fluida .....	8
<b>Gambar 2. 6</b> Diffraction pattern of scale subduced to the action of (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pada 60 °C .....	10
<b>Gambar 2. 7</b> Economizer dengan memanfaatkan gas buang.....	12
<b>Gambar 2. 8</b> Softener.....	13
<b>Gambar 2. 9</b> Batasan kualitas air pengisi <i>boiler</i> ( ASME, 1994 ) .....	14
<b>Gambar 2. 10</b> Diagram alir sistem udara tekan di Utilities .....	15
<b>Gambar 2. 11</b> Diagram alir sistem pendingin pada <i>Thermal Plant</i> .....	17
<b>Gambar 2. 12</b> Package <i>Boiler#2 Thermal Plant Pt. Vale Indonesia</i> ( Alborg, 1996 ) .....	18
<b>Gambar 2. 13</b> Grafik hubungan antara konduktivty dan Tekanan <i>boiler</i> .....	19
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian .....	21
<b>Gambar 3. 2</b> Kompresi 2 stage pada diagram T-S.....	24
<b>Gambar 3. 3</b> Sketsa rencana rancangan jalur pendingin plant kompresor.....	25
<b>Gambar 3. 4</b> Korelasi <i>boiler feedwater</i> dan <i>cooling</i> kompresor.....	29
<b>Gambar 4. 1</b> Korelasi hubungan konsumsi bahan bakar terhadap produksi dan aliran <i>steam</i> .....	37
<b>Gambar 4. 2</b> Scatter plot awal data konsumsmi dan produksi .....	37
<b>Gambar 4. 3</b> Scatter plot pada <i>baseline</i> .....	39
<b>Gambar 4. 4</b> CUSUM konsumsi energi terhadap harian .....	40
<b>Gambar 4. 5</b> Scatter plot berdasarkan target.....	41
<b>Gambar 4. 6</b> Control chart konsumsi energi berdasar kan pekan.....	42
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik kontrol pada produksi.....	43
<b>Gambar 4. 8</b> Perhitungan Efisiensi <i>boiler</i> dan <i>boiler load factor</i> pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompresor.....	44

<b>Gambar 4. 9</b> Perhitungan energy unit cost pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompresor .....	45
<b>Gambar 4. 10</b> Perhitungan <i>steam</i> unit cost pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompresor .....	46
<b>Gambar 4. 11</b> Perhitungan Efisiensi <i>boiler</i> dan <i>boiler</i> load factor pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompresor .....	47
<b>Gambar 4. 12</b> Perhitungan energy unit cost pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompresor .....	48
<b>Gambar 4. 13</b> Perhitungan <i>steam</i> unit cost pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompresor .....	49
<b>Gambar 4. 14</b> Rangkaian hambatan sebelum penggunaan insulin pada pipa stainless steel .....	54
<b>Gambar 4. 15</b> Rangkaian hambatan setelah penggunaan insulin pada pipa stainless steel .....	55
<b>Gambar 4. 16</b> Sketsa desain pemanfaatan panas kompresor thermal plant .....	56
<b>Gambar 4.17</b> Proses Flow Diagram Pemanfaatan Panas Kompresor.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Data produksi harian plant air utilities departement PT Vale Indonesia .....	15
<b>Tabel 2. 2</b> Feedwater Requirement ( Alborg, 1996 ).....	18
<b>Tabel 2. 3</b> <i>Boiler</i> water Requirement ( Alborg, 1996 ) .....	18
<b>Tabel 2. 4</b> Data Produksi Package <i>Boiler</i> #2 bulan April 2018.....	20
<b>Tabel 3. 1</b> Lampiran tinjauan pustaka .....	22
<b>Tabel 3. 2</b> Jenis dan karakteristik kompressor pada sistem operasi .....	26
<b>Tabel 3. 3</b> Flow GPM (gallon per minute) pada cooling tower untuk pendinginan kompressor .....	27
<b>Tabel 3. 4</b> Jenis dan spesifikasi <i>cooling water pump</i> .....	28
<b>Tabel 3. 5</b> Thermal cooling water consumption .....	28
<b>Tabel 4. 1</b> <i>Heat rejected</i> Kerja Motor Kompresor .....	34
<b>Tabel 4. 2</b> Perbandingan model total dan <i>baseline</i> .....	39
<b>Tabel 4. 3</b> Perbandingan model total, <i>baseline</i> , dan target.....	41
<b>Tabel 4. 4</b> Perbandingan penggunaan preheating .....	50
<b>Tabel 4. 5</b> Karakteristik dan geometri pipa <i>stainless steels</i> .....	52
<b>Tabel 4. 6</b> Data insulin material kalsium silikat .....	52

*Halaman sengaja dikosongkan*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dunia industri berat terutama pabrik pemurnian nikel seperti PT. Vale Indonesia memiliki berbagai jenis fasilitas untuk mendukung operasional dalam proses produksinya. Departemen yang mendukung proses produksi adalah *utilities department*, produksinya biasa disebut *SWAP ( Steam, Water, Air, and Power)*. Pada sistem produksi tersebut terletak pada satu area yang disebut *thermal plant*, sehingga banyak peluang yang bisa dimanfaatkan dengan sistem operasi dalam satu area ( Towler, 2012 ). Misalkan saja *plant air* yang memproduksi udara sekitar  $47,572 - 56,067 \text{ m}^3/\text{h}$ , *heat loss* dari sistem pendingin *plant air* kompresor dapat dimanfaatkan sebagai pemanas mula *boiler feedwater* dimana jika dilihat peluangnya adalah volume air pendingin yang dibutuhkan sebesar  $0.31474 \text{ m}^3/\text{s}$  hampir sebanding dengan produksi *steam* 11-13 ton/jam. Secara rinci potensi - potensi yang mungkin didapatkan yaitu :

- a) Panas mula di air pengisi *boiler* mengurangi konsumsi pemakaian bahan bakar.
- b) Mengurangi endapan pada *cooler compressor* ( Teresa, 2006 )
- c) Meningkatkan efisiensi *boiler*

Sebagai bahan pertimbangan bahwa penelitian menarik untuk dilakukan maka sejumlah data yang menjadi bahan awal adalah sebagai berikut :

- Panas air pendingin compressor rata-rata  $32-35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Jumlah *unit* pompa yang running untuk *mensupply system* pendingin rata-rata 4 buah dengan kapasitas *flow*  $0.0937 \text{ m}^3/\text{s}$  gpm dengan tekanan 550 Kpa – 600 Kpa
- *Flow* produksi sekitar  $47,572 - 56,067 \text{ m}^3/\text{h}$
- *Temperatur* udara masuk sekitar  $26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Konsumsi air pendingin rata-rata  $0.3174 \text{ m}^3/\text{s}$
- *Temperature* udara output kompresor  $35-40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tekananan air *feedwater* dari *softener* 550 Kpa – 600 Kpa

- *Requirement cooler ( inter/after)* kompresor yang membutuhkan air pendingin yang dengan *hardness* < 100 PPM
- Air pengisi *boiler hardness* < 0,5 PPM dengan *conductivity* pada 180 *siemens/meter*
- *Conductivity* air pendingin dari *cooling tower* > 350 *siemens/meter*
- Aliran pendinginan *ones trough*
- Produksi *steam package boiler* sekitar sekitar 11-13 ton per jam (TPJ) dengan *temperature* output 185-190 °C pada tekanan 1,120 – 1,150 Kpa
- Panas mula *feedwater* 22-27 °C

Konservasi *energy* pada suatu plant menjadi penting karena untuk melakukan efisiensi dalam suatu *plant* yang ujungnya dapat mengurangi *cost* operasional adalah dengan memanfaatkan *energy* yang yang terbuang dalam suatu sistem *thermal plant* ( Kumar, 2015 ). Pada operasional *boiler* salah cara untuk mengurangi bahan bakar adalah dengan melakukan pemanasan awal pada *feedwater* ataupun udara *boiler* dimana sumber-sumber panasnya dapat memanfaatkan dari tempat lain ( Anonim, 2006) misalkan memanfaatkan *heat loss* pada *plant air* kompresor ataupun lainnya, diharapkan dengan memanfaatkan panas tersebut dapat mengurangi pemakaian bahan bakar *boiler* serta meningkatkan efisiensi dari *boiler* itu sendiri ( Anonim, 2006)( Jain, 2013 ).

Untuk dapat melakukan pemanfaatan panas untuk *boiler* yang terdapat dalam operasi plant air kompresor diperlukan studi *literature* dan pengamatan pada *thermal plant* dimana *tool* berupa *flowmeter*, *temperature gauge* ( Anonim, 2006) baik untuk *boiler* dan *plant air* kompresor telah tersedia dilapangan sehingga memudahkan untuk melakukan langkah dalam mendesign jalur untuk memanfaatkan *heat loss plant air* kompresor menjadi lebih mudah disamping data-data operasi telah tersedia sehingga diharapkan dapat dibuat rancangan untuk melakukan konservasi pada utilities *thermal plant*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengetahui potensi *thermal* pada jalur pipa pendingin air pada *plant air* kompresor ?
- b. Bagaimana merancang *heat recovery* untuk pemanasan *boiler feed water* ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Akan dilakukan perhitungan *heat loss* dari jalur pendingin kompresor untuk didapatkan potensi *thermal*.
- b. Akan dilakukan perancangan alat pemanas *Boiler feedwater* dengan memanfaatkan jalur pendingin kompresor.

### 1.4 Lingkup Thesis

Ruang Lingkup dalam penelitian ini adalah

- a. Metode pengambilan data melalui pengamatan untuk operasi kompresor dan *package boiler#2* pada area *thermal plant PT. Vale Indonesia*
- b. Belum memperhitungkan keuntungan secara nyata dari sisi biaya maintenance karena menggunakan *feedwater* sebagai pendingin kompresor.
- c. Data yang digunakan untuk perhitungan selisih temperatur berdasarkan pengamatan pada input dan output secara keseluruhan pada plant air kompresor.
- d. Tidak menghitung *heat rejected* pada masing-masing stage kompresor karena kondisi telah existing dan hanya mengubah jalur pendingin.
- e. Perancangan belum dapat *dieksekusi* langsung tergantung kebijakan PT. Vale Indonesia sebagai pemilik *plant*.

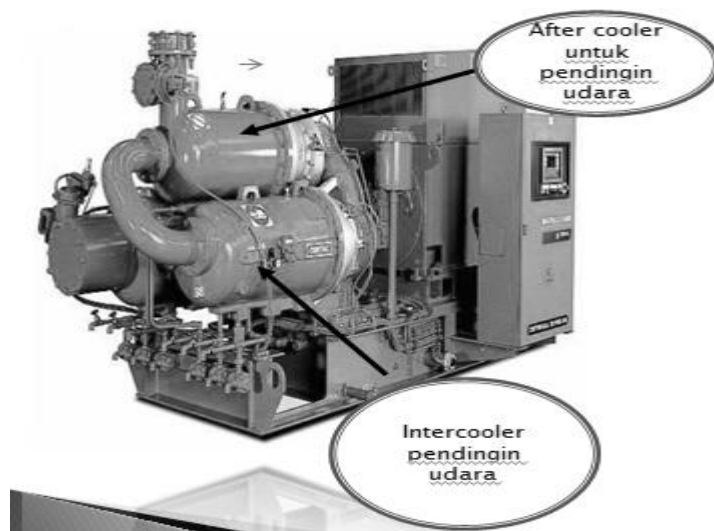
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Plant Air Kompresor

#### 2.1.1 Komponen Utama Sistem Udara Tekan

Kompresor merupakan mesin untuk menghasilkan udara dimana udara yang berada di atmosfer di hisap kemudian dikompresi menjadi udara yang bertekanan yang digunakan untuk proses operasi ( Gupta, 2013 ).

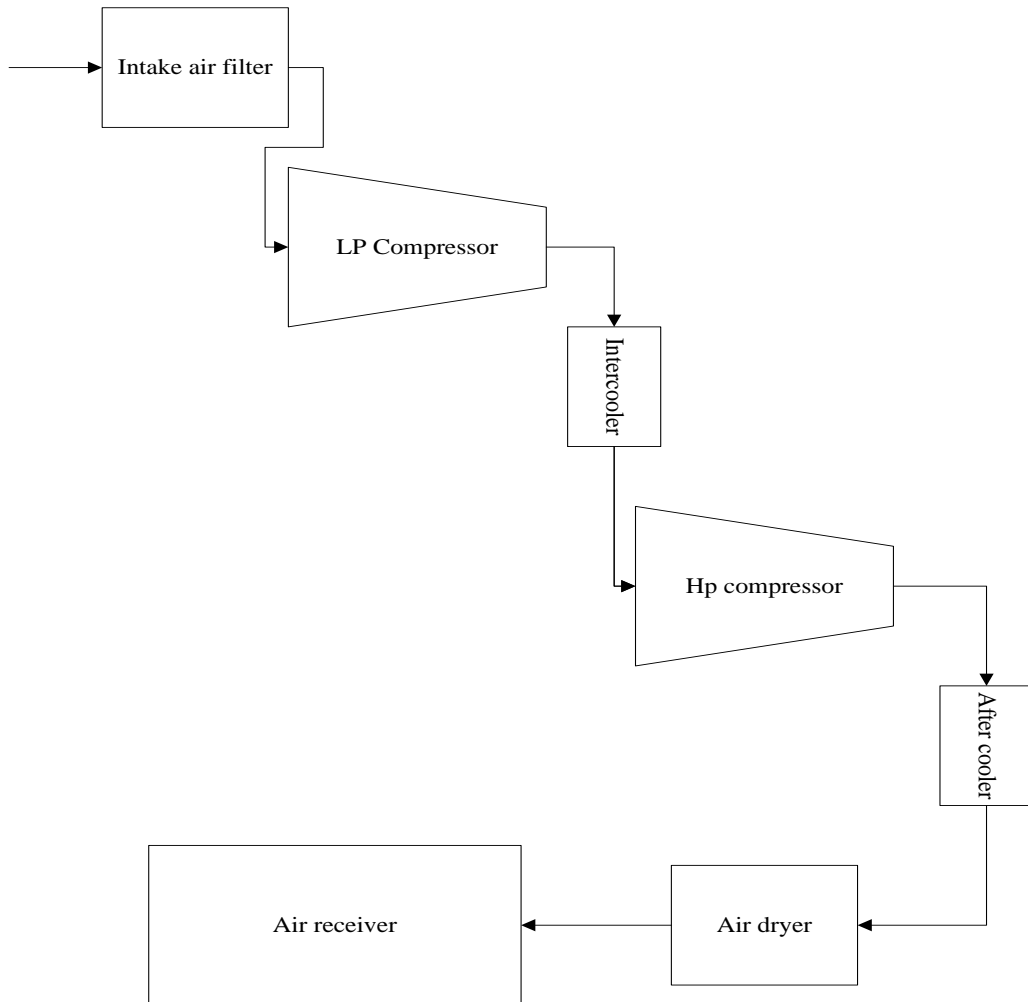


Gambar 2. 1 Unit kompresor sentrifugal 3 stage ( Ingersol, 2000 )



Gambar 2. 2 Bagian-bagian kompresor sentrifugal ( Ingersol, 2000 )

Sistim udara tekan terdiri dari komponen utama berikut: Penyaring udara masuk, pendingin antar tahap, *after-coolers*, pengering udara, *traps* pengeluaran kadar air, penerima, ( Anonim, 2006).

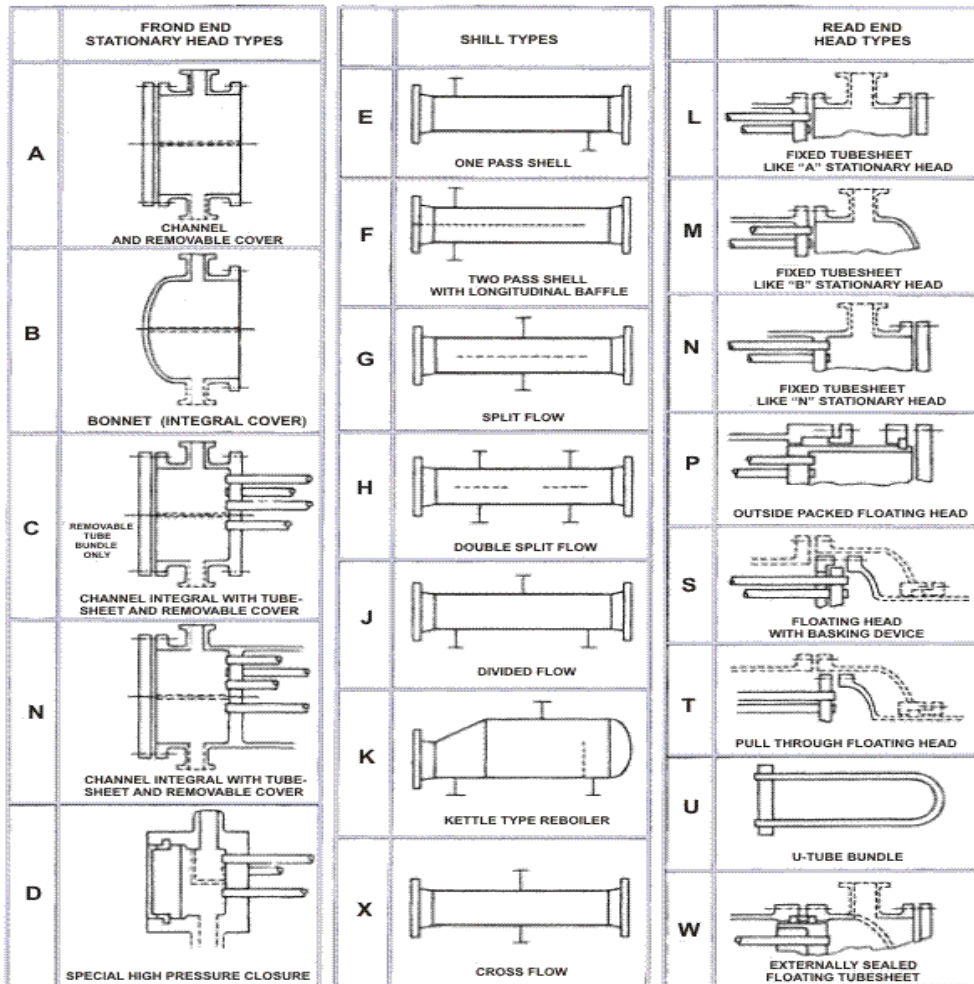


**Gambar 2. 3** komponen plant air system ( Gupta, 2013 )

### 2.1.2 Sistem pendingin Udara Tekan

Sistem pendingin menjadi bahan pertimbangan yang penting dalam suatu plant air karena menentukan performance dari kompresor itu sendiri, untuk itu rekomendasi dari supplier harus menjadi pertimbangan besaran supli untuk pendingin pada kompresor, disamping itu kualitas air juga harus dijaga untuk selalu tetap menjaga kehandalan dari kompresor tersebut, pertimbangan lain lagi dari sebuah sistem pendingin kompresor bahwa pendingin yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya kondensasi pada kompresor. Untuk itu perlu dijaga besaran *temperature* air yang masuk ke dalam kompresor sesuai rekomendasi

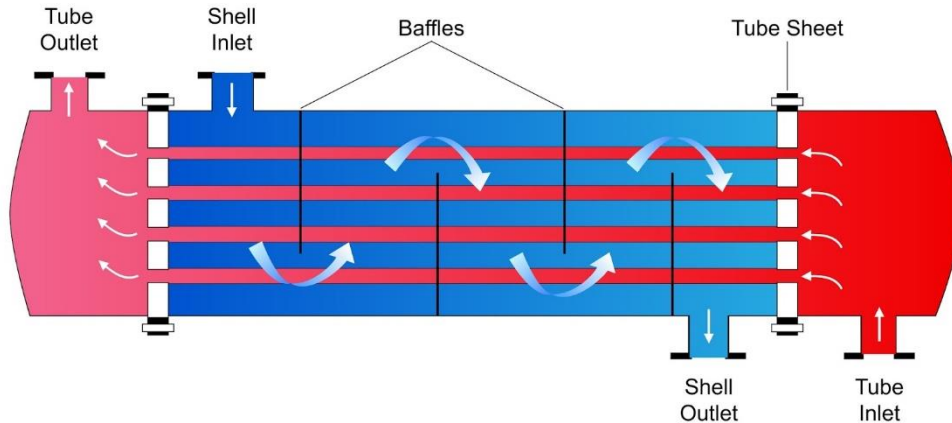
supplier ( Degremont, 2002 ). Dimana proses pertukaran panas terjadi atau heat exchanger yang disebut *inter/after cooler*.



**Gambar 2. 4** Diagram of a *typical shell and tube heat exchanger*

### 2.1.3 Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma

LMTD adalah rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran panas dan dingin di setiap akhir exchanger. Semakin besar **LMTD**, semakin banyak panas yang ditransfer. Penggunaan **LMTD** muncul lugas dari analisis penukar panas (heat exchangers).



**Gambar 2. 5** Inlet and outlet pada kedua sisi fluida ( Teresa, 2006 )

Berdasarkan gambar 2.1.5 maka formulasi LMTD adalah sebagai berikut :

$$LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Untuk aliran fluida paralel,  $\Delta T_{max} = (T_1 - t_1)$  dan  $\Delta T_{min} = (T_2 - t_2)$

Untuk aliran fluida silang,  $\Delta T_{max} = (T_1 - t_2)$  dan  $\Delta T_{min} = (T_2 - t_1)$

dimana :

LMTD = Selisih temperatur rata – rata logaritma (°C)

$T_1$  = Temperatur fluida masuk ke dalam shell (°C)

$T_2$  = Temperatur fluida keluar shell (°C)

$t_1$  = Temperatur fluida masuk ke dalam tube (°C)

$t_2$  = Temperatur fluida ke luar tube (°C)

#### **2.1.4 Heat Balance Inter/aftercooler**

Beban panas pada suatu inter/after Cooler dapat diestimasi dengan menggunakan perhitungan kesetimbangan panas dengan formulasi sebagai berikut (17) :

$$Q_{air} = \dot{m}_a C_p (T_1 - T_2) \quad (2.2)$$

di mana :

$\dot{m}_a$  = massa udara



$$Q_v = \dot{m}_v C_p (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

di mana :

$\dot{m}_v$  = massa air yang terkandung dalam udara

Untuk kalor laten adalah sebagai berikut :

$$Q_w = \dot{m}_w x \text{ panas laten} \quad (2.4)$$

Sehingga total kalor yang dibutuhkan adalah :

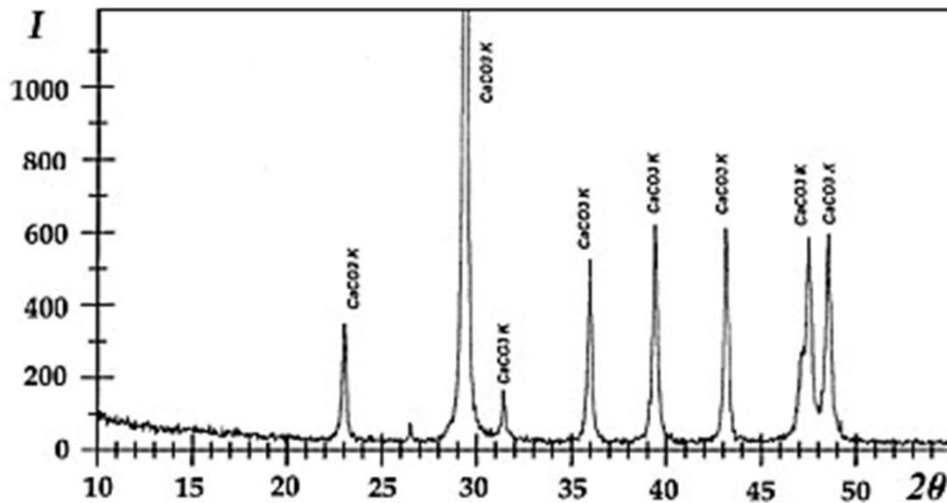
$$Q = Q_{air} + Q_v + Q_w \quad (2.5)$$

Jadi kesetimbangan panasnya yang terjadi dalam *heat exchanger (inter/after cooler)* adalah sebagai berikut :

$$Q = (m \cdot cp) \cdot (T_2 - T_1) = Q_{air} + Q_v + Q_w \quad (2.6)$$

### 2.1.5 Kualitas Air Pendingin

Kualitas air pendingin dalam suatu plant sangat penting untuk menjaga performance dari system pendingin, dimana jika dibandingkan antara system pendingin yang bersirkulasi lebih besar efek yang ditimbulkan dibandingkan dengan pendinginan satu aliran ( Teresa, 2006 ). Dimana pada air yang bersirkulasi yang digunakan untuk pendinginan akan membawa padatan yang terlarut seperti *calcium carbonate* yang dapat menyebabkan *scale* pada peralatan pendingin ( Teresa, 2006 ). Untuk menjaga agar tidak terbentuk *scale* tersebut maka harus menjaga temperatur sekitar maksimum 30°C karena namun jika *temperature* terlalu rendah yaitu sekitar 20-25 °C akan terbentuk *calcite* sebaliknya jika *temperature* tinggi > 50 °C akan terbentuk *aragonic* ( Teresa, 2006 ).



**Gambar 2. 6** Diffraction pattern of scale subdued to the action of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  pada  $60^\circ\text{C}$

Untuk itu menjaga kemungkinan terjadinya *scale* akibat larutan pada yang terkandung dalam air pendingin yang sirkulasi maka sebaiknya :

1. Menjaga PH pada kondisi yang telah ditetapkan sesuai dengan program yang kita inginkan misalkan saja program untuk *method acid*, *netral program* ataupun *alkaline program* ( Teresa, 2006 )
2.  $\text{CaCO}_3 < 100 \text{ PPM}$
3. Menjaga PH kurang atau sama dengan  $30^\circ\text{C}$
4. Berbeda dengan pendingin system *once through* atau satu arah maka kemungkinan timbunan deposit dari padatan terlarut dapat dihindari.

## 2.2 Boiler Pembangkit Steam

*Boiler* adalah bejana bertekanan untuk memanaskan air atau memproduksi *steam* yang digunakan untuk fasilitas pemanas dalam industri ataupun sebagai pembangkit listrik pada *steam turbine* sebgayaan besar industri saat ini menggunakan *steam* untuk proses produksi, dengan sumber energi pemanas berasal dari bahan bakan minyak, amerika serikat sebagai negara industri mengkonsumsi 37% bahan bakar untuk memproduksi *steam* ( Barma, 2017 ).

Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai

dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. ( Anonim, 2006)

Air yang disuplai ke *boiler* untuk dirubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah:

1. *Kondensat* atau *steam* yang mengembun yang kembali dari proses
2. *Air makeup* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang *boiler* dan *plant* proses.

Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang ( Anonim, 2006). Untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai operasional dari *boiler* itu maka dibutuhkan peralatan sebagai berikut :

1. *Flow meter* untuk menghitung jumlah *steam* produksi, dan konsumsi air yang digunakan serta konsumsi bahan bakar
2. *Exhaust gast Analyzer* adalah untuk mengukur efektifitas dan efiisiensi pembakaran
3. *Clamp pada power meter yaitu* untuk menghitung jumlah konsumsi listrik pada penggerak bantu *boiler*
4. *Tachometer* yaitu menghitung kecepatan pada peralatan *speed drive boiler*
5. *Data logger* yaitu mengambil data-data yang dibutuhkan terkait operasional *boiler* baik manual maupun automatic

### **2. 2.1 Efisiensi Boiler**

Efisiensi merupakan *factor* yang penting untuk melihat unjuk kerja dan efektifitas *boiler* dalam proses produksi dimana secara sederhana efisiensi *boiler* itu adalah sebagai berikut ( Barma, 2017 ) :

$$Boiler\ efficiency = \frac{output}{input} \times 100 \quad (2.7)$$

Sehingga formula untuk menghitung efisiensi dengan metode langsung adalah sebagai berikut :

$$\frac{Qx (hg-hf)}{q \times GCV} \quad (2.8)$$

Dimana :

Q adalah Jumlah *steam* yang dihasilkan perjam ( kg/jam)

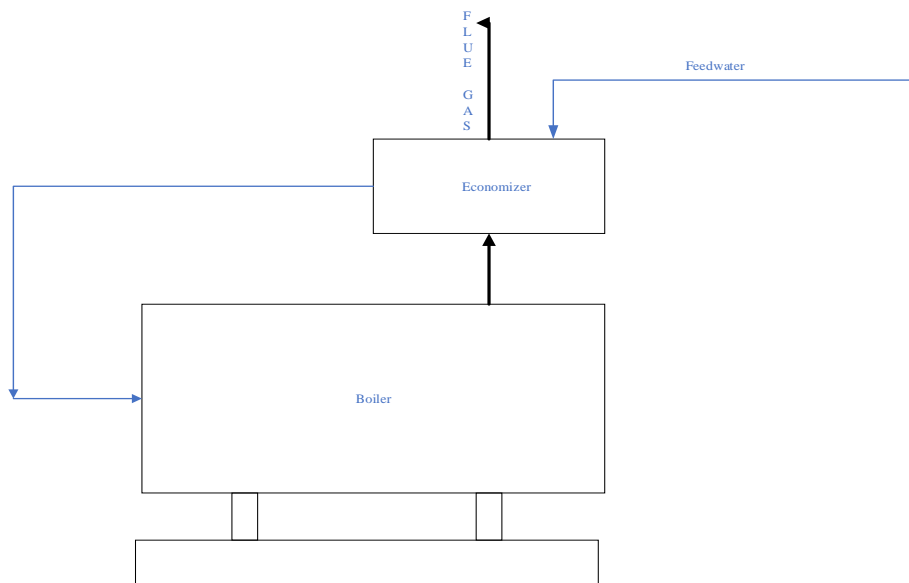
Q adalah jumlah bahan bakar yang digunakan perjam ( kg/jam)

Hg adalah enthalphy *steam* jenuh ( kkal/kg)

Hf adalah enthalphy air umpan dalam kkal/kg

GCV adlah nilai kalori bahan bakar ( kkal/kg)

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi *boiler* itu adalah dengan melakukan pemanasan awal pada *feedwater* dimana sumber panasnya memanfaatkan gas buang, *recovery* panas dari peralatan yang menghasilkan panas seperti kompresor dan *heat pump* dimana panas yang dimanfaatkan adalah rata-rata 7°C ( Ingersol, 2000 ).



**Gambar 2. 7** Economizer dengan memanfaatkan gas buang

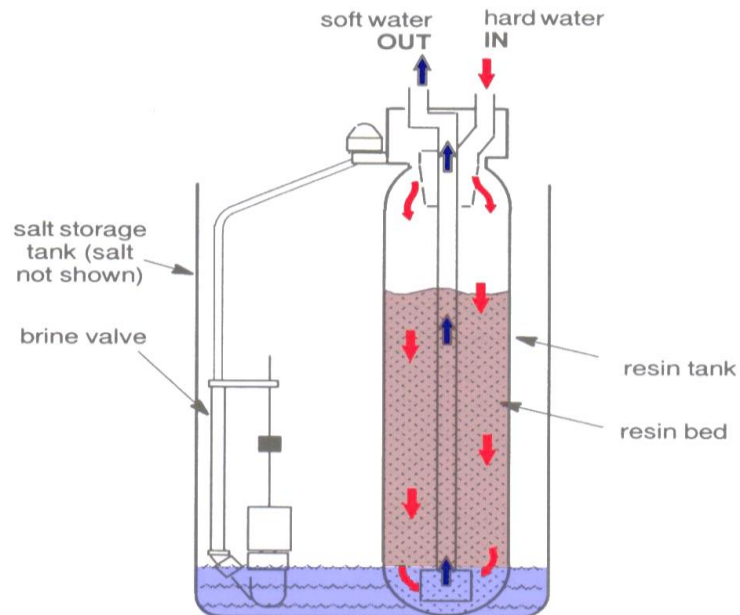
### 2.2.2 Feedwater Boiler

*Boiler* dalam memproduksi *steam* membutuhkan air pengisi yang biasa disebut *feedwater*, kualitas air pengisi tersebut menentukan kualitas *steam*

dimana kualitas air tersebut dihasilkan dari berbagai system pengolahan, seperti :

1. *Softening water*
2. *Demineralisasi water*
3. *Reverse Osmosis*

Pengolahan yang paling seperti yang telah disebutkan diatas adalah *softening water* dimana metodenya menukar ion-ion yang terkandung dalam air berupa *Calcium* dan magnesium penyebab *hardness* dengan ion OH yang terkandung dalam resin, proses regeneration resin menggunakan larutan garam ( Degremont, 2002 ).



**Gambar 2. 8 Softener**

Kualitas air pengisi antara *boiler* tidak semuanya sama namun tergantung spesifikasi yang ditentukan oleh tekanan, kondisi peralatan *boiler* itu :

Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater  
 Conditions: No superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity  
 Steam purity (7): 1.0 ppm (mg/l) TDS maximum.

Drum Operating Pressure	psig 0-300 301-600	(MPa) (0-2.07) (2.08-4.14)
<b>Feedwater(3)</b>		
Dissolved oxygen ppm (mg/l) O <sub>2</sub> - measured before chemical oxygen scavenger addition (1) (2)	<0.007	<0.007
Total iron ppm (mg/l) Fe	<0.1	<0.05
Total copper ppm (mg/l) Cu	<0.05	<0.025
Total hardness ppm (mg/l) *	<0.5	<0.3
pH @ 25°C	8.3-10.5	8.3-10.5
Nonvolatile TOC ppm (mg/l) C (6)	<1	<1
Oily matter ppm (mg/l)	<1	<1
<b>Boiler Water</b>		
Silica ppm (mg/l) SiO <sub>2</sub>	<150	<90
Total alkalinity ppm (mg/l) *	<1000(5)	<850(5)
Free OH alkalinity ppm (mg/l) * (4)	NS	NS
Specific conductance /μmhos/cm (μS/cm) @ 25°C without neutralization	<7000(5)	<5500(5)

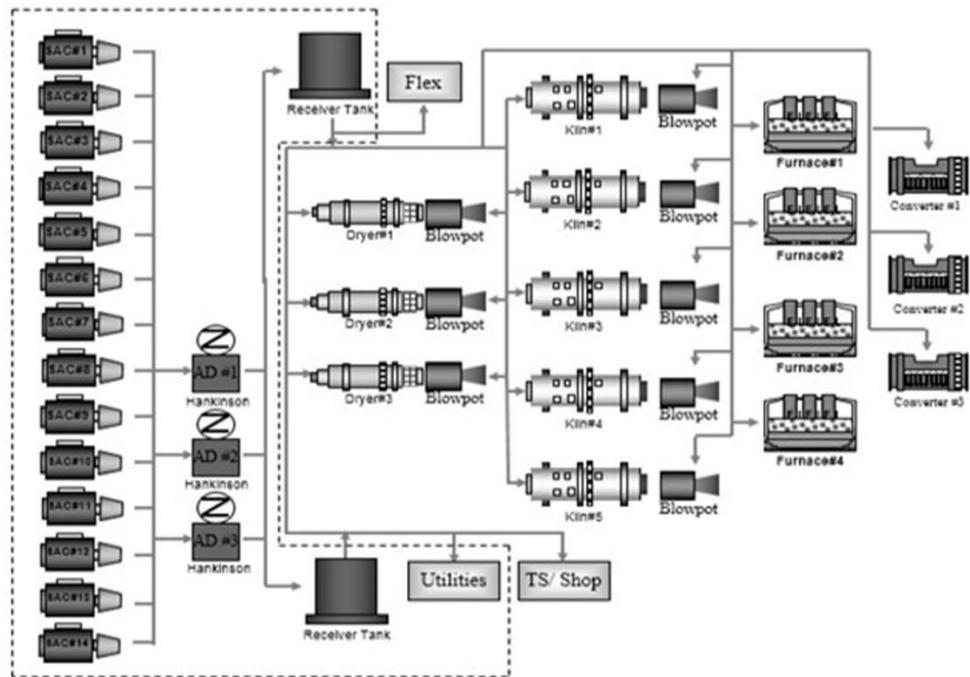
\*as CaCO<sub>3</sub>  
 NS = not specified

**Gambar 2. 9** Batasan kualitas air pengisi *boiler* ( ASME, 1994 )

## 2.3. Operasional Existing Pada Utilities Departemen PT. Vale Indonesia

### 2. 3.1 Sistem Udara Bertekanan *Thermal Plant*

Saat ini *utilities* telah mengoperasikan 14 *unit* kompresor udara tipe sentrifugal dengan berbagai macam kapasitas, mulai dari 2,531 m<sup>3</sup>/h sampai 9,514 m<sup>3</sup>/h. Semua kompresor ini adalah *Ingersoll-Rand* tipe *CENTAC multi stage*. Kompresor ini menyediakan udara tekan untuk servis dan instrumen udara ke *process plant* dan *utilities* dengan tekanan sekitar 550 Kpa -650 Kpa. Output dari kompresor kemudian akan diolah pada 3 *unit Hankison Air Dryer* (pengering udara) dengan kapasitas 33,980 m<sup>3</sup>/h per *unit* untuk menurunkan titik embun sampai 10°C. Kemudian dari *hankison air dryer* maka udara tekan akan ditransfer ke *process plant* melalui pipa penyalur utama yang berukuran 12 ", 10" dan 4 ". Di *process plant*, udara tekan banyak digunakan pada sistem transportasi debu dan kontrol *instrument* yang menggunakan aktuator *pneumatic*



**Gambar 2. 10** Diagram alir sistem udara tekan di Utilities

Berikut data produksi udara yang diambil kurun waktu sebulan , dimana menggambarkan kondisi operasional plant air kompresor PT. Vale Indonesia. Tabel 2.2 Data Produksi Udara Pada Plant Air PT. Vale

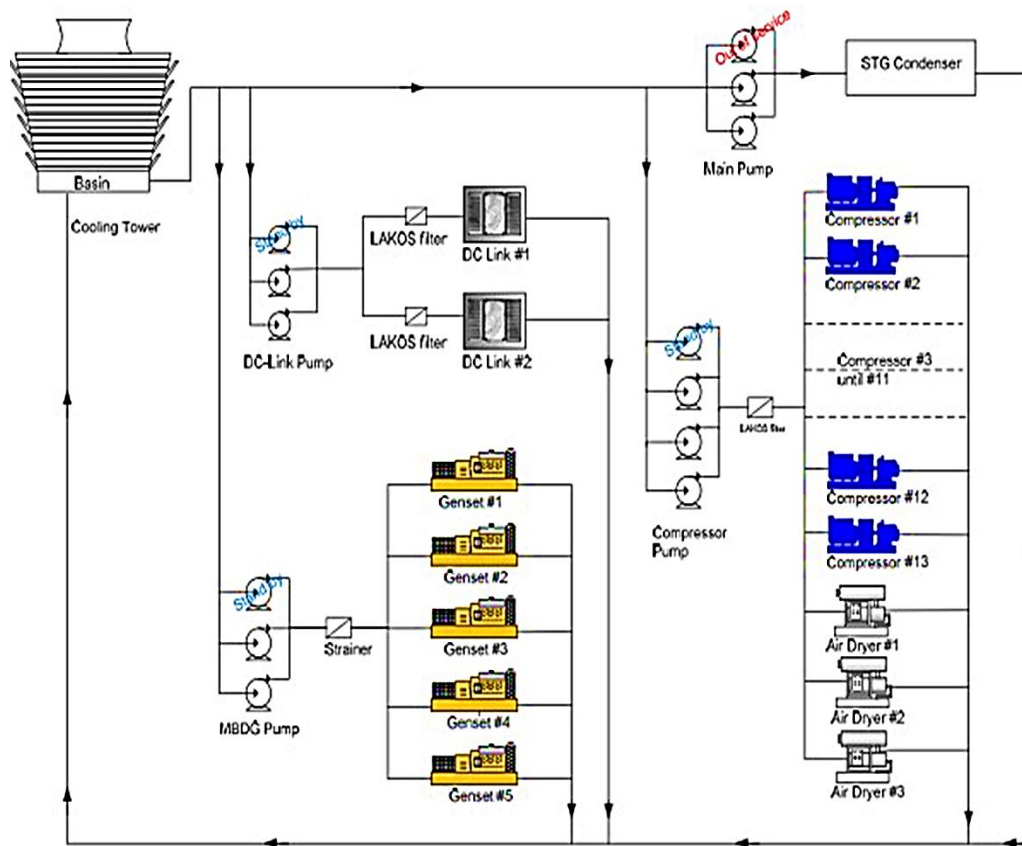
**Tabel 2. 1** Data produksi harian *plant air utilities* departement PT Vale Indonesia

DATA PRODUKSI HARIAN PLANT AIR UTILITIES DEPARTMENT PT. VALE, SECTION THERMAL								
No.	Waktu	Pembacaan Motoran per 24 Jam	Produksi	DATA TEMPERATURE INLETA	DATA TEMPER ATURE IN	DATA TEMPERA TURE OUT	Seluruh ( DeltaT)	KETERANGAN
			SCFM	°C	°C	°C	°C	
1	March 31, 2018	49903673344			26	35	9	
2	April 1, 2018	49951129600	32955.73333	26.5	26	35	9	
3	April 2, 2018	50001412096	34918.4	26.5	26	35	9	
4	April 3, 2018	50049982464	33729.42222	26.5	26	35	9	
5	April 4, 2018	50100170752	34852.97778	26.5	26	35	9	
6	April 5, 2018	50148577280	33615.64444	26.5	26	35	9	
7	April 6, 2018	50196664320	33393.77778	26.5	26	35	9	
8	April 7, 2018	50243891200	32796.44444	26.5	26	35	9	
9	April 8, 2018	50290159616	32130.84444	26.5	26	35	9	
10	April 9, 2018	50337280000	32722.48889	26.5	26	35	9	
11	April 10, 2018	50384433152	32745.24444	26.5	26	35	9	
12	April 11, 2018	50431553536	32722.48889	26.5	26	35	9	
13	April 12, 2018	50478702592	32742.4	26.5	26	35	9	
14	April 13, 2018	50524897280	32079.64444	26.5	26	35	9	
15	April 14, 2018	50566533120	28913.77778	26.5	26	35	9	
16	April 15, 2018	50607792128	28652.08889	26.5	26	35	9	
17	April 16, 2018	50648928256	28566.75556	26.5	26	35	9	
18	April 17, 2018	50690670592	28987.73333	26.5	26	35	9	
19	April 18, 2018	50731929600	28652.08889	26.5	26	35	9	
20	April 19, 2018	50773147648	28623.64444	26.5	26	35	9	
21	April 20, 2018	50814357504	28617.95556	26.5	26	35	9	
22	April 21, 2018	50855424000	28518.4	26.5	26	35	9	
23	April 22, 2018	50896666624	28640.71111	26.5	26	35	9	
24	April 23, 2018	50937925632	28652.08889	26.5	26	35	9	
25	April 24, 2018	50979074048	28575.28889	26.5	26	35	9	
26	April 25, 2018	51021307904	29329.06667	26.5	26	35	9	
27	April 26, 2018	51062693888	28740.26667	26.5	26	35	9	
28	April 27, 2018	51104223232	28839.82222	26.5	26	35	9	
29	April 28, 2018	51148288000	30600.53333	26.5	26	35	9	
30	April 29, 2018	51194028032	31763.91111	26.5	26	35	9	
31	April 30, 2018	51238334464	30768.35556	26.5	26	35	9	

### 2.3.2 Sistem Pendingin Existing Plant Air Kompresor Thermal Plant

Sistem pendingin kompresor saat ini disupply dari *cooling tower* dimana rata-rata jumlah aliran yang dibutuhkan sebesar  $0.31474 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan sistem *close loop recirculation* menggunakan 4 pompa sentrifugal ,seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah :

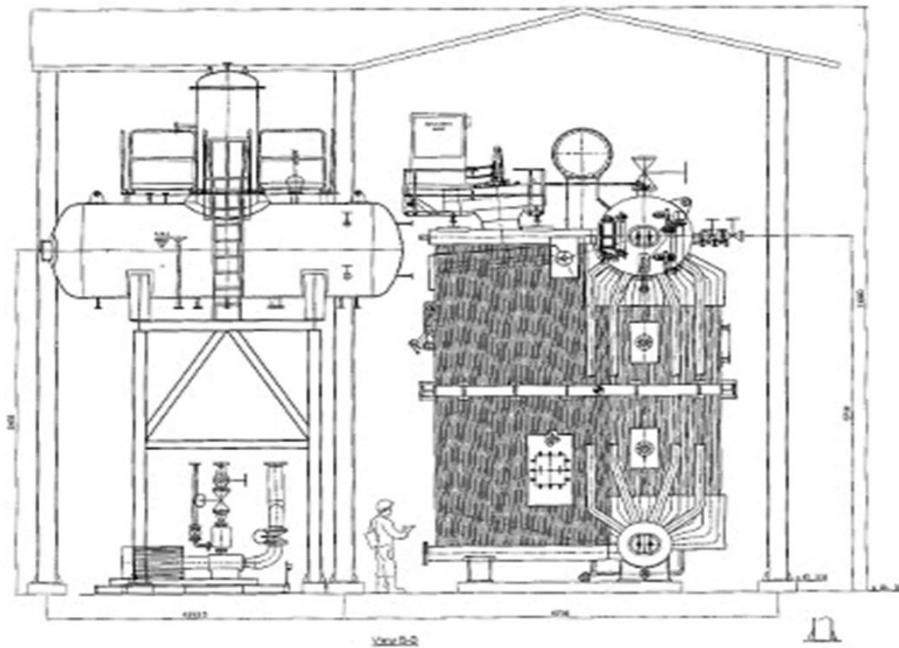




**Gambar 2. 11** Diagram alir sistem pendingin pada *Thermal Plant*

### 2.2.3 Package Boiler#2

*Utilities department thermal section* merupakan salah satu bagian dari PT. Vale Indoneisa dimana salah satu *unit* bisnisnya adalah menghasilkan *steam* saturated dengan tekanan 1120 Kpa – 1150 Kpa Bar dengan temperatur 185-190°C dengan produksi *steam* rata-rata 11-13 ton/jam.



**Gambar 2. 12** Package Boiler#2 Thermal Plant Pt. Vale Indonesia ( Alborg, 1996 )

Kualitas air berdasarkan spesifikasi yang disarankan oleh *supplier* adalah :

**Tabel 2. 2** Feedwater Requirement ( Alborg, 1996 )

Feed water for steam boilers and hot water boilers				
Parameter	Unit	Feed water for steam boilers containing dissolved solids		Make-up water for hot water boilers
Operating pressure	MPa	> 0.05 to 2	> 2	Total range
Appearance	-	Clear, free from suspended solids		
Conductivity at 25°C	µS/cm	See Table 2		
pH value at 25°C <sup>-1</sup>	-	> 9.2 <sup>2</sup>	> 9.2 <sup>2</sup>	> 7.0
Total hardness (Ca + Mg)	mmol/l	< 0.02 <sup>3</sup>	< 0.01	< 0.05
Iron (Fe)	mg/l	< 0.3	< 0.1	< 0.2
Copper (Cu)	mg/l	< 0.05	< 0.03	< 0.1
Silica (SiO <sub>2</sub> )	mg/l	See Table 2		-
Oxygen (O <sub>2</sub> )	mg/l	< 0.05 <sup>4</sup>	< 0.02	-
Oil/grease	mg/l	< 1	< 1	< 1
Organic substances	-	See section 1.6		

Please note that the table does not apply for attenuator spray water. In this case the water must be salt free and/or uncontaminated condensate dosed only with volatile chemicals. It must not adversely affect the required quality to the steam.

<sup>1</sup> With copper alloys in the system the pH value shall be maintained in the range 8.7 to 9.2.

<sup>2</sup> With softened water > 7.0 considering the pH value of boiler water according to Table 2.

<sup>3</sup> At operating pressure < 0.5 MPa total hardness max. 0.05 mmol/l is acceptable.

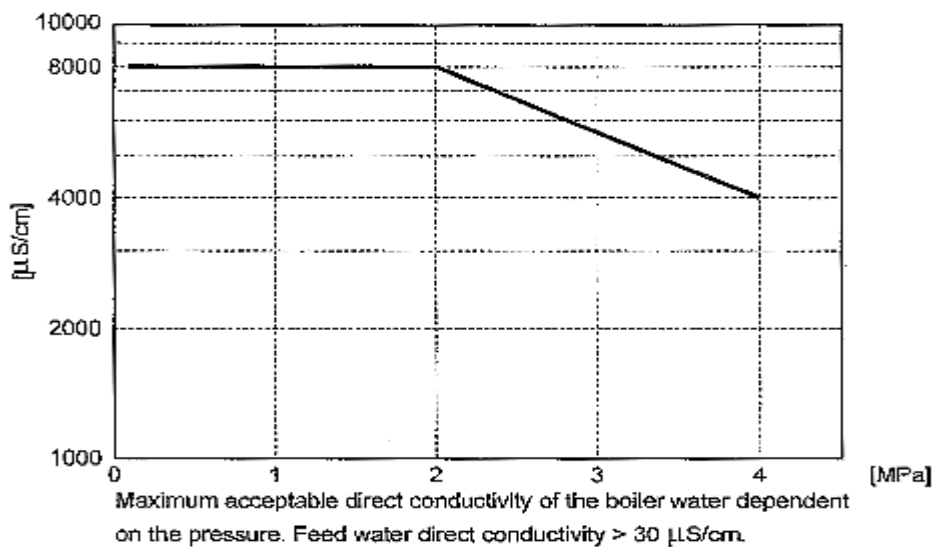
<sup>4</sup> Restricted to continuous operation and/or using an economiser, at intermittent operation or operation without deaerator film forming agents and/or excess of oxygen scavenger should be observed.

**Tabel 2. 3** Boiler water Requirement ( Alborg, 1996 )

Boiler water for steam boilers and hot water boilers					
Parameter	Unit	Feed water conductivity > 30 $\mu\text{S/cm}$		Feed water conductivity $\leq 30 \mu\text{S/cm}$	Boiler water for hot water boilers
Operating pressure	MPa	> 0.05 to 2	> 2	> 0.05	Total range
Appearance	-	Clear, no stable foam			
Conductivity at 25°C	$\mu\text{S/cm}$	< 8000 <sup>1</sup>	See Figure 1	< 1500	< 1500
pH value at 25°C	-	10.5 to 12.0	10.5 to 11.8	10.0 to 11.0 <sup>2,3</sup>	9.0 to 11.5 <sup>4</sup>
Acid capacity up to pH 8.2	mmol/l	1 to 15 <sup>1</sup>	1 to 10 <sup>1</sup>	0.1 to 1.0 <sup>3,5</sup>	< 5
Silica ( $\text{SiO}_2$ )	mg/l	Pressure dependent, according to Figure 1			
Phosphate ( $\text{PO}_4$ ) <sup>3-</sup>	mg/l	< 30	< 30	< 15	-
Organic substances	-	See section 1.6			

<sup>1</sup> With super-heater consider 50% of the indicated upper value as maximum value.  
<sup>2</sup> Basic pH adjustment by injecting  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  additional NaOH injection only if the pH value is < 10.  
<sup>3</sup> If the acid conductivity of the boiler feed water is < 0.2  $\mu\text{S/cm}$ , and its Na + K concentration is < 0.010 mg/l, phosphate injection is not necessary. Alternatively AVT (all volatile treatment, feed water pH  $\geq 9.2$  and boiler water pH  $\geq 8.0$ ) can be applied. In this case the acid conductivity of the boiler water is < 5  $\mu\text{S/cm}$ .  
<sup>4</sup> If non-ferrous materials are present in the system, e.g. aluminium, they may require lower pH value and conductivity, however, the protection of the boiler has priority.  
<sup>5</sup> If phosphate is used, considering all other values higher  $\text{PO}_4$ -concentrations are acceptable, for instance with balanced or co-ordinated phosphate treatment.

Adapun hubungan antara tekanan dan laju kenaikan konduktivitas dalam operasi *boiler* adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.13** Grafik hubungan antara konduktivitas dan Tekanan *boiler*

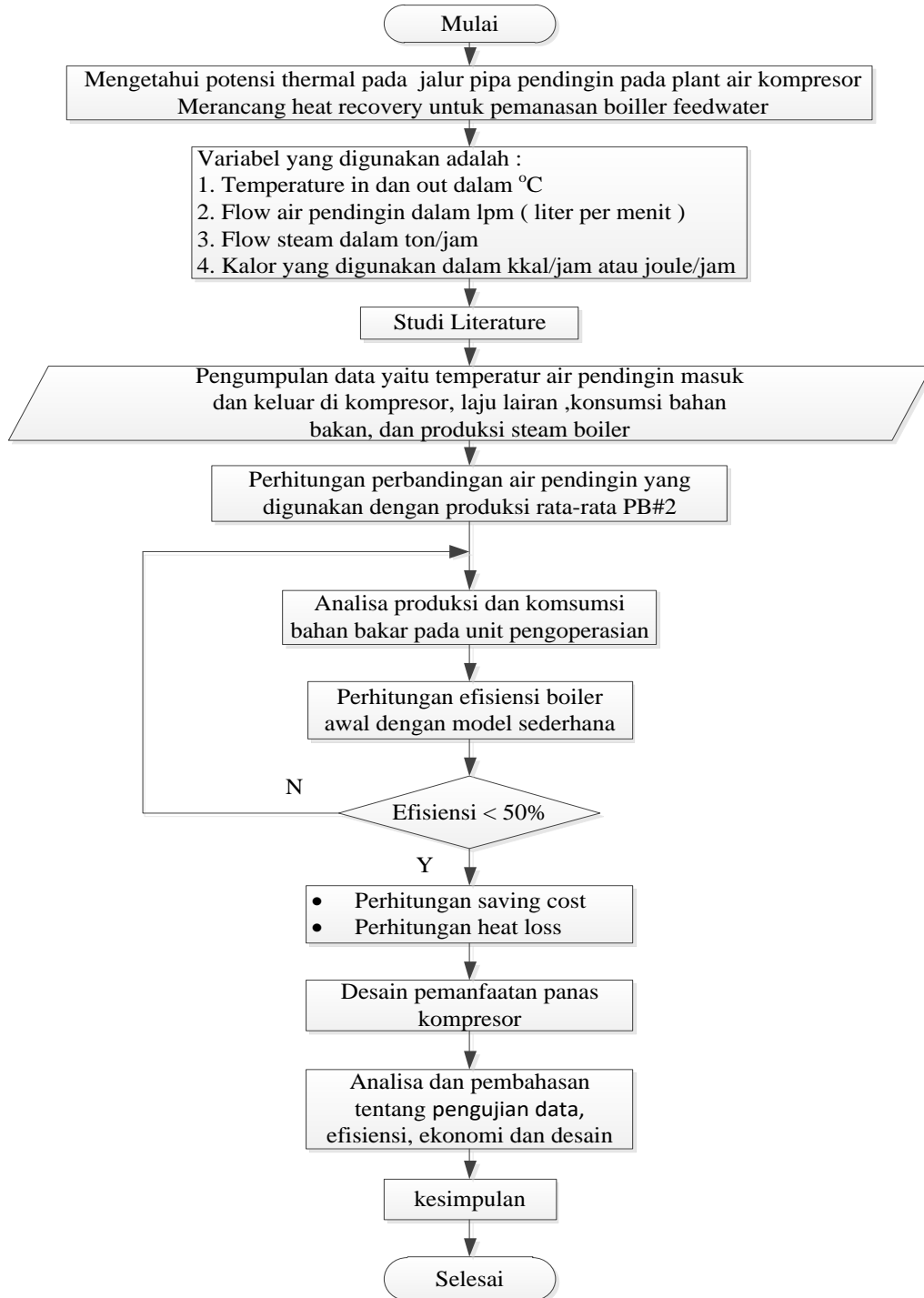
Berikut rata-rata produksi yang didapatkan berdasarkan laporan data operasi yang diambil berdasarkan bulan april, 2018.

**Tabel 2. 4** Data Produksi Package *Boiler#2* bulan April 2018

No.	TIME	FUEL CONSUMP IN 24 HRS (liter)	STEAM	FLOW	FUEL / STEAM (LITER / TON)	TEMPERATUR FEEDWATER IN (oC)	STEAM TEMP (oC)
			PRODUCTIO	STEAM			
			N per day	(TON/HR)			
TON	TON/JAM						
1	March 31, 2018	32,317.60	303	12.63	106.66	26	187
2	April 1, 2018	30,510.70	281	11.71	108.58	22	188
3	April 2, 2018	29,215.40	267.00	11.13	109.42	26	190
4	April 3, 2018	30,222.90	277.00	11.54	109.11	24	188
5	April 4, 2018	30,462.60	279.00	11.63	109.18	26	190
6	April 5, 2018	30,864.10	280.00	11.67	110.23	26	186
7	April 6, 2018	31,261.10	288.00	12.00	108.55	26	187
8	April 7, 2018	32,449.00	300.00	12.50	108.16	26	187
9	April 8, 2018	32,531.20	302.00	12.58	107.72	25	187
10	April 9, 2018	31,097.20	287.00	11.96	108.35	26	187
11	April 10, 2018	31,789.00	295.00	12.29	107.76	23	187
12	April 11, 2018	31,143.20	293.00	12.21	106.29	26	187
13	April 12, 2018	31,464.20	297.00	12.38	105.94	26	188
14	April 13, 2018	30,870.10	291.00	12.13	106.08	26	189
15	April 14, 2018	26,615.00	253.00	10.54	105.20	26	188
16	April 15, 2018	27,781.30	262.00	10.92	106.04	25	190
17	April 16, 2018	28,787.20	272.00	11.33	105.84	26	187
18	April 17, 2018	29,857.70	281.00	11.71	106.26	26	187
19	April 18, 2018	29,343.10	275.00	11.46	106.70	26	187
20	April 19, 2018	27,562.10	255.00	10.63	108.09	26	187
21	April 20, 2018	26,617.80	246.00	10.25	108.20	26	187
22	April 21, 2018	26,470.40	244.00	10.17	108.49	26	186
23	April 22, 2018	28,319.60	261.00	10.88	108.50	26	187
24	April 23, 2018	27,061.60	246.00	10.25	110.01	26	187
25	April 24, 2018	27,792.60	254.00	10.58	109.42	26	187
26	April 25, 2018	27,529.50	250.00	10.42	110.12	23	188
27	April 26, 2018	29,468.80	269.00	11.21	109.55	26	187
28	April 27, 2018	29,198.80	269.00	11.21	108.55	26	187
29	April 28, 2018	29,261.90	266.00	11.08	110.01	24	187
30	April 29, 2018	28,259.80	253.00	10.54	111.70	26	187
31	April 30, 2018	29,048.40	262.00	10.92	110.87	26	190
Average		29,521.74	272.84	11.37	108.24	25.48	187.55

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

Proyek akhir ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh panas buang kompressor yang dimanfaatkan terhadap peningkatan efisiensi dan efektifitas kerja pembangkit *steam package boiler#2*. Untuk mendapatkan hasil yang baik, diperlukan langkah-langkah penelitian yang tepat dan berurutan. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan kemudahan bagi peneliti dalam melakukan pengujian, analisis, dan perbaikan atas kesalahan yang timbul, nantinya berguna untuk penelitian selanjutnya. Yang mana dijelaskan pada gambar 3.1, yaitu diagram alir penelitian.

### 3.1.1 Studi Pustaka / Literature

**Tabel 3. 1** Lampiran tinjauan pustaka

STUDI PUSTAKA			
NO	JUDUL	PENGARANG	RESUME
1	Performance Improvement of a Boiler through Waste Heat Recovery from an Air Conditioning Unit ( 2013)	Rakesh Jain, Devendra Dandotiya, Abhishek Jain	Memanfaatkan panas buang untuk memanaskan boiler feedwater pada suatu system dimana systemnya dapat di fabrikasi dalam workshop dan feasible serta ekonomical
2	Optimization & increase boiler efficiency by heat extraction	Gireesh Kumar, Manish Kumar soni	Mengoptimasi pemakaian bahan bakar untuk memproduksi steam pada boiler dengan menggunakan LP dan HP Heater
3	A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions, Renewable and Sustainable Energy Reviews 79, 2017	M.C. Barma, R. Saidu, S.M.A. Rahman, A. Allouhi, B.A. Akash, Sadiq M. Sait	paper ini menjelaskan tentang berapa besar jumlah energy yang digunakan dalam boiler, cara mengevaluasi efisiensi boiler serta dan meminimalisasi heat lost di boiler disertai metode mengontrol parameter operasi
4	Research on incrustation in a model evaporative cooler, <i>Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, Vol 40</i> , pp. 99-10	Teresa SZYMURA	Paper ini menggambarkan tentang pengaruh temperature terhadap pembentukan scaling pada suatu peralatan pendinginan dalam suatu sistem pendingin dimana endapan tersebut akibat dari bawaan raw water ataupun endapan yang terlarut yang terkandung dalam air seperti total hardness ataupun conductivity
5	Energy Audit of Boiler Feed Pump System and Air Compressors in a Thermal Power Plan ( 2013)	G.R. Mahesh, G. Srinivasa Rao, M.V. Giridhar	ada paper ini menjelaskan teknik untuk melakukan analisa dan audit terhadap peralatan thermal sehingga dapat melakukan improvisasi
6	Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air System (2012)	Ryszard Dindorf	Bagaimana cara melakukan <i>saving cost</i> pada plant udara bertekanan, dan potensi-potensi <i>saving energy</i> pada plant udara bertekanan
7	A Study based on design of air compressor intercooler ( 2013)	Pawan Kumar Gupta, S.p Asthana, Neha Gupta	Jurnal menuliskan tentang perancangan suatu Intercooler pada kompresor agar menjadi efisien dan efektif

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas maka tesis ini tidak memiliki kesamaan dengan jurnal ataupun tulisan yang ada sehingga tidak ditemukan plagiasi.

Pada tesis ini dilakukan studi literature dengan penelusuran pada buku manual peralatan kompresor dan Package *boiler#2*, jurnal, handbook maupun buku-buku yang berhubungan dengan tulisan ini, dimana secara garis besarnya adalah bagaimana merancang suatu jalur pemanfaatan *heat recovery* untuk memanfaatkan panas kompresor sebagai pemanas mula *boiler feedwater*.

### 3.2 Pengumpulan data/pengukuran

Pengambilan dilakukan dengan menggunakan peralatan :

- a. *Thermoprobe*
- b. *Flow meter air*
- c. *Flow meter udara*
- d. *Temperature gauge*
- e. *Flow meter steam*
- f. Temperatur udara pada kompresor

Pengambilan dan pengolahan pada data-data operasi *di thermal plant* untuk jumlah produksi *steam*, udara, serta pemakaian bahan bakar (data terlampir). Dimana pengamatan dan pengambilan data dilakukan selama 7 bulan.

### 3.3 Perhitungan Jumlah Air Pendingin Dan Efisiensi *Boiler*

Setelah melakukan pengambilan data, maka data tersebut kemudian dilakukan perhitungan *heat loss* serta menghitung efisiensi pada *boiler* untuk melihat seberapa besar manfaat pemanfaatan panas kompresor dalam peningkatan performance *boiler* dalam hal mengurangi pemakaian bahan bakar. Dengan menggunakan kesetimbangan panas yaitu :

$$Q = (mcp) (t_2 - t_1) = Q_{air} + Q_v + Q_w \quad (3.1)$$

$Q$  = total heat Transfer

$m$  = mass of fluid

$cp$  = pressure Constant

$Q_{air}$  = sensible heat of air

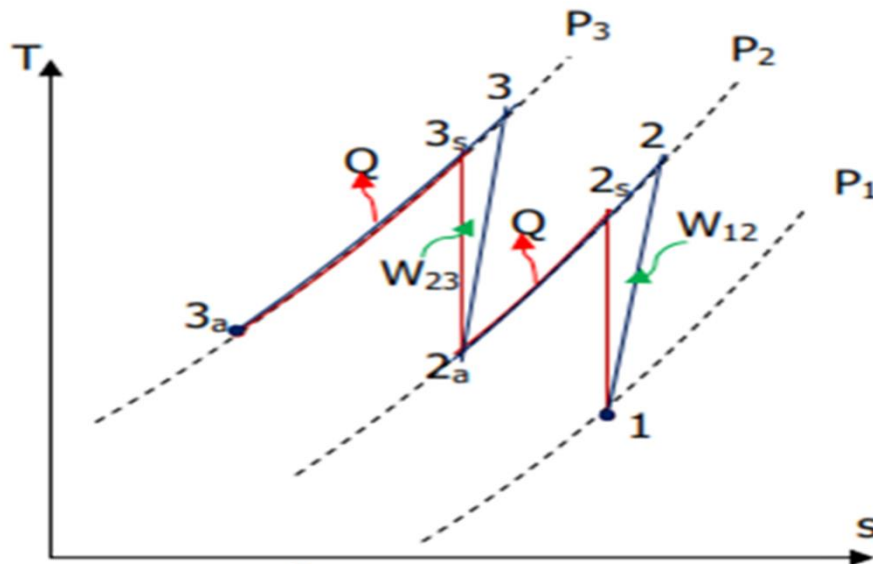
$Q_v$  = sensible heat of water vapor

$Q_w$  = latent heat taken the water

$t_2$  = temperature outlet of cold fluid

$t_1 = \text{temperature inlet of cold fluid}$

Atau dapat menggunakan formulasi untung menghitung heat rejected atau *heat loss* berdasarkan diagram T-S :



**Gambar 3. 2** Kompresi 2 stage pada diagram T-S

Untuk Stage 1 :

$$Q_2 = m_{air} (h_2 - h_{2ac}) \quad (3.2)$$

Dimana :  $h_{2ac} (P_2, T_{ac})$

Untuk Stage 2 :

$$Q_3 = m_{air} (h_3 - h_{3ac}) \quad (3.3)$$

Dimana :  $h_{3ac} (P_3, T_{ac})$

Sehingga flow air pendingin adalah sebagai berikut :

$$q = \frac{Q}{Cp, cw \Delta T} \frac{1}{Pcw} \quad (3.4)$$

$$\text{Boiler efficiency} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 \quad (3.5)$$



Sehingga formula untuk menghitung efisiensi dengan metode langsung adalah sebagai berikut :

$$\frac{Qx (hg-hf)}{q \times GCV} \quad (3.6)$$

Dimana :

Q adalah Jumlah *steam* yang dihasilkan perjam ( kg/jam)

q adalah jumlah bahan bakar yang digunakan perjam ( kg/jam)

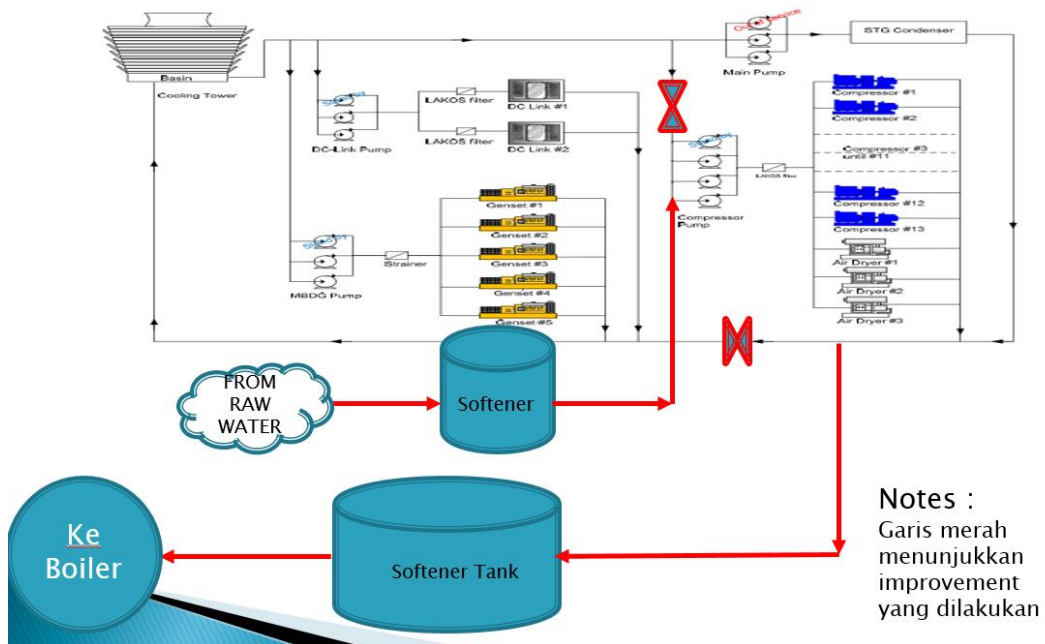
Hg adalah enthalphy *steam* jenuh ( kkal/kg)

Hf adalah enthalphy air umpan dalam kkal/kg

GCV adlah nilai kalori bahan bakar ( kkal/kg)

### 3.4 Perancangan jalur *preheating boiler feedwater*

Setelah mendapatkan nilai besaran panas yang dapat dimanfaatkan pada pengamatan, langkah selanjutnya menghitung jumlah air kebutuhan kompresor yang disesuaikan dengan jumlah produksi pada *boiler* kemudian dari hasil itu dibuatkan rancangan jalur pemanas *boiler feedwater* sekaligus sebagai pendingin *alternative* untuk *plant air* kompresor.



**Gambar 3. 3** Sketsa rencana rancangan jalur pendingin plant kompresor

**Tabel 3. 2** Jenis dan karakteristik kompresor pada sistem operasi

<i>Compressor</i>	<i>Model</i>	<i>Serial No.</i>	<i>Intake capacity</i>
SAC#1	1ACII23MX2	M90-5293	63.76 m3/min
SAC#2	1ACII21MX2	M79-1704/05	63.76 m3/min
SAC#3	1ACII21MX2	M79- 704/05	63.76 m3/min
SAC#4	1ACII18MX2	M95-8668	44.683 m3/min
SAC#5	1ACII18MX2	M95-8668	44.683 m3/min
SAC#6	1ACII23MX2	M95-5393	63.76 m3/min
SAC#7	1ACII18MX2	M95-8668	44.683 m3/min
SAC#8	2ACII50MX3	M96-9083	126.9 m3/min
SAC#9	2ACII50MX3	M96-9082	126.9 m3/min
SAC#10	2ACII50MX3	M96-9081	126.9 m3/min
SAC#11	2ACII50MX3	M95-8667	126.9 m3/min
<i>Intake Press</i>	<i>Disch Press</i>	<i>Intake Temp</i>	<i>Speed</i>
92.14 Kpa	853 Kpa	22 °C	2975 RPM
92.14 Kpa	853 Kpa	22 °C	2975 RPM
92.14 Kpa	853 Kpa	22 °C	2975 RPM
1,337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
92.14 Kpa	853 Kpa	22 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM
1337,6 Kpa	1,100 Kpa	33.8 °C	2975 RPM

Pada table 3.2 memperlihatkan *unit* kompresor yang digunakan pada sistem operasi pembangkit yang menghasilkan udara bertekanan, dimana data spesifikasi yang diperoleh disesuaikan dengan penempatan tiap *unit* pada fungsional sistem yang berbeda. *Unit* kompresor ini nantinya digunakan atau dimanfaatkan panas buangnya dan sebagian air pendinginnya masih mengambil dari *cooling tower* sehingga masih banyak panas dari *unit unit* kompresor tidak dimanfaatkan panas buangnya, kemudian sebagian panas buangnya digunakan sebagai proses daur ulang sistem pemanas pada *feedwater* heater sebelum digunakan di *boiler* untuk produksi *steam*. Terdapat beberapa keunggulan yang diperoleh pada pemanfaatan panas buang ini, diantaranya temperaturnya masih rendah sehingga estimasi waktu yang digunakan untuk mendinginkan kompresor lebih cepat dan bersifat secara terus menerus dan ini tentunya berdampak pada

efektifitas kompresor yang lebih efisien dalam menghasilkan produksi udara lebih tinggi karena pendingin yang digunakan dari *feedwater boiler* yang kualitasnya lebih baik dari air pendingin *cooling tower*.

**Tabel 3. 3** Flow GPM (gallon per minute) pada *cooling tower* untuk pendinginan kompresor

Name	Manufacturer	Model	Cooling Water (m <sup>3</sup> /s)
Centac Compressor #1	Ingersoll-Rand	1ACII23MX2	0.00954
New Centac Compressor #2	Ingersoll-Rand	C10070MX3	0.04546
Centac Compressor #3	Ingersoll-Rand	1ACII23MX2	0.00954
Centac Compressor #4	Ingersoll-Rand	2ACII18MX2	0.00954
Centac Compressor #5	Ingersoll-Rand	2ACII18MX2	0.00954
Centac Compressor #6	Ingersoll-Rand	1ACII23MX2	0.00954
Centac Compressor #7	Ingersoll-Rand	2ACII18MX2	0.00954
Centac Compressor #8	Ingersoll-Rand	2ACII50MX3	0.00954
Centac Compressor #9	Ingersoll-Rand	2ACII50MX3	0.00954
Centac Compressor #10	Ingersoll-Rand	2ACII50MX3	0.00954
Centac Compressor #11	Ingersoll-Rand	2ACII50MX3	0.00954
Centac Compressor #12	Ingersoll-Rand	C95055MX3HP	0.0256
Centac Compressor #13	Ingersoll-Rand	C95055MX3HP	0.0256
New Centac Compressor #14	Ingersoll-Rand	C10070MX3	0.04546
Air Dryer1	Hankinson	H-1111	0.007425
Air Dryer2	Hankinson	H-1111	0.007425
Air Dryer3	Hankinson	H-1111	0.007425
Instrument Air Dryer	Atlas Copco	2400VSD	0.007425

Faktor kapasitas dari *cooling tower* menentukan besaran atau lamanya waktu proses pendinginan pada kompresor berdasarkan kapasitas atau biasa disebut dengan gallon per minute pada *cooling tower*. Table 3.3 memperlihatkan flow gpm *cooling tower* pada tiap *unit*, dimana model kompressor C10070MX3 memiliki kapasitas tertinggi dengan nilai sebesar 0.04546 m<sup>3</sup>/s, hal ini tentunya berkorelasi pada fungsional dari tiap *unit* yang digunakan pada *unit* pembangkit yang lain berdasarkan besaran yang dibutuhkan. Sedangkan untuk komponen air dryer memiliki cooling water (GPM) terendah.

**Tabel 3. 4** Jenis dan spesifikasi *cooling water pump*

<b><i>Cooling Water Pump Capacity</i></b>	<b><i>Value</i></b>	<b><i>Unit</i></b>
<i>3 units Main Cooling Water Pump</i>	8.1829	m <sup>3</sup> /s
<i>3 units MBDG Circulating Pump</i>	0.6523	m <sup>3</sup> /s
<i>3 units DC Link Cooling Pump</i>	0.1045	m <sup>3</sup> /s
<i>5 unit Aux Cooling Pump</i>	0.375	m <sup>3</sup> /s

Selama plant beroperasi, terdapat 14 *unit cooling water pump* beroperasi, untuk membantu proses pendinginan selama sistem berajalan, tiap jenis *cooling water pump* memiliki nilai yang berbeda dan jenis spesifikasi yang digunakan pun berbeda. Tipe *DC link cooling pump*, memiliki kapasitas terendah dan main cooling water pump memiliki kpasitas tertinggi, karena biasanya bekeja pada main *unit* dari plant.

**Tabel 3. 5** *Thermal cooling water consumption*

<b><i>Thermal Cooling Water Consumption</i></b>	<b><i>Value</i></b>	<b><i>Unit</i></b>
STG Condenser	4.1	m <sup>3</sup> /s
<i>5 units MBDG</i>	0.682	m <sup>3</sup> /s
<i>2 units DC Link Auxiliary</i>	0.05834	m <sup>3</sup> /s
<i>Total Consumption Thermal</i>	5.2183	m <sup>3</sup> /s

Tabel 3.5 menjelaskan konsumsi *cooling tower* yang diberikan pada tiap *unit* pada pembangkit, dimana STG condenser memiliki nilai tertinggi jika dibandingkan dengan *unit* yang lainnya, hal ini diakibatkan oleh, pada bagian panas buangan pada turbin, yang menghasilkan panas bersifat superheated membutuhkan penurunan temperatur yang nantinya digunakan untuk sirkulasi ulang pada pembangkit, sehingga GPM yang dibuthkan untuk mendinginkan *unit* semakin tinggi, sedangkan DC link hanya bertugas sebagai sistem transmisi dalam operasional dan hal itu nyatanya tidak membuthkan GPM tinggi dalam proses pendinginnya.

Boiler Section				Compressor section		
No	A PB#2 Production ( ton/hr)	B Convert to LPM	C MCR (%)	COMPRESSOR MODEL	CW Flow (LP)	Code of Compresso rs
1	1	16.77	3.33		217.49	A1
2	2	33.53	6.67	2ACII16MX2 ( 3 unit)	227.76	A2
3	3	50.30	10.00		445.25	A3
4	4	67.07	13.33		291.20	B1
5	5	83.84	16.67	1CII21MX2 ( 2 unit)	304.96	B2
6	6	100.60	20.00		596.16	B3
7	7	117.37	23.33		245.19	C1
8	8	134.14	26.67	1ACII23MX2 ( 2 unit)	256.83	C2
9	9	150.91	30.00		502.03	C3
10	10	167.67	33.33		365.52	D1
11	11	184.44	36.67	2ACII50MX3 ( 4 unit)	393.98	D2
12	12	201.21	40.00		402.97	D3
13	13	217.97	43.33		1162.47	D4
14	14	234.74	46.67		407.58	E1
15	15	251.51	50.00	395055MX3HP ( 2 unit)	439.60	E2
16	16	268.28	53.33		449.62	E3
17	17	285.04	56.67		1296.80	E4
18	18	301.81	60.00		531.67	F1
19	19	318.58	63.33	C350MX3HP ( 2 unit)	542.43	F2
20	20	335.35	66.67		543.47	F3
21	21	352.11	70.00		1617.57	F4
22	22	368.88	73.33			
23	23	385.65	76.67			
24	24	402.41	80.00			
25	25	419.18	83.33			
26	26	435.95	86.67			
27	27	452.72	90.00			
28	28	469.48	93.33			
29	29	486.25	96.67			
30	30	503.02	100.00			

**Gambar 3. 4** Korelasi *boiler feedwater* dan *cooling* kompresor

Gambar 3.4 menunjukkan korelasi jumlah air yang dibutuhkan oleh kompresor untuk digunakan sebagai pendinginan dengan jumlah produksi *steam* pada *package boiler#2*, dimana besaran maksimum produksi pada *steam* pada *boiler* sebesar  $0.008383 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk MCR 100% setara dengan C3 atau *unit kompresor IACII23MX2*.

### 3.5 Heat Loss pada Perpindahan Panas Pipa

Perhitungan *heat loss* merupakan salah satu parameter yang digunakan sebagai pendesainan pipa pada sistem pengoperasian uap. Pada umumnya heat loss dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan media penghantar, yaitu laju kehilangan panas konduksi, laju kehilangan panas konveksi, dan laju kehilangan panas radiasi. Perhitungan laju kehilangan panas pada proses konduksi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\dot{Q}_K = \frac{2\pi KL}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (\Delta T) \quad (3.7)$$

Keterangan :

- $\dot{Q}_K$  = Laju kehilangan panas konduksi (kj/s)
- K = Konduktifitas thermal material (W/m.K)
- L = Panjang pipa (m)
- R2 = Diameter outer pipa (m)
- R1 = Diameter inner pipa (m)
- $\Delta T$  = (Temperatur inlet-temperatur outlet) ( $^{\circ}\text{C}$ )

Selanjutnya untuk laju kehilangan panas pada proses konveksi dapat menggunakan persamaan :

$$\dot{Q}_h = 2\pi r_2 L h (\Delta T) \quad (3.8)$$

Keterangan :

- $\dot{Q}_h$  = Laju kehilangan panas konveksi (kj/s)
- H = Koefisien transfer konveksi (W/m.k)

Sedangkan untuk media penghantar lain yaitu radiasi, laju kehilangan panas yang dihasilkan diperoleh dengan persamaan :

$$\dot{Q}_r = \sigma \epsilon \Delta T^4 \quad (3.9)$$

Keterangan :

- $\dot{Q}_h$  = Laju kehilangan panas radiasi (kj/s)
- $\epsilon$  = Emisifitas
- $\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzmann

Sehingga Laju kehilangan panas total pada suatu sistem dengan media penghantar yang dapat dikalkulasikan dengan persamaan :

$$Total\ heat\ loss = \dot{Q}_k + \dot{Q}_h + \dot{Q}_r \quad (3.10)$$

Thermal resistansi digunakan sebagai parameter dalam perhitungan kehilangan panas, dimana metode dan media penghantar yang digunakan sama halnya dengan heat loss. Untuk pipa berbentuk silinder, thermal resistansi untuk proses konduksi dinyatakan oleh :

$$R_k = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi kL} \quad (3.11)$$

Sedangkan thermal resistansi untuk proses konveksi dinyatakan dengan persamaan :

$$R_h = \frac{1}{2\pi r_2 L h} \quad (3.12)$$

Setelah dilakukannya perhitungan baik resistansi thermal pada media konduksi atau konveksi, dilanjutkan dengan rangkaian resistansi yang diaplikasikan pada sistem pengoperasian pipa untuk mengetahui resistansi thermal pada pipa maupun pelapis insulin, untuj hambatan seri dapat dihitung dengan :

$$R = R_1 + R_2 \quad (3.13)$$

Sedangkan hambatan *thermal* paraleldapat dihitung dengan :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3.14)$$

*Halaman Sengaja Dikosongkan*



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV menjelaskan lebih lanjut mengenai hasil pengujian terhadap perancangan *preheating boiler feed water package boiler* dengan memanfaatkan panas pada jalur pendingin kompresor. Pada bagian awal, dipaparkan beberapa metode yang digunakan dalam pemecah masalah untuk mencari korelasi dari efisiensi yang dapat dihasilkan berdasarkan sistem *coogeneration* yang diberikan beserta beberapa desain terkait perancangan *preheating boiler feed water*. Pada bab 4 tujuan utama yang ditekankan berupa kalkulasi nilai panas yang dapat dibangkitkan untuk memanaskan *feedwater boiler* dengan harapan bahwa efisiensi yang dihasilkan dapat mengurangi *cost* yang dibebankan sehingga nantinya data ini dapat digunakan sebagai parameter desain untuk merancang jalur pemanasan untuk memanfaatkan panas dari kompresor sebagai pemanas mula dari *feedwater boiler*.

#### 4.1 Performansi *Unit Kompresor Dalam Menghasilkan Panas Buang*

Heat rejected dari compressor pada tabel 4.1 menggunakan asumsi air dan udara *thermodynamic properties* dengan menggunakan perhitungan *Refrop ver 8.0*, dimana asumsi-asumsi sebagai berikut :

- Kerja pada semua stage dianggap sama (digunakan untuk menentukan rasio kompresi )
- *Isentropic efficiencies* pada semua stage adalah sama yaitu 75%
- Tidak ada panas yang hilang selama kompresi
- *Stage pertama: 8.89 K lebih besar dari ambient temperatur*
- *Stage kedua: 10.56 K lebih besar dari ambient temperatu*
- *Stage ketiga: 9.94 K lebih besar dari ambient temperatur*
- Tekanan udara masuk adalah 92.25 kPa (13.38 psia), temperatur 26.5°C (299.5 K) and RH=60%
- Tekanan udara keluar *945.1 kPa (137 psia)*

**Tabel 4. 1 Heat rejected Kerja Motor Kompresor**

NO	COMPRESSOR MODEL	Units	STAGE	Q (KW)	CW Flow (LPM)	Qtotal (KW)	CW Flow total (LPM)	W (KW)	Wtotal (KW)
1	2ACII18MX2 ( 3 unit)	3	1 <sup>st</sup> stage	135.87	217.49	407.61	652.46	143.78	431.34
2			2 <sup>nd</sup> stage	142.29	227.76	426.87	683.29	143.78	431.34
3			Sub total	278.16	445.25	834.48	1335.75	287.56	862.68
4	1CII21MX2 ( 2 unit)	2	1 <sup>st</sup> stage	181.92	291.20	363.84	582.40	192.51	385.02
5			2 <sup>nd</sup> stage	190.52	304.96	381.04	609.93	192.51	385.02
6			Sub total	372.44	596.16	744.88	1192.32	385.02	770.04
7	1ACII23MX2 ( 2 unit)	2	1 <sup>st</sup> stage	153.18	245.19	306.36	490.39	162.1	324.2
8			2 <sup>nd</sup> stage	160.45	256.83	320.9	513.66	162.12	324.24
9			Sub total	313.63	502.03	627.26	1004.05	324.22	648.44
10	2ACII50MX3 ( 4 unit)	4	1 <sup>st</sup> stage	228.35	365.52	913.4	1462.07	250.16	1000.64
11			2 <sup>nd</sup> stage	246.13	393.98	984.52	1575.92	250.22	1000.88
12			3 <sup>rd</sup> Stage	251.75	402.97	1007	1611.90	250.22	1000.88
13			Sub total	726.23	1162.47	2904.92	4649.89	750.6	3002.4
14	C95055MX3HP ( 2 unit)	2	1 <sup>st</sup> stage	254.63	407.58	509.26	815.17	279.13	558.26
15			2 <sup>nd</sup> stage	274.63	439.60	549.26	879.20	279.2	558.4

NO	COMPRESSOR MODEL	Units	STAGE	Q (KW)	CW Flow (LPM)	Qtotal (KW)	CW Flow total (LPM)	W (KW)	Wtotal (KW)
16			3 <sup>rd</sup> Stage	280.89	449.62	561.78	899.24	279.12	558.24
17			Sub total	810.15	1296.80	1620.3	2593.60	837.45	1674.9
18	C350MX3HP ( 2 unit)	2	1 <sup>st</sup> stage	332.15	531.67	664.3	1063.34	332.67	665.34
19			2 <sup>nd</sup> stage	338.87	542.43	677.74	1084.85	336.54	673.08
20			3 <sup>rd</sup> Stage	339.52	543.47	679.04	1086.94	338.47	676.94
21			Sub total	1010.54	1617.57	2021.08	3235.13	1007.68	2015.36
22	TOTAL					8752.92	14010.75		8973.82

Berdasarkan tabel 4.1, perhitungan jumlah air pendingin yang dibutuhkan berdasarkan total heat rejected dari compressor adalah sebagai berikut :

$$q = \frac{Q}{C_{p,cw} \Delta T} \frac{1}{\rho_{cw}}$$

$$C_p = 4.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta T = 9^\circ\text{C}$$

$$\rho = 994 \text{ kg/M}^3$$

$$Q = 8752.92 \text{ KW}$$

$$q = (8752.92 / 4.18 * 994 * 9.02) * 1000 * 60$$

$$q = 14044 \text{ LPM} = 0.234 \text{ m}^3/\text{s}$$

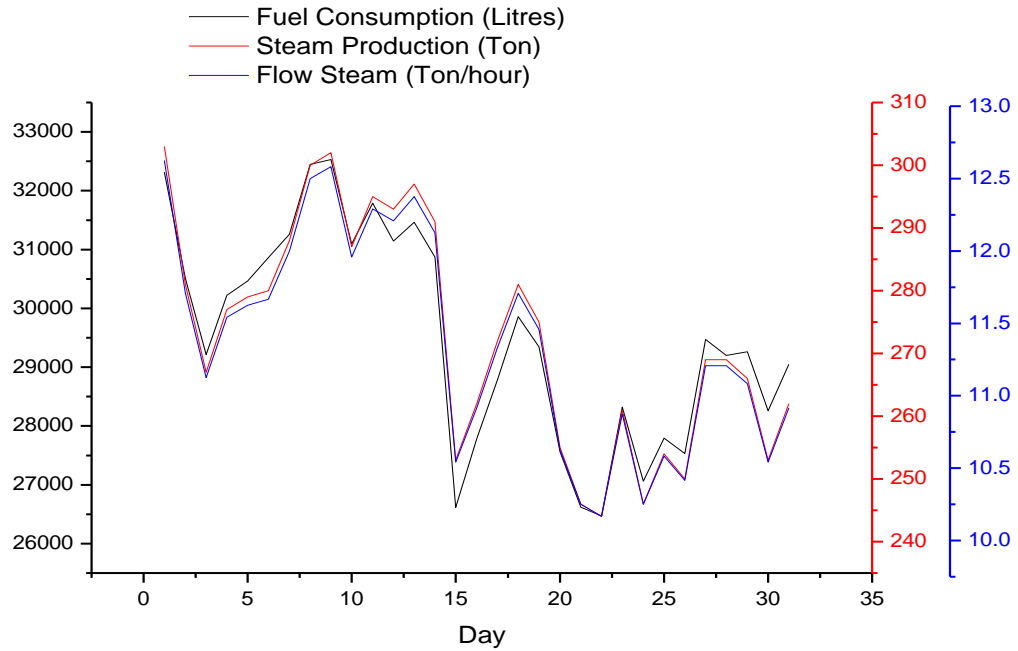
Pada tabel 4.1, menunjukkan beberapa variabel yang dihasilkan selama *unit* kompressor beroperasi, tiap *unit* memiliki jumlah tingkatan/stage yang berbeda sehingga panas dan usaha yang dihasilkan berbeda dari *unit* yang lainnya, dimana *unit* tertinggi dihasilkan oleh kompressor tipe 2ACII50MX3, dengan *total stage* sejumlah 3 sehingga *Qtotal* (Kw), yang dihasilkan sebesar 2904.92 , hal ini

tentunya mempengaruhi konsumsi energi atau bahan bakar yang dibutuhkan, dimana untuk 3 *stage* proses memakan jumlah data sebesar 3002 Kw yaitu total dari pada *unit* tersebut bekerja, namun patut dikaji, *unit* kompresor ini panas buangnya dibuang percuma pada kondisi *existing* saat ini karena pendinginnya menggunakan air dari *cooling tower* dan kemudian didinginkan lagi sehingga panasnya tidak dapat dimanfaatkan. Nantinya pada salah satu *unit* kompresor berdasarkan simulasi hitungan kesesuaian antara jumlah produksi package *boiler*#2 dan kebutuhan air pendingin kompresor digunakan sebagai acuan dalam perhitungan simulasi untuk mengkaji dan menganalisa sistem *boiler* dalam meningkatkan *efisiensi* dan pengurangan penggunaan bahan bakar dimana secara logic nilai kebutuhan air pendingin kompresor harus lebih kecil dari produksi *steam* pada *unit boiler* tersebut agar pendingin dapat terjaga pada *compressor* sehingga berdasarkan simulasi seperti pada gambar 3.4 dimana berdasar data produksi *steam* pada package *boiler* sebesar 11-13 ton/jam didapatkan simulasi yang cocok adalah *unit* kompresor 1 model 2ACII18MX2 pada *stage* 1 hal ini dikarenakan kebutuhan pendinginan pada kompresor itu sebesar 217 lpm disatu sisi pada rata-rata produksi Package *boiler* 2 pada 13 Ton itu setara 0.00361 m<sup>3</sup>/s. Berdasarkan data yang didapatkan ( lampiran 5) besaran *temperature* masuk dari *cooling water* rata-rata adalah 23.77°C dan *temperature* keluar dari *heat exchanger* setelah mendinginkan udara sebesar 32.89°C sehingga didapatkan selisih *temperature* yang bisa digunakan sebesar  $\Delta T$  9.02 °C.

#### **4.2 Korelasi Produksi dan Konsumsi pada Pemanfaatan Panas Kompresor**

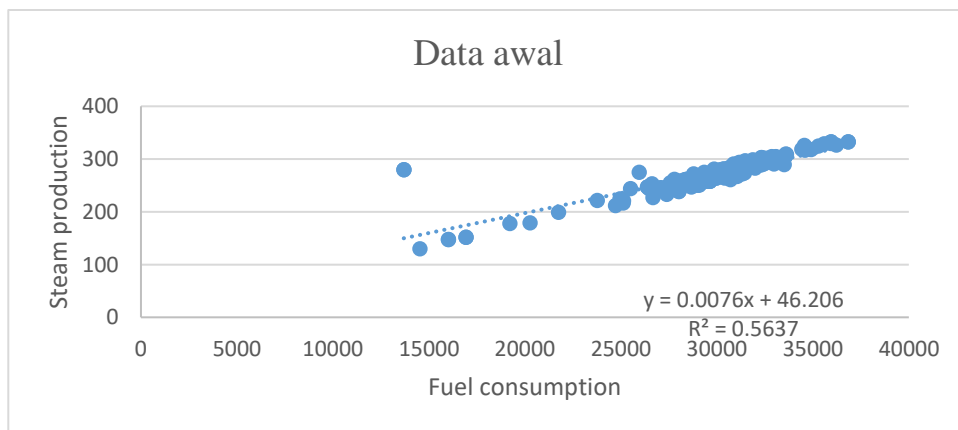
Korelasi yang ditekankan pada sub bab ini adalah, hubungan antara konsumsi bahan bakar yang dikeluarkan dengan produksi *steam* yang dihasilkan, dimana kedua variabel tersebut diiringi dengan besarnya aliran *steam* yang diberikan pada pengoperasian sistem. Grafik yang diperlihatkan merupakan salah satu sampel yang dibuat berdasarkan awal bulan, yaitu bulan Maret, dimana ketiga variabel tersebut memiliki korelasi yang saling berhubungan, baik peningkatan maupun penurunan. Data fluktuatif yang diperlihatkan menjelaskan bahwa semakin besar konsumsi bahan bakar yang diberikan, maka produksi *steam* yang dihasilkan pun akan semakin besar, sehingga parameter ini digunakan untuk

mengkalkulasi *energy cost per unit* dan *steam cost per unit* untuk menjustifikasi pengaruh dari panas buangan kompresor pada pengoperasian pembangkit.



**Gambar 4. 1** Korelasi hubungan konsumsi bahan bakar terhadap produksi dan aliran *steam*

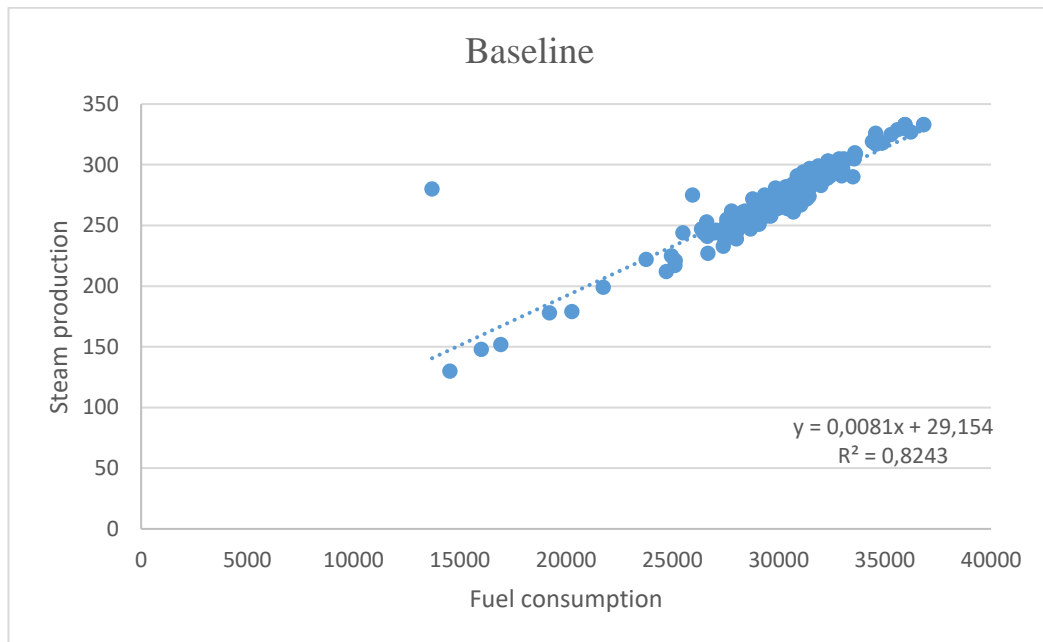
Pada table yang terlampir terkait produksi boiler angka dua digit dibelakang koma tetap dicantumkan hal ini untuk mendapatkan keakurasian data perhitungan terutama perhitungan penggunaan bahan bakar pada boiler dimana range toleransi yang digunakan pada PT. Vale Indonesia pada saat budgeting adalah  $\pm 2\%$ .



**Gambar 4. 2** Scatter plot awal data konsumsi dan produksi

Untuk menganalisa ketergantungan antara variabel yang satu dengan variabel yang lain, dalam hal tingkat pengaruh konsumsi bahan bakar pada sistem pembangkit, digunakan fungsi grafik *scatter plot* untuk memperlihatkan tingkat hubungan tersebut. Pada gambar diatas merupakan kondisi produksi dan konsumsi mingguan dalam kurun waktu 7 bulan. Dimana scatter plot menunjukkan titik produksi membentuk pola linier yang beracak-acakan, dengan bahan bakar meningkat terhadap produksi. Terdapat beberapa titik berjauhan terhadap garis linier yang dihasilkan, hal tersebut menunjukkan dampak relatif kecil, pada hubungan bahan bakar dan terajdinya kesalahan pengukuran dilapangan.. Nilai  $R^2$  merupakan parameter nantinya, apakah data tersebut baik atau tidaknya, untuk parameter data yang baik biasanya nilai  $R^2$  berkisar diatas 0.75. Konsumsi energi per minggu dapat dijabarkan pada nilai persamaan yang diperoleh yaitu :

$Y = 0.0076x + 46.202$ , dimana 0.0076 merupakan energi tambahan yang dikonsumsi per TON produksi, sedangkan *intercept y-axis* sebesar +46.202 merupakan konsumsi energi pada kondisi *non production* atau merupakan *baseload*. Model dua parameter ini perlu dikaji ulang dengan metode yang sama, namun menggunakan beberapa data yang memiliki trend yang baik, yang difungsikan untuk mendapatkan periode kerja yang konsisten dan dapat digunakan sebagai *baseline*, atau dasar untuk perbandingan semua periode yang lainnya. Sehingga dari total 112 minggu, dipilih 150 sampel data yang mewakili minggu bulan ke februari sampai agustus 2018. Dilakukan ulang pengeplotan *scatter* terhadap data tersebut sebagai validasi. Sehingga konsumsi bahan bakar per 8 bulan yang diperoleh =  $-0.0081x + \text{produksi per minggu} + 29.154$ .



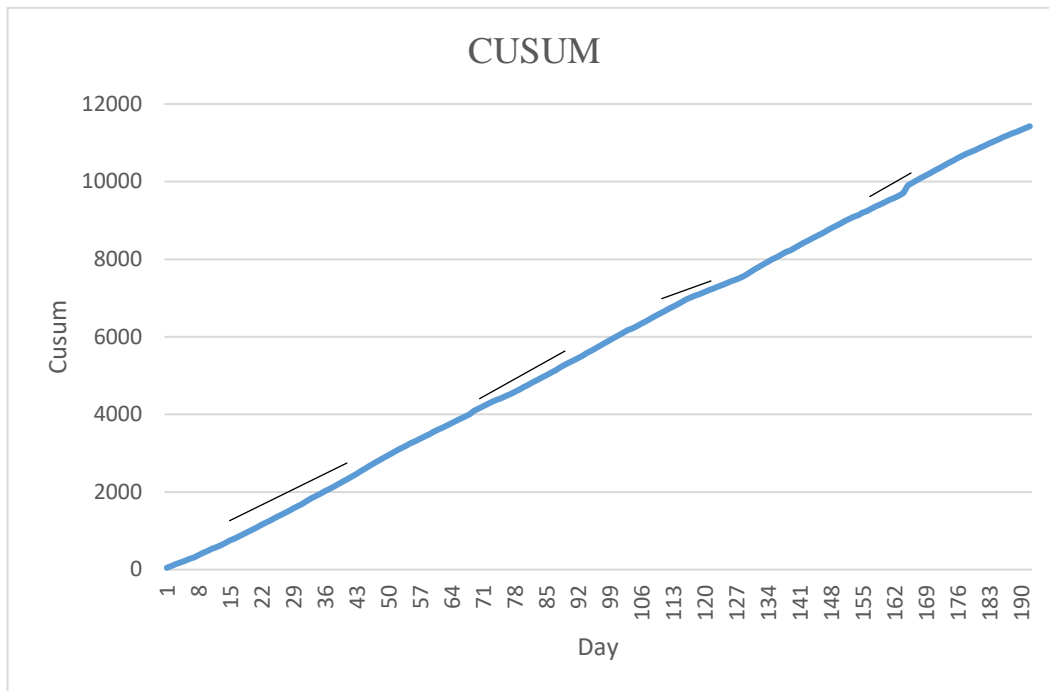
**Gambar 4. 3** Scatter plot pada baseline

Pada langkah ini telah didapatkan model perbandingan antara total data yang dimiliki terhadap *baseline* nya.

**Tabel 4. 2** Perbandingan model total dan *baseline*

Model	<i>Incremental load</i>	<i>Baseload</i>	R2
Total data	0.0076	46.202	0.5637
<i>Baseline</i>	0.0081	29.154	0.8243

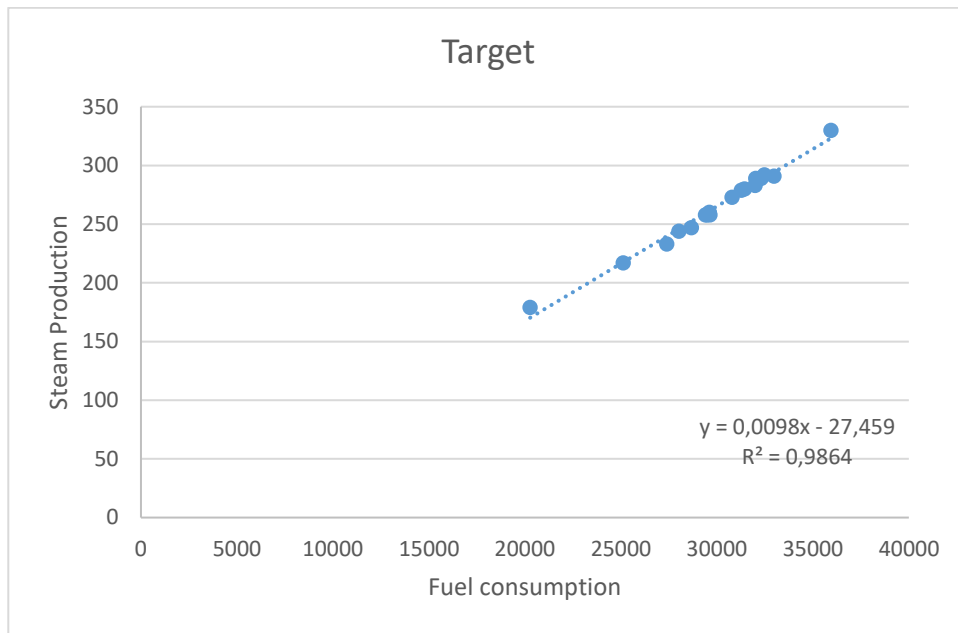
Berdasarkan nilai *incremental load* pada kedua model tersebut, didapatkan trend peningkatan konsumsi bahan bakar dan nilai *baseline* yang diperoleh lebih besar dari pada nilai *baseload*. Persamaan *baseline* digunakan untuk menghitung konsumsi yang diprediksi untuk setiap hari dengan mengganti hari tersebut menjadi formula. Dengan mengurangi konsumsi sebenarnya dari prediksi bahan bakar tiap hari untuk setiap minggu maka akan didapatkan perbedaan nilai. Dengan melakukan penambahan pada tiap selisih nilai, maka didapatkanlah grafik CUSUM untuk proses diatas, sebagai berikut :



**Gambar 4. 4** CUSUM konsumsi energi terhadap harian

Terlihat beberapa *slope* yang ada pada data lapangan yang telah diambil dan dilakukan dari bulan februari hingga Agustus, dimana grafik mengalami peningkatan secara linier berdasarkan awal hari hingga akhir data. Adanya *slope* mengindikasikan antara nilai cusum terhadap hari yang memiliki fluktuasi proses produksi berdasarkan konsumsi bahan bakar yang diberikan, sehingga jika dilihat trend pada gambar diatas, diambil 35 hari data yaitu 42-77 hari, dengan interval peningkatan yang konsisten dan digunakan sebagai acuan dalam penentuan nilai target produksi yang diinginkan.



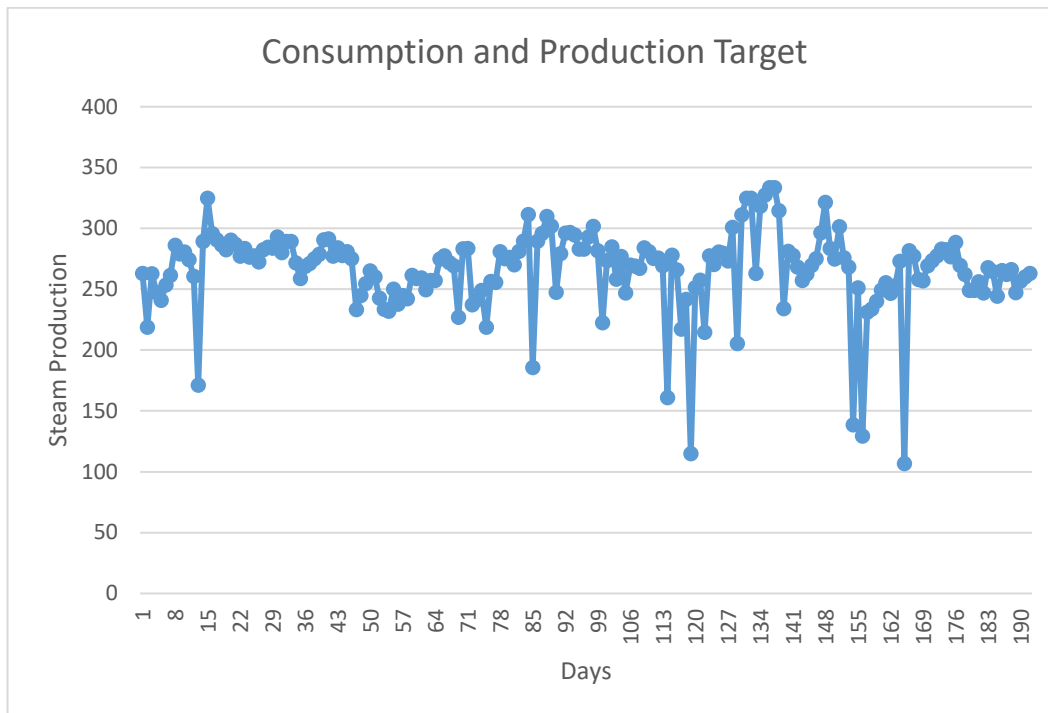


**Gambar 4. 5** Scatter plot berdasarkan target

Dari hasil regresi diatas nantinya digunakan perbandingan performansi konsumsi bahan bakar berdasarkan, total, *baseline*, dan target telah didapatkan, dimana perbandingan tersebut terdapat pada tabel dibawah :

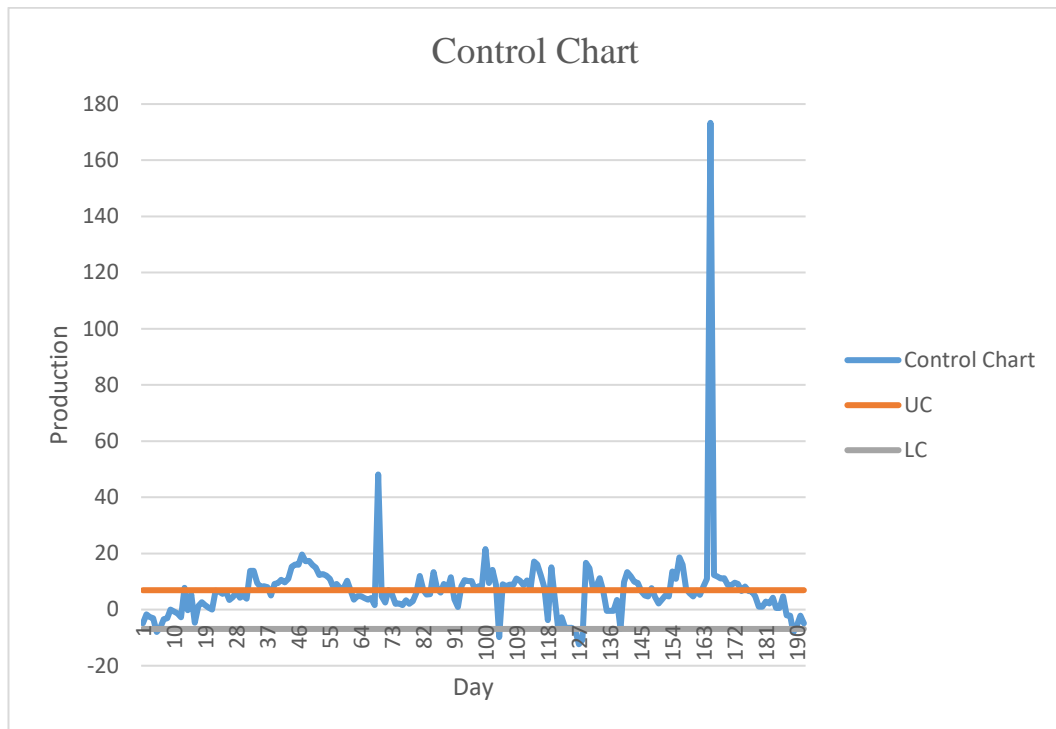
**Tabel 4. 3** Perbandingan model total, *baseline*, dan target

Model	Incremental load	Baseload	R2
Total	0.0076	46.202	0.5637
<i>Baseline</i>	0.0081	29.154	0.8243
Target	0.0098	27.459	0.9864



**Gambar 4. 6** Control chart konsumsi energi berdasarkan pekan

Pada grafik diatas merupakan nilai target yang dihasilkan berkorelasi terhadap lebih tinggi dari nilai *baseline* yang mengindikasikan bahwa terjadinya trend peningkatan konsumsi bahan bakar masih bisa diterima dengan akibat *baseload* berkurang,. Pada grafik diatas juga menunjukkan, bahwa adanya kemampuan peningkatan produksi yang bersifat berbanding lurus dengan konsumsi energinya. Pada grafik target juga, dapat digunakan sebagai dasar dalam hal pengelolaan *kinerja* konsumsi energi maupu produksi di masa yang akan datang. Hal ini juga memperlihatkan terdapat masih banyaknya fluktuasi data yang dihasilkan berdasarkan target yang diinginkan, namun jika berkorelasi dari efektifitas penggunaan panas sisa kompresor sebagai peningkatan produksi, jelas menunjukkan efektifitas yang berpengaruh dengan korelasi peningkatan bertahap jika dibandingkan dengan tanpa adanya tambahan panas dari kompresor selaku panas buang.



**Gambar 4. 7** Grafik kontrol pada produksi

Grafik diatas merupakan diagram kontrol dengan penambahan batas atas dan bawah sebagai parameter apakah data produksi yang diperoleh sesuai atau meleceng dari batas yang telah ditetapkan. Penentuan batas yang dilakukan berdasarkan nilai rata-rata selisih dari pada energi aktual terhadap produksi, yang nantinya nilai rata-rata tersebut dikali dengan 1.4. Nilai 1.4 didasari atas jumlah variabel yang dikaji dengan perhitungan awal berupa standar deviasi untuk mengetahui persebaran data-data tersebut sehingga diperoleh dalam perhitungan sebesar 1.4 sebagai parameter pengali terhadap nilai batas atas dan bawah. dan mengabaikan tanda angka positif/negatif. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada tabel excel, nilai rata-rata yang diperoleh sebesar 6.895125 telah dikali 1.4, sedangkan batas bawahnya adalah -6.895125. Grafik memperlihatkan ketersesuaian antara produksi yang dihasilkan berdasarkan *annual*, namun ada beberapa data produksi yang melenceng dari batas yang diberikan, sebagai contoh pada hari 73 dan 164, yang memiliki peningkatan produksi yang tinggi, namun hal ini tidak menmpengaruhi keseluruhan sistem karena semakin tinggi produksi *steam* yang dihasilkan maka efektifitas peningkatan daya yang dibangkitkan akan semakin tinggi.

### 4.3 Perhitungan Desain Preheating Berdasarkan Efektifitas Produksi dan Efisiensi

Sebelum dimulainya desain, diperlukan kajian khusus sebelum penentuan dimensi dan beberapa besaran inputan yang diberikan, sehingga diperlukan simulasi perhitungan untuk mengetahui luaran yang diinginkan seperti halnya pada penelitian ini yang digunakan untuk mendesain efektif dari preheating dalam memanfaatkan panas buang dari kompressor.

Input Data		Units
Boiler Pressure	11.5	SI(bar) barG
Temperature of Feed Water to Boiler	27	°C
Feed Water Rate	11.37	t(metric)/h
Calorific Value of Fuel (Low Value)	10200	kcal/kg
Fuel Consumption	1227.96	kg/h
Maximum Rated Feed Water Flow Rate	30000	kg/h

[Show Advanced Options](#)

[Clear](#)

Result	
Boiler Efficiency	57.0907 %
Boiler Load Factor	37.9 %

**Gambar 4. 8** Perhitungan Efisiensi boiler dan boiler load factor pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompressor

Simulasi perhitungan *saving cost* dihadirkan pada penelitian ini untuk membandingkan efektifitas pemanfaatan temperatur buang pada kompressor yang digunakan sebagai pemanas tambahan pada preheater, pada gambar 4. , terdapat beberapa parameter input yang digunakan meliputi tekanan masuk pada boiler sebesar 11.5 bar, temperatur pada *feedwater* menuju boiler sebesar 300 K, dengan rate *feed water heater* sebesar 11.37 t(metric)/h. Pada proses simulasi juga memberikan inputan yang diperoleh berdasarkan konsumsi bahan bakar yang diberikan selama siklus berlangsung sebesar 1227.96 kg/h dari bahan bakar, sehingga nilai efisiensi boiler yang diperoleh untuk mengekstrak daya sebesar 57.0907 % dengan boiler load factor sebesar 37.9 %, dimana presentase load factor

yang dihasilkan dibawah 40% hal ini mengindikasikan, bahwa semakin kecilnya presentase *radiation and the other losses* yang terjadi selama sistem beroperasi, namun tidak menutup kemungkinan bahwa semakin kecil *boiler load factor* yang dihasilkan menyebabkan nilai efisiensi *boiler* yang dihasilkan semakin rendah.

**Input Data**

Calorific Value of Fuel (Low Value)	10200	kcal/kg
Fuel Unit Cost	780	\$/ton
Boiler Efficiency	57.0907	

Units: SI(bar)

**Result**

Energy Unit Cost: 0.133946 \$/Mcal

**Equation(s)**

$$C_e = \frac{100C_f}{H_f \cdot \eta}$$

Hf: Calorific Value of Fuel (Low Value) (kJ/kg)  
 Cf: Fuel Unit Cost (\$/ton)  
 η : Boiler Efficiency (%)  
 Ce: Energy Unit Cost (\$/MJ)

**Gambar 4. 9** Perhitungan *energy unit cost* pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompresor

Korelasi efisiensi dan *energy cost* yang dihasilkan dapat dicari dengan beberapa parameter, meliputi nilai kalor, harga bahan bakar (dollar/ton) dan efisiensi *boiler* yang dihasilkan, sebesar 57.0907 %, sehingga dari ketiga variabel utama tersebut, diperoleh nilai *energy unit cost* sebesar 0.133946, hal ini mengindikasikan, bahwa energi yang diproduksi memiliki faktorisasi antara *cost* yang dikeluarkan dengan energi yang dihasilkan sebesar 0.133946 per dollar/Mcal. Pada umumnya *unit cost* diketahui berdasarkan tagihan dari pemasok, jika ada pengurangan demand maka akan mengurangi *unit cost*, Semakin kecil nilai *unit cost* yang diperoleh maka dapat melakukan *saving* yang lebih besar selama sistem beroperasi.

**Input Data**

	Units	SI(bar)
Steam Pressure	11.5	barG
Temperature of Feed Water to Boiler	27	°C
Energy Unit Cost	0.133946	\$/Mcal

[Show Advanced Options](#)

**Result**

Steam Unit Cost	85.506	\$/ton
-----------------	--------	--------

**Equation(s)**

$$C_s = C_e(h_g - h_{fw})$$

🔍

 Ce : Energy Unit Cost (\$/MJ)  
 Cs : Steam Unit Cost (\$/t)  
 hg : Specific enthalpy of steam at boiler pressure (kJ/kg)  
 hfw: Specific enthalpy of feed water (kJ/kg)

**Gambar 4. 10** Perhitungan *steam unit cost* pada sistem pengoperasian tanpa memanfaatkan panas kompresor

Hal yang sama diberlakukan terhadap *steam* dalam *unit cost* yang dikeluarkan, dimana parameter utama yang digunakan berupa tekanan *steam*, temperatur pada *feedwater*, dan energi *cost* yang dihasilkan pada perhitungan sebelumnya, dari parameter tersebut diperlihatkan bahwa *steam cost* yang diperoleh sebesar 85.506 dollar/ton, hal ini tentunya berhubungan dengan *energy unit cost* yang dihasilkan selama sistem beroperasi. Sehingga data yang dihasilkan pada pengujian pertama nantinya digunakan sebagai data *baseline* untuk mengetahui efektifitas dari temperatur buang pada kompresor yang didinginkan dengan *cooling tower*. Hal ini dijelaskan pada gambar 4. 10.

**Input Data**

Units: SI(bar) ▾

Boiler Pressure	11.5	barG ▾
Temperature of Feed Water to Boiler	9	°C ▾
Feed Water Rate	11.37	t(metric)/h ▾
Calorific Value of Fuel (Low Value)	10200	kcal/kg ▾
Fuel Consumption	1227.96	kg/h ▾
Maximum Rated Feed Water Flow Rate	30000	kg/h ▾

[Show Advanced Options](#)

Calculate [Clear](#)

**Result**

Boiler Efficiency	58.7247	% ▾
Boiler Load Factor	37.9	% ▾

**Gambar 4. 11** Perhitungan Efisiensi *boiler* dan *boiler load factor* pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompresor

Perbedaan perhitungan yang dilakukan terdapat pada temperatur masukan dari *feedwater* menuju *boiler*, dimana selisih temperatur rata-rata sebesar 9.02°C atau 282° K, dengan beberapa variabel dan nilai yang sama pada perhitungan sebelumnya, terlihat bahwa, efisiensi *boiler* yang dihasilkan sebesar 58.7247 %, dengan kata lain terjadinya peningkatan efisiensi sebesar 1.634 %, hal ini mengindikasikan bahwa ekstraksi temperatur masukan yang diberikan dengan temperatur rendah dapat meningkatkan efisiensi *boiler* yang dihasilkan akibat dari desain dari pada *boiler* yang memiliki karakteristik yang bekerja pada temperatur yang lebih rendah, dengan *boiler load factor* sebesar 37.9% yang notabene memiliki nilai yang sama pada perhitungan sebelumnya.

Input Data		Units
Calorific Value of Fuel (Low Value)	10200	kcal/kg
Fuel Unit Cost	780	\$/ton
Boiler Efficiency	58.7247	

[Show Advanced Options](#)

Energy Unit Cost 0.130219 \$/Mcal

**Result**

**Equation(s)**

$$C_e = \frac{100C_f}{H_f \cdot \eta}$$

⊕
 H<sub>f</sub>: Calorific Value of Fuel (Low Value) (kJ/kg)  
 C<sub>f</sub>: Fuel Unit Cost (\$/ton)  
 η : Boiler Efficiency (%)  
 C<sub>e</sub>: Energy Unit Cost (\$/MJ)

**Gambar 4. 12** Perhitungan energy unit cost pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompressor

Dengan efisiensi boiler yang dihasilkan berbeda, tentunya nilai energy unit cost yang dihasilkan lebih baik, dimana dengan parameter input dan nilai yang sama yaitu, nilai kalori dan bahan bakar, diperoleh energy unit cost sebesar 0.130219, sehingga bisa dilihat bahwa terjadi penurunan yang pada awalnya memiliki nilai 0.133946 dengan korelasi penurunan sebesar 0.003727 dollar/Mkal, dan tentunya nilai tersebut memiliki signifikan penghematan yang tinggi jika hal ini diterapkan pada sistem operasi pada pembangkit dengan jangka waktu yang lama.



**Input Data**

Steam Pressure	11.5	barG
Temperature of Feed Water to Boiler	35	°C
Energy Unit Cost	0.130219	\$/Mcal

Units: SI(bar)

**Result**

Steam Unit Cost: 82.0851

**Equation(s)**

$$C_s = C_e (h_s - h_{fw})$$

Ce : Energy Unit Cost (\$/MJ)  
 Cs : Steam Unit Cost (\$/t)  
 hs : Specific enthalpy of steam at boiler pressure (kJ/kg)  
 hfw: Specific enthalpy of feed water (kJ/kg)

**Gambar 4. 13** Perhitungan *steam unit cost* pada sistem pengoperasian memanfaatkan panas kompresor

Dari keseluruhan perhitungan yang dilakukan, pada gambar 4.13, menjelaskan *steam unit cost* yang dihasilkan pada pemanfaatan temperatur pada kompresor menuju *boiler*, dimana penghematan per dollar/ton sebesar 3.4229 dollar/ton, hal ini mengindikasikan bahwa selama pengoperasian *steam unit cost* yang dihasilkan berdasarkan pemberian bahan bakar dapat di *saving* sebesar 3.4229 dollar/ton.

Dalam menghitung efisiensi *boiler*, 2 sampling temperatur diambil berdasarkan rata-rata selisih yang dihasilkan dari temperature masuk dan keluar pada *cooler* kompresor dengan sample sebanyak 288 data, dengan kondisi saat ini yaitu temperatur masuk 23.77 °C dan temperatur keluar adalah 32,79° dimana temperature *feedwater* rata-rata 27°C . Sehingga perhitungan ini mengkhususkan kalkulasi temperatur pada *feedwater* sebelum dan sesudah di preheating yang dihasilkan untuk mengetahui besaran efisiensi pada *boiler*. Berdasarkan data tersebut didapat perhitungan seperti dibawah :

$T_{feedwater} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

LHVV = 10200 kkal / kg,

SG = 994 kg / M3

hf = 27,29 kkal / kg,

hg = 666,06 kkal / kg,

Steam menghasilkan 11370 kg / jam

$\eta_{actual} = \{(11370 \times (666.06 - 27.29) \times 1000) / (1227.96 \times 10200 \times 994)\} \times 100 = 57.09\%$

Air umpan ,  $\Delta T = 9^\circ\text{C}$ ,

LHVV = 10200 kkal / kg,

SG = 994 kg / M3,

hf = 9,318 kkal / kg,

hg = 666,06 kkal / kg,

Steam menghasilkan 11370 kg / jam

$\eta_{imp} = \{(11370 \times (666.06 - 9.318) \times 1000) / (1227.96 \times 10200 \times 994)\} \times 100 = 58.728\%$

**Tabel 4. 4** Perbandingan penggunaan preheating

Perhitungan Komponen	Hasil Perhitungan	
	Sebelum <i>Preheating</i>	Setelah <i>Preheating</i>
<i>Boiler Efficiency (%)</i>	57.09	58.72
<i>Energy Unit Cost (\$/Mcal)</i>	0.133946	0.130219
<i>Steam Unit Cost (\$/Ton)</i>	85.508	82.0851

Tabel 4.4 merepresentasikan rekap data yang diperoleh berdasarkan simulasi perhitungan yang dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah memasuki proses *preheating* dimana, efisiensi dan efektifitas tertinggi terjadi pada saat sistem beroperasi setelah dilakukannya *preheating*, karena pada *preheating* diperuntukkan untuk sistem pemanas air *boiler feedwater* sehingga meningkatkan efisiensi, dengan memanfaatkan panas hasil buangan dari kompressor. Namun patut dikaji bahwa, pengoperasian *preheating* tergantung dari bahan bakar yang digunakan karena gas buang yang dihasilkan memiliki kandungan sulfur yang berbeda sehingga ketika pengoperasian menggunakan bahan bakar gas sistem outlet

preheater akan dioperasikan full open sedangkan ketika penggunaan oil terjadi sistem close, hal ini dikarenakan kandungan sulfur pada gas buang dengan bahan bakar gas lebih rendah, korelasi ini tentunya tertuju pada peningkatan temperatur inlet sehingga pada akhirnya low pressure auxiliary steam dapat dikurangi untuk proses dearasi sehingga nantinya digunakan untuk memutar turbin dan tentunya akan terjadi peningkatan produksi terhadap sistem operasi.

#### 4.4 Penghematan Penggunaan Panas Buang Kompresor

Berdasarkan analisa penggunaan sebelum dan sesudah preheating diperlihatkan bahwa, *feedwater boiler* dapat dinaikkan hingga 9.02°C, dimana dengan excess temperatur ini memiliki potensi yang dapat disimpan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Hemat energi} &= \Delta\eta * \text{total energi / ton} * \text{total produksi uap} \\ &= (58,72\% - 57,09) * 1.024.000 \text{ kkal / Ton} * 11,37 \text{ Ton / Jam} \\ &= 193.126 \text{ kkal / jam atau } 808.039 \text{ Kj/jam} \end{aligned}$$

Penghematan Energi total dalam 24 jam = 193126 \* 24 = 4.635.024 kkal / hari atau 19.392.941 kj/hari.

Berdasarkan table 4.4 diperlihatkan jika memanfaatkan panas kompresor sebagai pemanas mula didapatkan selisih keuntungan atau  $\Delta Cs = \$85.508 - \$82.0851$  sebesar \$3.42 per ton, jika operasi *package boiler unit 2* selama 24 jam sehari dan setahun selama 330 hari maka biaya bahan bakar dapat ditekan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Saving Cost} &= \Delta Cs * \text{steam production} * 24 * 330 \\ &= 3.42 * 11.37 \text{ ton/hrs} * 24 * 330 \\ &= \$307.972 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Jadi total biaya pemakaian bahan bakar yang dapat ditekan selama setahun untuk *package boiler 2* pada *Thermal Plant*, PT. Vale Indonesia adalah \$307.972

#### 4.5 Perhitungan Heat loss Pada Perancangan

Perancangan instalasi pemanfaatan temperatur buang dari kompresor menuju feed water heater dipaparkan pada sub bab ini dengan fokus perhitungan *heat loss* yang diperoleh berdasarkan penentuan dimensi dari instalasi pipa, keadaan yang ditunjukkan berdasarkan nilai output pada keluaran kompresor. Parameter *heat*

*loss* merupakan bagian dari permasalahan neraca energi suatu sistem, Dimensi dari pipa sebesar 4 inch dengan panjang 10 meter. Material *stainless steel* digunakan sebagai material utama pembuat sistem perpipaan dengan penambahan insulin yang bertujuan untuk mengurangi *heat loss* yang dihasilkan, disamping itu terdapat vairabel-variabel yang dibutuhkan pada perhitungan *heat loss*, mencakup diameter *iner* dan *outer* dengan penggunaan insulin sebagai media penahan panas, dan dilanjutkan dengan ketetapan yang digunakan dalam perhitungan *heat loss*, meliputi laju *heat loss* pada proses konduksi, konveksi, dan radiasi, tentunya hal ini akan dibandingkan dengan penggunaan insulin silika sepanjang bagian *outer surface* pada pipa, sehingga diharapkan memberikan dampak dari pengurangan *cost* yang dibebankan. Berikut data propertis dari material *stainless steel* dan silika.

**Tabel 4. 5** Karakteristik dan geometri pipa *stainless steels*

Parameter	Simbol	Ukuran
Diameter dalam pipa (m)	D1	0.1016
Jari-jari pipa (m)	R <sub>1</sub>	0.0508
Panjang pipa (m)	L	10
Emisifitas	ε	0.58
Konduktifitas <i>thermal</i> (W/m.k)	k	0.15
Koefisien transfer konveksi (W/m.k)	h	3,632
Jari-jari luar pipa	R <sub>2</sub>	0.057

**Tabel 4. 6** Data insulin material kalsium silikat

Material kalsium silikat	Ukuran
Ketebalan (m)	0.025
Jari-jari (m)	0.0695
Konduktifitas <i>thermal</i> (W/m.k)	0.074
Emisifitas	0.9

Data yang diperoleh merupakan parameter desain yang nantinya di implementasikan dalam pemanfaatan temperatur buang pada sisi keluaran kompresor, untuk pemilihan kalsium silikat di dasari karakteristik material yang

ringan dengan nilai konduktifitas *thermal* yang rendah, di sisi lain dapat menahan temperatur tinggi dengan jarak  $-8^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ .

Hal pertama adalah menghitung *heat loss* tanpa insulin, yang dipaparkan sebagai berikut :

Laju kehilangan panas pada proses konduksi tanpa insulin

$$\dot{Q}_K = \frac{2\pi KL}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (\Delta T) = \frac{2 \times \pi \times 0.15 \times 10}{\ln \frac{0.057}{0.0508}} (9) = 736.257 \text{ kj/s}$$

Laju kehilangan panas pada proses konveksi tanpa insulin

$$\dot{Q}_h = 2\pi r_2 L h (\Delta T) = 2 \times \pi \times 0.057 \times 10 \times 3.632 \times 9 = 104.12 \text{ kj/s}$$

Laju kehilangan panas pada proses radiasi

$$\dot{Q}_r = \sigma \varepsilon \Delta T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.58 \times (32.89^4 - 23.89^4) = 32.4171 \text{ kj/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Total heat loss} &= \dot{Q}_k + \dot{Q}_h + \dot{Q}_r = 736.257 \frac{\text{kj}}{\text{s}} + 104.12 \frac{\text{kj}}{\text{s}} + 32.4171 \frac{\text{kj}}{\text{s}} \\ &= 872.8 \frac{\text{kj}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Pengaruh laju konveksi dan radiasi memperlihatkan pelepasan energi kalor dipengaruhi oleh konveksi alam dan radiasi kalor yang terjadi karena perbedaan temperatur antara permukaan luar pipa dengan temperatur udara luar, Perpindahan kalor secara konveksi alami terjadi oleh terpanaskannya udara pada sekitar dinding pipa dimana nilai densitas yang dihasilkan menurun sehingga udara dengan karakteristik panas naik dan ditempati oleh udara yang tidak panas. Sehingga ,menghasilkan laju perpindahan panas yang bersifat konveksi. Sedangkan untuk total *heat loss* yang dihasilkan berdasarkan jenis perantara *thermal* dengan total 872.8 kj/s.

Hal yang sama diberlakukan pada penggunaan insulin pada bagian *outer* diameter pipa *stainless steel*, dengan perhitungan sebagai berikut :

Laju kehilangan panas pada proses konduksi dengan insulin

$$\dot{Q}_K = \frac{2\pi KL}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (\Delta T) = \frac{2 \times \pi \times 0.075 \times 10}{\ln \frac{0.0695}{0.0508}} (9) = 270.49 \text{ kj/s}$$

Laju kehilangan panas pada proses konveksi dengan insulin

$$\dot{Q}_h = 2\pi r_2 L h (\Delta T) = 2 \times \pi \times 0.0695 \times 10 \times 3.632 \times 9 = 142.67 \text{ kj/s}$$

Laju kehilangan panas pada proses radiasi dengan insulin

$$\dot{Q}_r = \sigma \varepsilon \Delta T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.58 \times (32.89^4 - 23.89^4) = 50.3 \text{ kJ/s}$$

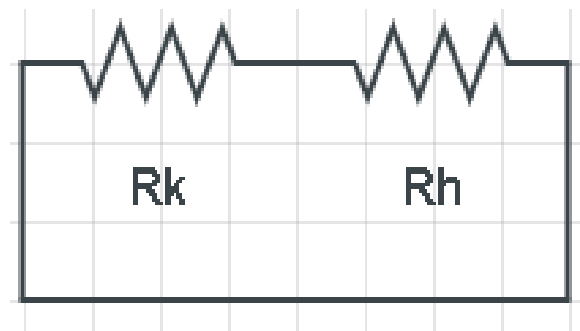
$$\begin{aligned} \text{Total heat loss} &= \dot{Q}_k + \dot{Q}_h + \dot{Q}_r = 270.49 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} + 142.67 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} + 50.3 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\ &= 463.46 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Sehingga dari perhitungan *heat loss* yang dihasilkan sebelum dan setelah penggunaan insulin kalsium silika, di paparkan kerugian yang dihasilkan berdasarkan kilojoule per sekon dengan korelasi perbandingan *heat loss* digunakan sebagai acuan *saving cost* yang dapat dihasilkan, yaitu :

$$\begin{aligned} &\text{Total heat loss (tanpa insulin)} - \text{total heat loss (insulin)} \\ &= 872.8 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} - 463.46 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 409.34 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Sehingga pemanfaatan silika sebagai media insulin dapat mengurangi *heat loss* yang dihasilkan selama sistem beroperasi sebesar 463.46 kJ/s. Hal ini tentunya memberikan dampak positif pada laju kalor yang dihasilkan selama proses, dimana *saving cost* yang dihasilkan merupakan sistematika dari pengurangan total *heat loss* sebelum dan sesudah penggunaan insulin dengan nilai perbedaan sebesar 409.34 kJ/s.

Sehingga dapat dilanjutkan pada tahap permodelan hambatan termal yang terjadi, dimana rangkaian hambatan dijelaskan pada gambar 4.13, yang terdiri dari satu jalur seri dengan klasifikasi berdasarkan hambatan konduksi dan konveksi yang dihasilkan, hal ini dipaparkan pada perhitungan dibawah :



**Gambar 4. 14** Rangkaian hambatan sebelum penggunaan insulin pada pipa *stainless steel*

Sehingga dari rangkaian yang dibuat, perhitungan hambatan secara seri terhadap hambatan konduksi dan hambatan konveksi dapat dihitung seperti berikut :

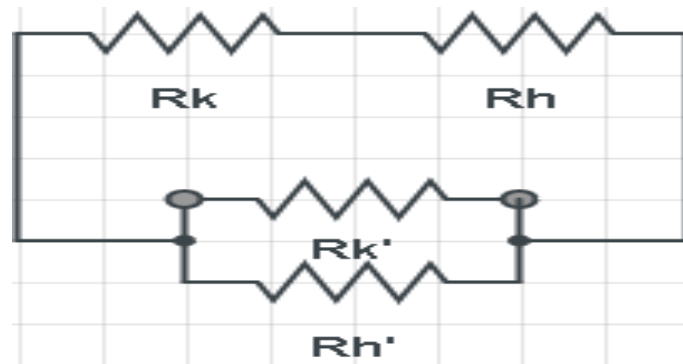
$$R_k = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi kL} = \frac{\ln \frac{0.057}{0.0508}}{2 \times \pi \times 0.15 \times 10} = 0.0122 \text{ k/w}$$

$$R_h = \frac{1}{2\pi r_2 Lh} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.057 \times 10 \times 3.632} = 0.07691 \text{ k/w}$$

Hambatan *thermal* seri :

$$R = R_1 + R_2 = 0.0122 + 0.07691 = 0.0891 \text{ k/w}$$

Hal yang sama dilakukan pada pendesainan rangkaian hambatan pada penambahan insulin sepanjang pipa, dimana rangkaian terdiri dari tiga jalur meliputi, jalur rangkaian seri, dan 2 jalur rangkaian paralel yang didasari pada distribusi pansa yang ditransfer pada sisi keluar dan dalam pipa.



**Gambar 4. 15** Rangkaian hambatan setelah penggunaan insulin pada pipa *stainless steel*

Perhitungan yang sama diberikan pada penggunaan insulin kalsium silika, dengan rangkaian yang telah dijelaskan pada gambar 4. 14 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$R_k = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi kL} = \frac{\ln \frac{0.0695}{0.0508}}{2 \times \pi \times 0.074 \times 10} = 0.0674 \text{ k/w}$$

$$R_h = \frac{1}{2\pi r_2 Lh} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.0695 \times 10 \times 3.632} = 0.063 \text{ k/w}$$

Hambatan *thermal* paralel :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{0.0674} + \frac{1}{0.063} = 0.0325 \text{ k/w}$$

Hambatan *thermal* total terhadap rangkaian sebesar :

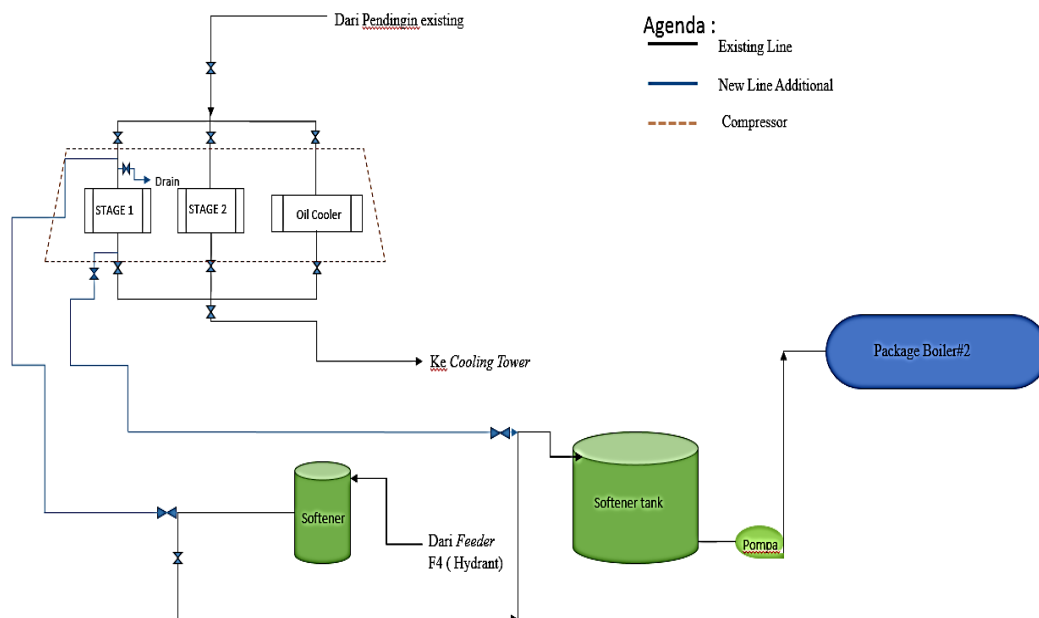
$$R_{tot} = R_{seri} + R_{paralel} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{1}{0.0891} + \frac{1}{0.0325} = 0.0238 \text{ k/w}$$

Sehingga perhitungan hambatan thermal mendeskripsikan kehilangan panas pada saat sebelum dan sesudah penambahan insulin selama pengoperasian. Untuk Design dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.6 Desain Pemanfaatan Panas Kompresor *Thermal Plant*

Desain dibuat berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya, hal ini dikombinasikan dengan *thermal plant* yang digunakan sebagai parameter input yaitu sisa panas dari kompresor.

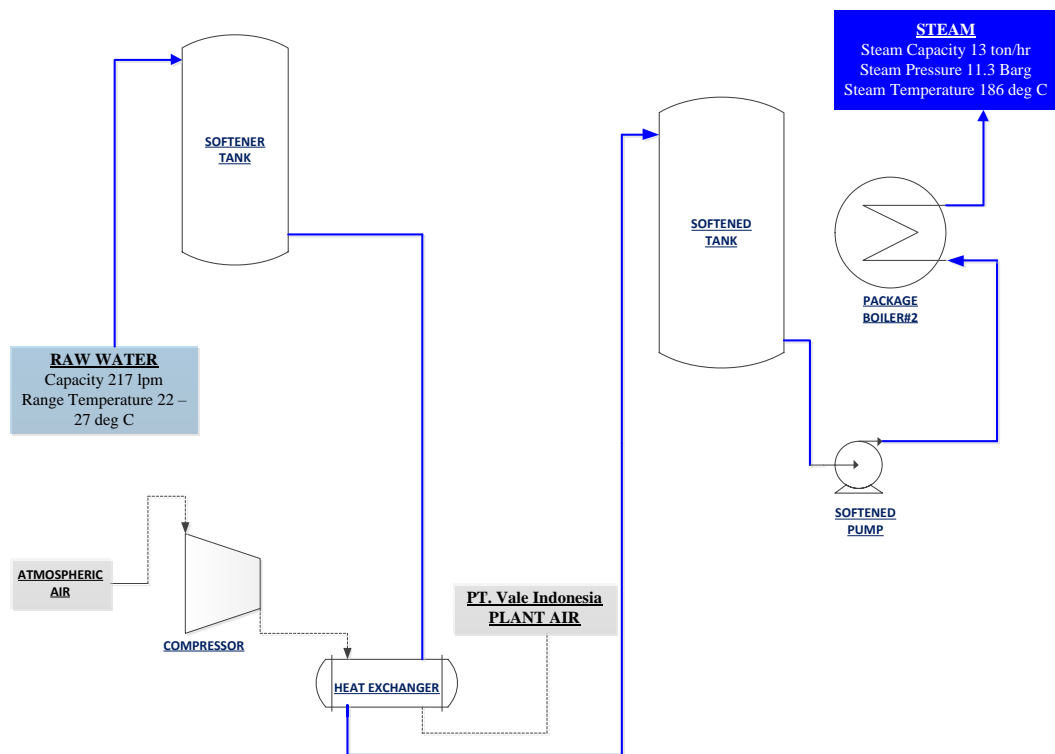
Sketsa Design Pemanfaatan Panas Kompresor Thermal Plant



**Gambar 4. 16** Sketsa desain pemanfaatan panas kompresor *thermal plant*

Gambar 4.16 menunjukkan sketsa desain yang telah dibuat dengan beberapa komponen pendukung dalam pemanfaatan panas dari kompresor. Berdasarkan hasil perhitungan dan design maka proses flow diagram pada system adalah sebagai berikut :





**Gambar 4. 17** Proses Flow Diagram Pemanfaatan Panas Kompresor

Berdasarkan gambar 4.16 dan 4.17 sketsa desain dan *proces flow diagram* dapat dijelaskan sebagai berikut :

Air dari *softener* untuk *feedwater boiler* dialirkan menuju ke kompresor digunakan untuk pendinginan dimana panas yang dilepas oleh udara kompresor kemudian dimanfaatkan untuk pemanasan mula *feedwater boiler*, potensi temperature yang dapat dimanfaatkan sebesar 9°C dimana dengan memanfaatkan panas tersebut dapat meningkatkan efisiensi kompresor sebesar 1,64% serta meningkatkan lifetime dari cooler kompresor dan memperpanjang masa pembersihan atau perawatan dari cooler kompresor. Pada sketsa desain kompresor yang dipilih untuk adalah kompresor unit 1 pada stage 1 hal ini dikarenakan kesesuaian antara feedwater rata-rata yang dibutuhkan oleh boiler untuk memproduksi steam sesuai data sebesar 13 ton/jam atau 217 lpm sebanding dengan jumlah air pendingin yang dibutuhkan kompresor unit 1 pada stage yaitu 217 LPM.

*Halaman sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan proses pengambilan data dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa pemanfaatan panas buang pada kompressor panas yang dapat digunakan jika feedwater boiler dijadikan sebagai pendingin kompresor sebesar  $9.02^{\circ}\text{C}$ , hasil pengamatan dan perhitungan menunjukkan bahwa *load package boiler #2* saat ini sekitar 13 ton/jam atau setara 217 lpm *feedwater*nya dapat dijadikan pendingin kompresor unit 1 stage 1 atau 2 dengan pola aliran *one trough* dimana flow air pendingin yang dibutuhkan kompresor tersebut sebesar 217 lpm hal ini tentunya berdampak pada pengurangan penggunaan fuel, penghematan yang dilakukan setara dengan penghematan energi sebesar 4.635.024 kkal / hari atau 19.392.941 kj/hari atau pengurangan biaya bahan bakar sebesar \$307.972,00 dan peningkatan efisiensi *boiler* pun meningkat hingga 1.64%, *heat loss* jika menggunakan insulin adalah 463.46 kj/s sedangkan tanpa insulin *heat loss* nya adalah 872.8 kj/s. Pada disisi lain korelasi peningkatan konsumsi bahan bakar dan produksi *steam* yang dihasilkan berbanding lurus dengan peningkatan laju alir uap, hal ini diperlihatkan pada grafik cusum yang menunjukkan, bahwa adanya kemampuan peningkatan produksi yang bersifat berbanding lurus dengan konsumsi energinya. Pada grafik target juga, dapat digunakan sebagai pedoman dalam hal pengelolaan *kinerja* konsumsi bahan bakar maupun produksi di masa yang akan datang. Hal ini juga memperlihatkan terdapat masih banyaknya fluktuasi data yang dihasilkan berdasarkan target yang diinginkan, namun jika berkorelasi dari efektifitas penggunaan panas sisa kompressor sebagai peningkatan produksi, jelas menunjukkan efektifitas yang berpengaruh dengan korelasi peningkatan bertahap jika dibandingkan dengan tanpa adanya tambahan panas dari kompressor selaku panas buang.

*Halaman sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- R. Keith Mobley, *Plant engineer's handbook, Rev.ed*, pp. 552–553, 2001.
- Teresa SZYMURA, *Research on incrustation in a model evaporative cooler, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii., Vol40*, pp. 99-108, 2006.
- Ascolese CH.R., BAIN D.J, Take Advantage of effective cooling-Water - treatment program, *Chemical Engineering Progres*, no. 3, pp. 49–54, 2010.
- M.C. Barma, R. Saidu, S.M.A. Rahman, A. Allouhi, B.A. Akash, Sadiq M. Sait, "A review on *boilers energy use, energy savings*, and emissions reductions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, 2017, PP.970-983.
- United Nation Environment Programme, Kompresor dan sistem udara tekanan, Pedoman efisiensi energi untuk industri Asia pp. 1–12, 2006..
- United Nation Environment Programme, *Boiler* dan pemanas fluida termis, Pedoman efisiensi energi untuk industri Asia pp. 1–, 2006.
- Ingersol- rand company "C250 Instruction manual Rev 2," PP 1 -75,2000
- Gavin Towler Ph.D. and R K Sinnott ,Chemical Engineering design 2<sup>nd</sup> edition" Principles,practice and economic of plant and *process* design Chapter 3,PP.103-158,2012
- Ondeo Degremont ,Water Treatment Handbook Basic physical chemical *processes* water treatment,Chapter 3,PP.253-254,2002
- ASME,*Feedwater* Task Group,Consensus On Operating Practices for the Control of *feedwater* and *Boiler* Water Ihemistry in Modern Industrial *Boilers*, Industrial Subcommittee Of the ASME Research And Technology Committee On Water And *Steam* In *Thermal* Power Syste, vol.34,PP 25-26,1994
- Alborg Industries ,package *boiler#2* Handbook" ,PP.7-45,1996
- Kenneth J. Bell, 2004 , Heat Exchanger Design for the *Process* Industry, *ASME Journal of Heat Transfer* 126 (6), 877–885 , 2004

Chengel, Yunus A, Heat Transfer, *McGrawHill*, New York, 2017.

Rakesh Jain, Devendra Dandotiya, Abhishek Jain , Performance Improvement of a *Boiler* through Waste Heat Recovery from an Air Conditioning *Unit*, *Vol. 2*, *issue 2*,2013

Gireesh Kumar<sup>1</sup>,Manish Kumar soni, A Journal paper on Fuel Optimization &increase *boiler* efficiency by heat extraction system, Vol.03 Issue-06, June 2015

G.R.Mahesh , G.Srinivasa Rao, M.V.Giridhar , *Energy Audit of Boiler Feed Pump System and Air Compressors in a Thermal Power Plan*, Vol. 2 Issue 10, October – 2013

Pawan Kumar Gupta, S.p Asthana, Neha Gupta , A Study based on design of air compressor intercooler, Vol. 1 Issue 7, PP 186-203, 2013

# LAMPIRAN 1

## DATA SERTIFIKASI ALAT UKUR FLOW METER

N.I.S.T INFORMATION

---

**Rosemount.** F-R Tecnologias de Flujos, S.A. de C.V.  
Ave. Miguel de Cervantes 111  
Complejo Industrial Chihuahua  
Chihuahua, Chih., Mexico 31169  
Tel 011522 429-7058  
Fax 011522 429-7059

25-SEPT-2007 CALIBRATOR SERIAL NUMBER / TRACE NUMBER: 0860236930  
Calibration Date: 9/25/07  
BT14 D - Characterized Four Point Switch Calibrator

**Certificate Of Calibration And Traceability To Nist  
Consistent With ISO 10474 3.1B**

---

Equipment Name: CALIBRATOR  
Model Number: 8714DQ4  
Serial Number: 0860236930  
Identification Number: 0860236930  
Customer: EPM ASIA PACIFIC PTE LTD  
Customer P.O.: 58168742  
Sales Order: 1096058  
Date Calibrated: 25-SEPT-2007

The accuracy and calibration of all instruments used in this calibration are traceable to the National Institute of Standards and Technology. The instruments and test software used to perform the calibration are as follows:

Test Equipment	
Instrument	ROSEMOUNT Instrument Number
Digital Multimeter	CM3-0883
Digital Non-Volt Micro ohm Meter	CM3-0335
Standard Resistor	CM3-0331
Test Software	Revision 3.0

**Calibration Data**

Switch Position	As Received	After Calibration (fps)	After Calibration (%)	Accuracy	Yearly Drift Specification
30	N/A	30.00000	0.000%	+/- .050%	+/- 0.100%
10	N/A	10.00012	0.001%	+/- .100%	+/- 0.100%
3	N/A	2.99947	-0.018%	+/- .100%	+/- 0.100%

Recommended Calibration Date: 25-SEPT-2008  
Measuring and test equipment used in the manufacture and inspection of the above items is directly traceable to the National Institute of Standards and Technology. This traceability is intended to satisfy the intent of MIL-STD-45662, Notice 1.

**J. MARTINEZ**  
FACTORY REPRESENTATIVE

PSIBER -ROSEMOUNT

---

STANDARDS USED FOR CALIBRATION

Model	E-Number	Last Calibrated	Calibration Due
HP 34401A	CM3-0803	05-08-07	11-08-07
HP 34420A	CM3-0335	05-08-07	11-08-07
1 Ohm Resistor	CM3-0331	05-09-07	11-09-07
Hygrometer	CM3-0884	01-25-07	01-25-08

CALIBRATION DATA

	30 Ft/sec	10 Ft/sec	3 Ft/sec
As Received	29.9999	10.0000	2.9995
After Calibration	30.0000	10.0001	2.9995

GENERAL INFORMATION

Calibrator Location: EPM ASIA PACIFIC PTE LTD  
Customer PMA Number: N/A  
Calibration Cycle: 12 Month  
Recommended Calibration Date: 9/25/08  
Test Temperature: 76  
Test Humidity: 37  
Procedure Number: proc\_RUM  
Procedure Revision: A  
Procedure Revision Date: proc\_date  
Test Software: Ver 3.0

## LAMPIRAN 2

### DATA SAMPLE FLOW TEST COOLING WATER

#### Test Flow Cooling water

##### Centrac #1 → Kondisi unit Running

Inlet Cooling water : 13 - 14 L/s  
 outlet : 12 - 13 L/s  
 Stage 1 Inlet : 4.0 - 4.4 L/s  
 Stage 1 outlet : 4.0 - 4.3 L/s  
 Stage 2 Inlet : 3.0 - 3.3 L/s  
 Stage 2 outlet : 3.2 - 3.4 L/s  
 Stage 2 outlet farway : 3.2 L/s

##### Centrac #6 → Kondisi unit not running

Inlet Cooling water : 6.4 - 6.9 L/s  
 outlet : Pembacaan tidak stabil (0 - (-1 atau -2))  
 Stage 1 Inlet : 3.1 - 3.2 L/s  
 Stage 1 outlet : 3.2 - 3.4 L/s  
 Stage 2 Inlet farway : 2.7 - 2.8 L/s  
 Stage 2 outlet : 2.8 - 2.9 L/s  
 Stage 2 Inlet : 2.3 - 2.4 L/s  
 Stage 2 outlet farway : 0.0 L/s

##### Centrac #2 → unit running

Inlet : 33 - 35 L/s  
 outlet : 34 - 36 L/s

16.1.1.1



### LAMPIRAN 3

#### Data Kompresor *plant Air Thermal* section dan pengamatan *Intake temprature*

MOTOR								
No	SERIAL NUMBER	TYPE	RPM	AMP	MAX.AMB TEMP	FRAME	HORSE POWER	WEIGHT
COMPRESSOR								
No	MODEL	SERIAL	INTAKE CAPACITY	INTAKE PRESSURE	DISCHARGE PRESSURE	RATED SPEED	INTAKE TEMPERATURE	
1	1ACII23MX2	M90-5293	2241.164 scfm	0.921 bar	8.53 bar	2976 rpm	24 °C	
2	1ACII21MX2	M79-1704/05	1578 scfm	0.921 bar	8.53 bar	2975	22 °C	
3	1ACII21MX2	M79- 704/05	1578 scfm	0.921 bar	8.53 bar	2975 rpm	24 °C	
4	1ACII18MX2	M95-8668	1593 scfm	1.223 bar	8.53 bar	3000 rpm	24 °C	
5	1ACII18MX2	M95-8668	1578 scfm	0.922 bar	7.58 bar	2975 rpm	24 °C	
6	1ACII23MX2	M95-5393	2252 scfm	0.922 bar	8.53 bar	2975 rpm	22 °C	
7	1ACII18MX2	M95-8668	1593 scfm	1.223 bar	8.53 bar	3000 rpm	23 °C	
8	2AC1150MX3	M96-9083	4386 scfm	0.942 bar	7.58 bar	2975 rpm	24 °C	
9	2AC1150MX3	M96-9082	4386 scfm	0.942 bar	7.58 bar	2975 rpm	25 °C	
10	2AC1150MX3	M96-9081	4386 scfm	0.942 bar	7.58 bar	2975 rpm	26 °C	
11	2AC1150MX3	M95-8667	4488 scfm	0.942 bar	7.58 bar	2975 rpm	27 °C	
12	C950553ST	C134 89/2006	5547 scfm	0.922 bar	9.57 bar	2975 rpm	28 °C	
13	C950553ST		5547 scfm	0.922 bar	9.57 bar	2975 rpm	29 °C	
14	C1000-C200MX3	V8538/2013	5519.27 scfm	0.922 bar	9.07 bar	2975 rpm	30 °C	
15	C1000-C200MX3		5519.27 scfm	0.922 bar	9.07 bar	2975 rpm	31 °C	

#### LAMPIRAN 4

### **CENTAC® Compressor Specifications**

This data has been tabulated for serial number **C12488**

### **CENTAC® Compressor Specifications**

This data has been tabulated for serial number **C12488**

	<b>Value</b>	<b>Units</b>
Nominal Inlet Capacity	157.068	M3/min
Barometric Pressure	13.679	psia
Inlet Pressure	13.379	psia
Discharge Pressure	125.866	psig
Inlet Temperature	35.0	deg C
Relative Humidity	80	%
Rated Speed	2975	rpm
Water Temperature	35.0	deg C
Water Temperature Rise	11.11	deg C
Stage 1 Cooler Water Flow	350.095	lpm
Stage 2 Cooler Water Flow	471.964	lpm
Aftercooler Water Flow	378.395	lpm
Oil cooler Water Flow	255.2	lpm
Total Water Flow	1455.7	lpm
Stage 1 C.T.D.	8.833	deg C
Stage 2 C.T.D.	10.167	deg C
Stage 3 C.T.D.	6.944	deg C

## LAMPIRAN 5

### Data Pengukuran Cooling Water Compressor Unit 1

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
1	10/27/18 7:00 AM	24	33	9
2	10/27/18 8:00 AM	24	33	9
3	10/27/18 9:00 AM	24	33	9
4	10/27/18 10:00 AM	24	33	9
5	10/27/18 11:00 AM	25	34	9
6	10/27/18 12:00 PM	25	33	8
7	10/27/18 1:00 PM	25	34	9
8	10/27/18 2:00 PM	25	34	9
9	10/27/18 3:00 PM	24	33	9
10	10/27/18 4:00 PM	24	33	9
11	10/27/18 5:00 PM	24	33	9
12	10/27/18 6:00 PM	23	32	9
13	10/27/18 7:00 PM	23	32	9
14	10/27/18 8:00 PM	23	32	9
15	10/27/18 9:00 PM	23	32	9
16	10/27/18 10:00 PM	23	32	9
17	10/27/18 11:00 PM	23	32	9
18	10/28/18 12:00 AM	23	32	9
19	10/28/18 1:00 AM	23	32	9
20	10/28/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
21	10/28/18 3:00 AM	23	32	9
22	10/28/18 4:00 AM	23	32	9
23	10/28/18 5:00 AM	23	32	9
24	10/28/18 6:00 AM	24	33	9
25	10/28/18 7:00 AM	24	33	9
26	10/28/18 8:00 AM	24	33	9
27	10/28/18 9:00 AM	24	33	9
28	10/28/18 10:00 AM	24	33	9
29	10/28/18 11:00 AM	24	33	9
30	10/28/18 12:00 PM	25	33	8
31	10/28/18 1:00 PM	25	34	9
32	10/28/18 2:00 PM	25	34	9
33	10/28/18 3:00 PM	25	34	9
34	10/28/18 4:00 PM	24	33	9
35	10/28/18 5:00 PM	24	33	9
36	10/28/18 6:00 PM	24	33	9
37	10/28/18 7:00 PM	23	32	9
38	10/28/18 8:00 PM	23	32	9
39	10/28/18 9:00 PM	23	32	9
40	10/28/18 10:00 PM	23	32	9
41	10/28/18 11:00 PM	23	32	9
42	10/29/18 12:00 AM	23	32	9
43	10/29/18 1:00 AM	23	32	9
44	10/29/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
45	10/29/18 3:00 AM	23	32	9
46	10/29/18 4:00 AM	22	31	9
47	10/29/18 5:00 AM	22	31	9
48	10/29/18 6:00 AM	23	32	9
49	10/29/18 7:00 AM	24	33	9
50	10/29/18 8:00 AM	24	33	9
51	10/29/18 9:00 AM	24	33	9
52	10/29/18 10:00 AM	24	33	9
53	10/29/18 11:00 AM	24	33	9
54	10/29/18 12:00 PM	24	33	9
55	10/29/18 1:00 PM	25	34	9
56	10/29/18 2:00 PM	25	34	9
57	10/29/18 3:00 PM	25	34	9
58	10/29/18 4:00 PM	25	34	9
59	10/29/18 5:00 PM	24	32	8
60	10/29/18 6:00 PM	23	32	9
61	10/29/18 7:00 PM	23	32	9
62	10/29/18 8:00 PM	23	32	9
63	10/29/18 9:00 PM	23	32	9
64	10/29/18 10:00 PM	23	32	9
65	10/29/18 11:00 PM	23	32	9
66	10/30/18 12:00 AM	23	32	9
67	10/30/18 1:00 AM	23	32	9
68	10/30/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
69	10/30/18 3:00 AM	23	32	9
70	10/30/18 4:00 AM	23	32	9
71	10/30/18 5:00 AM	23	32	9
72	10/30/18 6:00 AM	23	32	9
73	10/30/18 7:00 AM	23	32	9
74	10/30/18 8:00 AM	24	34	10
75	10/30/18 9:00 AM	24	34	10
76	10/30/18 10:00 AM	24	34	10
77	10/30/18 11:00 AM	25	35	10
78	10/30/18 12:00 PM	25	35	10
79	10/30/18 1:00 PM	25	35	10
80	10/30/18 2:00 PM	26	36	10
81	10/30/18 3:00 PM	24	34	10
82	10/30/18 4:00 PM	24	34	10
83	10/30/18 5:00 PM	23	33	10
84	10/30/18 6:00 PM	23	33	10
85	10/30/18 7:00 PM	23	33	10
86	10/30/18 8:00 PM	23	33	10
87	10/30/18 9:00 PM	23	33	10
88	10/30/18 10:00 PM	23	33	10
89	10/30/18 11:00 PM	23	33	10
90	10/31/18 12:00 AM	25	34	9
91	10/31/18 1:00 AM	25	34	9
92	10/31/18 2:00 AM	25	34	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
93	10/31/18 3:00 AM	26	34	8
94	10/31/18 4:00 AM	24	34	10
95	10/31/18 5:00 AM	24	33	9
96	10/31/18 6:00 AM	24	33	9
97	10/31/18 7:00 AM	24	33	9
98	10/31/18 8:00 AM	24	33	9
99	10/31/18 9:00 AM	24	33	9
100	10/31/18 10:00 AM	24	33	9
101	10/31/18 11:00 AM	24	33	9
102	10/31/18 12:00 PM	24	33	9
103	10/31/18 1:00 PM	25	34	9
104	10/31/18 2:00 PM	25	34	9
105	10/31/18 3:00 PM	25	34	9
106	10/31/18 4:00 PM	25	34	9
107	10/31/18 5:00 PM	25	34	9
108	10/31/18 6:00 PM	24	33	9
109	10/31/18 7:00 PM	23	32	9
110	10/31/18 8:00 PM	23	32	9
111	10/31/18 9:00 PM	23	32	9
112	10/31/18 10:00 PM	23	32	9
113	10/31/18 11:00 PM	23	32	9
114	11/1/18 12:00 AM	25	34	9
115	11/1/18 1:00 AM	25	34	9
116	11/1/18 2:00 AM	25	34	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
117	11/1/18 3:00 AM	25	34	9
118	11/1/18 4:00 AM	25	34	9
119	11/1/18 5:00 AM	25	34	9
120	11/1/18 6:00 AM	25	34	9
121	11/1/18 7:00 AM	24	32	8
122	11/1/18 8:00 AM	24	33	9
123	11/1/18 9:00 AM	24	33	9
124	11/1/18 10:00 AM	24	33	9
125	11/1/18 11:00 AM	24	33	9
126	11/1/18 12:00 PM	24	33	9
127	11/1/18 1:00 PM	25	34	9
128	11/1/18 2:00 PM	25	34	9
129	11/1/18 3:00 PM	25	34	9
130	11/1/18 4:00 PM	25	34	9
131	11/1/18 5:00 PM	24	33	9
132	11/1/18 6:00 PM	24	33	9
133	11/1/18 7:00 PM	24	33	9
134	11/1/18 8:00 PM	24	33	9
135	11/1/18 9:00 PM	23	32	9
136	11/1/18 10:00 PM	23	32	9
137	11/1/18 11:00 PM	23	32	9
138	11/2/18 12:00 AM	23	32	9
139	11/2/18 1:00 AM	23	32	9
140	11/2/18 2:00 AM	23	32	9



No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
141	11/2/18 3:00 AM	23	32	9
142	11/2/18 4:00 AM	23	32	9
143	11/2/18 5:00 AM	23	32	9
144	11/2/18 6:00 AM	23	32	9
145	11/2/18 7:00 AM	24	32	8
146	11/2/18 8:00 AM	24	33	9
147	11/2/18 9:00 AM	24	33	9
148	11/2/18 10:00 AM	24	33	9
149	11/2/18 11:00 AM	24	33	9
150	11/2/18 12:00 PM	24	33	9
151	11/2/18 1:00 PM	25	34	9
152	11/2/18 2:00 PM	26	35	9
153	11/2/18 3:00 PM	26	35	9
154	11/2/18 4:00 PM	25	34	9
155	11/2/18 5:00 PM	24	33	9
156	11/2/18 6:00 PM	24	33	9
157	11/2/18 7:00 PM	23	32	9
158	11/2/18 8:00 PM	23	32	9
159	11/2/18 9:00 PM	23	32	9
160	11/2/18 10:00 PM	23	32	9
161	11/2/18 11:00 PM	22	31	9
162	11/3/18 12:00 AM	22	31	9
163	11/3/18 1:00 AM	23	32	9
164	11/3/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
165	11/3/18 3:00 AM	23	32	9
166	11/3/18 4:00 AM	23	32	9
167	11/3/18 5:00 AM	23	32	9
168	11/3/18 6:00 AM	23	32	9
169	11/3/18 7:00 AM	24	33	9
170	11/3/18 8:00 AM	24	33	9
171	11/3/18 9:00 AM	24	33	9
172	11/3/18 10:00 AM	24	33	9
173	11/3/18 11:00 AM	24	33	9
174	11/3/18 12:00 PM	24	33	9
175	11/3/18 1:00 PM	25	33	8
176	11/3/18 2:00 PM	25	33	8
177	11/3/18 3:00 PM	26	34	8
178	11/3/18 4:00 PM	25	34	9
179	11/3/18 5:00 PM	24	33	9
180	11/3/18 6:00 PM	24	33	9
181	11/3/18 7:00 PM	24	33	9
182	11/3/18 8:00 PM	24	33	9
183	11/3/18 9:00 PM	24	33	9
184	11/3/18 10:00 PM	23	32	9
185	11/3/18 11:00 PM	23	32	9
186	11/4/18 12:00 AM	23	32	9
187	11/4/18 1:00 AM	23	32	9
188	11/4/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
189	11/4/18 3:00 AM	23	32	9
190	11/4/18 4:00 AM	23	32	9
191	11/4/18 5:00 AM	23	32	9
192	11/4/18 6:00 AM	23	32	9
193	11/4/18 7:00 AM	23	32	9
194	11/4/18 8:00 AM	24	33	9
195	11/4/18 9:00 AM	24	33	9
196	11/4/18 10:00 AM	24	33	9
197	11/4/18 11:00 AM	24	33	9
198	11/4/18 12:00 PM	24	33	9
199	11/4/18 1:00 PM	24	33	9
200	11/4/18 2:00 PM	24	33	9
201	11/4/18 3:00 PM	25	33	8
202	11/4/18 4:00 PM	25	34	9
203	11/4/18 5:00 PM	24	34	10
204	11/4/18 6:00 PM	24	33	9
205	11/4/18 7:00 PM	23	32	9
206	11/4/18 8:00 PM	23	32	9
207	11/4/18 9:00 PM	23	32	9
208	11/4/18 10:00 PM	23	32	9
209	11/4/18 11:00 PM	23	32	9
210	11/5/18 12:00 AM	23	32	9
211	11/5/18 1:00 AM	23	32	9
212	11/5/18 2:00 AM	22	32	10

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
213	11/5/18 3:00 AM	22	31	9
214	11/5/18 4:00 AM	23	32	9
215	11/5/18 5:00 AM	23	32	9
216	11/5/18 6:00 AM	23	32	9
217	11/5/18 7:00 AM	23	32	9
218	11/5/18 8:00 AM	23	32	9
219	11/5/18 9:00 AM	23	32	9
220	11/5/18 10:00 AM	24	32	8
221	11/5/18 11:00 AM	24	32	8
222	11/5/18 12:00 PM	25	34	9
223	11/5/18 1:00 PM	25	34	9
224	11/5/18 2:00 PM	25	34	9
225	11/5/18 3:00 PM	24	32	8
226	11/5/18 4:00 PM	24	32	8
227	11/5/18 5:00 PM	23	32	9
228	11/5/18 6:00 PM	23	32	9
229	11/5/18 7:00 PM	24	32	8
230	11/5/18 8:00 PM	25	34	9
231	11/5/18 9:00 PM	25	34	9
232	11/5/18 10:00 PM	24	33	9
233	11/5/18 11:00 PM	25	34	9
234	11/6/18 12:00 AM	25	34	9
235	11/6/18 1:00 AM	25	34	9
236	11/6/18 2:00 AM	25	34	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
237	11/6/18 3:00 AM	25	34	9
238	11/6/18 4:00 AM	25	34	9
239	11/6/18 5:00 AM	24	33	9
240	11/6/18 6:00 AM	24	33	9
241	11/6/18 7:00 AM	24	33	9
242	11/6/18 8:00 AM	23	33	10
243	11/6/18 9:00 AM	23	32	9
244	11/6/18 10:00 AM	23	32	9
245	11/6/18 11:00 AM	23	32	9
246	11/6/18 12:00 PM	24	33	9
247	11/6/18 1:00 PM	24	33	9
248	11/6/18 2:00 PM	25	33	8
249	11/6/18 3:00 PM	25	34	9
250	11/6/18 4:00 PM	25	34	9
251	11/6/18 5:00 PM	24	33	9
252	11/6/18 6:00 PM	24	33	9
253	11/6/18 7:00 PM	24	34	10
254	11/6/18 8:00 PM	24	33	9
255	11/6/18 9:00 PM	23	33	10
256	11/6/18 10:00 PM	23	32	9
257	11/6/18 11:00 PM	23	32	9
258	11/7/18 12:00 AM	23	32	9
259	11/7/18 1:00 AM	23	32	9
260	11/7/18 2:00 AM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	Temperature Selisih (°C)
261	11/7/18 3:00 AM	23	32	9
262	11/7/18 4:00 AM	23	32	9
263	11/7/18 5:00 AM	23	32	9
264	11/7/18 6:00 AM	23	32	9
265	11/7/18 7:00 AM	24	33	9
266	11/7/18 8:00 AM	24	33	9
267	11/7/18 9:00 AM	24	33	9
268	11/7/18 10:00 AM	24	33	9
269	11/7/18 11:00 AM	24	33	9
270	11/7/18 12:00 PM	24	33	9
271	11/7/18 1:00 PM	24	33	9
272	11/7/18 2:00 PM	24	33	9
273	11/7/18 3:00 PM	24	33	9
274	11/7/18 4:00 PM	24	33	9
275	11/7/18 5:00 PM	24	33	9
276	11/7/18 6:00 PM	24	33	9
277	11/7/18 7:00 PM	23	32	9
278	11/7/18 8:00 PM	23	32	9
279	11/7/18 9:00 PM	23	32	9
280	11/7/18 10:00 PM	23	32	9
281	11/7/18 11:00 PM	23	32	9
282	11/8/18 12:00 AM	23	32	9
283	11/8/18 1:00 AM	23	32	9
284	11/7/18 11:00 PM	23	32	9

No	Tanggal dan WaktuTime	<i>Temperature</i> CW in (°C)	<i>Temperature</i> Cw Out (°C)	<i>Temperature</i> Selisih (°C)
285	11/8/18 12:00 AM	23	32	9
286	11/8/18 1:00 AM	23	32	9
287	11/7/18 11:00 PM	23	32	9
288	11/8/18 12:00 AM	23	32	9
	Nilai Rata-rata	23.77	32.79	9.02

## LAMPIRAN 6

### Data Produksi *Steam* dan Konsumsi Bahan bakar berdasarkan analisa korelasi hubungan dengan CUSUM

Fuel Consumption	<i>Steam</i> production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
29630.1	258	210.84981	47.15019	47.15019	262.916	-4.91598	6.895125	6.89512
25122.6	217	174.33906	42.66094	89.81113	218.7425	-1.74248	6.895125	6.89512
29599.4	260	210.60114	49.39886	139.21	262.6151	-2.61512	6.895125	6.89512
28015.8	244	197.77398	46.22602	185.436	247.0958	-3.09584	6.895125	6.89512
27390.2	233	192.70662	40.29338	225.7294	240.965	-7.96496	6.895125	6.89512
28673.6	247	203.10216	43.89784	269.6272	253.5423	-6.54228	6.895125	6.89512
29478	258	209.6178	48.3822	318.0094	261.4254	-3.4254	6.895125	6.89512
31994	283	229.9974	53.0026	371.012	286.0822	-3.0822	6.895125	6.89512
31268.3	279	224.11923	54.88077	425.8928	278.9703	0.02966	6.895125	6.89512
31441.2	280	225.51972	54.48028	480.3731	280.6648	-0.66476	6.895125	6.89512
30793.5	273	220.27335	52.72665	533.0997	274.3173	-1.3173	6.895125	6.89512



Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
29407.4	258	209.04594	48.95406	582.0538	260.7335	-2.73352	6.895125	6.89512
20271.7	179	135.04677	43.95323	626.007	171.2037	7.79634	6.895125	6.89512
32311.4	289	232.56834	56.43166	682.4387	289.1927	-0.19272	6.895125	6.89512
35934.1	330	261.91221	68.08779	750.5265	324.6952	5.30482	6.895125	6.89512
32968.8	291	237.89328	53.10672	803.6332	295.6352	-4.63524	6.895125	6.89512
32467.2	292	233.83032	58.16968	861.8029	290.7196	1.28044	6.895125	6.89512
32025.4	289	230.25174	58.74826	920.5511	286.3899	2.61008	6.895125	6.89512
31623.8	284	226.99878	57.00122	977.5524	282.4542	1.54576	6.895125	6.89512
32430.6	291	233.53386	57.46614	1035.018	290.3609	0.63912	6.895125	6.89512
32089.6	287	230.77176	56.22824	1091.247	287.0191	-0.01908	6.895125	6.89512
31099.5	284	222.75195	61.24805	1152.495	277.3161	6.6839	6.895125	6.89512
31739.1	290	227.93271	62.06729	1214.562	283.5842	6.41582	6.895125	6.89512
31007.7	282	222.00837	59.99163	1274.554	276.4165	5.58354	6.895125	6.89512
31118.5	284	222.90585	61.09415	1335.648	277.5023	6.4977	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
30616.5	276	218.83965	57.16035	1392.808	272.5827	3.4173	6.895125	6.89512
31632.1	287	227.06601	59.93399	1452.742	282.5356	4.46442	6.895125	6.89512
31841.6	291	228.76296	62.23704	1514.979	284.5887	6.41132	6.895125	6.89512
31757.4	288	228.08094	59.91906	1574.898	283.7635	4.23648	6.895125	6.89512
32699.7	298	235.71357	62.28643	1637.185	292.9981	5.00194	6.895125	6.89512
31382	284	225.0402	58.9598	1696.145	280.0846	3.9154	6.895125	6.89512
32317.6	303	232.61856	70.38144	1766.526	289.2535	13.74652	6.895125	6.89512
32317.6	303	232.61856	70.38144	1836.907	289.2535	13.74652	6.895125	6.89512
30510.7	281	217.98267	63.01733	1899.925	271.5459	9.45414	6.895125	6.89512
29215.4	267	207.49074	59.50926	1959.434	258.8519	8.14808	6.895125	6.89512
30222.9	277	215.65149	61.34851	2020.783	268.7254	8.27458	6.895125	6.89512
30462.6	279	217.59306	61.40694	2082.189	271.0745	7.92552	6.895125	6.89512
30864.1	280	220.84521	59.15479	2141.344	275.0092	4.99082	6.895125	6.89512
31261.1	288	224.06091	63.93909	2205.283	278.8998	9.10022	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
32449	300	233.6829	66.3171	2271.6	290.5412	9.4588	6.895125	6.89512
32531.2	302	234.34872	67.65128	2339.252	291.3468	10.65324	6.895125	6.89512
31097.2	287	222.73332	64.26668	2403.518	277.2936	9.70644	6.895125	6.89512
31789	295	228.3369	66.6631	2470.181	284.0732	10.9268	6.895125	6.89512
31143.2	293	223.10592	69.89408	2540.076	277.7444	15.25564	6.895125	6.89512
31464.2	297	225.70602	71.29398	2611.37	280.8902	16.10984	6.895125	6.89512
30870.1	291	220.89381	70.10619	2681.476	275.068	15.93202	6.895125	6.89512
26615	253	186.4275	66.5725	2748.048	233.368	19.632	6.895125	6.89512
27781.3	262	195.87453	66.12547	2814.174	244.7977	17.20226	6.895125	6.89512
28787.2	272	204.02232	67.97768	2882.151	254.6556	17.34444	6.895125	6.89512
29857.7	281	212.69337	68.30663	2950.458	265.1465	15.85354	6.895125	6.89512
29343.1	275	208.52511	66.47489	3016.933	260.1034	14.89662	6.895125	6.89512
27562.1	255	194.09901	60.90099	3077.834	242.6496	12.35042	6.895125	6.89512
26617.8	246	186.45018	59.54982	3137.384	233.3954	12.60456	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
26470.4	244	185.25624	58.74376	3196.127	231.9509	12.04908	6.895125	6.89512
28319.6	261	200.23476	60.76524	3256.893	250.0731	10.92692	6.895125	6.89512
27061.6	246	190.04496	55.95504	3312.848	237.7447	8.25532	6.895125	6.89512
27792.6	254	195.96606	58.03394	3370.882	244.9085	9.09152	6.895125	6.89512
27529.5	250	193.83495	56.16505	3427.047	242.3301	7.6699	6.895125	6.89512
29468.8	269	209.54328	59.45672	3486.503	261.3352	7.66476	6.895125	6.89512
29198.8	269	207.35628	61.64372	3548.147	258.6892	10.31076	6.895125	6.89512
29261.9	266	207.86739	58.13261	3606.28	259.3076	6.69238	6.895125	6.89512
28259.8	253	199.75038	53.24962	3659.529	249.487	3.51296	6.895125	6.89512
29048.4	262	206.13804	55.86196	3715.391	257.2153	4.78468	6.895125	6.89512
29048.4	262	206.13804	55.86196	3771.253	257.2153	4.78468	6.895125	6.89512
30846.9	279	220.70589	58.29411	3829.547	274.8406	4.15938	6.895125	6.89512
31114.8	281	222.87588	58.12412	3887.672	277.466	3.53396	6.895125	6.89512
30550	276	218.301	57.699	3945.371	271.931	4.069	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
30293.3	271	216.22173	54.77827	4000.149	269.4153	1.58466	6.895125	6.89512
25953.6	275	181.07016	93.92984	4094.079	226.8863	48.11372	6.895125	6.89512
31708.7	288	227.68647	60.31353	4154.392	283.2863	4.71374	6.895125	6.89512
31727.6	286	227.83956	58.16044	4212.553	283.4715	2.52852	6.895125	6.89512
26993.4	244	189.49254	54.50746	4267.06	237.0763	6.92368	6.895125	6.89512
27442.6	247	193.13106	53.86894	4320.929	241.4785	5.52152	6.895125	6.89512
28204.1	251	199.29921	51.70079	4372.63	248.9412	2.05882	6.895125	6.89512
25131.1	221	174.40791	46.59209	4419.222	218.8258	2.17422	6.895125	6.89512
28965.1	258	205.46331	52.53669	4471.759	256.399	1.60102	6.895125	6.89512
28898.5	259	204.92385	54.07615	4525.835	255.7463	3.2537	6.895125	6.89512
31472.6	283	225.77406	57.22594	4583.061	280.9725	2.02752	6.895125	6.89512
30864.5	278	220.84845	57.15155	4640.212	275.0131	2.9869	6.895125	6.89512
30976.7	282	221.75727	60.24273	4700.455	276.1127	5.88734	6.895125	6.89512
30353.2	282	216.70692	65.29308	4765.748	270.0024	11.99764	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
31482.8	288	225.85668	62.14332	4827.891	281.0724	6.92756	6.895125	6.89512
32352.3	295	232.89963	62.10037	4889.992	289.5935	5.40646	6.895125	6.89512
34588.1	317	251.00961	65.99039	4955.982	311.5044	5.49562	6.895125	6.89512
21746.4	199	146.99184	52.00816	5007.99	185.6557	13.34428	6.895125	6.89512
32351.3	297	232.89153	64.10847	5072.099	289.5837	7.41626	6.895125	6.89512
33002.5	302	238.16625	63.83375	5135.933	295.9655	6.0345	6.895125	6.89512
34421.4	319	249.65934	69.34066	5205.273	309.8707	9.12928	6.895125	6.89512
33615.8	309	243.13398	65.86602	5271.139	301.9758	7.02416	6.895125	6.89512
28059.1	259	198.12471	60.87529	5332.014	247.5202	11.47982	6.895125	6.89512
31305.1	283	224.41731	58.58269	5390.597	279.331	3.66902	6.895125	6.89512
33009.4	297	238.22214	58.77786	5449.375	296.0331	0.96688	6.895125	6.89512
33072.9	305	238.73649	66.26351	5515.639	296.6554	8.34458	6.895125	6.89512
32853.2	305	236.95692	68.04308	5583.682	294.5024	10.49764	6.895125	6.89512
31665.4	293	227.33574	65.66426	5649.346	282.8619	10.13808	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
31665.4	293	227.33574	65.66426	5715.01	282.8619	10.13808	6.895125	6.89512
32700.2	300	235.71762	64.28238	5779.293	293.003	6.99704	6.895125	6.89512
33582.7	310	242.86587	67.13413	5846.427	301.6515	8.34854	6.895125	6.89512
31540.3	290	226.32243	63.67757	5910.104	281.6359	8.36406	6.895125	6.89512
25498.2	244	177.38142	66.61858	5976.723	222.4234	21.57664	6.895125	6.89512
30708.5	283	219.58485	63.41515	6040.138	273.4843	9.5157	6.895125	6.89512
31871.3	299	229.00353	69.99647	6110.134	284.8797	14.12026	6.895125	6.89512
29154.5	267	206.99745	60.00255	6170.137	258.2551	8.7449	6.895125	6.89512
31048.7	267	222.34047	44.65953	6214.797	276.8183	-9.81826	6.895125	6.89512
28010.4	256	197.73024	58.26976	6273.066	247.0429	8.95708	6.895125	6.89512
30323.2	278	216.46392	61.53608	6334.602	269.7084	8.29164	6.895125	6.89512
30261.2	278	215.96172	62.03828	6396.641	269.1008	8.89924	6.895125	6.89512
30065.7	276	214.37817	61.62183	6458.262	267.1849	8.81514	6.895125	6.89512
31772.2	295	228.20082	66.79918	6525.062	283.9086	11.09144	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
31454.6	291	225.62826	65.37174	6590.433	280.7961	10.20392	6.895125	6.89512
30898.8	284	221.12628	62.87372	6653.307	275.3492	8.65076	6.895125	6.89512
30930.6	286	221.38386	64.61614	6717.923	275.6609	10.33912	6.895125	6.89512
30286.3	277	216.16503	60.83497	6778.758	269.3467	7.65326	6.895125	6.89512
19221	178	126.5361	51.4639	6830.222	160.9068	17.0932	6.895125	6.89512
31166.6	294	223.29546	70.70454	6900.927	277.9737	16.02632	6.895125	6.89512
29920.6	278	213.20286	64.79714	6965.724	265.7629	12.23712	6.895125	6.89512
24954.9	225	172.98069	52.01931	7017.743	217.099	7.90098	6.895125	6.89512
27466.7	238	193.32627	44.67373	7062.417	241.7147	-3.71466	6.895125	6.89512
14536.5	130	88.59165	41.40835	7103.825	114.9987	15.0013	6.895125	6.89512
28464.3	256	201.40683	54.59317	7158.418	251.4911	4.50886	6.895125	6.89512
29077.1	251	206.37051	44.62949	7203.048	257.4966	-6.49658	6.895125	6.89512
24709.8	212	170.99538	41.00462	7244.052	214.697	-2.69704	6.895125	6.89512
31123.1	271	222.94311	48.05689	7292.109	277.5474	-6.54738	6.895125	6.89512



Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
30400.9	264	217.09329	46.90671	7339.016	270.4698	-6.46982	6.895125	6.89512
31428.9	274	225.42009	48.57991	7387.596	280.5442	-6.54422	6.895125	6.89512
31326.6	272	224.59146	47.40854	7435.005	279.5417	-7.54168	6.895125	6.89512
30694.4	261	219.47064	41.52936	7476.534	273.3461	-12.34612	6.895125	6.89512
33504.5	290	242.23245	47.76755	7524.301	300.8851	-10.8851	6.895125	6.89512
23759	222	163.2939	58.7061	7583.008	205.3792	16.6208	6.895125	6.89512
34561	326	250.7901	75.2099	7658.217	311.2388	14.7612	6.895125	6.89512
35954.3	333	262.07583	70.92417	7729.142	324.8931	8.10686	6.895125	6.89512
35943.4	333	261.98754	71.01246	7800.154	324.7863	8.21368	6.895125	6.89512
29626	274	210.8166	63.1834	7863.337	262.8758	11.1242	6.895125	6.89512
35286.2	325	256.66422	68.33578	7931.673	318.3458	6.65424	6.895125	6.89512
36220.1	327	264.22881	62.77119	7994.444	327.498	-0.49798	6.895125	6.89512
36833.2	333	269.19492	63.80508	8058.25	333.5064	-0.50636	6.895125	6.89512
36833.2	333	269.19492	63.80508	8122.055	333.5064	-0.50636	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
34905	318	253.5765	64.4235	8186.478	314.61	3.39	6.895125	6.89512
26674.1	227	186.90621	40.09379	8226.572	233.9472	-6.94718	6.895125	6.89512
31497.5	291	225.97575	65.02425	8291.596	281.2165	9.7835	6.895125	6.89512
31130.7	291	223.00467	67.99533	8359.591	277.6219	13.37814	6.895125	6.89512
30168.7	280	215.21247	64.78753	8424.379	268.1943	11.80574	6.895125	6.89512
29038.9	267	206.06109	60.93891	8485.318	257.1222	9.87778	6.895125	6.89512
29588.9	272	210.51609	61.48391	8546.802	262.5122	9.48778	6.895125	6.89512
30306.7	276	216.33027	59.66973	8606.472	269.5467	6.45334	6.895125	6.89512
30862.8	280	220.83468	59.16532	8665.637	274.9964	5.00356	6.895125	6.89512
33036.7	301	238.44327	62.55673	8728.194	296.3007	4.69934	6.895125	6.89512
35592.2	329	259.14282	69.85718	8798.051	321.3446	7.65544	6.895125	6.89512
31740.8	288	227.94648	60.05352	8858.104	283.6008	4.39916	6.895125	6.89512
30849.3	277	220.72533	56.27467	8914.379	274.8641	2.13586	6.895125	6.89512
33554.2	305	242.63502	62.36498	8976.744	301.3722	3.62784	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
30962.2	281	221.63982	59.36018	9036.104	275.9706	5.02944	6.895125	6.89512
30181.6	273	215.31696	57.68304	9093.787	268.3207	4.67932	6.895125	6.89512
16929.2	152	107.97252	44.02748	9137.815	138.4472	13.55284	6.895125	6.89512
28423.8	262	201.07878	60.92122	9198.736	251.0942	10.90576	6.895125	6.89512
16007.3	148	100.50513	47.49487	9246.231	129.4125	18.58746	6.895125	6.89512
26379.3	247	184.51833	62.48167	9308.712	231.0581	15.94186	6.895125	6.89512
26645.3	241	186.67293	54.32707	9363.039	233.6649	7.33506	6.895125	6.89512
27313.3	246	192.08373	53.91627	9416.956	240.2113	5.78866	6.895125	6.89512
28241.1	254	199.59891	54.40109	9471.357	249.3038	4.69622	6.895125	6.89512
28854	262	204.5634	57.4366	9528.793	255.3102	6.6898	6.895125	6.89512
27984.7	252	197.52207	54.47793	9583.271	246.7911	5.20894	6.895125	6.89512
28597.3	261	202.48413	58.51587	9641.787	252.7945	8.20546	6.895125	6.89512
30663.6	284	219.22116	64.77884	9706.566	273.0443	10.95572	6.895125	6.89512
13688.2	280	81.72042	198.2796	9904.846	106.6854	173.31464	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
31545.5	294	226.36455	67.63545	9972.481	281.6869	12.3131	6.895125	6.89512
31095.4	289	222.71874	66.28126	10038.76	277.2759	11.72408	6.895125	6.89512
29121.4	269	206.72934	62.27066	10101.03	257.9307	11.06928	6.895125	6.89512
29008.1	268	205.81161	62.18839	10163.22	256.8204	11.17962	6.895125	6.89512
30279	278	216.1059	61.8941	10225.12	269.2752	8.7248	6.895125	6.89512
30698.8	282	219.50628	62.49372	10287.61	273.3892	8.61076	6.895125	6.89512
31107	287	222.8127	64.1873	10351.8	277.3896	9.6104	6.895125	6.89512
31668.7	292	227.36247	64.63753	10416.43	282.8943	9.10574	6.895125	6.89512
31617.2	289	226.94532	62.05468	10478.49	282.3896	6.61044	6.895125	6.89512
31044.7	285	222.30807	62.69193	10541.18	276.7791	8.22094	6.895125	6.89512
32231.4	295	231.92034	63.07966	10604.26	288.4087	6.59128	6.895125	6.89512
30312.7	276	216.37887	59.62113	10663.88	269.6055	6.39454	6.895125	6.89512
29568.5	267	210.35085	56.64915	10720.53	262.3123	4.6877	6.895125	6.89512
28201.9	250	199.28139	50.71861	10771.25	248.9196	1.08038	6.895125	6.89512

Fuel Consumption	Steam production	predicted energy	difference	CUSUM	Target	Control Chart	UC	LC
28201.9	250	199.28139	50.71861	10821.97	248.9196	1.08038	6.895125	6.89512
28941.2	259	205.26972	53.73028	10875.7	256.1648	2.83524	6.895125	6.89512
27991.8	249	197.57958	51.42042	10927.12	246.8606	2.13936	6.895125	6.89512
30128.5	272	214.88685	57.11315	10984.23	267.8003	4.1997	6.895125	6.89512
29788.8	265	212.13528	52.86472	11037.1	264.4712	0.52876	6.895125	6.89512
27742	245	195.5562	49.4438	11086.54	244.4126	0.5874	6.895125	6.89512
29871	270	212.8011	57.1989	11143.74	265.2768	4.7232	6.895125	6.89512
29546.7	260	210.17427	49.82573	11193.56	262.0987	-2.09866	6.895125	6.89512
29961.9	264	213.53739	50.46261	11244.03	266.1676	-2.16762	6.895125	6.89512
28016.4	239	197.77884	41.22116	11285.25	247.1017	-8.10172	6.895125	6.89512
28994.2	251	205.69902	45.30098	11330.55	256.6842	-5.68416	6.895125	6.89512
29349.2	258	208.57452	49.42548	11379.98	260.1632	-2.16316	6.895125	6.89512
29630.1	258	210.84981	47.15019	11427.13	262.916	-4.91598	6.895125	6.89512

## LAMPIRAN 7

No	Tanggal dan Waktu	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
1	10/27/18 7:00 AM	24	33	100	9
2	10/27/18 8:00 AM	24	33	100	9
3	10/27/18 9:00 AM	24	33	100	9
4	10/27/18 10:00 AM	24	33	100	9
5	10/27/18 11:00 AM	25	34	100	9
6	10/27/18 12:00 PM	25	33	100	8
7	10/27/18 1:00 PM	25	34	100	9
8	10/27/18 2:00 PM	25	34	100	9
9	10/27/18 3:00 PM	24	33	100	9
10	10/27/18 4:00 PM	24	33	100	9
11	10/27/18 5:00 PM	24	33	100	9
12	10/27/18 6:00 PM	23	32	100	9
13	10/27/18 7:00 PM	23	32	100	9
14	10/27/18 8:00 PM	23	32	100	9
15	10/27/18 9:00 PM	23	32	100	9
16	10/27/18 10:00 PM	23	32	100	9
17	10/27/18 11:00 PM	23	32	100	9
18	10/28/18 12:00 AM	23	32	100	9
19	10/28/18 1:00 AM	23	32	100	9
20	10/28/18 2:00 AM	23	32	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
21	10/28/18 3:00 AM	23	32	100	9
22	10/28/18 4:00 AM	23	32	100	9
23	10/28/18 5:00 AM	23	32	100	9
24	10/28/18 6:00 AM	24	33	100	9
25	10/28/18 7:00 AM	24	33	100	9
26	10/28/18 8:00 AM	24	33	100	9
27	10/28/18 9:00 AM	24	33	100	9
28	10/28/18 10:00 AM	24	33	100	9
29	10/28/18 11:00 AM	24	33	100	9
30	10/28/18 12:00 PM	25	33	100	8
31	10/28/18 1:00 PM	25	34	100	9
32	10/28/18 2:00 PM	25	34	100	9
33	10/28/18 3:00 PM	25	34	100	9
34	10/28/18 4:00 PM	24	33	100	9
35	10/28/18 5:00 PM	24	33	100	9
36	10/28/18 6:00 PM	24	33	100	9
37	10/28/18 7:00 PM	23	32	100	9
38	10/28/18 8:00 PM	23	32	100	9
39	10/28/18 9:00 PM	23	32	100	9
40	10/28/18 10:00 PM	23	32	100	9
41	10/28/18 11:00 PM	23	32	100	9
42	10/29/18 12:00 AM	23	32	100	9
43	10/29/18 1:00 AM	23	32	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
44	10/29/18 2:00 AM	23	32	100	9
45	10/29/18 3:00 AM	23	32	100	9
46	10/29/18 4:00 AM	22	31	100	9
47	10/29/18 5:00 AM	22	31	100	9
48	10/29/18 6:00 AM	23	32	100	9
49	10/29/18 7:00 AM	24	33	100	9
50	10/29/18 8:00 AM	24	33	100	9
51	10/29/18 9:00 AM	24	33	100	9
52	10/29/18 10:00 AM	24	33	100	9
53	10/29/18 11:00 AM	24	33	100	9
54	10/29/18 12:00 PM	24	33	100	9
55	10/29/18 1:00 PM	25	34	100	9
56	10/29/18 2:00 PM	25	34	100	9
57	10/29/18 3:00 PM	25	34	100	9
58	10/29/18 4:00 PM	25	34	100	9
59	10/29/18 5:00 PM	24	32	100	8
60	10/29/18 6:00 PM	23	32	100	9
61	10/29/18 7:00 PM	23	32	100	9
62	10/29/18 8:00 PM	23	32	100	9
63	10/29/18 9:00 PM	23	32	100	9
64	10/29/18 10:00 PM	23	32	100	9
65	10/29/18 11:00 PM	23	32	100	9
66	10/30/18 12:00 AM	23	32	100	9



No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
67	10/30/18 1:00 AM	23	32	100	9
68	10/30/18 2:00 AM	23	32	100	9
69	10/30/18 3:00 AM	23	32	100	9
70	10/30/18 4:00 AM	23	32	100	9
71	10/30/18 5:00 AM	23	32	100	9
72	10/30/18 6:00 AM	23	32	100	9
73	10/30/18 7:00 AM	23	32	100	9
74	10/30/18 8:00 AM	24	34	100	10
75	10/30/18 9:00 AM	24	34	100	10
76	10/30/18 10:00 AM	24	34	100	10
77	10/30/18 11:00 AM	25	35	100	10
78	10/30/18 12:00 PM	25	35	100	10
79	10/30/18 1:00 PM	25	35	100	10
80	10/30/18 2:00 PM	26	36	100	10
81	10/30/18 3:00 PM	24	34	100	10
82	10/30/18 4:00 PM	24	34	100	10
83	10/30/18 5:00 PM	23	33	100	10
84	10/30/18 6:00 PM	23	33	100	10
85	10/30/18 7:00 PM	23	33	100	10
86	10/30/18 8:00 PM	23	33	100	10
87	10/30/18 9:00 PM	23	33	100	10
88	10/30/18 10:00 PM	23	33	100	10
89	10/30/18 11:00 PM	23	33	100	10

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
90	10/31/18 12:00 AM	25	34	100	9
91	10/31/18 1:00 AM	25	34	100	9
92	10/31/18 2:00 AM	25	34	100	9
93	10/31/18 3:00 AM	26	34	100	8
94	10/31/18 4:00 AM	24	34	100	10
95	10/31/18 5:00 AM	24	33	100	9
96	10/31/18 6:00 AM	24	33	100	9
97	10/31/18 7:00 AM	24	33	100	9
98	10/31/18 8:00 AM	24	33	100	9
99	10/31/18 9:00 AM	24	33	100	9
100	10/31/18 10:00 AM	24	33	100	9
101	10/31/18 11:00 AM	24	33	100	9
102	10/31/18 12:00 PM	24	33	100	9
103	10/31/18 1:00 PM	25	34	100	9
104	10/31/18 2:00 PM	25	34	100	9
105	10/31/18 3:00 PM	25	34	100	9
106	10/31/18 4:00 PM	25	34	100	9
107	10/31/18 5:00 PM	25	34	100	9
108	10/31/18 6:00 PM	24	33	100	9
109	10/31/18 7:00 PM	23	32	100	9
110	10/31/18 8:00 PM	23	32	100	9
111	10/31/18 9:00 PM	23	32	100	9
112	10/31/18 10:00 PM	23	32	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
113	10/31/18 11:00 PM	23	32	100	9
114	11/1/18 12:00 AM	25	34	100	9
115	11/1/18 1:00 AM	25	34	100	9
116	11/1/18 2:00 AM	25	34	100	9
117	11/1/18 3:00 AM	25	34	100	9
118	11/1/18 4:00 AM	25	34	100	9
119	11/1/18 5:00 AM	25	34	100	9
120	11/1/18 6:00 AM	25	34	100	9
121	11/1/18 7:00 AM	24	32	100	8
122	11/1/18 8:00 AM	24	33	100	9
123	11/1/18 9:00 AM	24	33	100	9
124	11/1/18 10:00 AM	24	33	100	9
125	11/1/18 11:00 AM	24	33	100	9
126	11/1/18 12:00 PM	24	33	100	9
127	11/1/18 1:00 PM	25	34	100	9
128	11/1/18 2:00 PM	25	34	100	9
129	11/1/18 3:00 PM	25	34	100	9
130	11/1/18 4:00 PM	25	34	100	9
131	11/1/18 5:00 PM	24	33	100	9
132	11/1/18 6:00 PM	24	33	100	9
133	11/1/18 7:00 PM	24	33	100	9
134	11/1/18 8:00 PM	24	33	100	9
135	11/1/18 9:00 PM	23	32	100	9

No	Tanggal dan Waktu	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
136	11/1/18 10:00 PM	23	32	100	9
137	11/1/18 11:00 PM	23	32	100	9
138	11/2/18 12:00 AM	23	32	100	9
139	11/2/18 1:00 AM	23	32	100	9
140	11/2/18 2:00 AM	23	32	100	9
141	11/2/18 3:00 AM	23	32	100	9
142	11/2/18 4:00 AM	23	32	100	9
143	11/2/18 5:00 AM	23	32	100	9
144	11/2/18 6:00 AM	23	32	100	9
145	11/2/18 7:00 AM	24	32	100	8
146	11/2/18 8:00 AM	24	33	100	9
147	11/2/18 9:00 AM	24	33	100	9
148	11/2/18 10:00 AM	24	33	100	9
149	11/2/18 11:00 AM	24	33	100	9
150	11/2/18 12:00 PM	24	33	100	9
151	11/2/18 1:00 PM	25	34	100	9
152	11/2/18 2:00 PM	26	35	100	9
153	11/2/18 3:00 PM	26	35	100	9
154	11/2/18 4:00 PM	25	34	100	9
155	11/2/18 5:00 PM	24	33	100	9
156	11/2/18 6:00 PM	24	33	100	9
157	11/2/18 7:00 PM	23	32	100	9
158	11/2/18 8:00 PM	23	32	100	9

No	Tanggal dan Waktu	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
159	11/2/18 9:00 PM	23	32	100	9
160	11/2/18 10:00 PM	23	32	100	9
161	11/2/18 11:00 PM	22	31	100	9
162	11/3/18 12:00 AM	22	31	100	9
163	11/3/18 1:00 AM	23	32	100	9
164	11/3/18 2:00 AM	23	32	100	9
165	11/3/18 3:00 AM	23	32	100	9
166	11/3/18 4:00 AM	23	32	100	9
167	11/3/18 5:00 AM	23	32	100	9
168	11/3/18 6:00 AM	23	32	100	9
169	11/3/18 7:00 AM	24	33	100	9
170	11/3/18 8:00 AM	24	33	100	9
171	11/3/18 9:00 AM	24	33	100	9
172	11/3/18 10:00 AM	24	33	100	9
173	11/3/18 11:00 AM	24	33	100	9
174	11/3/18 12:00 PM	24	33	100	9
175	11/3/18 1:00 PM	25	33	100	8
176	11/3/18 2:00 PM	25	33	100	8
177	11/3/18 3:00 PM	26	34	100	8
178	11/3/18 4:00 PM	25	34	100	9
179	11/3/18 5:00 PM	24	33	100	9
180	11/3/18 6:00 PM	24	33	100	9
181	11/3/18 7:00 PM	24	33	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
182	11/3/18 8:00 PM	24	33	100	9
183	11/3/18 9:00 PM	24	33	100	9
184	11/3/18 10:00 PM	23	32	100	9
185	11/3/18 11:00 PM	23	32	100	9
186	11/4/18 12:00 AM	23	32	100	9
187	11/4/18 1:00 AM	23	32	100	9
188	11/4/18 2:00 AM	23	32	100	9
189	11/4/18 3:00 AM	23	32	100	9
190	11/4/18 4:00 AM	23	32	100	9
191	11/4/18 5:00 AM	23	32	100	9
192	11/4/18 6:00 AM	23	32	100	9
193	11/4/18 7:00 AM	23	32	100	9
194	11/4/18 8:00 AM	24	33	100	9
195	11/4/18 9:00 AM	24	33	100	9
196	11/4/18 10:00 AM	24	33	100	9
197	11/4/18 11:00 AM	24	33	100	9
198	11/4/18 12:00 PM	24	33	100	9
199	11/4/18 1:00 PM	24	33	100	9
200	11/4/18 2:00 PM	24	33	100	9
201	11/4/18 3:00 PM	25	33	100	8
202	11/4/18 4:00 PM	25	34	100	9
203	11/4/18 5:00 PM	24	34	100	10
204	11/4/18 6:00 PM	24	33	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
205	11/4/18 7:00 PM	23	32	100	9
206	11/4/18 8:00 PM	23	32	100	9
207	11/4/18 9:00 PM	23	32	100	9
208	11/4/18 10:00 PM	23	32	100	9
209	11/4/18 11:00 PM	23	32	100	9
210	11/5/18 12:00 AM	23	32	100	9
211	11/5/18 1:00 AM	23	32	100	9
212	11/5/18 2:00 AM	22	32	100	10
213	11/5/18 3:00 AM	22	31	100	9
214	11/5/18 4:00 AM	23	32	100	9
215	11/5/18 5:00 AM	23	32	100	9
216	11/5/18 6:00 AM	23	32	100	9
217	11/5/18 7:00 AM	23	32	100	9
218	11/5/18 8:00 AM	23	32	100	9
219	11/5/18 9:00 AM	23	32	100	9
220	11/5/18 10:00 AM	24	32	100	8
221	11/5/18 11:00 AM	24	32	100	8
222	11/5/18 12:00 PM	25	34	100	9
223	11/5/18 1:00 PM	25	34	100	9
224	11/5/18 2:00 PM	25	34	100	9
225	11/5/18 3:00 PM	24	32	100	8
226	11/5/18 4:00 PM	24	32	100	8
227	11/5/18 5:00 PM	23	32	100	9

No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
228	11/5/18 6:00 PM	23	32	100	9
229	11/5/18 7:00 PM	24	32	100	8
230	11/5/18 8:00 PM	25	34	100	9
231	11/5/18 9:00 PM	25	34	100	9
232	11/5/18 10:00 PM	24	33	100	9
233	11/5/18 11:00 PM	25	34	100	9
234	11/6/18 12:00 AM	25	34	100	9
235	11/6/18 1:00 AM	25	34	100	9
236	11/6/18 2:00 AM	25	34	100	9
237	11/6/18 3:00 AM	25	34	100	9
238	11/6/18 4:00 AM	25	34	100	9
239	11/6/18 5:00 AM	24	33	100	9
240	11/6/18 6:00 AM	24	33	100	9
241	11/6/18 7:00 AM	24	33	100	9
242	11/6/18 8:00 AM	23	33	100	10
243	11/6/18 9:00 AM	23	32	100	9
244	11/6/18 10:00 AM	23	32	100	9
245	11/6/18 11:00 AM	23	32	100	9
246	11/6/18 12:00 PM	24	33	100	9
247	11/6/18 1:00 PM	24	33	100	9
248	11/6/18 2:00 PM	25	33	100	8
249	11/6/18 3:00 PM	25	34	100	9
250	11/6/18 4:00 PM	25	34	100	9

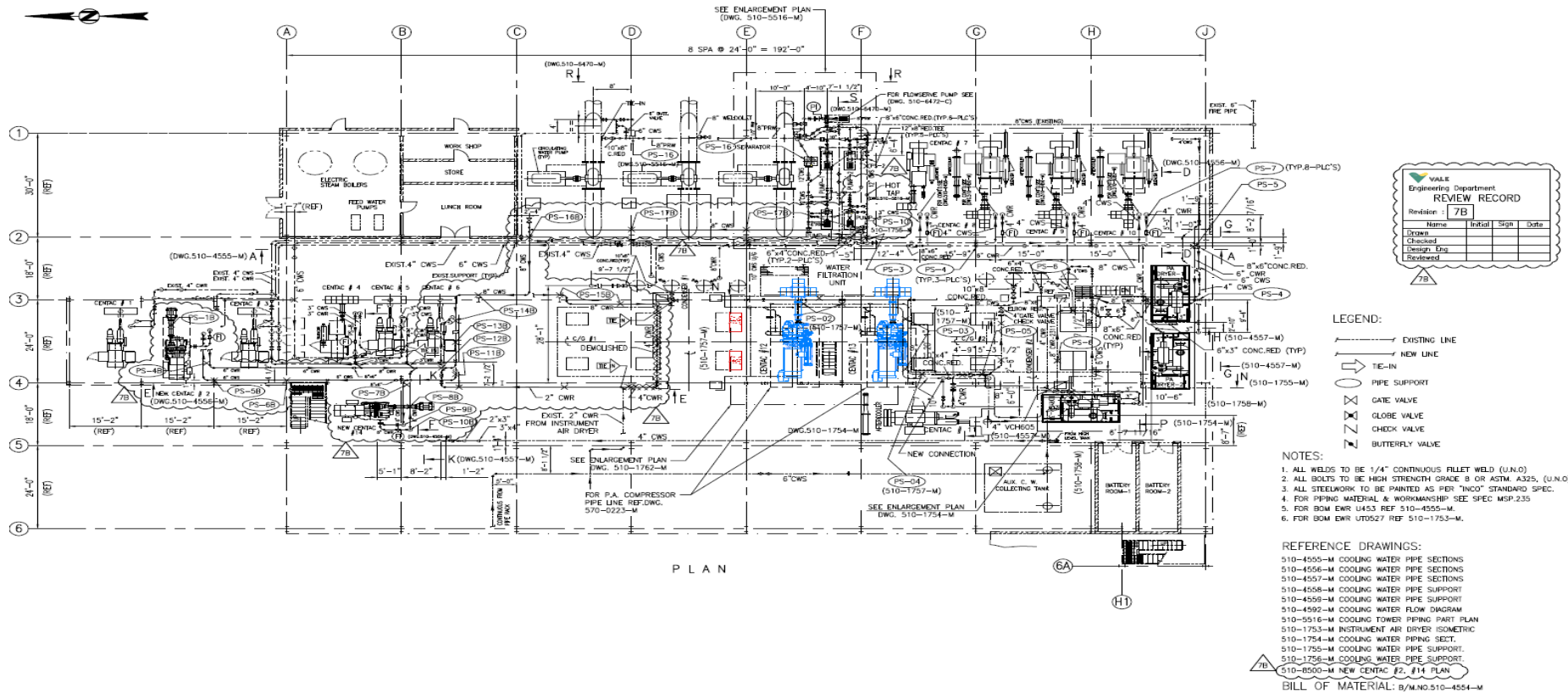


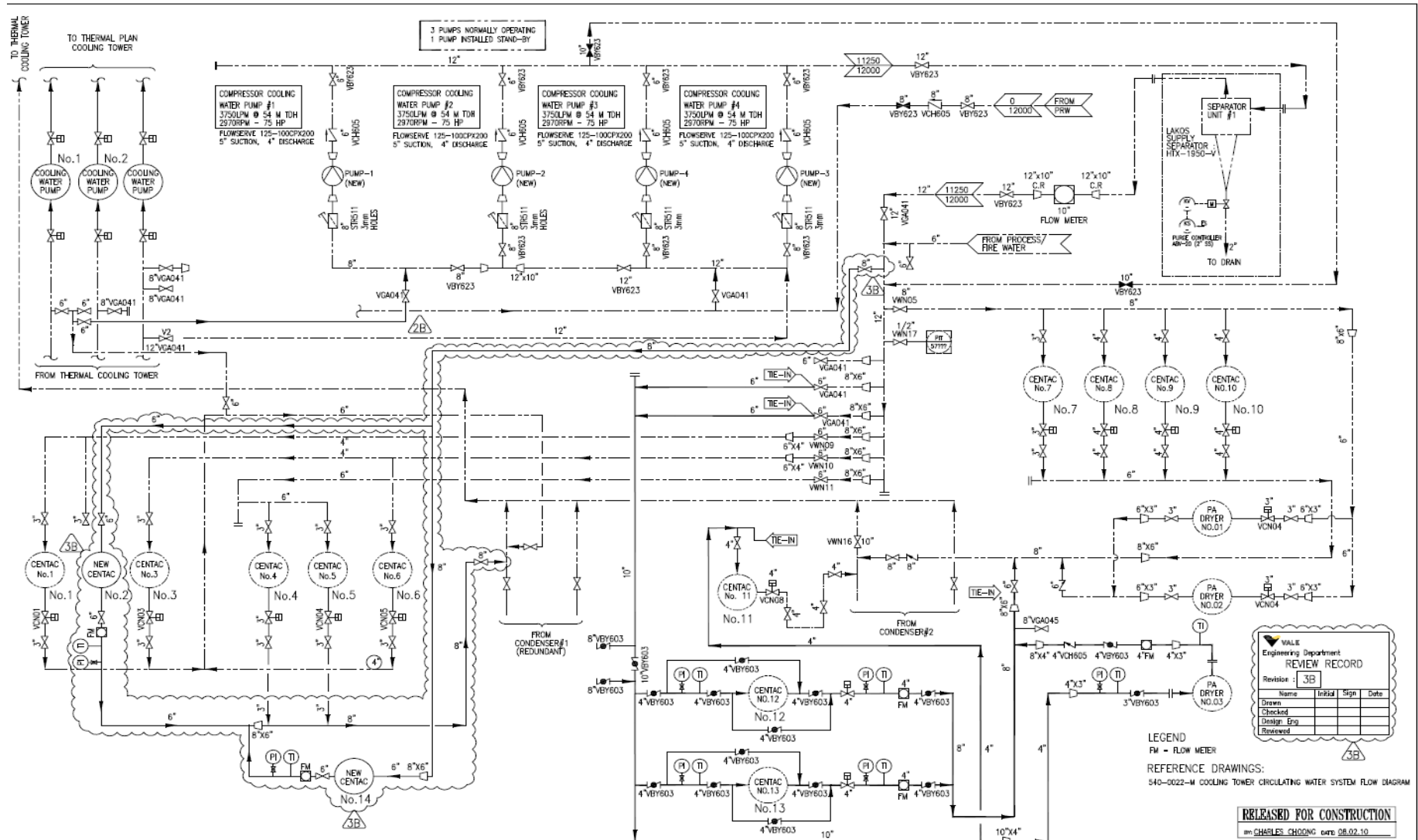
No	Tanggal dan WaktuTime	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
251	11/6/18 5:00 PM	24	33	100	9
252	11/6/18 6:00 PM	24	33	100	9
253	11/6/18 7:00 PM	24	34	100	10
254	11/6/18 8:00 PM	24	33	100	9
255	11/6/18 9:00 PM	23	33	100	10
256	11/6/18 10:00 PM	23	32	100	9
257	11/6/18 11:00 PM	23	32	100	9
258	11/7/18 12:00 AM	23	32	100	9
259	11/7/18 1:00 AM	23	32	100	9
260	11/7/18 2:00 AM	23	32	100	9
261	11/7/18 3:00 AM	23	32	100	9
262	11/7/18 4:00 AM	23	32	100	9
263	11/7/18 5:00 AM	23	32	100	9
264	11/7/18 6:00 AM	23	32	100	9
265	11/7/18 7:00 AM	24	33	100	9
266	11/7/18 8:00 AM	24	33	100	9
267	11/7/18 9:00 AM	24	33	100	9
268	11/7/18 10:00 AM	24	33	100	9
269	11/7/18 11:00 AM	24	33	100	9
270	11/7/18 12:00 PM	24	33	100	9
271	11/7/18 1:00 PM	24	33	100	9
272	11/7/18 2:00 PM	24	33	100	9
273	11/7/18 3:00 PM	24	33	100	9

No	Tanggal dan Waktu	Temperature CW in (°C)	Temperature Cw Out (°C)	LOAD (%)	Temperature Selisih (°C)
274	11/7/18 4:00 PM	24	33	100	9
275	11/7/18 5:00 PM	24	33	100	9
276	11/7/18 6:00 PM	24	33	100	9
277	11/7/18 7:00 PM	23	32	100	9
278	11/7/18 8:00 PM	23	32	100	9
279	11/7/18 9:00 PM	23	32	100	9
280	11/7/18 10:00 PM	23	32	100	9
281	11/7/18 11:00 PM	23	32	100	9
282	11/8/18 12:00 AM	23	32	100	9
283	11/8/18 1:00 AM	23	32	100	9
284	11/7/18 11:00 PM	23	32	100	9
285	11/8/18 12:00 AM	23	32	100	9
286	11/8/18 1:00 AM	23	32	100	9
287	11/7/18 11:00 PM	23	32	100	9
288	11/8/18 12:00 AM	23	32	100	9
	Nilai Rata-rata	23.77	32.79	100.00	9.02

# LAMPIRAN 8

## PID Circulating Water Piping Thermal Plant PT.VI





REV	DESCRIPTION	DATE	DRAWN	CHK	DSGN/REV/CHK	REV	DESCRIPTION	DATE	DRAWN	CHK	DSGN/REV/CHK	REV	DESCRIPTION	DATE	DRAWN	CHK	DSGN/REV/CHK	REV	DESCRIPTION	DATE	DRAWN	CHK	DSGN/REV/CHK		
						3B	RELEASED FOR CONSTRUCTION																		
0	ENR 0316 PUMP COMP. REDUCION	10.01.03	SA	EL	BN																				
1	ENR 0707 ADD. AP OVER FOWER HOME	07.08.04	RS	JS	QSS	GP	CHECKED	EL																	
2A	REDUCION 77.5 CENTAC CONDENSER	08.01.10	WR	RRS	PA	AS	DESIGNED	WR																	
2B	PIPE LINE INSTALLATION																								
2B	RELEASED FOR CONSTRUCTION	08.01.10	WR	RRS	PA	AS	SCALE (BY 100 : 1)																		
3A	REVISION 013 CENTAC #1 REDUCION																								

**INCO**  
PT INTERNATIONAL NICKEL  
INDONESIA

THERMAL POWER GENERATION  
PIPING  
COOLING WATER FLOW DIAGRAM

DRAWING NUMBER: 510-4592-M  
REV: 3B  
CAD FILE: 5104592M.DWG

## LAMPIRAN 9

### Kompresor sentrifugal unit 1 *Thermal Plant*



*Halaman sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



**Nama** : Ir. Baso Murdin  
**Place & Date of birth** : Bone-Bone, May 03, 1979  
**Sex** : Male  
**Address/Telp** : Jalan Pepakulia, Perumahan Puskesmas Nuha  
92984 South Sulawesi/ +628114221954  
**E-mail** : Baso.Murdin@vale.com  
**Marital Status** : Married

### **EDUCATIONS:**

- Graduated Senior High School from SMU 10 Makassar at 1997.
- Graduated as a Mechanical Engineer, Hasanuddin University at 2004.  
GPA : 2.79 ( 4.0 )
- Program Profesi Insinyur Universitas Hasanuddin  
GPA : 4.0 (4.0 )

### **WORKING EXPERIENCES:**

- **PT. Inco**  
Periodic : 2005 - 2011  
Title : Operation Engineer  
Description : Strategic, Troubleshooting Problem at Utilities Plant equipment  
( such as Pumps, Compressors, Chiller, Boiler , Steam Turbine Generator, Diesel  
Generator, Power Distribution and etc) , Commisioning, and prepare SOP.
- **PT. Vale Indonesia**

Title : Operation Engineer

Description : Strategic, Troubleshooting Problem at Utilities Plant equipment (such as Pumps, Compressors, Chiller, Boiler , Steam Turbine Generator, Diesel Generator, Power Distribution and etc) , Commisioning, and prepare and Make it standard Operating Procedure.

Periodic : 2011 - Now

- **Pension Committee**

Managed Fund & Investment Pension Program ( DPLK ) & Saving Plan PT. Vale's Employee with total amount 800 Million Rupiah.

Periodic : 2015 - Now