



TESIS - TF142520

# **REKONSILIASI DATA PADA PLTGU GRESIK MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

WAHYU TRIA PRATIWI  
NRP. 2415201006

DOSEN PEMBIMBING  
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph. D

PROGAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017





TESIS - TF142520

# **REKONSILIASI DATA PADA PLTGU GRESIK MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

WAHYU TRIA PRATIWI  
NRP. 2415201006

DOSEN PEMBIMBING  
Totok Ruki Biyanto, Ph. D

PROGAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017



**LEMBAR PENGESAHAN**

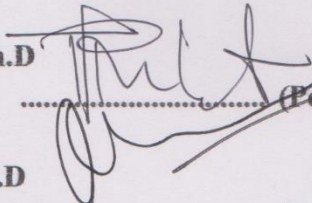
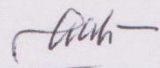
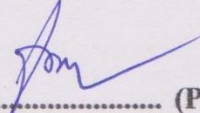
**Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh:**

**Wahyu Tria Pratiwi  
NRP: 2415 201 006**

**Tanggal Ujian : 31 Juli 2017  
Periode Wisuda : September 2017**

**Disetujui oleh:**

1. **Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP: 19710702 199802 1 001 .....  (Pembimbing)
2. **Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP: 19771127 200212 1 002 ..... (Penguji)
3. **Dr.rer.nat.Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc**  
NIP: 19671117 199702 1 001 .....  (Penguji)
4. **Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc**  
NIP: 19600901 198701 1 001 .....  (Penguji)

**Dekan Fakultas Teknologi Industri,**



**Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T.**  
NIP. 19690507 199512 1 001



# REKONSILIASI DATA PADA PLTGU GRESIK MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)

Nama Mahasiswa : Wahyu Tria Pratiwi  
NRP : 2415201006  
Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph. D

## ABSTRAK

Data proses pada PLTGU di Gresik tidak memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi. Hal tersebut terjadi karena dilakukan pengukuran yang tidak tepat, sehingga menyebabkan data variabel proses yang terukur mengandung kesalahan. Di sisi lain, setiap instrumen mempunyai akurasi tertentu dengan tipe dan performansi masing-masing, sehingga pada sistem instrumen akan menimbulkan ketidakkonsistenan data.

Teknik rekonsiliasi data adalah sebuah usaha dengan merubah data pengukuran yang mengandung kesalahan agar kesalahan tersebut dapat diminimalkan dan memenuhi hukum kesetimbangan massa dan energi sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai model yang bisa dianalisis lebih lanjut. Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas data hasil pengukuran pada sistem boiler melalui rekonsiliasi data menggunakan PSO (*particle swarm optimization*) dan menganalisis adanya *gross error* hasil pengukuran pada sistem boiler saat keadaan *steady state*. Hal tersebut bisa dicapai melalui proses pemodelan dan teknik optimasi. Teknik optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan rekonsiliasi data adalah menggunakan PSO. PSO tidak tergantung pada perhitungan turunan dan tidak memerlukan waktu yang lama untuk melakukan prediksi. Dari hasil rekonsiliasi data diketahui bahwa dengan menggunakan PSO sebagai algoritma nondeterministik dapat menghasilkan data pengukuran yang yang memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi dengan nilai kesalahan yang kecil. Efektifitas rekonsiliasi data dapat dilihat dari perbedaan hasil perhitungan standard deviasi pada hasil pengukuran dan dan hasil rekonsiliasi data. Dari adanya selisih perbedaan bahwa pada hasil pengukuran pada PLTGU di Gresik mengandung *random error*.

Rekonsiliasi data secara bersamaan diterapkan dengan melakukan deteksi *gross error* menggunakan model tes statistik, yaitu *Global Test*. Dari hasil perhitungan maka tidak terdapat *gross error* pada pengukuran. Hal itu didasarkan pada nilai kriteria yang digunakan untuk uji hipotesis yang sesuai dengan tabel *chi squared* yaitu  $\chi^2_{1-5\%,4} = 9.488$  dengan nilai derajat kebebasan ( $\nu$ ) sebesar 4. Karena tidak adanya *gross error* pada pengukuran, maka PT PLTGU Gresik telah melakukan kalibrasi pada alat secara kontinyu sehingga mempunyai instrumen dengan performansi yang baik sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang optimal.

**Kata kunci** : rekonsiliasi data, *particle swarm optimization* (PSO), deteksi *gross error*





# DATA RECONCILIATION ON PLTGU GRESIK USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Nama Mahasiswa : Wahyu Tria Pratiwi  
NRP : 2415201006  
Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph. D

## ABSTRACT

*The innaccurate on process data in PLTGU Gresik does not satisfy the mass and energy balances. Data reconciliation techniques can effectively improve precision and reduce error measurement on variable estimation process through modeling and optimization techniques. On the other hand, each instrument has a certain accuracy regarding type and its performance, so the instrument system will have inconsistency data.*

*Data reconciliation is a technique to change the measurement data errors, so it can be minimize and meet the mass and energy balance. Furthermore, the data that satisfy mass energy balance will be model that can be analyzed. The aim of this research is to analyze the the quality of measurement data in the boiler system through data reconciliation using PSO (Particle Swarm Optimization) and analyze the he measurement gross error data on the boiler system during steady state. The optimization technique that used to solve reconciliation data problems by using PSO. PSO is not depend on derivative calculations and need a short time to make predictions.*

*The results show that using PSO as a non-deterministic algorithm could produce the data measurement to meet the mass and energy balance with small error value. The effectiveness of data reconciliation can be seen from the differences in standard deviation results of measurement and data reconciliation.*

*Global Test of statistical model is used to re-conciliate the data simultaneously with performing the gross error detection. From the calculation results there is no gross error in the measurement. It is based on the criterion value tha used to test the hypothesis corresponding to the chi squared table i.e.  $\chi^2_{1-5\%,4} = 9.488$  with the degrees of freedom of 4. Due the absence of gross error in the measurement, PT PLTGU Gresik has continuously calibrated the tool so the instrument has good performance to produce an optimum efficiency.*

**Keywords** : data reconciliation, particle swarm optimization (PSO), gross error detection.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah subhaanahu wata'ala atas segala ridho dan rahmat yang diberikan sehingga penulisan tesis ini telah terselesaikan. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad shallahu 'alaihiwasallam yang telah menuntun kita ke jalan yang benar, yaitu Islam.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Rekayasa Instrumentasi Industri pada program studi Pascasarjana Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulisan tesis ini dapat terselesaikan berkat bantuan dari semua pihak. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph. D selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan dan arahan baik selama dilakukannya penelitian dan penyusunan tesis, sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, Ph.D., Bapak Dr.rer.nat.Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc, beserta Bapak Dr. Ali Musyafa, S.T, M.T. yang telah memberikan saran dan perbaikan pada saat seminar proposal dan seminar hasil tesis.
3. Ketua program studi Pascasarjana Teknik Fisika Bapak Dr.rer.nat.Ir. Aulia M. T. Nasution M.Sc., Seluruh Dosen program Pascasarjana Teknik Fisika khususnya dosen Rekayasa Instrumentasi Industri yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk mendalami ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Pascasarjana Teknik Fisika.
4. Ibunda Umi, Bapak Sugito, Mas Agus, Mbak Hay, Mbak Yuni, Adeg Zaqi, dan keponakan tersayang (Riffat, Khayla, dan Rakha) yang selalu memberikan semangat, keceriaan, doa, kasih sayang, dan semangat kepada penulis.
5. Rekan-rekan mahasiswa pascasarjana Teknik Fisika : Mbak Anita, Mbak Erna, Mbak Wiji, Mbak Masru, Mbak Grevika, Mbak Widita, Mas Feri, Mas Wildan, dan Mas Angga serta seluruh rekan mahasiswa pascasarjana Teknik Fisika angkatan 2015.
6. Admin TU Pascasarjana Teknik Fisika Mbak Martha Hardiyah yang senantiasa memberikan pelayanan administrasi yang baik.
7. Semua pihak yang membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tesis ini jauh dari sempurna. Semoga penulisan tesis ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Agustus 2017

Wahyu Tria Pratiwi

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Lingkup Kerja .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1. Kajian Pustaka .....	7
2.2. Teknik Rekonsiliasi Data untuk Keadaan <i>Steady State</i> .....	8
2.3. <i>Gross Error Detection</i> .....	9
2.4. <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) .....	12
2.5. <i>Power Plant</i> di PLTU Paiton.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1. Prosedur Penelitian .....	21
3.2. Pengumpulan Data .....	22
3.3. Penentuan Variabel Rekonsiliasi .....	23
3.4. Deteksi <i>Gross Error</i> .....	26
3.5. <i>Modelling Plant</i> .....	26
3.6. Rekonsiliasi Data .....	37
3.7. Hasil dan Pembahasan .....	38
3.8. Kesimpulan dan Saran .....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Hasil Rekonsiliasi Data menggunakan PSO .....	39
4.2 Hasil Rekonsiliasi Data <i>Mass Flow Rate</i> Fluida Dingin .....	40
4.3 Hasil Rekonsiliasi Data Temperatur Masukan Fluida Dingin .....	41
4.4 Hasil Rekonsiliasi Data Temperatur Keluaran Fluida Dingin .....	43
4.5 Hasil Rekonsiliasi Data Temperatur Masukan Fluida Panas .....	44
4.6 Hasil Rekonsiliasi Data Temperatur Keluaran Fluida Panas .....	46

4.7	Deteksi <i>Gross Error</i> .....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		51
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	50
DAFTAR PUSTAKA		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Plant</i> komponen <i>boiler</i> .....	19
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	21
Gambar 3.2	Diagram alir <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	37
Gambar 4.1	Perpindahan Panas untuk Fluida Dingin dan Fluida Panas.....	39
Gambar 4.2	Grafik eror rekonsiliasi data.....	42
Gambar 4.3	Hasil rekonsiliasi <i>mass flow rate</i> untuk komponen <i>preheater</i> ....	43
Gambar 4.4	Hasil rekonsiliasi temperatur masukan fluida dingin untuk komponen <i>preheater</i> .....	44
Gambar 4.5	Hasil rekonsiliasi temperatur keluaran fluida dingin untuk komponen <i>preheater</i> .....	46
Gambar 4.6	Hasil rekonsiliasi temperatur masukan fluida panas untuk komponen <i>preheater</i> .....	47
Gambar 4.7	Hasil rekonsiliasi temperatur keluaran fluida panas untuk komponen <i>preheater</i> .....	49





## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ketersediaan data pada komponen <i>boiler</i> .....	22
Tabel 4.1	Hasil rekonsiliasi data untuk variabel <i>mass flow rate</i> .....	41
Tabel 4.2	Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur masukan pada fluida dingin .....	43
Tabel 4.3	Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur keluaran pada fluida dingin .....	44
Tabel 4.4	Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur masukan pada fluida panas .....	46
Tabel 4.5	Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur keluaran pada fluida panas .....	47
Tabel 4.6	Hasil perhitungan nilai kritis distribusi <i>chi square</i> .....	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses data yang akurat penting untuk melakukan evaluasi dari performansi operasi pada proses dan memutuskan aliran proses data [1]. Operasi pada proses di *plant* yang baik diharapkan akan menghasilkan performansi yang efisien, menguntungkan, aman dan ramah lingkungan. Performansi *plant* yang baik dilakukan dengan cara mengoptimisasi dan mengendalikan variabel proses. Untuk mencapai performansi *plant* yang baik, maka diperlukan model yang akurat, yang memerlukan data yang memenuhi hukum kesetimbangan massa dan energi. Selain itu, setiap instrumen mempunyai kesalahan dalam batas toleransi yang diijinkan, seperti pada pengukuran temperatur oleh sensor termokopel dengan batas akurasi  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  dan pengukuran *mass flow rate* oleh *differensial pressure* dengan batas akurasi 5%.

Proses data yang didapatkan dari *plant* seringkali tidak memenuhi hukum kesetimbangan massa dan energi, sehingga harus dikurangi dengan menggunakan instrumentasi yang lebih akurat, kalibrasi dengan master yang lebih akurat, atau melakukan rekonsiliasi data dari hasil pengukuran yang ada. Dalam penelitian ini dilakukan rekonsiliasi data pada hasil pengukuran yang tidak memenuhi hukum kesetimbangan massa dan energi.

Rekonsiliasi data adalah sebuah usaha dengan merubah data pengukuran yang mengandung kesalahan agar kesalahan tersebut dapat diminimalkan dan memenuhi hukum kesetimbangan massa dan energi [2]. Selain itu, rekonsiliasi data digunakan untuk meningkatkan tingkat akurasi dan reliabilitas data proses [3]. Pendapat lain mengenai teknik rekonsiliasi data adalah teknik pemerosesan data yang dapat meningkatkan akurasi dari data pengukuran melalui proses pemodelan dan optimisasi [4]. Teknik rekonsiliasi data mempunyai dua komponen utama, yaitu model yang digunakan dan pemilihan teknik optimisasi. Pada umumnya, model yang digunakan harus mampu mempresentasikan tentang hukum kesetimbangan massa dan energi. Dalam rangka itu, para peneliti menggunakan pendekatan yaitu dengan *first principle model* yang didasarkan pada hukum-hukum alam atau

menggunakan *black box model* yang didasarkan pada data yang didapatkan dari *plant*. Pendekatan yang didasarkan pada data yang didapatkan dari *plant (black box model)* mempunyai kemampuan lebih akurat dalam menganalisis [5].

Aplikasi rekonsiliasi data telah banyak dilakukan di bidang industri *power*, seperti pada *nuclear power plant* [6,7,8], pada turbin gas dan kombinasi *cycle power generation units* [9], dan *coal-fired generation units* [4,10,11]. Pada penelitian ini, akan dilakukan rekonsiliasi data pada *power plant* dari komponen *heat exchanger* yang meliputi *preheater*, *low pressure economizer* (LP Eco), *high pressure economizer 1* (HP Eco 1), *low pressure evaporator* (LP Eva), *high pressure economizer 2* (HP Eco 2), *high pressure evaporator* (HP Eva), *high pressure superheater 1* (HP SH 1), dan *high pressure superheater 2* (HP SH 2) dengan didasarkan hukum kesetimbangan massa dan energi dalam keadaan *steady state*.

Berdasarkan data yang didapatkan dari PLTGU di Gresik maka dapat diketahui bahwa jumlah perpindahan panas pada fluida dingin ( $Q_C$ ) tidak sama dengan jumlah energi pada fluida panas ( $Q_H$ ), sehingga belum memenuhi dengan hukum kesetimbangan massa dan energi, dimana jumlah energi panas yang diterima oleh fluida dingin besarnya harus sama dengan jumlah energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas, yaitu  $Q_C = Q_H$ . Oleh sebab itu perlu dilakukan rekonsiliasi data pada PLTGU Gresik guna memperbaiki data agar mencapai setimbang sehingga selanjutnya bisa dijadikan model untuk bisa dianalisis lebih lanjut.

Pertukaran panas pada PLTGU Gresik merupakan model non-linear yang memungkinkan adanya *local optimum*. Oleh sebab itu diperlukan teknik optimisasi yang mampu mencapai *global optimum*. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan memanfaatkan algoritma stokastik. Untuk algoritma stokastik yang sering digunakan adalah dengan menerapkan *particle swarm optimization* (PSO) dan *genetic algorithm* (GA). Penerapan PSO dengan didasarkan pada arah/vektor pencarian. PSO tidak tergantung pada perhitungan turunan dan tidak memerlukan waktu yang lama untuk melakukan prediksi [12]. PSO juga tidak bergantung pada manipulasi numerik pada fungsi objektif [13]. Teknik ini lebih cepat mencapai tujuan dan bisa mencapai *global optimum* bila prosesnya merupakan proses *non-linear*. Sementara itu GA lebih bisa mencapai *global optimum* karena cara

pencariannya lebih random. Namun, GA mempunyai kelemahan, yaitu diperlukan perhitungan yang lebih berat dan memerlukan waktu yang lama, sehingga GA sangat cocok untuk sistem yang rumit. Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini digunakan PSO untuk menyelesaikan masalah rekonsiliasi data pada proses di PLTGU.

Penelitian rekonsiliasi data menggunakan PSO telah dilakukan oleh Prata Martinez D. (2009). Rekonsiliasi data ini dilakukan pada kondensor secara *online* dan *real time* di reaktor polipropilen [13]. Hasil rekonsiliasi data menunjukkan bahwa algoritma optimisasi nondeterministik (stokastik) berhasil memberikan informasi yang dapat dipercaya secara *real time*. Meskipun demikian, Prata tidak melakukan deteksi *gross error* selama proses rekonsiliasi data sehingga menyebabkan hasil estimasi yang mengandung *error* tidak dianalisis.

Pada umumnya, rekonsiliasi data pada keadaan *steady state* dilakukan menggunakan variabel yang diukur pada proses. Hal itu bertujuan untuk melakukan evaluasi pengukuran ketidakpastian dengan menggunakan metode langsung [14] atau dengan menggunakan metode tidak langsung yang dilakukan dengan mengurangi konstrain pada proses [16,17]. Pendekatan lain juga digunakan adalah melalui *flow diagram* yang didasarkan pada *mass and energy balance* [18].

Impelementasi rekonsiliasi data akan semakin kompleks saat terdapat *gross error* pada pengukuran [19]. Rekonsiliasi data diterapkan secara bersamaan dengan melakukan deteksi *gross error* menggunakan model tes statistik [8]. Deteksi *gross error* perlu untuk dilakukan setelah rekonsiliasi data, karena *error* pada model proses dianggap sebagai faktor yang penting dalam estimasi pengukuran bias dan variabel proses [1]. Tidak semua model tes statistik bisa digunakan untuk melakukan deteksi *gross error*. Hal itu disebabkan oleh model statistik yang digunakan untuk melakukan deteksi *gross error* harus mampu mengidentifikasi tipe dan letak *gross error* dan banyaknya jumlah *gross error* [17]. Oleh sebab itu, digunakan *global test* untuk melakukan deteksi *gross error* [19]. *Global test* telah diterapkan untuk melakukan deteksi *gross error* pada aplikasi mikroturbin [4,20,21].

Berdasarkan penjelasan di atas maka implementasi rekonsiliasi data akan dilakukan pada komponen boiler di PLTGU Gresik menggunakan *particle swarm optimization* (PSO) dan deteksi *gross error*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka muncul permasalahan yaitu sebagai berikut.

- a) Bagaimana analisa akurasi data yang masih mengandung eror pada sistem boiler melalui teknik rekonsiliasi data dengan menggunakan *particle swarm optimization* (PSO)?
- b) Bagaimana analisa deteksi adanya *gross error* dari hasil pengukuran pada sistem boiler saat keadaan *steady state*?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang muncul, maka tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) Menganalisis kualitas data dari hasil pengukuran pada sistem boiler melalui rekonsiliasi data menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO)
- b) Menganalisis adanya *gross error* dari hasil pengukuran pada sistem boiler saat keadaan sistem *steady state*

## 1.4 Lingkup Kerja

Lingkup kerja dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

- a) *Plant* yang digunakan untuk penelitian merupakan rangkain dari sistem boiler di PLTGU Gresik yaitu *preheater*, *low pressure economizer* (LP Eco), *high pressure economizer 1* (HP Eco 1), *low pressure evaporator* (LP Eva), *high pressure economizer 2* (HP Eco 2), *high presuure evaporator* (HP Eva), *high pressure superheater 1* (HP SH 1), dan *high pressure superheater 2* (HP SH 2).
- b) Data diambil selama bulan Januari 2017, dengan tiap hari pengambilan data diambil rata-rata data setiap 4 jam.
- c) Pemodelan diasumsikan tidak terdapat energi panas yang hilang ke lingkungan.

- d) Optimisasi rekonsiliasi data menggunakan algoritma PSO.
- e) Rekonsiliasi data dilakukan saat keadaan *steady state*.
- f) Diasumsikan data untuk  $m_{HOT}$  bernilai konstan.
- g) Terdapat *splitter* pada sistem boiler di PLTGU Gresik.
- h) *Steam drum* pada *splitter* diabaikan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan dilakukannya teknik rekonsiliasi data diharapkan mampu memperbaiki data hasil pengukuran agar mencapai setimbang sehingga selanjutnya dapat dijadikan model yang bisa dianalisis lebih lanjut, seperti untuk mengetahui efisiensi, melakukan kontrol, *maintenance*, dan lain-lain.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Berikut ini akan dipaparkan tentang penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai teknik rekonsiliasi data dan deteksi *gross error*.

Maronna, R., dkk (2009) melakukan rekonsiliasi data dengan menggunakan *linear multiple regression model* [22]. Model tersebut bergantung pada redundansi sehingga apabila model dipakai pada *plant* atau kasus yang rumit tidak akan menghasilkan hasil yang optimal. Hal tersebut mengakibatkan rendahnya hasil perhitungan untuk mendeteksi adanya *gross error*.

Zhang, Z., dkk (2015) melakukan rekonsiliasi data dengan menggunakan *Correntropy based Non-linear Dynamic Data Reconciliation (CNDDR)* [1]. Berdasarkan hasil rekonsiliasi data menggunakan model yang diusulkan terbukti bisa menurunkan pengaruh dari *gross error* dan GEDI (*gross error detection and identification*) bisa diklasifikasikan berdasarkan tipe dari *gross error* berdasarkan data pengukuran. Meskipun demikian, parameter CNDDR berpengaruh terhadap kinerja rekonsiliasi data, termasuk ukuran data *history* yang digunakan, penggunaan skala, dan penebakan awal pada solusi optimal. Selain itu, model proses yang mempunyai ketepatan yang tinggi mempunyai parameter yang belum ditentukan sehingga harus ditentukan berdasarkan data pengukuran proses.

Prata Martinez D. (2009) melakukan rekonsiliasi data pada kondensor secara *online* dan *real time* dengan data industri yang diperoleh pada industri reaktor polipropilen dengan menggunakan teknik optimisasi *particle swarm optimization* (PSO) [13]. Hasil rekonsiliasi data menunjukkan bahwa algoritma optimisasi nondeterministik (stokastik) berhasil memberikan informasi yang dapat dipercaya secara *real time*. Meskipun demikian, Prata tidak melakukan deteksi *gross error* selama proses rekonsiliasi data sehingga menyebabkan hasil estimasi yang mengandung *error* tidak dianalisis.

Pada penelitian ini, akan dilakukan rekonsiliasi data pada komponen *boiler* yaitu *preheater*, *low pressure economizer* (LP Eco), *high pressure economizer* I

(HP Eco 1), *low pressure evaporator* (LP Eva), *high pressure economizer 2* (HP Eco 2), *high pressure evaporator* (HP Eva), *high pressure superheater 1* (HP SH 1), dan *high pressure superheater 2* (HP SH 2).

## 2.2 Teknik Rekonsiliasi Data untuk Keadaan *Steady State*

Teknik rekonsiliasi data adalah teknik pemerosesan data yang dapat meningkatkan tingkat presisi, reliabilitas, akurasi dari data pengukuran melalui proses pemodelan dan optimisasi [3,4]. Teknik rekonsiliasi data dilakukan pertama kali oleh Kuehn dan Davidson (1961) [23]. Teknik rekonsiliasi diformulasikan untuk menyelesaikan masalah optimisasi dengan memperkecil perbedaan antara variabel yang diukur dengan variabel yang diinginkan dengan memperhatikan konstrain yang diberlakukan pada model proses. Konstrain pada model proses harus memenuhi persamaan kesetimbangan massa dan energi. Penerapan rekonsiliasi data juga digunakan untuk melengkapi metode yang telah digunakan supaya memberikan peningkatan estimasi pada *plant*. Peningkatan estimasi pada *plant* tersebut melibatkan banyak aplikasi, seperti proses *monitoring* [21], simulasi *plant* [24], mempercepat kontrol proses [25] atau optimisasi *real-time* [26].

Dalam industri proses, pengukuran pada keadaan *steady state* sebenarnya tidak pernah tercapai, karena adanya gangguan yang akan terus muncul sesuai dengan perubahan kondisi [27]. Dengan menerapkan rekonsiliasi data pada keadaan *steady state* diperoleh hasil yang baik dengan variasi dinamis yang kecil pada proses. Di sisi lain, apabila dilakukan rekonsiliasi data pada keadaan dinamis, maka akan diperoleh hasil yang kurang tepat dari pengukuran itu sendiri [28]. Pada pengukuran, kesalahan acak akan selalu muncul yang akibatnya dapat mengurangi akurasi pada pengukuran variabel pada proses yang diukur [18]. Di sisi lain, variabel proses harus memenuhi persamaan konservasi energi dan massa (dengan tidak ada kesalahan pada model proses). Oleh sebab itu, rekonsiliasi data harus dilakukan untuk evaluasi terhadap hasil pengukuran.

Pengukuran dan model proses merupakan hal yang fundamental pada rekonsiliasi data. Dengan meningkatkan akurasi data, maka permasalahan mengenai data akan berkurang dengan cepat. Data yang dihilangkan merupakan data yang tidak konsisten [19]. Ketidakkonsistenan data tersebut dapat diselesaikan

dengan menggunakan model proses. Apabila model proses mempunyai tingkat akurasi yang baik, maka dapat digunakan untuk estimasi pada variabel proses.

### Formulasi Rekonsiliasi Data

Untuk permasalahan rekonsiliasi data pada kondisi *steady state* bertujuan untuk meminimalkan fungsi objektif dengan konstrain yang ada. Secara umum, permasalahan pada teknik rekonsiliasi data diformulasikan sebagai *least square* minimasi [29] sebagai berikut.

$$\min \gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - x_i)^2}{\sigma_i^2} \quad (2.1)$$

Dengan

dimana :

- $\gamma$  : Fungsi objektif untuk rekonsiliasi data
- $y$  : Hasil pengukuran pada pengukuran ke-i
- $x$  : Hasil rekonsiliasi data pada pengukuran ke-i
- $\sigma$  : Standar deviasi hasil pengukuran ke-i

### 2.3 Gross Error Detection

*Error* merupakan besar selisih antara nilai yang diperoleh dengan pengukuran dan nilai aktual. Persamaan 2.2 merupakan cara menghitung nilai eror.

$$Error = instrument\ reading - true\ reading \quad (2.2)$$

Error sering diekspresikan dengan presentase sebagai

$$\%Error = \frac{instrumen\ reading - true\ reading}{true\ reading} \times 100\%$$

Error pada pembacaan instrumen dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu sebagai berikut.

#### 1. Gross errors

*Gross error* dapat muncul akibat kesalahan pada manusia, seperti pembacaan nilai instrumen sebelum mencapai keadaan *steady state*, kesalahan pencacatan dalam data yang terukur dalam menghitung turunan yang diukur, dan lain-lain. Kesalahan parallax dalam membaca pada skala analog juga merupakan

penyebab dari munculnya *gross error* pada pengukuran. *Gross error* dapat dikurangi dengan melakukan pembacaan dan pencatatan data dengan cermat.

*Gross error* terbagi menjadi dua, yaitu *outlier* dan bias. *Outlier* terjadi apabila pada hasil pengukuran terdapat perilaku pada *plant* yang tidak normal, seperti (1) rusaknya instrumen, (2) terjadinya miscalibrasi, (3) terjadinya korosi pada sensor, dan lain-lain. Sementara itu, bias terjadi saat hasil pengukuran lebih tinggi atau lebih rendah daripada nilai sebenarnya.

## 2. *Systematic errors*/kesalahan sistematis

*Systematic error* merupakan error yang dapat mempengaruhi semua pembacaan dengan cara tertentu. *Zero error* dan bias pada instrumen tergolong *systematic error*. Kesalahan sistematis bisa disebabkan karena berbagai alasan. Hal ini dapat disebabkan kekurangan yang dimiliki pada instrumen atau sensor. Instrumen mungkin mempunyai kesalahan sebesar nol atau hasilnya bervariasi dalam mode nonlinear. Kesalahan sistematis juga disebabkan oleh rancangan skema pengukuran yang tidak semestinya yang dapat ditimbulkan karena efek pemuatan, pemilihan sensor atau filter yang tidak tepat. Kesalahan sistematis juga dapat terjadi akibat lingkungan, misalnya karakteristik sensor dapat berubah akibat suhu (kondisi) lingkungan.

Kesalahan sistematis bisa dikurangi dengan cara merancang sistem pengukuran dengan lebih hati-hati dan memilih komponen yang tepat. Dengan menempatkan instrumen di lingkungan yang terkendali dan melakukan kalibrasi instrumen dengan tepat dan teratur juga dapat membantu untuk mengurangi kesalahan sistematis.

## 3. *Random errors*/kesalahan acak

Kesalahan acak pada pengukuran mempunyai skala yang kecil dan kesalahan sistematis mempunyai skala yang besar [1]. Terdapat kesalahan yang tidak diketahui penyebabnya secara jelas yang tidak bisa dihilangkan. Hal ini mempengaruhi pembacaan yang dilakukan secara acak. Jenis kesalahan ini disebut dengan *random error*. *Random error* hanya dapat dikurangi dengan menggunakan perhitungan statistik. *Random error* terjadi pada *source* yang berbeda, diantaranya adalah (1) fluktuasi pada *power supply*, (2) jaringan transmisi, (3) konversi sinyal *noise*, dan lain-lain. Munculnya *random error* merupakan di luar kendali *engineer*

maka *random error* tidak dapat dihilangkan dan akan selalu muncul di setiap pengukuran [16].

Terdapat perbedaan antara kesalahan sistematis dengan kesalahan acak, yaitu apabila kesalahan sistematis dapat dikoreksi dengan melakukan kalibrasi dan untuk kesalahan acak tidak dapat dilakukan koreksi karena hanya dapat dikurangi dengan rata-rata atau batasan kesalahan yang dapat diperkirakan.

Sementara itu, pengukuran pada *power plant* dilakukan secara langsung (*online*) menghasilkan data yang mengandung yang masih mengandung eror sehingga dapat mengakibatkan bertambahnya ketidakpastian dari hasil monitoring pada kinerja (*performance*) *power plant* [34,35,36]. Adanya *random error* dan *gross error* mengakibatkan bertambahnya ketidakpastian dari hasil monitoring pada kinerja (*performance*) *power plant*.

$$\mathbf{y} = x + e_s + \varepsilon \quad (2.3)$$

dimana :

- $\mathbf{y}$  : Hasil pengukuran
- $x$  : Nilai sebenarnya dari variabel proses
- $e_s$  : *Random error*
- $\varepsilon$  : *Gross error*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa rekonsiliasi data mempunyai tujuan utama, yaitu melakukan *adjustment* (penelaan) dengan optimal pada pengukuran dan dapat mendeteksi adanya *gross error* pada pengukuran. *Adjustment* (penelaan) dengan optimal dapat dilakukan apabila pada pengukuran terdapat *gross error* yang dapat dihilangkan.

Ketika *gross error* terdeteksi, maka pengukuran yang tidak memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi yang akan dikoreksi dengan menggunakan rekonsiliasi data. Jumlah variabel yang tidak diukur akan diselesaikan jika variabel yang tidak diukur tersebut diamati. Dengan demikian untuk deteksi *gross error* akan berperan dalam melakukan validasi *adjustment* pada pengukuran. Strategi yang digunakan untuk mendeteksi adanya *gross error* sebaiknya mempunyai kemampuan sebagai berikut [16].

- Kemampuan untuk mendeteksi adanya satu atau lebih *gross error* pada data (*the detection problem*)

- Kemampuan untuk mengidentifikasi tipe dan letak *gross error* (*the identification problem*)
- Kemampuan untuk menemukan dan mengidentifikasi banyaknya *gross error* yang muncul secara bersamaan pada data (*the multiple gross error identification problem*)
- Kemampuan untuk melakukan estimasi besarnya *gross error* (*the estimation problem*)

Metode yang paling umum digunakan untuk melakukan deteksi *gross error* yaitu dengan menggunakan pengujian hipotesis statistik. *Gross error* dideklarasikan dengan perhitungan uji statistik yang yang melebihi nilai kritis. *Gross error* tidak bisa dijelaskan dengan menggunakan distribusi statistik dari data. Tidak semua perhitungan statistik dapat digunakan untuk mengidentifikasi tipe dan letak *gross error*. Pada penelitian ini, dilakukan deteksi *gross error* saat sistem dalam keadaan *steady state* dengan menggunakan *Global Test* (GT). *Global Test* (GT) menggunakan perhitungan statistik [28] sebagai berikut.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{\sigma^2} \quad (2.4)$$

$\chi$  : Distribusi chi squared

$X_i$  : Hasil pengukuran pada pengukuran ke-i yang diambil dari rata-rata data selama 4 jam

$\bar{X}$  : Rata-rata hasil rekonsiliasi data pada pengukuran ke-i yang diambil dari rata-rata data selama 4 jam

$\sigma^2$  : Variansi pengukuran

Hal itu dapat membuktikan bahwa apabila tidak terdapat *gross error* pada data pengukuran, maka tes statistik  $\chi^2$  mengikuti distribusi *chi squared* dengan derajat kebebasan  $v = m - 1$ . Dimana  $m$  adalah banyaknya variabel yang direkonsiliasi. Derajat kebebasan merupakan suatu parameter fisika yang independen. Berikut merupakan kriteria yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya *gross error* pada pengukuran, dimana kriteria tersebut sebagai  $\chi_{1-\alpha, m-p}^2$ , merupakan nilai kritis dari distribusi *chi squared* pada tingkat signifikansi yang dipilih  $\chi_{(1-\alpha)}^2$ .

- Jika  $\chi^2$  sama dengan atau lebih besar daripada  $x_{1-\alpha, m-p}^2$ , maka *gross error* terdeteksi pada pengukuran.
- Jika  $\chi^2$  lebih kecil daripada  $x_{1-\alpha, m-p}^2$ , maka *gross error* tidak terdeteksi pada proses.

Biasanya, tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 5% dan saat tidak terdeteksi *gross error* pada data pengukuran, kemungkinan untuk tes statistik menjadi lebih kecil daripada tes kriteria yaitu sama dengan atau lebih kecil dari 5%.

Saat *gross error* terdeteksi, strategi standart eliminasi berturut-turut dapat digunakan untuk melakukan identifikasi *gross error*, yang mana pada tiap paramater yang terukur dianggap mengandung *gross error* sehingga perlu untuk dieliminasi satu demi satu dan parameter yang tidak terukur dirumuskan dengan rekonsiliasi data dengan mengurangi *size*. Strategi eliminasi untuk parameter yang terukur menyebabkan meningkatnya jumlah parameter yang tidak terukur, sehingga dipilih  $x_{1-\alpha, m-p-1}^2$  untuk melakukan identifikasi *gross error*. Identifikasi *gross error* pada pengukuran dengan melakukan eliminasi dengan tes statistik  $\chi^2$  harus lebih kecil dari pada kriteria  $x_{1-\alpha, m-p-1}^2$ .

Dengan mengasumsikan terdapat *gross error* pada pengukuran ke- $i$ , jika tes statistik mengandung  $\chi^2$  untuk mengeliminasi pengukuran ke- $j$  dengan lebih besar daripada tes kriteria  $x_{1-\alpha, m-p-1}^2$ , maka pengukuran ke- $j$  tidak teridentifikasi mengandung *gross error*. Pada keadaan ini, *gross error* pada pengukuran ke- $i$  diisolasi dari pengukuran ke- $j$ . Sebagai hasil, untuk menentukan isolasi *gross error* pada pengukuran ke- $i$  dari pengukuran ke- $j$ , maka kemungkinan untuk tes statistik  $\chi^2$  melebihi tes kriteria.

#### 2.4 Particle Swarm Optimization (PSO)

Teknik optimisasi PSO pertama kali diusulkan oleh Kennedy dan Eberhart. Menurut Kennedy dan Eberhart (1995) [30] optimisasi dengan PSO terinspirasi dari sirkulasi informasi dan perilaku sosial yang diamati dalam kawanan yang menunjukkan algoritma optimisasi *global* yang sangat cocok untuk memecahkan masalah, dimana solusi optimal ditunjukkan sebagai titik dalam ruang multidimensi (bernilai *real* optimisasi). Algoritma PSO yang didasarkan pada

perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh individu-individu lain dalam suatu populasi, seperti burung, ikan, dan lebah. Setiap individu dari suatu populasi disebut dengan partikel. *Swarm* (kawanan) terdiri dari kawanan homogen yang berperan sebagai agen untuk melaksanakan tugas dengan melakukan interaksi dengan diri sendiri dan lingkungan [31]. Kawanan individu yang berperan sebagai agen mempunyai kemampuan untuk mencapai tujuan akhir yaitu menyelesaikan masalah dengan melihat pola perilaku dan interaksi kawanan individu tersebut dari berbagai informasi. Dengan demikian, algoritma yang berbasis *swarm* (kawanan) yang didasarkan pada alam mampu menghasilkan biaya yang rendah, cepat, dan solusi yang kuat dalam menyelesaikan masalah [32].

PSO mempunyai dua operator utama, yaitu *update* kecepatan dan *update* posisi. Pada setiap generasi, partikel dipercepat menuju posisi terbaik dari sebelumnya (*local best*) dan posisi terbaik dari populasi (*global best*) [33]. Pada setiap iterasi nilai kecepatan baru untuk setiap partikel dihitung berdasarkan kecepatan saat ini, jarak dari posisi terbaik sebelumnya, dan jarak dari posisi terbaik *global*. Nilai kecepatan baru tersebut kemudian digunakan untuk menghitung posisi berikutnya dari partikel dalam ruang pencarian (*search space*). Proses ini kemudian dilakukan berulang hingga didapatkan posisi yang *steady* atau mencapai batas iterasi yang telah ditetapkan sehingga menemukan solusi yang mempunyai kesalahan minimum.

### **Teori Dasar Teori *Particle Swarm Optimization* (PSO)**

Pada PSO, tiap calon solusi disebut sebagai “partikel” dan merupakan titik dalam ruang D-dimensi, jika D adalah jumlah parameter yang dioptimisasi. Dengan demikian, posisi partikel ke-*i* dapat digambarkan sebagai

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}] \quad (2.5)$$

Dan populasi dari *N* calon solusi yang merupakan *swarm* :

$$X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N\} \quad (2.6)$$

Dalam mencari solusi yang optimal, partikel menentukan lintasan dalam ruang parameter (yaitu iterasi yang memperbarui posisi partikel) berdasarkan persamaan gerak berikut.

$$\mathbf{x}_i(t+1) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t+1) \quad (2.7)$$



Dimana  $t$  dan  $t + 1$  menunjukkan bahwa dua iterasi yang berurutan dari algoritma dan  $\mathbf{v}_i$  adalah kumpulan vektor kecepatan dan partikel ke- $i$  sepanjang dimensi  $D$ . Vektor kecepatan mengatur gerak partikel yang melintasi ruang pencarian. Maka, kecepatan partikel ke- $i$  didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{v}_i(t+1) = \mathbf{v}_i(t) + c_1(\mathbf{p}_i - \mathbf{x}_i)(t)\mathbf{R}_1 + c_2(\mathbf{g} - \mathbf{x}_i(t))\mathbf{R}_2 \quad (2.8)$$

Dimana  $\mathbf{p}_i$  disebut sebagai “*personal best*” dari partikel, yaitu koordinat solusi terbaik yang diperoleh sejauh individu tertentu dan  $\mathbf{g}$  disebut sebagai “*global best*”, yaitu semua solusi yang diperoleh *swarm*. Konstanta percepatan  $c_1$  dan  $c_2$  yang bernilai *real* dan biasanya dalam kisaran  $0 \leq c_1, c_2 \leq 4$  disebut sebagai “*cognitive coefficient*” dan “*social coefficient*”, dan memodulasi besarnya langkah-langkah yang diambil oleh partikel ke arah *personal best* dan *global best*. Di sisi lain,  $\mathbf{R}_1$  dan  $\mathbf{R}_2$  merupakan dua diagonal dari matriks secara acak yang dihasilkan dari distribusi yang sama pada  $[0,1]$ . Secara keseluruhan, proses berulang dijelaskan pada persamaan (2.6) dan (2.7) yang diulang hingga kriteria berhenti, misalnya menentukan jumlah iterasi, jumlah maksimum iterasi sejak pembaruan (*update*) *global best* atau nilai *fitness* telah terpenuhi.

#### 1. Inisialisasi posisi dan kecepatan

PSO membutuhkan perkiraan awal posisi dan kecepatan partikel, yang disebut dengan inisialisasi. Inisialisasi digunakan sebagai penentu dalam mendefinisikan beberapa probabilitas bahwa partikel berada pada batas-batas pencarian. Penentuan inisialisasi posisi partikel berada pada ruang pencarian, yang merupakan pilihan terbaik

$$x_{ij}(0) \sim U(x_{j,\min}, x_{j,\max}) \quad (2.9)$$

Dimana  $x_{j,\min}$  dan  $x_{j,\max}$  merupakan batas atas dan batas bawah dari dimensi ke- $j$  pada ruang pencarian dan masing-masing  $U$  menunjukkan distribusi seragam.

Di sisi lain, untuk inisialisasi kecepatan partikel yang dilakukan secara acak masih di dalam batas ruang pencarian, yaitu seperti pada persamaan (2.6). Pada persamaan (2.8) masih dapat dijadikan untuk menentukan kecepatan awal partikel sebagai kecepatan pada nol atau lebih kecil dengan bilangan acak.

## 2. Pemilihan $c_1$ dan $c_2$ sebagai konstanta percepatan

Berdasarkan persamaan (2.7), nilai dari  $c_1$  menentukan tentang konstanta percepatan dan nilai dari  $c_2$  menentukan sejauh mana pergerakan partikel menuju pada *local best* dan *global best*. Sementara itu, terdapat pengaruh dari konstanta  $c_1$  dan  $c_2$  terhadap partikel yaitu percepatan akan meningkat saat menghasilkan pola sinusoidal dengan nilai yang lebih kecil. Secara umum, kondisi tersebut dapat ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$c_1 = c_2 = 2 \quad (2.10)$$

## 3. Menghindari *velocity explosion*

Salah satu ciri dari algoritma PSO adalah pada persamaan (2.8), dimana partikel bergerak pada tiap arah di ruang pencarian dengan iterasi yang berbeda. Jika konstanta percepatan diperbaiki dengan nilai yang dihasilkan pada persamaan (2.10) yang sesuai dengan persamaan (2.8), maka  $c_1\mathbf{R}_1$  dan  $c_2\mathbf{R}_2$  akan didistribusikan dengan merata pada  $[0,2]$  dengan nilai rata-rata sama dengan 1, dimana probabilitas akan mencapai 50% saat partikel bergerak (terbang) sesaat.

Pembaruan kecepatan di lintasan partikel yang lebih luas pada seluruh ruang pencarian menyebabkan partikel akan menuju mendekati tak hingga, sehingga disebut dengan “*velocity explosion*”. Untuk mengatasi hal ini, maka pada umumnya digunakan dua pendekatan yaitu penjepitan kecepatan (*velocity clamping*) dan menggunakan beban inersia.

Pada *velocity clamping* mengindikasikan terdapat batas yang digunakan untuk kecepatan maksimum pada setiap partikel sehingga dapat mencegah pergerakan partikel yg melampaui batas-batas ruang pencarian. Dengan demikian, algoritma untuk batas kecepatan sebagai berikut.

Jika  $v_{ij}(t+1) > v_j^{\max}$  maka  $v_{ij}(t+1) = v_j^{\max}$

Jika  $v_{ij}(t+1) < -v_j^{\max}$  maka  $v_{ij}(t+1) = -v_j^{\max}$  (2.11)

Dimana  $v_{ij}(t+1)$  merupakan kecepatan komponen dari partikel ke- $i$  sepanjang arah ke- $j$  pada iterasi ke- $(t+1)$  dari algoritma dan  $v_j^{\max}$  merupakan hasil kecepatan maksimum absolut yang diperbolehkan sepanjang arah ke- $j$  pada ruang parameter. Berikut merupakan hasil dari  $v_j^{\max}$  yaitu

$$v_j^{\max} = k \frac{(x_{j,\max} - x_{j,\min})}{2} \quad k \in (0,1) \quad (2.12)$$

Dimana  $x_{j,\min}$  dan  $x_{j,\max}$  terdapat pada persamaan (2.9) dan  $k$  merupakan konstanta.

Di sisi lain, untuk menghindari perbedaan *explosion velocity* yaitu dengan menggunakan *inertia weight*  $\omega(t+1)$  untuk mengendalikan momentum dari partikel dengan mengatur/memodulasi kecepatan pada iterasi sebelumnya untuk mendefinisikan kecepatan partikel sebenarnya. Dengan demikian, pembaruan kecepatan pada persamaan (2.6) menjadi sebagai berikut.

$$\mathbf{v}_i(t+1) = \omega(t+1)\mathbf{v}_i(t) + c_1(\mathbf{p}_i - \mathbf{x}_i)(t)\mathbf{R}_1 + c_2(\mathbf{g} - \mathbf{x}_i(t))\mathbf{R}_2 \quad (2.13)$$

Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai *inertia weight* ( $>1$ ) mempengaruhi nilai pencarian global, sementara untuk pencarian lokal *inertia weight* ( $<1$ ).

#### 4. Topologi jaringan

Dasar algoritma PSO, dimana pada persamaan (2.8) mendefinisikan tentang pembaruan kecepatan sebagai fungsi posisi partikel yang terbaik pada *swarm* (*global best*  $\mathbf{g}$ ), yang juga berada pada *local optimum*. Konvergensi dapat dicapai pada ruang pencarian sehingga mendapat hasil terbaik dari *global*. Bagaimanapun, jika *global optimum* tidak merupakan partikel terbaik yang dapat menyebabkan kawanan yang lain terhambat untuk menjelajah di ruang pencarian.

Salah satu cara untuk membatasi kemungkinan konvergensi yang berlebihan terhadap *local optimum* adalah dengan menentukan persamaan pembaruan kecepatan yang berdasarkan posisi terbaik (*local best*) dari sub kawanan di sekeliling partikel yang berpindah.

#### 5. Populasi *Swarm*

Populasi *swarm* adalah faktor lain yang mempunyai dampak pada kinerja algoritma PSO. Untuk populasi yang lebih besar akan meningkatkan keragaman kawanan dan konvergensinya. Namun, untuk kebanyakan kasus untuk jumlah individu yang lebih dari 50 maka PSO tidak akan sensitif pada ukuran populasi.

Secara garis besar, berikut merupakan langkah-langkah dari algoritma PSO.

##### a. Inisialisasi untuk tiap partikel $N$

- Membangkitkan posisi  $\mathbf{x}_i(0) \forall i \in 1:N$
- Membangkitkan posisi terbaik partikel sebagai posisi awal  $\mathbf{p}_i(0) = \mathbf{x}_i(0)$

- Menghitung nilai *fitness* untuk tiap partikel dan apabila  $f(x_j(0)) \geq f(x_i(0)) \forall i \neq j$  maka inisialisasi *global best* sebagai  $\mathbf{g} = \mathbf{x}_j(0)$
- b. Mengulangi langkah berikut hingga kriteria terpenuhi
  - *Update* kecepatan partikel sesuai dengan persamaan (2.7) berikut.  

$$\mathbf{v}_i(t+1) = \mathbf{v}_i(t) + c_1(\mathbf{p}_i - \mathbf{x}_i(t))\mathbf{R}_1 + c_2(\mathbf{g} - \mathbf{x}_i(t))\mathbf{R}_2$$
  - *Update* posisi partikel sesuai dengan persamaan (2.7) berikut.  

$$\mathbf{x}_i(t+1) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t+1)$$
  - Evaluasi nilai *fitness* partikel  $f(\mathbf{x}_i(t+1))$
  - Jika  $f(\mathbf{x}_i(t+1)) \geq f(\mathbf{p}_i)$ , maka melakukan *update personal best*  

$$\mathbf{p}_i = \mathbf{x}_i(t+1)$$
  - Jika  $f(\mathbf{x}_i(t+1)) \geq f(\mathbf{g}_i)$ , maka melakukan *update global best*  

$$\mathbf{g}_i = \mathbf{x}_i(t+1)$$
- c. Solusi terbaik akan direpresentasikan pada iterasi terakhir.

Untuk melihat efektifitas dari data yang telah direkonsiliasi, maka kita dapat membandingkan nilai dari standar deviasi pada hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data. Dari selisih yang didapatkan maka kita juga dapat mengetahui bahwa terdapat adanya *random error* pada hasil pengukuran.

## 2.5 Karakteristik Pengukuran

Pengukuran merupakan kegiatan menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka dengan membandingkan suatu besaran yang diukur menggunakan alat ukur yang digunakan sebagai satuan. Hal yang diperlukan untuk melakukan pengukuran adalah sebagai berikut.

- Akurasi (*accuracy*)  
 Akurasi (ketelitian) merupakan kemampuan alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya.
- Presisi (*precision*)  
 Presisi merupakan kedekatan nilai-nilai pengukuran individual yang didistribusikan sekitar nilai rata-ratanya atau penyebaran nilai pengukuran individual dari rata-ratanya.

- Repeatabilitas (*repeatability*)  
Repeatabilitas adalah menunjukkan hasil yang sama dari proses pengukuran yang dilakukan berulang-ulang dan identik.
- Kesalahan (*error*)  
Beda aljabar antara nilai ukuran yang terbaca dengan nilai “sebenarnya” dari obyek yang diukur. Perubahan pada reaksi alat ukur dibagi oleh hubungan perubahan aksinya.
- Resolusi (*resolution*)  
Ditunjukkan dengan kemampuan yang mampu menunjukkan dan mengukur perubahan terkecil dari nilai pengukuran yang mampu ditanggapi alat ukur
- Kalibrasi (*calibration*)  
Kalibrasi merupakan serangkaian kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional penunjukan alat ukur
- Koreksi (*correction*)  
Merupakan suatu harga yang ditambahkan secara aljabar pada hasil dari alat ukur untuk mengkompensasi penambahan kesalahan sistematis
- *Traceability*  
Terkaitnya hasil pengukuran pada standar nasional/internasional melalui peralatan ukur yang kinerjanya diketahui
- *Uncertainty*  
Merupakan perkiraan atau taksiran rentang dari nilai pengukuran dimana nilai sebenarnya dari besaran obyek yang diukur (*measured*) terletak
- *Reliability*  
Merupakan kemampuan alat ukur untuk melakukan fungsi yang diisyaratkan untuk suatu periode yang ditetapkan.

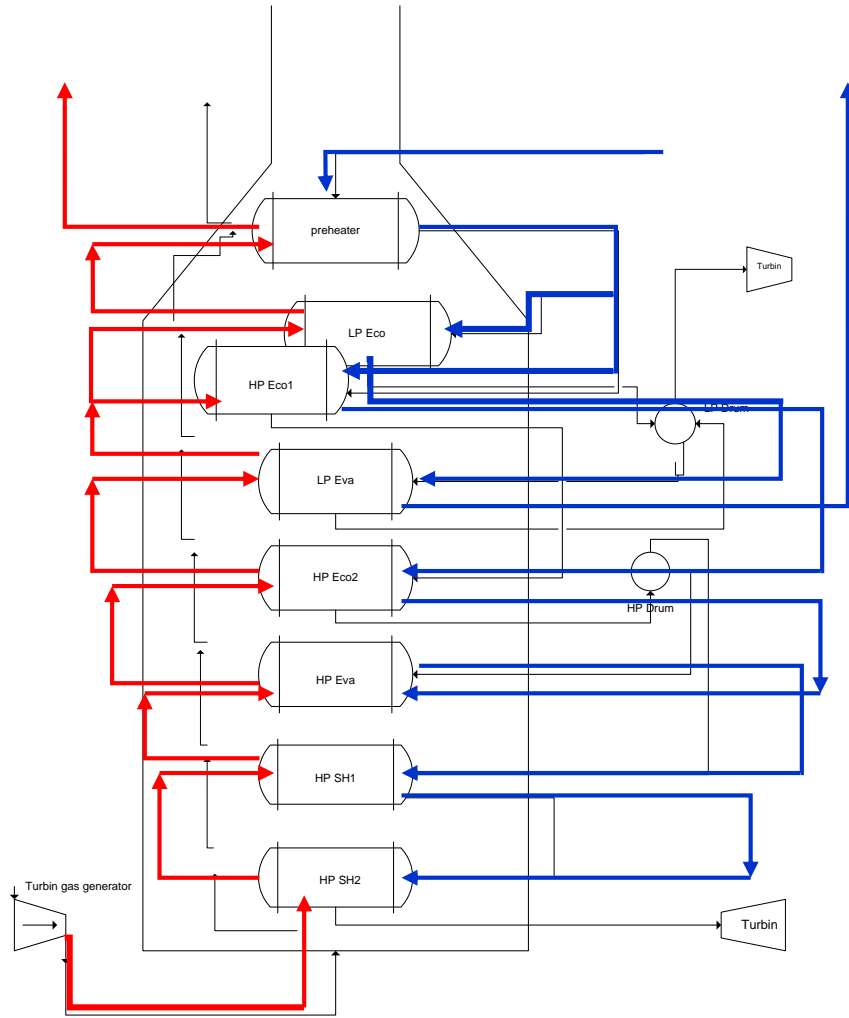
## 2.6 *Power Plant* di PLTU Gresik

Pada PLTG Gresik terdapat tiga *heat recovery steam generator* (HRSG), tetapi pada penelitian ini memfokuskan pada HRSG pertama saja. Berdasarkan blok diagram (terlampir), maka terdapat bagian-bagian dari *plant* yang akan direkonsiliasi yaitu serangkaian dari *boiler*, diantaranya pada *preheater*, *low pressure economizer* (LP Eco), *high pressure economizer 1* (HP Eco 1), *low pressure evaporator* (LP Eva), *high pressure economizer 2* (HP Eco 2), *high*

*pressure evaporator* (HP Eva), *high pressure superheater 1* (HP SH 1), dan *high pressure superheater 2* (HP SH 2). Serangkaian *boiler* tersebut harus direkonsiliasi karena berdasarkan hukum kesetimbangan massa dan energi yaitu jumlah energi panas yang diterima oleh fluida dingin besarnya sama dengan jumlah energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas, yaitu  $Q_c = Q_h$ . Hal itu didukung dengan adanya data yang diperoleh dari *plant* dengan penjelasan berikut.

*Preheater* digunakan sebagai pemanas awal untuk *steam* pada boiler hingga ke tingkat temperatur tertentu. Pada *preheater* di PLTU Gresik terjadi pertukaran panas antara fluida yang berasal dari *gland condense* dan gas buang turbin generator. *Preheater* mendapatkan panas yang berasal dari gas buang turbin generator dengan temperatur yang paling rendah diantara komponen *boiler* sesudahnya. Hal tersebut sesuai dengan *process flow* (PFD) yang didapat, dimana *preheater* terletak di bagian boiler yang paling atas. Sementara itu, *preheater* juga mendapatkan fluida dingin berupa air yang berasal dari *gland condenser*.

Selanjutnya untuk *low pressure economizer* (LP Eco) dan *high pressure economizer 1* (HP Eco 1) dirangkai oleh PLTU Gresik secara paralel, sehingga mendapat besarnya masukan temperatur panas ( $T_{Hin}$ ) dan temperatur dingin ( $T_{Hout}$ ) adalah sama. Tetapi untuk masukan *mass flow rate* antara *low pressure economizer* (LP Eco) dan *high pressure economizer 1* (HP Eco 1) yang berasal *preheater* mempunyai nilai yang berbeda, dimana nilai perbandingan *mass flow rate* untuk *low pressure economizer* (LP Eco) dan *high pressure economizer 1* (HP Eco 1) yang berasal *preheater* adalah 1 : 2,7. Gambar 2.1 berikut merupakan delapan komponen dari *boiler* yang akan dilakukan rekonsiliasi data guna meningkatkan akurasi dan reliabilitas data.



Gambar 2.1 *Plant* komponen boiler

- Aliran fluida panas
- Aliran fluida dingin

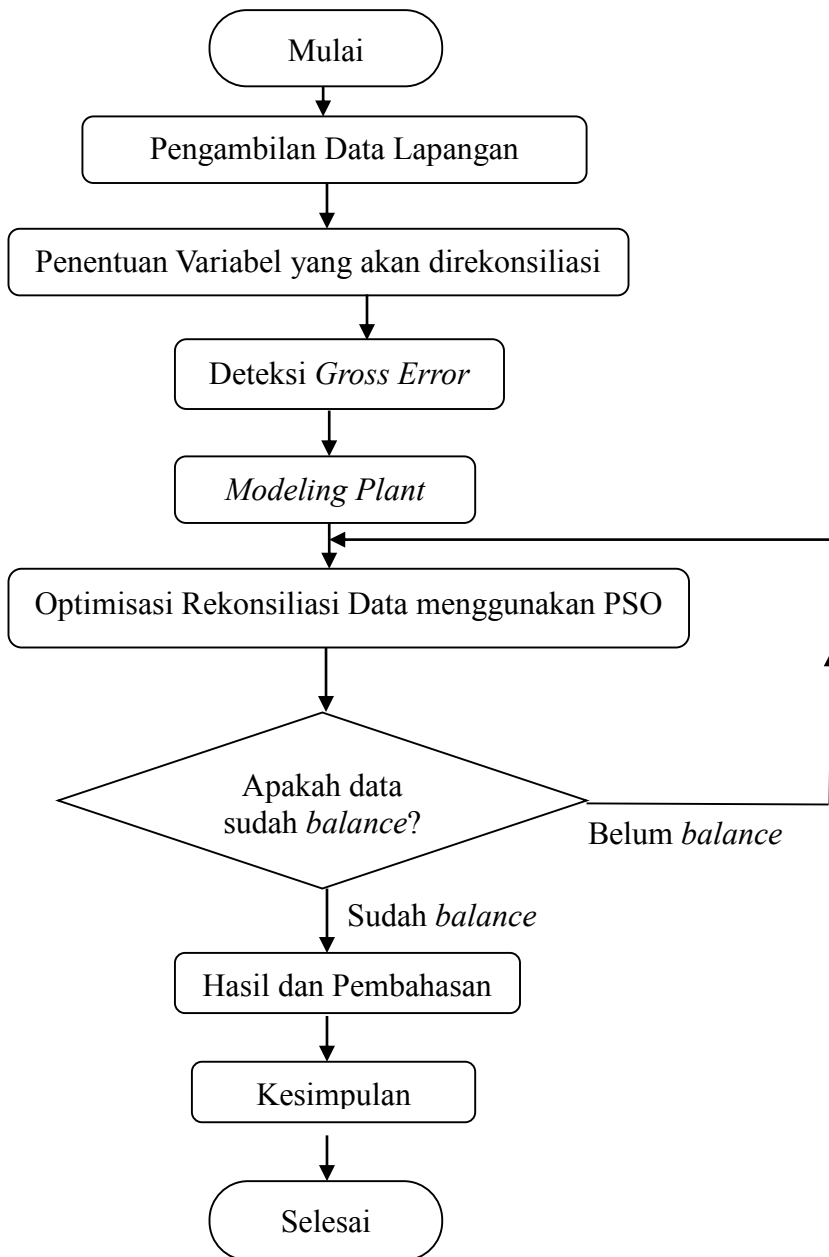
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Prosedur Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, maka tahapan-tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Pengumpulan Data

Untuk tahap awal pada penelitian ini adalah dengan melakukan pengumpulan data dari *plant* yang dipilih (terlampir). *Plant* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah rekonsiliasi data adalah komponen *heat exchanger* pada proses penukar panas *shell and tube*. Data yang dibutuhkan adalah *mass flow rate* dan temperatur. Untuk data *mass flow rate* merupakan data *mass flow rate* dari sisi *shell* dan *tube*. Sementara untuk data temperatur merupakan data temperatur masukan ( $T_{H,in}$ ) dan keluaran ( $T_{H,out}$ ) dari sisi *shell* dan data temperatur masukan ( $T_{C,in}$ ) dan keluaran ( $T_{C,out}$ ) dari sisi *tube*.

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data mentah lapangan pada bulan Januari tahun 2017. Pengambilan data diambil selama satu bulan dengan tiap hari dilakukan pengambilan data sebanyak 6 kali. Jadi jumlah data mentah yang digunakan adalah sebanyak 1488 data. Pengumpulan data berdasarkan pada komponen *heat exchanger* di boiler yaitu *preheater*, *low pressure economizer* (LP Eco), *high pressure economizer 1* (HP Eco 1), *low pressure evaporator* (LP Eva), *high pressure economizer 2* (HP Eco 2), *high pressure evaporator* (HP Eva), *high pressure superheater 1* (HP SH 1), dan *high pressure superheater 2* (HP SH 2).

Pada *plant*, tidak semua komponen *heat exchanger* dilakukan pengamatan. Hal ini menyebabkan data mentah yang diterima masih harus dilengkapi. Berikut merupakan ketersediaan data yang berasal dari *plant* pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketersediaan data pada komponen *heat exchanger*

	$m_H$	$(T_{H,in})$	$(T_{H,out})$	$m_C$	$(T_{C,in})$	$(T_{C,out})$
Preheater	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LP Eco	✓	✓	✓	✓	✓	X
HP Eco 1	✓	✓	✓	✓	✓	X
LP Eva	✓	✓	✓	✓	✓	X
HP Eco 2	✓	✓	✓	X	X	X
HP Eva	✓	✓	✓	X	✓	X
HP SH 1	✓	✓	✓	X	X	X
HP SH 2	✓	✓	✓	X	X	✓

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat data yang harus ditebak dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan energi yang akan dijabarkan pada model *plant* berikutnya.

Dari data *mass flow rate* dan temperatur, maka dapat diketahui jumlah energi panas yang diterima oleh sisi *tube* dan jumlah energi panas yang dilepaskan oleh sisi *shell*. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui apabila  $Q_H = Q_C$  maka proses pada *plant* sudah memenuhi hukum Kesetimbangan Massa dan Energi dan apabila  $Q_H \neq Q_C$  maka proses pada *plant* berdasarkan data yang didapat tidak memenuhi hukum Kesetimbangan Massa dan Energi dan terdapat eror pada proses tersebut. Dari perhitungan pada penelitian ini didapat bahwa jumlah energi panas yang diterima oleh sisi *tube* dan jumlah energi panas yang dilepaskan oleh sisi *shell* tidak sama ( $Q_H \neq Q_C$ ). Oleh sebab itu, perlu dilakukan perbaikan data dengan melakukan rekonsiliasi data.

### 3.3 Penentuan Variabel Rekonsiliasi

Penentuan variabel didapat berdasarkan variabel dari tiap komponen, yaitu sebagai berikut.

#### a. *Preheater*

Penentuan variabel pada *preheater* ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inP}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada *preheater*),  $T_{H.outP}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada *preheater*),  $T_{C.inP}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada *preheater*),  $T_{C.outP}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada *preheater*),  $\dot{m}_{H.inP}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada *preheater*),  $\dot{m}_{H.outP}$  (keluaran untuk *mass flow rate hot* pada *preheater*),  $\dot{m}_{C.inP}$  (masukan untuk *mass flow rate cold* pada *preheater*), dan  $\dot{m}_{C.outP}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada *preheater*).

#### b. *Low pressure economizer (LP Eco)*

Penentuan variabel pada *low pressure economizer (LP Eco)* ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inLPEc}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada LP Eco),  $T_{H.outLPEc}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada LP Eco),  $T_{C.inLPEc}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada LP Eco),  $T_{C.outLPEc}$  (keluaran

untuk temperatur *cold* pada LP Eco),  $\dot{m}_{H.inLPEc}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada LP Eco),  $\dot{m}_{H.outLPEc}$  (keluaran untuk *mass flow rate hot* pada LP Eco),  $\dot{m}_{C.inLPEc}$  (masukan untuk *mass flow rate cold* pada LP Eco), dan  $\dot{m}_{C.outLPEc}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada LP Eco).

c. *High pressure economizer 1* (HP Eco 1)

Penentuan variabel pada *low pressure economizer 1* (HP Eco 1) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inHPEc1}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada HP Eco 1),  $T_{H.outLPEc1}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada HP Eco 1),  $T_{C.inHPEc1}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada HP Eco 1),  $T_{C.outHPEc1}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada HP Eco 1),  $\dot{m}_{H.inHPEc1}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP Eco 1),  $\dot{m}_{H.outLPEc1}$  (keluaran untuk *mass flow rate hot* pada HP Eco 1),  $\dot{m}_{C.inHPEc1}$  (masukan untuk *mass flow rate cold* pada LP Eco 1), dan  $\dot{m}_{C.outLPEc1}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada LP Eco).

d. *Low pressure evaporator* (LP Eva)

Penentuan variabel pada *low pressure evaporator 1* (LP Eva) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inLPEv}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada LP Eva),  $T_{H.outLPEv}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada LP Eva),  $T_{C.inLPEv}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada LP Eva),  $T_{C.outLPEv}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada LP Eva),  $\dot{m}_{H.inHPEc1}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada LP Eva),  $\dot{m}_{C.inLPEv}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada LP Eva),  $\dot{m}_{C.outLPEv}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada LP Eva), dan  $\dot{m}_{C.outLPEv}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada LP Eva).

e. *High pressure economizer 2* (HP Eco 2)

Penentuan variabel pada *high pressure economizer 2* (HP Eco 2) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inHPEc2}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada HP Eco 2),  $T_{H.outHPEc2}$  (keluaran untuk

temperatur *hot* pada HP Eco 2),  $T_{C.inHPEc2}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada HP Eco 2),  $T_{C.outHPEc2}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada HP Eco 2),  $\dot{m}_{H.inHPEc2}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP Eco 2),  $\dot{m}_{C.inHPEc2}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP Eco 2),  $\dot{m}_{C.outHPEc2}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP Eco 2), dan  $\dot{m}_{C.outHPEc2}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP Eco 2).

f. *High pressure evaporator* (HP Eva)

Penentuan variabel pada *high pressure evaporator* (HP Eva) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inHPEv}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada HP Eva),  $T_{H.outHPEv}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada HP Eva),  $T_{C.inHPEc2}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada HP Eva),  $T_{C.outHPEv}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada HP Eva),  $\dot{m}_{H.inHPEv}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP Eva),  $\dot{m}_{C.inHPEv}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP Eva),  $\dot{m}_{C.outHPEv}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP Eva), dan  $\dot{m}_{C.outHPEv}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP Eva).

g. *High pressure superheater 1* (HP SH 1)

Penentuan variabel pada *high pressure superheater 1* (HP SH 1) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inHPSH1}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada HP SH 1),  $T_{H.outHPSH1}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada HP SH 1),  $T_{C.inHPSH1}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada HP SH 1),  $T_{C.outHPSH1}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada HP SH 1),  $\dot{m}_{H.inHPSH1}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP SH 1),  $\dot{m}_{C.inHPSH1}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP SH 1),  $\dot{m}_{C.outHPSH1}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP SH 1), dan  $\dot{m}_{C.outHPSH1}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP SH 1).

h. *High pressure superheater 2* (HP SH 2)

Penentuan variabel pada *high pressure superheater 2* (HP SH 2) ditentukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi perpindahan panas, yaitu  $T_{H.inHPSH2}$  (masukan untuk temperatur *hot* pada HP SH 2),  $T_{H.outHPSH2}$  (keluaran untuk temperatur *hot* pada HP SH 2),  $T_{C.inHPSH2}$  (masukan untuk temperatur *cold* pada HP SH 2),  $T_{C.outHPSH2}$  (keluaran untuk temperatur *cold* pada HP SH 2),  $\dot{m}_{H.inHPSH2}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP SH 2),  $\dot{m}_{C.inHPSH2}$  (masukan untuk *mass flow rate hot* pada HP SH 2),  $\dot{m}_{C.outHPSH2}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP SH 2), dan  $\dot{m}_{C.outHPSH2}$  (keluaran untuk *mass flow rate cold* pada HP SH 2).

### 3.4 Deteksi *Gross Error*

Deteksi *gross error* dilakukan dengan menggunakan uji perhitungan statistik *chi square*. Sesuai pada penjelasan pada BAB II, ada tidaknya indikasi *gross error* dapat diketahui dengan membandingkan hasil perhitungan statistik *chi square* dan nilai kriteria berdasarkan tabel *chi squared*.

### 3.5 *Modeling Plant*

Performansi/kinerja pada *heat exchanger* dilakukan berdasarkan kesetimbangan energi dalam keadaan *steady state*. Kesetimbangan energi pada fluida panas dan fluida dingin serta persamaan perpindahan panas akan membentuk model dari *heat exchanger*. Secara umum digunakan gaya penggerak (*driving force*) seperti *log mean temperature difference* (LMTD) dan diasumsikan sifat/komposisi dari cairan adalah seragam (sama) selama terjadi pertukaran panas untuk menentukan koefisien perpindahan panas.

Dengan asumsi bahwa tidak ada energi panas yang hilang ke lingkungan, maka energi panas yang hilang pada fluida panas besarnya harus sama dengan energi panas yang diterima oleh fluida dingin, sehingga

$$Q_c = Q_h \tag{3.1}$$

Dimana :

- $Q_c$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh fluida dingin
- $Q_h$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas

Jumlah panas yang diterima oleh fluida dingin,  $Q_c$  diberikan oleh persamaan

$$Q_c = m_c \cdot c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3.2)$$

Dimana

$m_c$  : Laju aliran massa fluida dingin

$c_{p,c}$  : Kalor jenis fluida dingin

$T_{c,i}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin

$T_{c,o}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin

Jumlah panas yang dilepaskan oleh fluida panas  $Q_h$  diberikan oleh persamaan

$$Q_c = m_h \cdot c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3.3)$$

Dimana

$m_h$  : Laju aliran massa fluida panas

$c_{p,h}$  : Kalor jenis fluida panas

$T_{h,i}$  : Temperatur masukan dari fluida panas

$T_{h,o}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas

Untuk besarnya  $c_{PC}$  dan  $c_{PH}$  pada setiap komponen mempunyai nilai yang sama pada setiap pengambilan data. Hal ini didasarkan pada hasil pengukuran yang dirata-rata berdasarkan *range* variasi hasil pengukuran pada tiap variabel rekonsiliasi. Jadi, pada penelitian ini mempunyai delapan variasi untuk nilai  $c_{PC}$  dan  $c_{PH}$ .

Berikut merupakan model *plant* komponen *heat exchanger* yang memenuhi Hukum Keseimbangan Massa dan Energi.

#### a. *Preheater*

- *m cold*

$$\dot{m}_{C.inP} = \dot{m}_{C.outP}$$

- *m hot*

$$\dot{m}_{H.inP} = \dot{m}_{H.outP}$$

- *Energy Balance*

$$Q_{H.P} = Q_{C.P}$$

$$m_{H.P} \cdot C_{PH} \cdot (T_{H.inP} - T_{H.outP}) = m_{C.P} \cdot C_{PC} \cdot (T_{C.outP} - T_{H.inP})$$

Dimana :  $T_{H.inP} = T_{H.outLPEc}$

Sehingga

$$m_{H.P} \cdot C_{PH} \cdot (T_{H.outLPEc} - T_{H.outP}) = m_{C.P} \cdot C_{PC} \cdot (T_{C.outP} - T_{H.inP})$$

Dimana:

- $\dot{m}_{C.inP}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *preheater*
- $\dot{m}_{C.outP}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *preheater*
- $\dot{m}_{H.inP}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *preheater*
- $\dot{m}_{H.outP}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *preheater*
- $Q_{H.P}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *preheater*
- $Q_{C.P}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *preheater*
- $c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas
- $c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin
- $T_{H.inP}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *preheater*
- $T_{H.outP}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *preheater*
- $T_{C.inP}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *preheater*
- $T_{C.outP}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *preheater*

**b. Low Pressure Economizer (LP Eco)**

- m cold

$$\dot{m}_{C.inLPEc} = \dot{m}_{C.outLPEc}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inLPEc} = \dot{m}_{H.outLPEc}$$

- Energy Balance

$$Q_{H.LPEc} = Q_{C.LPEc}$$

$$m_{H.LPEc} \cdot C_{PH.LPEc} \cdot (T_{H.inLPEc} - T_{H.outLPEc}) = m_{C.LPEc} \cdot C_{PC.LPEc} \cdot (T_{C.outLPEc} - T_{C.inLPEc})$$

\*(Perbandingan massa antara LP Eco : HP Eco 1 = 1 : 2.7)

$$m_{C.P} = m_{C.LPEc} + m_{C.HPEc1} = 0.272m_{C.P} + 0.728m_{C.P}$$

Maka,

$$m_{C.LPEc} = 0.272m_{C.P}$$

$$m_{C.HPEc1} = 0.728m_{C.P}$$

Sehingga

$$m_{H.LPEc} \cdot C_{PH.LPEc} \cdot (T_{H.inLPEc} - T_{H.outLPEc}) = 0.272m_{C.P} \cdot C_{PC.LPEc} \cdot (T_{C.outLPEc} - T_{C.inLPEc}) \text{ Dan}$$



$$T_{H.inLPEc} = T_{H.outLPEv}$$

$$T_{H.outPEc} = T_{H.inP}$$

$$T_{C.inLPEc} = T_{C.outP}$$

$$T_{C.outLPEc} = T_{C.inLPEv}$$

$$m_{H.LPEc} \cdot C_{PH.LPEc} (T_{H.outLPEv} - T_{H.inP}) = 0.272 m_{C.P} \cdot C_{PC.LPEc} (T_{C.inLPEv} - T_{C.outP})$$

Dimana:

$\dot{m}_{C.inLPEc}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *low pressure economizer*

$\dot{m}_{C.outLPEc}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *low pressure economizer*

$\dot{m}_{H.inLPEc}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *low pressure economizer*

$\dot{m}_{H.outLPEc}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *low pressure economizer*

$Q_{H.LPEc}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *low pressure economizer*

$Q_{C.LPEc}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *low pressure economizer*

$c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas

$c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin

$T_{H.inLPEc}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *low pressure economizer*

$T_{H.outLPEc}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *low pressure economizer*

$T_{C.inLPEc}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *low pressure economizer*

$T_{C.outLPEc}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *low pressure economizer*

$T_{H.outLPEv}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *low pressure evaporator*

$T_{C.inLPEv}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *low pressure evaporator*

### c. *High pressure economizer 1 (HP Eco 1)*

- m cold

$$\dot{m}_{C.inHPEc1} = \dot{m}_{C.outHPEc1}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inHPEc1} = \dot{m}_{H.outHPEc1}$$

- Energy Balance

$$Q_{in.HPEc1} = Q_{out.HPEc1}$$

$$m_{H.HPEc1} \cdot C_{PH.HPEc1} (T_{H.inHPEc1} - T_{H.outHPEc1}) = m_{C.HPEc1} \cdot C_{PC.HPEc1} (T_{C.outHPEc1} - T_{C.inHPEc1})$$

\*(Perbandingan massa antara LP Eco : HP Eco 1 = 1 : 2.7)

$$m_{C,P} = m_{C,LPEc} + m_{C,HPEc1} = 0.272m_{C,P} + 0.728m_{C,P}$$

Maka,

$$m_{C,LPEc} = 0.2m_{C,P}$$

$$m_{C,HPEc1} = 0.7m_{C,P}$$

Sehingga

$$m_{H,HPEc1} \cdot C_{PH,HPEc1} \cdot (T_{H.inHPEc1} - T_{H.outHPEc1}) = 0.728m_{C,P} \cdot C_{PC,HPEc1} \cdot (T_{C.outHPEc1} - T_{C.inHPEc1})$$

Dan

$$T_{H.inHPEc1} = T_{H.outLPEv}$$

$$T_{H.outHPEc1} = T_{H.inP}$$

$$T_{C.inHPEc1} = T_{C.outP}$$

$$T_{C.outHPEc1} = T_{C.inHPEc2}$$

Sehingga

$$m_{H,HPEc1} \cdot C_{PH,HPEc1} \cdot (T_{H.outLPEv} - T_{H.inP}) = 0.728m_{C,P} \cdot C_{PC,HPEc1} \cdot (T_{C.inHPEc2} - T_{C.outP})$$

Dimana:

- $\dot{m}_{C.inP}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *high pressure economizer 1*
- $\dot{m}_{C.outP}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *high pressure economizer 1*
- $\dot{m}_{H.inP}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *high pressure economizer 1*
- $\dot{m}_{H.outP}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *high pressure economizer 1*
- $Q_{H,P}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *high pressure economizer 1*
- $Q_{C,P}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *high pressure economizer 1*
- $c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas
- $c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin
- $T_{H.inP}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *high pressure economizer 1*
- $T_{H.outP}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *high pressure economizer 1*
- $T_{C.inP}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *high pressure economizer 1*
- $T_{C.outP}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *high pressure economizer 1*

#### d. LP Eva

- m cold

$$\dot{m}_{C.inLPEv} = \dot{m}_{C.outLPEv}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inLPEv} = \dot{m}_{H.outLPEv}$$

- Energy Balance

$$Q_{in.LPEv} = Q_{out.LPEv}$$

$$m_{H.LPEv} \cdot C_{PH.LPEv} \cdot (T_{H.inLPEv} - T_{H.outLPEv}) = m_{C.LPEv} \cdot C_{PC,LPEv} \cdot (T_{C.outLPEv} - T_{C.inLPEv})$$

Dimana

$$m_{C.LPEv} = m_{C.LPEc} = 0.272m_{C.P}$$

Sehingga

$$m_{H.LPEv} \cdot C_{PH.LPEv} \cdot (T_{H.inLPEv} - T_{H.outLPEv}) = 0.272m_{C.P} \cdot C_{PC,LPEv} \cdot (T_{C.outLPEv} - T_{C.inLPEv})$$

Dan

$$T_{H.inLPEv} = T_{H.outLPEc}$$

$$T_{H.outLPEv} = T_{H.inLPEc} = T_{H.inHPEc1}$$

$$T_{C.inLPEv} = T_{C.outLPEc}$$

Sehingga

$$m_{H.LPEv} \cdot C_{PH.LPEv} \cdot (T_{H.outLPEc} - T_{H.inLPEc}) = 0.272m_{C.P} \cdot C_{PC,LPEv} \cdot (T_{C.outLPEv} - T_{C.outLPEc})$$

Dimana:

$\dot{m}_{C.inLPEv}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *low pressure evaporator*

$\dot{m}_{C.outLPEv}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *low pressure evaporator*

$\dot{m}_{H.inLPEv}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *low pressure evaporator*

$\dot{m}_{H.outLPEv}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *low pressure evaporator*

$Q_{H.LPEv}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *low pressure evaporator*

$Q_{C.LPEv}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *low pressure evaporator*

$c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas

$c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin

- $T_{H.inLPEv}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *low pressure evaporator*  
 $T_{H.outLPEv}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *low pressure evaporator*  
 $T_{C.inLPEv}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *low pressure evaporator*  
 $T_{C.outLPEv}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *low pressure evaporator*

**e. HP Eco 2**

- *m cold*

$$\dot{m}_{C.inHPEc2} = \dot{m}_{C.outHPEc2}$$

- *m hot*

$$\dot{m}_{H.inHPEc2} = \dot{m}_{H.outHPEc2}$$

- Energy Balance

$$Q_{in.HPEc2} = Q_{out.HPEc2}$$

$$m_{H.HPEc2} \cdot C_{PH.HPEc2} \cdot (T_{H.inHPEc2} - T_{H.outHPEc2}) = m_{C.HPEc2} \cdot C_{PC.HPEc2} \cdot (T_{C.outHPEc2} - T_{C.inHPEc2})$$

Dimana

$$m_{C.HPEc2} = m_{C.HPEc1} = 0.728m_{C.P}$$

Sehingga

$$m_{H.HPEc2} \cdot C_{PH.HPEc2} \cdot (T_{H.inHPEc2} - T_{H.outHPEc2}) = 0.728m_{C.P} \cdot C_{PC.HPEc2} \cdot (T_{C.outHPEc2} - T_{C.inHPEc2})$$

Dan

$$T_{H.inHPEc2} = T_{H.outHPEv}$$

$$T_{H.outHPEc2} = T_{H.inLPEv}$$

$$T_{C.inHPEc2} = T_{C.outHPEc1}$$

$$T_{C.outHPEc2} = T_{C.inHPEv1}$$

Sehingga

$$m_{H.HPEc2} \cdot C_{PH.HPEc2} \cdot (T_{H.outHPEv} - T_{H.inLPEv}) = 0.728m_{C.P} \cdot C_{PC.HPEc2} \cdot (T_{C.inHPEv1} - T_{C.outHPEc1})$$

Dimana:

$\dot{m}_{C.inHPEc2}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *high pressure economizer 2*  
 $\dot{m}_{C.outHPEc2}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *high pressure economizer 2*

- $\dot{m}_{H.inHPEc2}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *high pressure economizer 2*  
 $\dot{m}_{H.outHPEc2}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *high pressure economizer 2*  
 $Q_{H.HPEc2}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *high pressure economizer 2*  
 $Q_{C.HPEc2}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *high pressure economizer 2*  
 $c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas  
 $c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin  
 $T_{H.inHPEc2}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *high pressure economizer 2*  
 $T_{H.outHPEc2}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *high pressure economizer 2*  
 $T_{C.inHPEc2}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *high pressure economizer 2*  
 $T_{C.outHPEc2}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *high pressure economizer 2*

#### f. HP Eva

- m cold

$$\dot{m}_{C.inHPEv} = \dot{m}_{C.outHPEv}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inHPEv} = \dot{m}_{H.outHPEv}$$

- Energy Balance

$$Q_{in.HPEv} = Q_{out.HPEv}$$

$$m_{H.HPEv} \cdot C_{PH.HPEv} \cdot (T_{H.inHPEv} - T_{H.outHPEv}) = m_{C.HPEv} \cdot C_{PC.HPEv} \cdot (T_{C.outHPEv} - T_{C.inHPEv})$$

Dimana

$$m_{C.HPEv} = m_{C.HPEc2} = 0.728m_{C.P}$$

Sehingga

$$m_{H.HPEv} \cdot C_{PH.HPEv} \cdot (T_{H.inHPEv} - T_{H.outHPEv}) = 0.7m_{C.P} \cdot C_{PC.HPEv} \cdot (T_{C.outHPEv} - T_{C.inHPEv}) \text{ Dan}$$

$$T_{H.inHPEv} = T_{H.outHPSH1}$$

$$T_{H.outHPEv} = T_{H.inHPEc2}$$

$$T_{C.inHPEv} = T_{C.outHPEc2}$$

$$T_{C.outHPEv} = T_{C.inHPSH1}$$

Sehingga

$$m_{H.HPEv} \cdot C_{PH.HPEv} \cdot (T_{H.outHPSH1} - T_{H.inHPEc2}) = 0.7m_{C.P} \cdot C_{PC,HPEv} (T_{C.inHPSH1} - T_{C.outHPEc2})$$

Dimana:

- $\dot{m}_{C.inHPEv}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *high pressure evaporator*
- $\dot{m}_{C.outHPEv}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *high pressure evaporator*
- $\dot{m}_{H.inHPEv}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *high pressure evaporator*
- $\dot{m}_{H.outHPEv}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *high pressure evaporator*
- $Q_{H.HPEv}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *high pressure evaporator*
- $Q_{C.HPEv}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *high pressure evaporator*
- $C_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas
- $C_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin
- $T_{H.inHPEv1}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *high pressure evaporator*
- $T_{H.outHPEv}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *high pressure evaporator*
- $T_{C.inHPEv}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *high pressure evaporator*
- $T_{C.outHPEv}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *high pressure evaporator*

#### g. HP SH 1

- m cold

$$\dot{m}_{C.inHPSH1} = \dot{m}_{C.outHPSH1}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inHPSH1} = \dot{m}_{H.outHPSH1}$$

- Energy Balance

$$Q_{in.HPSH1} = Q_{out.HPSH1}$$

$$m_{H.HPSH1} \cdot C_{PH.HPSH1} \cdot (T_{H.inHPSH1} - T_{H.outHPSH1}) = m_{C.HPSH1} \cdot C_{PC,HPSH1} (T_{C.outHPSH1} - T_{C.inHPSH1})$$

Dimana

$$m_{C.HPSH1} = m_{C.HPEv} = 0.728m_{C.P}$$

Sehingga

$$m_{H,HPSH1} \cdot C_{PH,HPSH1} \cdot (T_{H.inHPSH1} - T_{H.outHPSH1}) = 0.728 m_{C,P} \cdot C_{PC,HPSH1} (T_{C.outHPSH1} - T_{C.inHPSH1})$$

Dan

$$T_{H.inHPSH1} = T_{H.outHPSH2}$$

$$T_{H.outHPSH1} = T_{H.inHPEv}$$

$$T_{C.inHPSH1} = T_{C.outHPEv}$$

$$T_{C.outHPSH1} = T_{C.inHPSH2}$$

Sehingga

$$m_{H,HPSH1} \cdot C_{PH,HPSH1} \cdot (T_{H.outHPSH2} - T_{H.inHPEv}) = 0.728 m_{C,P} \cdot C_{PC,HPSH1} (T_{C.inHPSH2} - T_{C.outHPEv})$$

Dimana:

- $\dot{m}_{C.inHPSH1}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *high pressure superheater 1*
- $\dot{m}_{C.outHPSH1}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *high pressure superheater 1*
- $\dot{m}_{H.inHPSH1}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *high pressure superheater 1*
- $\dot{m}_{H.outHPSH1}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *high pressure superheater 1*
- $Q_{H,HPSH1}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *high pressure superheater 1*
- $Q_{C,HPSH1}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *high pressure superheater 1*
- $c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas
- $c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin
- $T_{H.inHPSH1}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *high pressure superheater 1*
- $T_{H.outHPSH1}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *high pressure superheater 1*
- $T_{C.inHPSH1}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *high pressure superheater 1*
- $T_{C.outHPSH1}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *high pressure superheater 1*

#### **h. HP SH 2**

- m cold

$$\dot{m}_{C.inHPSH2} = \dot{m}_{C.outHPSH2}$$

- m hot

$$\dot{m}_{H.inHPSH2} = \dot{m}_{H.outHPSH2}$$

- Energy Balace

$$Q_{in,HPSH2} = Q_{out,HPSH2}$$

$$m_{H,HPSH2} \cdot C_{PH,HPSH2} \cdot (T_{H,inHPSH2} - T_{H,outHPSH2}) = m_{C,HPSH2} \cdot C_{PC,HPSH2} (T_{C,outHPSH2} - T_{C,inHPSH2})$$

Dimana

$$m_{C,HPSH2} = m_{C,HPSH1} = 0.728m_{C,P}$$

Sehingga

$$m_{H,HPSH2} \cdot C_{PH,HPSH2} \cdot (T_{H,inHPSH2} - T_{H,outHPSH2}) = 0.728m_{C,P} \cdot C_{PC,HPSH2} (T_{C,outHPSH2} - T_{C,inHPSH2})$$

Dan

$$T_{H,outHPSH2} = T_{H,inHPSH1}$$

$$T_{C,inHPSH2} = T_{C,outHPSH1}$$

Sehingga

$$m_{H,HPSH2} \cdot C_{PH,HPSH2} \cdot (T_{H,inHPSH2} - T_{H,inHPSH1}) = 0.728m_{C,P} \cdot C_{PC,HPSH2} (T_{C,outHPSH2} - T_{C,outHPSH1})$$

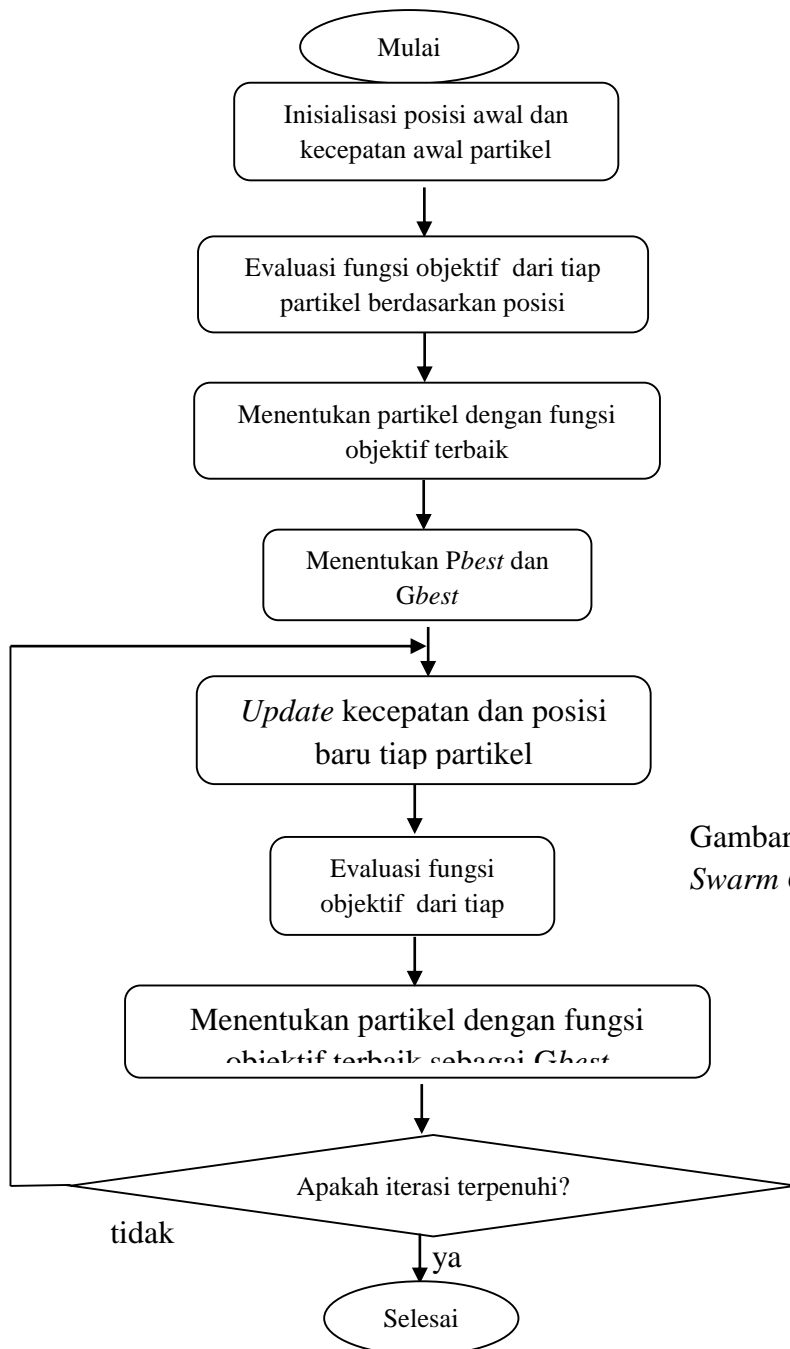
Dimana:

- $\dot{m}_{C,inHPSH2}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang masuk pada *high pressure superheater 2*
- $\dot{m}_{C,outHPSH2}$  : Laju aliran massa fluida dingin yang keluar pada *high pressure superheater 2*
- $\dot{m}_{H,inHPSH2}$  : Laju aliran massa fluida panas yang masuk pada *high pressure superheater 2*
- $\dot{m}_{H,outHPSH2}$  : Laju aliran massa fluida panas yang keluar pada *high pressure superheater 2*
- $Q_{H,HPSH2}$  : Jumlah energi panas yang dilepaskan oleh *high pressure superheater 2*
- $Q_{C,HPSH2}$  : Jumlah energi panas yang diterima oleh *high pressure superheater 2*
- $c_{PH}$  : Kalor jenis untuk fluida panas
- $c_{PC}$  : Kalor jenis untuk fluida dingin
- $T_{H,inHPSH2}$  : Temperatur masukan dari fluida panas pada *high pressure superheater 2*
- $T_{H,outHPSH2}$  : Temperatur keluaran dari fluida panas pada *high pressure superheater 2*
- $T_{C,inHPSH2}$  : Temperatur masukan dari fluida dingin pada *high pressure superheater 2*
- $T_{C,outHPSH2}$  : Temperatur keluaran dari fluida dingin pada *high pressure superheater 2*



### 3.6 Rekonsiliasi Data

Untuk melakukan rekonsiliasi data, maka digunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Untuk langkah rekonsiliasi data digunakan variabel-variabel yang diukur, seperti massa fluida panas ( $m_{hot}$ ), massa fluida dingin ( $m_{cold}$ ), temperatur panas yang masuk ke sistem ( $T_{in,hot}$ ), temperatur dingin yang keluar dari sistem ( $T_{out,cold}$ ), temperatur dingin yang masuk ke sistem ( $T_{in,cold}$ ), temperatur panas yang keluar dari sistem ( $T_{out,hot}$ ). Berikut merupakan langkah-langkah *particle swarm optimization*.



Gambar 3.2 Diagram alir *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Setelah mendapatkan hasil rekonsiliasi data, maka didapatkan hasil dari iterasi PSO yang memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi. Disini kita dapat membandingkan antara nilai standar deviasi hasil pengukuran dan standar deviasi hasil rekonsiliasi data. Apabila terdapat selisi antara nilai standar deviasi dari hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka terdapat indikasi terdapat *random error* pada pengukuran.

### **3.7 Hasil dan Pembahasan**

Pada tahap ini akan dilaporkan hasil dari rekonsiliasi data yang telah dilakukan pada keadaan *steady state* dengan menggunakan PSO pada lima variabel untuk delapan komponen *heat exchanger*. Dari hasil rekonsiliasi data maka akan diketahui standar deviasi pada lima variabel rekonsiliasi setiap kompoenen yang akan dibandingkan dengan standar deviasi dari hasil pengukuran. Apabila nilai dari standar deviasi antara hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data berbeda, maka dapat diindikasikan pada pengukuran mengandung *random error*.

Setelah dilakukan rekonsiliasi data, maka dilakukan *gross error detection*. *Gross error detection* dapat dilakukan dengan menggunakan uji statistik, yaitu dengan menerapkan *Global Test*. Ada atau tidaknya *gross error* pada pengukuran dapat diketahui dengan membandingkan nilai kriteria berdasarkan tabel *chi squared* dan hasil perhitungan menggunakan distribusi *chi squared*. Apabila nilai perhitungan distribusi *chi squared* lebih lebih besar daripada nilai kriteria maka terindikasi terdapat *gross error* pada pengukuran.

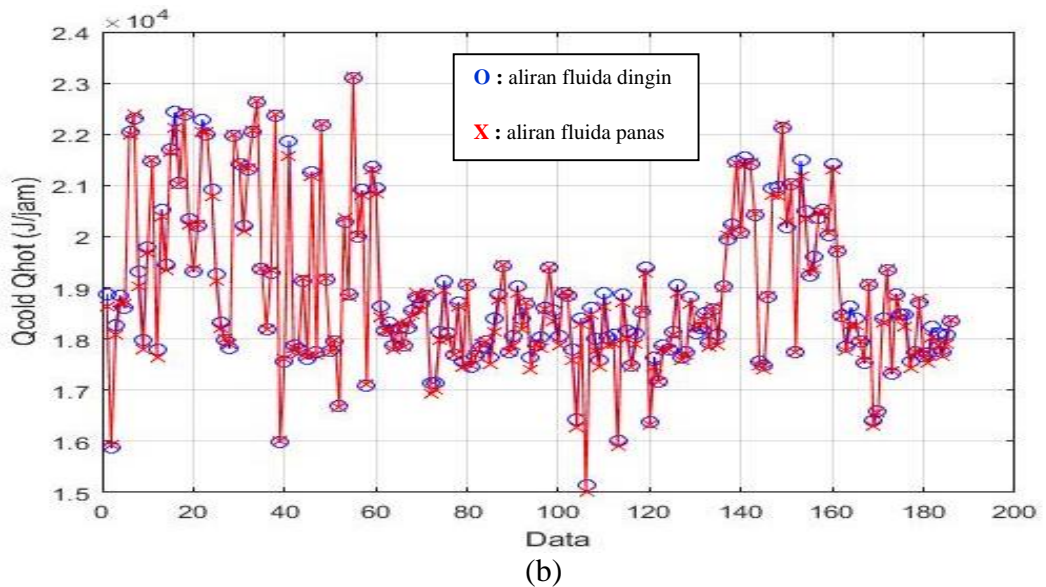
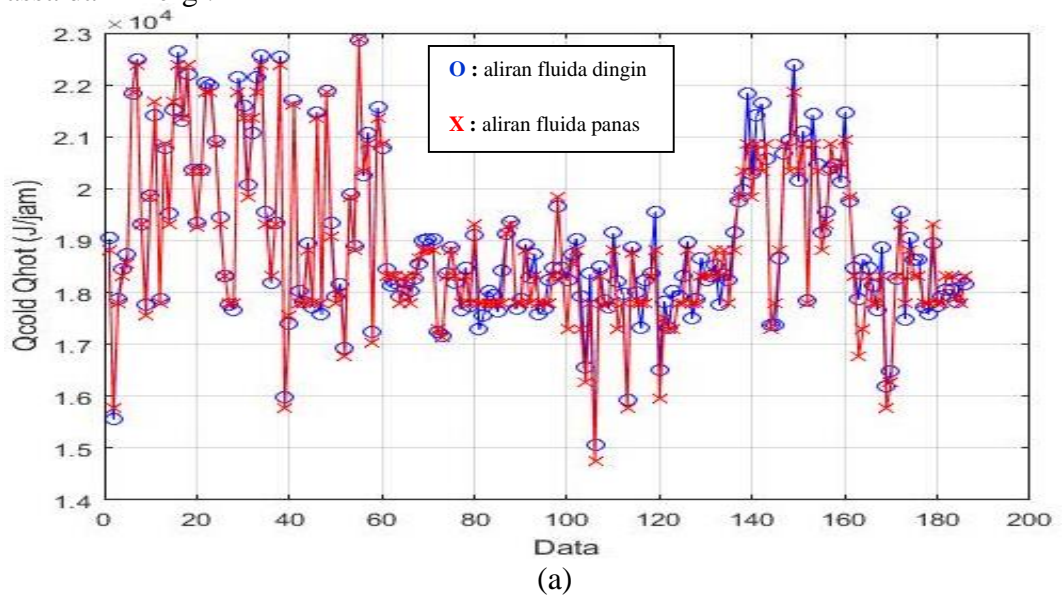
### **3.8 Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap ini akan dibuat kesimpulan setelah selesai melakukan penelitian yang merujuk pada rumusan masalah yang muncul dan tujuan yang telah dijabarkan sebelumnya. Dari kesimpulan tersebut, maka akan dimunculkan saran apabila melakukan penelitian yang serupa agar menggunakan teknik optimisasi yang mempunyai keandalan yang lebih baik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil rekonsiliasi data menggunakan PSO

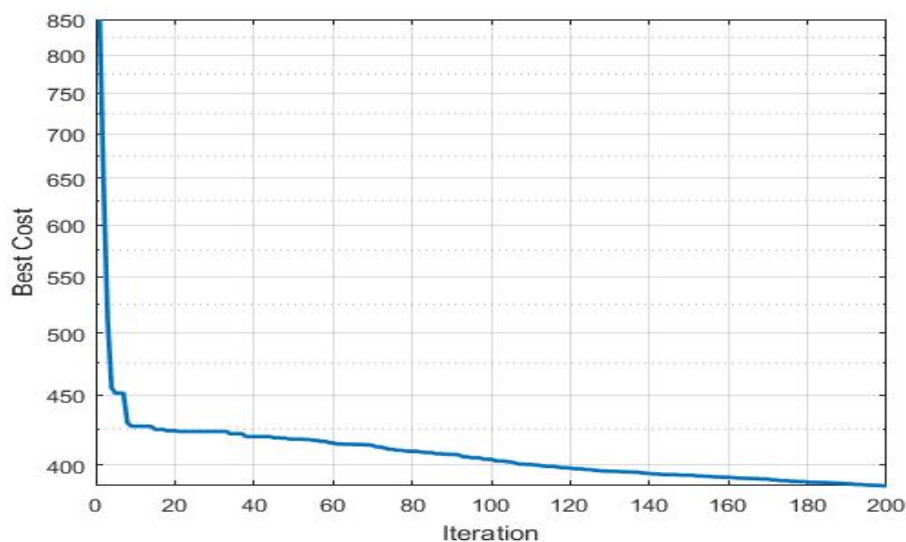
Dari hasil data pengukuran yang didapat dari *plant*, maka diperlukan rekonsiliasi data untuk memperbaiki data agar memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi.



Gambar 4.1 Perpindahan panas untuk fluida dingin dan panas saat (a) sebelum rekonsiliasi data dan (b) sesudah rekonsiliasi data

Rekonsiliasi data yang telah dilakukan menghasilkan data yang telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi. Pada Gambar 4.1 dapat diketahui perbedaan antara data sebelum dan sesudah dilakukan rekonsiliasi. Karena pengambilan data dilakukan setelah *overhaul*, maka berdasarkan Gambar 4.1 (a) data telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi. Tetapi, semakin lama instrumen digunakan maka kemampuan instrumen untuk melakukan pengukuran akan berkurang. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa semakin lama instrumen digunakan maka data pengukuran akan menjadi tidak memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi.

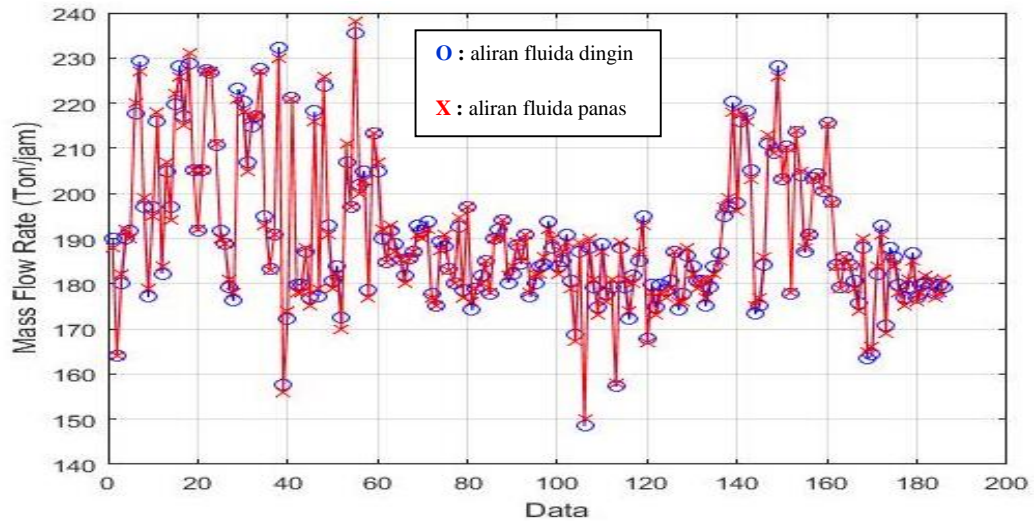
Berdasarkan Gambar 4.1 (b) yaitu setelah dilakukan rekonsiliasi data. Data pengukuran telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi. Hal itu bisa dilihat dari besarnya perpindahan panas untuk fluida dingin mempunyai nilai yang sama dengan perpindahan panas untuk fluida panas ( $Q_C = Q_H$ ). Hal tersebut membuktikan bahwa algoritma yang digunakan, yaitu PSO dapat melakukan rekonsiliasi data dengan meminimasi eror telah efektif digunakan pada sistem boiler pada PLTGU Gresik.



Gambar 4.2 Nilai fungsi objektif sepanjang iterasi

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa algoritma PSO telah melakukan optimisasi pada pemrosesan data dengan merekonsiliasi hasil data pengukuran. Dari hasil rekonsiliasi yang dilakukan, maka terbukti bahwa PSO mampu meminimalkan eror dari hasil pengukuran dengan memperhatikan konstrain yang digunakan, yaitu hukum kesetimbangan massa dan energi.

## 4.2 Hasil Rekonsiliasi *Mass Flow Rate* untuk Fluida Dingin



Gambar 4.3 Hasil rekonsiliasi *mass flow rate* fluida dingin untuk komponen *preheater*

Pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil rekonsiliasi *mass flow rate* untuk fluida dingin. Terdapat perbandingan antara data *mass flow rate* hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk *mass flow rate* pada komponen *preheater* sebesar 0.01. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *preheater* telah memenuhi Hukum Keseimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi dan dengan memperhatikan nilai toleransi maksimal untuk *mass flow rate* yaitu sebesar 5%. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar 190.411 ton/jam.

Untuk melihat efektifitas rekonsiliasi data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui dari selisih nilai standar deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil rekonsiliasi. Berdasarkan Gambar 4.3 terdapat perbedaan/selisih antara standar deviasi hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x).

Selisih dari standar deviasi menandakan bahwa terdapat *random error* pada pengukuran. Untuk komponen boiler lainnya pada variabel rekonsiliasi *mass flow rate* dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan adanya selisih standar deviasi antara hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka PSO mampu melakukan rekonsiliasi data dengan meminimasi eror telah efektif digunakan pada sistem boiler pada PLTGU Gresik dengan memperkecil *error* dengan memperhatikan konstrain Hukum Keseimbangan Massa dan Energi. Dari selisih standar deviasi

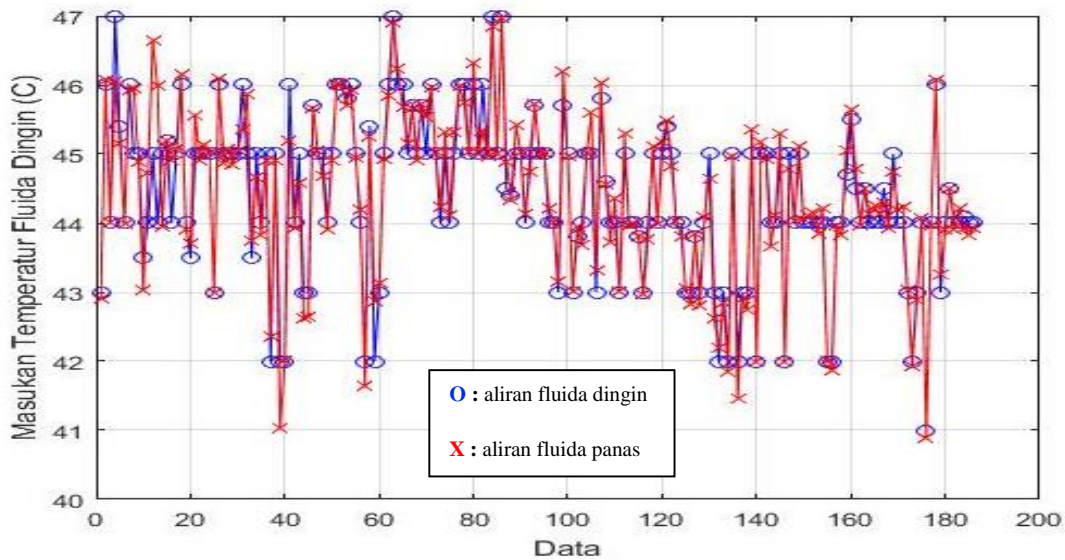
hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada hasil pengukuran pada *mass flow rate* untuk fluida dingin mengandung *random error* pada pengukuran.

**Tabel 4.1 Hasil rekonsiliasi data komponen boiler untuk variabel *mass flow rate***

Komponen	Rerata Hasil Pengukuran	StDev Pengukuran	Rerata Hasil Rekonsiliasi	StDev Rekonsiliasi	<i>e - flow in COLD</i>	Selisih StDev
Preheater	190.546	16.280	190.411	16.287	0.010	0.007
LP Economizer	55.522	5.362	55.241	5.219	0.012	0.143
HP 1 Economizer	148.626	11.701	148.242	11.451	0.015	0.250
LP Evaporator	55.486	4.408	55.084	4.343	0.017	0.065
HP 2 Economizer	148.348	11.661	147.763	11.469	0.018	0.192
HP Evaporator	148.959	11.582	147.484	11.467	0.016	0.115
HP Super heater 1	148.696	11.646	147.224	11.531	0.016	0.115
HP Super heater 2	147.933	9.868	146.480	9.766	0.022	0.102

### 4.3 Hasil Rekonsiliasi Temperatur Masukan Fluida Dingin

Berdasarkan Gambar 4.4 perbandingan antara data temperatur masukan untuk fluida dingin ( $T_{Cin}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur masukan pada komponen *preheater* sebesar 0.08. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *preheater* telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi dan dengan memperhatikan nilai toleransi maksimal untuk temperatur yaitu sebesar  $1^\circ$ . Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar  $44.20^\circ\text{C}$  dengan standar deviasi bernilai 1.199.



**Gambar 4.4 Hasil rekonsiliasi temperatur masukan fluida dingin untuk komponen *preheater***

Untuk melihat efektifitas rekonsiliasi data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui dari selisih nilai standar deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil rekonsiliasi. Berdasarkan Gambar 4.4 terdapat perbedaan/selisih antara standar deviasi hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x).

Pada Tabel 4.3 disajikan nilai rerata dan nilai *sum square error* untuk tiap komponen pada variabel temperatur masukan. Berdasarkan Tabel 4.4 membuktikan bahwa PSO mampu melakukan rekonsiliasi data dengan meminimasi eror telah efektif digunakan pada sistem boiler pada PLTGU Gresik dengan memperkecil *error* dengan memperhatikan konstrain hukum kesetimbangan massa dan energi. Dari selisih standar deviasi hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada hasil pengukuran temperatur masukan untuk fluida dingin mengandung *random error* pada pengukuran.

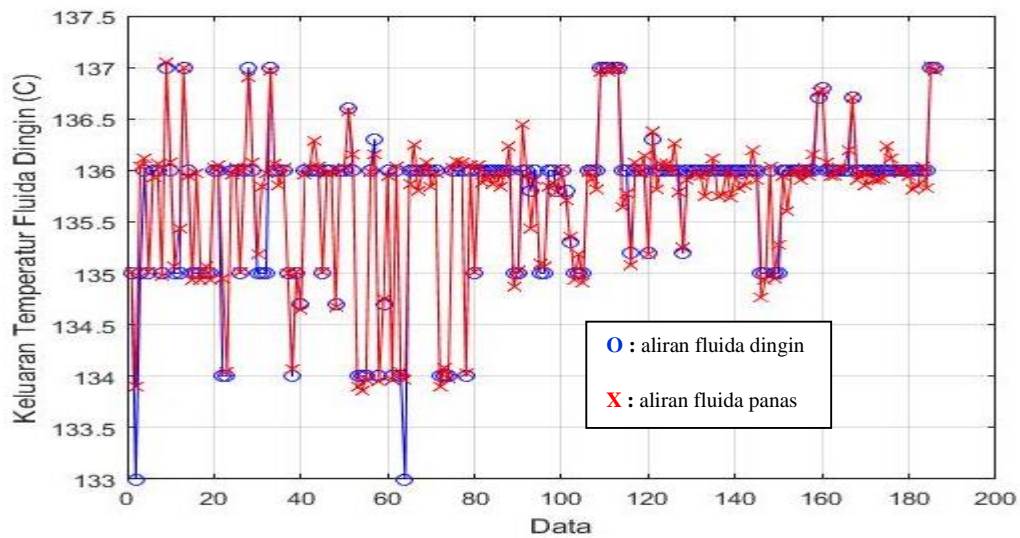
**Tabel 4.2 Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur masukan fluida dingin**

Komponen	Rerata Hasil Pengukuran	StDev Pengukuran	Rerata Hasil Rekonsiliasi	StDev Rekonsiliasi	$e - TC_{in}$	Selisih StDev
Preheater	44.399	1.152	44.420	1.199	0.088	0.046
LP Economizer	135.931	0.485	135.953	0.505	0.169	0.019
HP 1 Economizer	138.678	0.490	138.660	0.503	0.117	0.013
LP Evaporator	163.470	3.768	163.548	3.623	0.039	0.145
HP 2 Economizer	165.243	2.808	164.724	2.914	0.091	0.106
HP Evaporator	274.882	15.411	274.805	15.443	0.001	0.032
HP Super heater 1	379.384	16.226	379.390	16.267	0.001	0.041
HP Super heater 2	435.814	23.371	435.978	23.262	0.008	0.109

#### 4.4 Hasil Rekonsiliasi Temperatur Keluaran Fluida Dingin

Pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan antara data temperatur keluaran untuk fluida dingin ( $T_{Cout}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur keluaran pada komponen *preheater* sebesar 0.047. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *prehetear* telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar  $135.728^{\circ}C$  dengan standar deviasi bernilai 0.695.





Gambar 4.5 Hasil rekonsiliasi temperatur keluaran fluida dingin untuk komponen *preheater*

Untuk melihat efektifitas rekonsiliasi data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui dari selisih nilai standar deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil rekonsiliasi. Berdasarkan Gambar 4.4 terdapat perbedaan/selisih antara standar deviasi hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x).

Pada Tabel 4.3 disajikan nilai rerata dan nilai *sum square error* untuk tiap komponen pada variabel temperatur masukan. Berdasarkan Tabel 4.3 membuktikan bahwa PSO mampu melakukan rekonsiliasi data dengan meminimasi eror telah efektif digunakan pada sistem boiler pada PLTGU Gresik dengan memperkecil *error* dengan memperhatikan konstrain hukum kesetimbangan massa dan energi. Dari selisih standar deviasi hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada hasil pengukuran mengandung *random error* pada pengukuran. Terdapat perbedaan antara standar deviasi sebelum dan sesudah dilakukan rekonsiliasi data, yaitu sebesar 0.054. Dari perbedaan nilai pada standar deviasi dari hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada pengukuran temperatur keluaran pada fluida dingin mengandung *random error*.

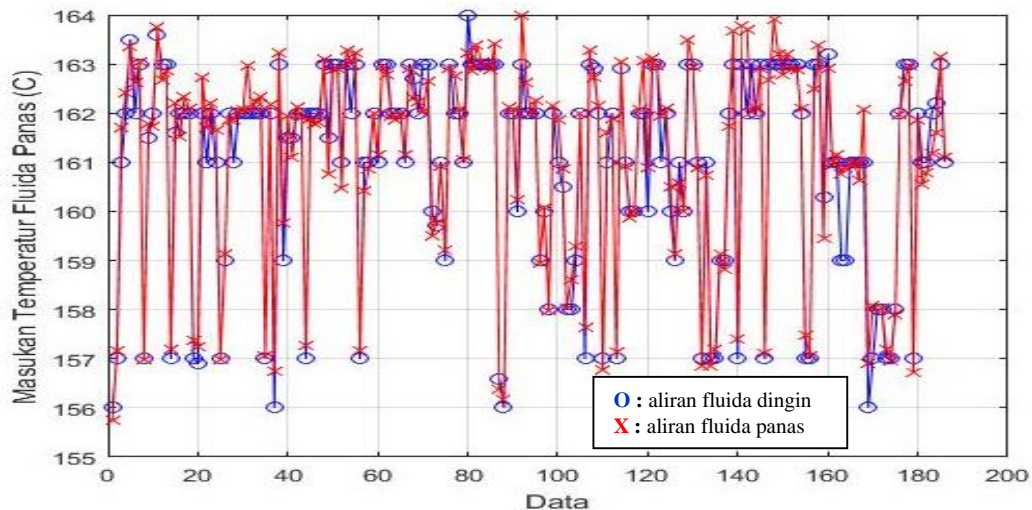


**Tabel 4.3 Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur keluaran fluida dingin**

Komponen	Rerata Hasil Pengukuran	StDev Pengukuran	Rerata Hasil Rekonsiliasi	StDev Rekonsiliasi	$e - TCout$	Selisih StDev
Preheater	135.703	0.749	135.728	0.695	0.047	0.055
LP Economizer	163.470	3.768	163.578	3.720	0.041	0.049
HP 1 Economizer	165.243	2.808	165.474	2.778	0.070	0.030
LP Evaporator	267.633	10.926	268.116	10.829	0.008	0.097
HP 2 Economizer	267.832	13.398	267.894	13.403	0.007	0.004
HP Evaporator	378.685	16.183	379.165	16.212	0.006	0.029
HP Super heater 1	435.813	23.348	435.775	23.353	0.001	0.004
HP Super heater 2	450.791	25.126	451.021	25.052	0.008	0.074

#### 4.5 Hasil Rekonsiliasi Temperatur Masukan Fluida Panas

Pada Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan antara data temperatur masukan untuk fluida panas ( $T_{Hin}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur keluaran pada komponen *preheater* sebesar 0.047. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *preheater* telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar 161.059°C dengan standar deviasi bernilai 0.695. Terdapat perbedaan antara standar deviasi sebelum dan sesudah dilakukan rekonsiliasi data, yaitu sebesar 0.022.



**Gambar 4.6 Hasil rekonsiliasi temperatur masukan fluida panas untuk komponen *preheater***

Untuk melihat efektifitas rekonsiliasi data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui dari selisih nilai standar deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil rekonsiliasi. Berdasarkan Gambar 4.6 terdapat perbedaan/selisih antara standar deviasi hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x).

Pada Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara data temperatur masukan untuk fluida panas ( $T_{Hin}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur keluaran pada komponen *preheater* sebesar 0.047. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *prehetear* telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar 161.059°C dengan standar deviasi bernilai 0.695. Terdapat perbedaan antara standar deviasi sebelum dan sesudah dilakukan rekonsiliasi data, yaitu sebesar 0.022. Standar deviasi digunakan untuk menentukan ada tidaknya *random error* pada pengukuran. Dari perbedaan nilai pada standar deviasi dari hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada pengukuran temperatur masukan mengandung *random error*.

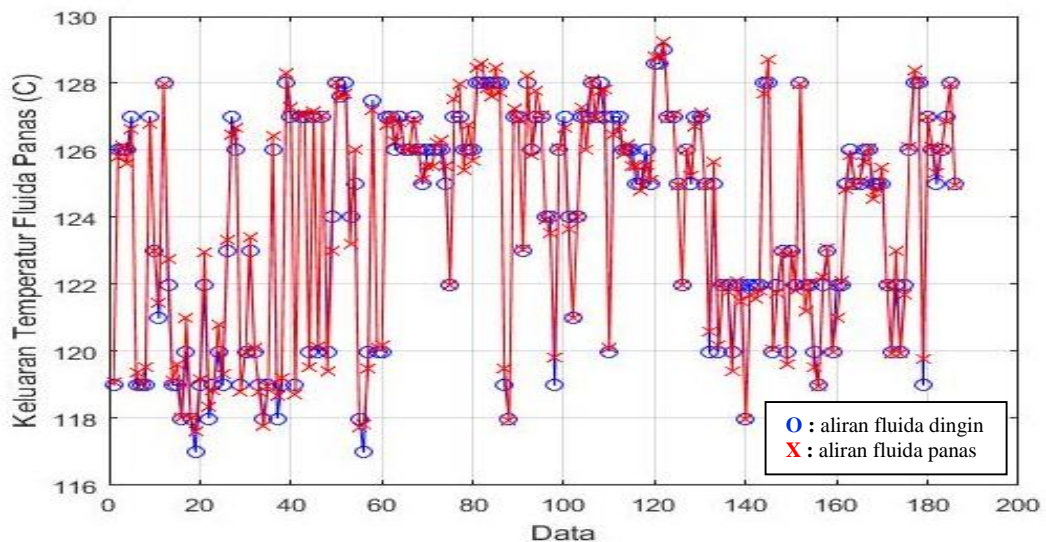
Pada Tabel 4.5 disajikan nilai rerata dan nilai *sum square error* untuk tiap komponen pada variabel temperatur masukan. Berdasarkan Tabel 4.5 membuktikan bahwa PSO mampu untuk memperkecil *error* dengan memeperhatikan konstrain hukum kesetimbangan massa dan energi.

**Tabel 4.4 Hasil rekonsiliasi data untuk variabel temperatur masukan fluida panas**

Komponen	Rerata Hasil Pengukuran	StDev Pengukuran	Rerata Hasil Rekonsiliasi	StDev Rekonsiliasi	$e - T_{Hin}$	Selisih StDev
Preheater	160.939	2.140	161.059	2.118	0.047	0.022
LP Economizer	176.827	2.272	176.846	2.296	0.026	0.024
HP 1 Economizer	176.865	2.274	176.931	2.266	0.028	0.008
LP Evaporator	234.081	3.124	234.092	3.195	0.017	0.071
HP 2 Economizer	288.725	7.228	288.743	7.258	0.008	0.030
HP Evaporator	427.468	9.545	427.538	9.547	0.014	0.003
HP Super heater 1	481.959	13.858	481.892	13.838	0.002	0.021
HP Super heater 2	493.161	14.764	493.144	14.775	0.002	0.011

#### 4.6 Hasil Rekonsiliasi Temperatur Keluaran Fluida Panas

Pada Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara data temperatur masukan untuk fluida panas ( $T_{Hout}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur keluaran pada komponen *preheater* sebesar 0.014. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *preheater* telah memenuhi Hukum Kesetimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_C = Q_H$  terpenuhi. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar 123.929°C dengan standar deviasi bernilai 3.329. Terdapat perbedaan antara standar deviasi sebelum dan sesudah dilakukan rekonsiliasi data, yaitu sebesar 0.009.



Gambar 4.7 Hasil rekonsiliasi temperatur keluaran fluida panas untuk komponen *preheater*

Pada Tabel 4.4 disajikan nilai rerata dan nilai *sum square error* untuk tiap komponen pada variabel temperatur masukan. Berdasarkan Tabel 4.4 membuktikan bahwa PSO mampu untuk memperkecil *error* dengan memperhatikan konstrain hukum kesetimbangan massa dan energi.

Untuk melihat efektifitas rekonsiliasi data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui dari selisih nilai standar deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil rekonsiliasi. Berdasarkan Gambar 4.5 terdapat perbedaan/selisih antara standar deviasi hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x).

**Tabel 4.5 Hasil Rekonsiliasi Data untuk variabel temperatur keluaran fluida panas**

Komponen	Rerata Hasil Pengukuran	StDev Pengukuran	Rerata Hasil Rekonsiliasi	StDev Rekonsiliasi	$e - THout$	Selisih StDev
Preheater	123.889	3.338	123.929	3.329	0.014	0.009
LP Economizer	161.013	2.085	161.118	2.093	0.024	0.007
HP 1 Economizer	161.042	2.103	161.045	2.149	0.018	0.046
LP Evaporator	176.865	2.274	176.960	2.309	0.027	0.035
HP 2 Economizer	233.968	3.217	234.041	3.271	0.024	0.054
HP Evaporator	288.416	7.430	288.598	7.487	0.005	0.057
HP Super heater 1	425.683	16.851	425.767	16.877	0.001	0.026
HP Super heater 2	481.072	13.807	481.142	13.848	0.002	0.041

Pada Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan antara data temperatur masukan untuk fluida panas ( $T_{Hin}$ ) hasil pengukuran (o) dan hasil rekonsiliasi data (x). Berdasarkan perhitungan, nilai *sum square error* untuk temperatur keluaran pada komponen *preheater* sebesar 0.014. Dari nilai *error* yang kecil tersebut, maka performansi *prehetear* telah memenuhi Hukum Keseimbangan Massa dan Energi, sehingga konstrain  $Q_H = Q_C$  terpenuhi. Nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil rekonsiliasi data sebesar 123.889°C dengan standar deviasi bernilai 0.695. Terdapat perbedaan antara standar deviasi hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, yaitu sebesar 0.022. Standar deviasi digunakan untuk menentukan ada tidaknya *random error* pada pengukuran. Dari perbedaan nilai pada standar deviasi dari hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi data, maka pada pengukuran temperatur keluaran untuk fluida panas mengandung *random error*.

Pada Tabel 4.5 disajikan nilai rerata dan nilai *sum square error* untuk tiap komponen pada variabel temperatur masukan. Berdasarkan Tabel 4.5 membuktikan bahwa PSO mampu untuk memperkecil *error* dengan memperhatikan konstrain hukum kesetimbangan massa dan energi.

#### 4.7 Deteksi *Gross Error*

Implementasi rekonsiliasi data menjadi lebih kompleks saat terdapat *gross error* pada pengukuran. Adanya *gross error* dapat membatasi keefektifan hasil rekonsiliasi data dan dapat mengurangi sifat reliabilitas/keandalan pada data pengukuran. Dengan menggunakan uji statistik dengan *Global Test* yang menggunakan distribusi *chi squared* maka dapat dideteksi ada tidaknya *gross error*

dengan menggunakan kriteria berdasarkan perhitungan yang dibandingkan dengan nilai tingkat signifikansi dari tabel *chi square*.

Berdasarkan hasil perhitungan, pada Tabel 4.6 disajikan hasil *chi square* ( $\chi^2$ ) untuk lima variabel pada tiap komponen. Nilai kriteria yang digunakan untuk uji hipotesis ada tidaknya *gross error* pada pengukuran berdasarkan tabel *chi squared* yaitu  $\chi_{0,95\%}^2 = 9.488$  dengan nilai derajat kebebasan ( $\nu$ ) sebesar 4. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB II, kriteria apabila terindikasi terdapat *gross error* pada pengukuran maka nilai  $\chi^2 \geq \chi_{0,95\%}^2$ .

**Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Nilai Kritis Distribusi *Chi Square***

Component	Flow in cold	Inlet Temp. Cold	Outlet Temp. Hot	Inlet Temp. Hot	Outlet Temp. Hot
Preheater	2.600	0.500	0.100	0.300	0.200
LP Economizer	1.145	0.054	0.667	0.140	0.122
HP 1 Economizer	2.597	0.000	0.621	0.154	0.090
LP Evaporator	1.137	0.639	0.702	0.132	0.100
HP 2 Economizer	3.053	0.811	0.818	0.255	0.194
HP Evaporator	2.743	0.133	0.704	0.534	0.193
HP Superheater 1	2.738	0.126	0.085	0.175	0.18
HP Superheater 2	2.699	1.923	2.035	0.154	0.189

Berdasarkan Tabel 4.6, maka dapat dianalisis bahwa pada setiap komponen tidak mengandung *gross error* dikarenakan nilai kritis distribusi *chi square* lebih kecil daripada nilai kriteria berdasarkan tabel *chi square*. Tidak terdapatnya *gross error* pada pengukuran menandakan bahwa instrumen pada PT PLTG Gresik melakukan kalibrasi pada alat secara kontinyu sehingga alat bekerja dengan performansi yang baik. Akibat performansi alat yang bekerja dengan baik maka dapat menghasilkan efisiensi yang optimal dengan memperhatikan konstrain keseimbangan massa dan energi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Rekonsiliasi data merupakan metode yang efektif digunakan untuk mengurangi dampak yang timbul saat terjadi kesalahan pengukuran. Dari hasil rekonsiliasi didapatkan keadaan yang setimbang dengan memenuhi *Mass and Energy Balance* yang dijadikan sebagai konstrain. Konstrain yang diberlakukan menghasilkan estimasi data hasil rekonsiliasi yang reliabel, dengan batas toleransi untuk temperatur dan *mass flow rate* berturut-turut sebesar 1° dan 5%. Dengan batas toleransi tersebut, maka nilai eror yang dihasilkan setelah dilakukan rekonsiliasi data mempunyai nilai kecil. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui perhitungan menggunakan *sum square error* pada lima variabel rekonsiliasi pada setiap komponen. Dari hasil rekonsiliasi data yang telah dilakukan dengan menggunakan PSO sebagai algoritma optimisasi non-deterministik, maka algoritma PSO dapat menyelesaikan permasalahan rekonsiliasi data dengan menghasilkan data yang reliabel dengan memenuhi konstrain, yaitu kesetimbangan massa dan energi.

Nilai standar deviasi yang dihasilkan pada hasil pengukuran berbeda dengan standar deviasi hasil rekonsiliasi. Dari perbedaan hasil perhitungan standar deviasi, maka rekonsiliasi data dapat dengan efisien meningkatkan reliabilitas data pada lima variabel yang direkonsiliasi dengan mengikuti distribusi normal. Dari perbedaan nilai standar deviasi hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi, maka dapat diketahui bahwa terdapat *random error* pada hasil pengukuran di PLTGU Gresik. Adanya *random error* pada pengukuran dapat terjadi karena beberapa penyebab, diantaranya adalah (1) fluktuasi pada *power supply*, (2) jaringan transmisi, (3) konversi sinyal *noise*, dan lain-lain. Munculnya *random error* merupakan di luar kendali *engineer* maka *random error* tidak dapat dihilangkan dan akan selalu muncul di setiap pengukuran.

Dari hasil perhitungan statistik yang telah dilakukan dengan menggunakan *Global Test* maka tidak terdapat *gross error* pada pengukuran, dimana nilai kritis hasil perhitungan berdasarkan distribusi *chi square* lebih kecil daripada nilai kriteria berdasarkan tabel *chi square* ( $\chi^2 \leq \chi^2_{1-5\%,4}$ ). Karena tidak terdapat *gross*

*error* pada pengukuran, maka peformansi alat pada PT PLTGU Gresik bekerja dengan baik yang dapat menghasilkan efisiensi yang optimal dengan memperhatikan konstrain kesetimbangan massa dan energi.

## **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian ini adalah dengan melakukan penelitian selanjutnya yang serupa pada semua komponen yang ada di *plant* sehingga mendapatkan hasil yang lebih reliabel dan menggunakan algoritma optimisasi yang mempunyai tingkat akurasi yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhengjiang, Z., Junghai, C.,(2015),”Correntropy based data reconciliation and gross error detection and identification for nonliear dynamic processes”,*Computer and Chemical Engineering*, Vol. 75, hal. 120-134.
- [2] Liptak, Bela G.,”Instrument Engineers’ Handbook, Third Edition, Volume Three : Process Software & Digital Networks”,The Unstrumentation, Systems, and Automation Society.CRC Press:London
- [3] Poulin, E., Hodouin, D., Lachance, L.,(2009),”Estimation of Measurement Error Variance in Data Reconciliation using a Flow Distribution Model”,In: IFAC SYSID,Saint-Malo;France.
- [4] Jiang, X. Liu, P., Li, Z.,(2014),”Data Reconciliation and Gross Error Detection for Operational Data in Power Plant”, *Energy*, Vol. 75, hal 14-23
- [5] Dimitris, C. P., Lyle H. U.,(1992),”A Hybrid Neural Network-First Principle Approach to Process Modeling”, Vol. 38, No. 10
- [6] Sunde, S. Berg, Q.,(2003),”Data Reconciliation and Fault Detection by Means of Plant-Wide Mass and Energy Balance”,*Programming Nuclear Energy*, Vol. 43, No. 1, hal. 97-104.
- [7] Langestein, M.(2006),”Powes Recapture and Power Uprate in NPPS with Process Data Reconciliation in Accordance with VDI 2048.In 14<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Engineering”,ICONE 14, Miami, United States:American Society of Mechanical Engineers, hal. 17-20.
- [8] Valdetaro E.D., Schirru R.(2011),”Simultaneous Model Selection, Robust Data Reconciliation and Outlier Detection with Swarm Intelgence in Thermal Reactor Power Calculation”,*Ann Nucl Eenergy*, Vol. 38, No. 9, hal. 1820-1832.
- [9] Martini, A. Sorce, A., Traverso, A. dan Massardo, A. (2013),”Data Reconciliation for Power System Monitoring: Application to a Microturbine-based Test Rig”, *Applied Energy*, Vol. 111, hal 1152-1161.
- [10] Liu, F., Wang, X., Su, X., Tao, W.(2003),”Detection and Reconciliation on Abnormal Operation Data Based on Redundancy Measurement in Power Plant”,*Electrical Engineering*, Vol. 23, No. 7, hal. 204-207.
- [11] Zhou, W., Qiao, Z., Zhou, J., Si, F., Xu, Z.,(2012),”A Simultaneous Data Reconciliation and Gross Error Detection Method for Thermodynamic System”,*Electrical Engineering*, Vol. 32, No. 53, hal. 115-121.
- [12] S. Farzamkia et al.,(2016),”A Novel PSO (Particle Swarm Optimization)-Based Approach For Optimal Schedule Of Refrigerators Using Experimental Models”,*Energy*, Vol. 107, hal. 707-715
- [13] Prata, M. D., Schwaab, M., Lima, E. L., Pinto, J. S.(2009),”Simultaneous Robust Data Reconciliation and Gross Error Detection Through Particle

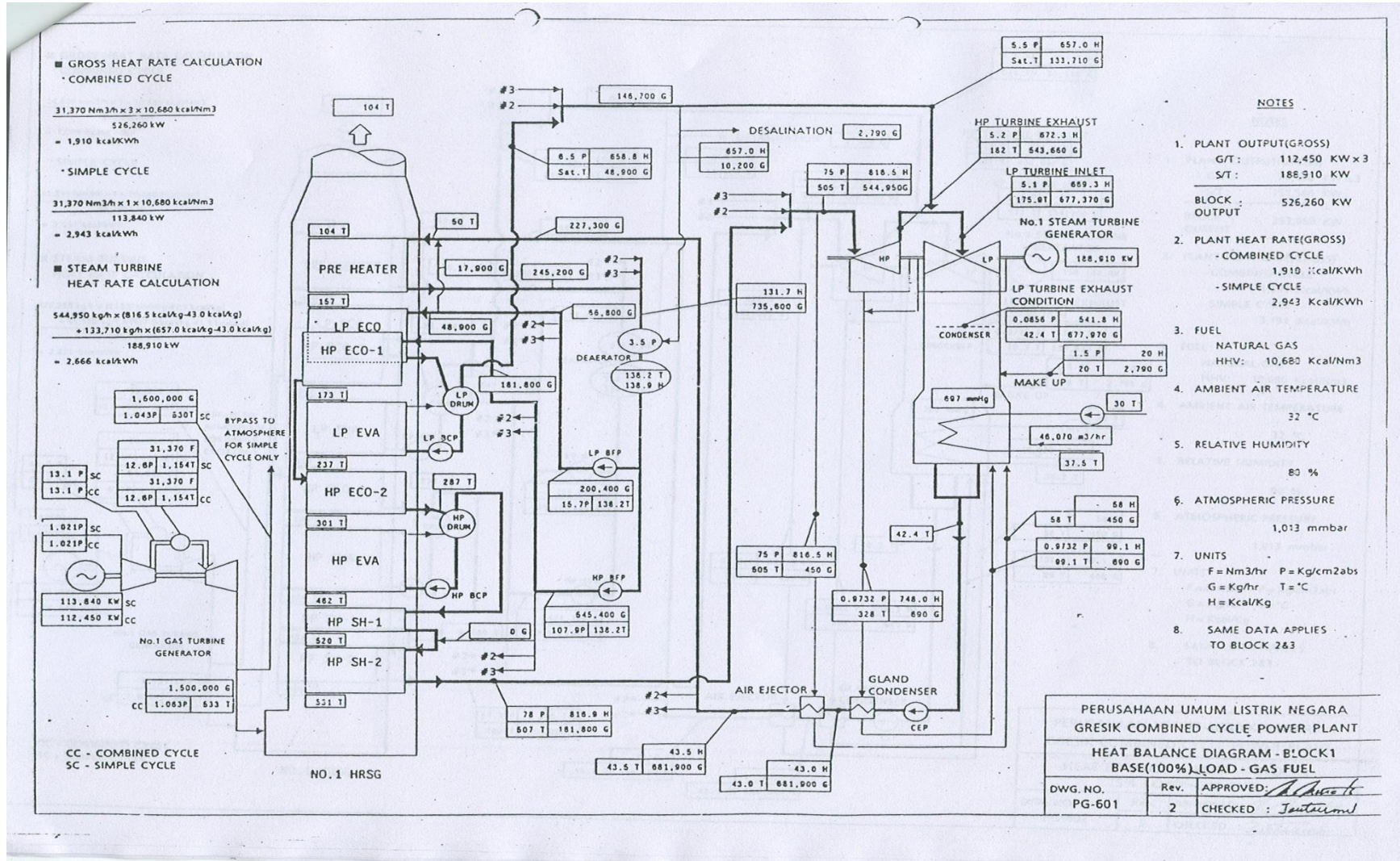
Swarma Optimization for an Industrial Polypropylene Reactor”, *Chemical Science*, Vol. 65, hal. 4943-4954.

- [14] Morad, K., Svrcek, W.Y. & Mc Kay, I. (1999), A Robust Direct Approach for Calculating Measurement Error Covariance Matrix. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 23, hal. 889–897.
- [15] Keller, J.Y., Zasadzinski, M. & Darouach, M. (1992), Analytical Estimator of Measurement Error Variances in Data Reconciliation. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 16, hal.185–188.
- [16] Chen, J., Bandoni, A. & Romagnoli, J.,(1997),”Robust Estimation of Measurements Error Variance/Covariance from Process Sampling Data”. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 21, hal. 593–600.
- [17] Narasimhan, S., Jordache C. (2000),”*Data Reconciliation & Gross Error Detection*”, Gulf Publishing Company Houston, Texas
- [18] Z. Zhang dan J. Chen.,(2015),”Correntropy based Data Reconciliation and Gross Error Detection and Identification for Nonlinear Dynamics Processes”,*Computer and Chemical Engineering*, Vol. 75, hal. 120-134.
- [19] Arora, N., Biegler, L. T.,(2001),”Recending Estimators for Data Reconciliation and Parameter Estimation”,*Computatinal Chemical Eengineerig*, Vol. 25, hal. 1585-1599.
- [20] Sisi Guo, Pei Liu, Zheng Li,(2016),”Data Reconciliation for the Overall Thermal System of a Steam Turbine Power Palnt”,*Applied Energy*, Vol. 165, hal. 1037-1051.
- [21] A. Martini, A. Sorce, A. Traverso, A. Massardo,(2013),”Data Reconciliation for Power Systems Monitoring: Application to a Microturbindir-based Test Rig”,*Applied Energy*, Vol. 111, hal. 1152-1161.
- [22] Maronna, R., Arcas, J.,(2008),”Data Reconciliation and Gross Error Diagnosis Based on Regression”,*Computer and Chemical Engineering*, Vol. 33, hal. 65-71.
- [23] Kuehn, D. R., & Davidson, H. (1961),“Computer Control II: Mathematics of Control”, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 57, hal. 44-47
- [24] Reimers, C., Werther, J. & Gruhn, G., (2008), Flowsheet Simulation of Solids Processes: Data Reconciliation and Adjustment of Model Parameters. *Chemical Engineering and Processing:Process Intensification*, Vol. 47, hal 138-158.
- [25] Bai, S. & Thibault, J. (2009), *Dynamic Data Reconciliation*. Verlag press.
- [26] Manenti, F., Grottoli, M.G. & Pierucci, S., (2011), Online data reconciliation with poor redundancy systems. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 50, hal. 14105–14114.

- [27] Vasebi, A., Poulin, E., & Hodoun, D., (2014), Selecting Proper Uncertainty Model for Steady State Data Reconciliation – Application to Mineral and Metal Processing Industries. *Mineral Engineering*, Vol. 65, hal. 130-134.
- [28] Poulin, É., Hodouin, D. & Lachance, L. (2010), Impact of Plant Dynamics on the Performance of Steady-State Data Reconciliation. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 34, hal. 354–360.
- [29] Narasimhan, S. dan Jordache, C.,1999, "Data Reconciliation and Detection *Gross Error*, an Intelligent Use Process Data", Gulf Professional Publishing
- [30] Kennedy, J., Eberhart, R., (1995), "Particle swarm optimization. In: Proceedings of the IEEE International Conference", *Neural Networks*, Perth, Australia, Vol. 4, hal. 1942–1948.
- [31] Marini, F., Walczak, B., (2015), "Particle Swarm Optimization (PSO). A Tutorial", *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*, Vol. 149, hal. 153-165.
- [32] Blum, C., Markle, D. (2008), "Swarm Intelligence: Introduction and Applications", Springer verlag, Heideberg, Jerman.
- [33] Settles, M. (2005), "An Introduction to Particle Swarm Optimization", Department of Computer Science, University of Idaho, Moskow.
- [34] Venda V., Borchiellini R.(2007), "Exergy Method for the Diagnosis of Energy Systems Using Measured Data", *Energy*, Vol. 32, No. 4, hal. 490-498
- [35] Smrekar J., Assadi M., Fast M., Kustrin I.(2009), "Development of Artificial Neural Network Model for a Coal-Fired Boiler using Real Plant Data", *Energy*, Vol. 34, No. 2, hal. 144-152
- [36] Bujak J.(2009), "Optimal Control of Energy Losses in Multi-Boiler Steam System", *Energy*, Vol. 34. No. 9, hal. 1260-1270

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# Lampiran A



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## Lampiran C

(a) Pra Rekonsiliasi Data pada *Preheater*

Date	Time	Preheater										
		Ton/jam	°C	°C		Ton/jam	°C	°C				
		<i>flow in COLD</i>	T <sub>Cin</sub>	T <sub>Cout</sub>	<i>CpCl</i>	<i>flow in HOT</i>	T <sub>Hin</sub>	T <sub>Hout</sub>	<i>CpHI</i>	<b>Qcold</b>	<b>Qhot</b>	<b>Selisih</b>
1-Jan-2017	0:00	189.9	43.0	135.0	1.1	500.0	156.0	119.0	1.0	19041.1	18814.5	0.01
	6:00	164.0	46.0	133.0	1.1	500.0	157.0	126.0	1.0	15553.4	15768.6	0.01
	9:00	180.2	44.0	135.0	1.1	500.0	161.0	126.0	1.0	17871.5	17797.5	0.00
	14:00	190.1	47.0	136.0	1.1	500.0	162.0	126.0	1.0	18438.6	18306.0	0.01
	16:00	191.9	45.4	135.0	1.1	500.0	163.5	127.0	1.0	18737.9	18560.3	0.01
	21:00	217.8	44.0	136.0	1.1	500.0	162.0	119.0	1.0	21842.1	21865.5	0.00
2-Jan-2017	0:00	229.3	46.0	136.0	1.1	500.0	163.0	119.0	1.0	22490.6	22374.0	0.01
	6:00	197.0	45.0	135.0	1.1	500.0	157.0	119.0	1.0	19325.7	19323.0	0.00
	9:00	177.2	45.0	137.0	1.1	500.0	161.5	127.0	1.0	17773.6	17543.3	0.01
	14:00	197.0	43.5	136.0	1.1	500.0	162.0	123.0	1.0	19858.6	19831.5	0.00
	16:00	215.8	44.0	135.0	1.1	500.0	163.6	121.0	1.0	21406.2	21662.1	0.01
	21:00	182.2	45.0	135.0	1.1	500.0	163.0	128.0	1.0	17869.1	17797.5	0.00
3-Jan-2017	0:00	204.9	44.0	137.0	1.1	500.0	163.0	122.0	1.0	20772.2	20848.5	0.00
	6:00	196.9	45.0	136.0	1.1	500.0	157.0	119.0	1.0	19527.0	19323.0	0.01
	9:00	219.8	45.2	135.0	1.1	500.0	161.6	119.0	1.0	21512.0	21662.1	0.01
	14:00	228.2	44.0	135.0	1.1	500.0	162.0	118.0	1.0	22636.1	22374.0	0.01
	16:00	217.2	45.0	135.0	1.1	500.0	162.0	120.0	1.0	21303.5	21357.0	0.00
	21:00	228.7	46.0	135.0	1.1	500.0	162.0	118.0	1.0	22187.6	22374.0	0.01
4-Jan-2017	0:00	205.2	44.0	135.0	1.1	500.0	157.0	117.0	1.0	20357.1	20340.0	0.00
	6:00	191.8	43.5	136.0	1.1	500.0	156.9	119.0	1.0	19334.6	19272.2	0.00
	9:00	205.2	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	122.0	1.0	20356.9	20340.0	0.00
	14:00	227.2	45.0	134.0	1.1	500.0	161.0	118.0	1.0	22041.2	21865.5	0.01
	16:00	226.8	45.0	134.0	1.1	500.0	162.0	119.0	1.0	21998.3	21865.5	0.01

	21:00	210.8	45.0	136.0	1.1	500.0	161.0	120.0	1.0	20909.2	20848.5	0.00
5-Jan-2017	0:00	191.9	43.0	136.0	1.1	500.0	157.0	119.0	1.0	19451.4	19323.0	0.01
	6:00	188.8	46.0	135.0	1.1	500.0	159.0	123.0	1.0	18311.7	18306.0	0.00
	9:00	179.2	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	127.0	1.0	17776.0	17797.5	0.00
	14:00	176.2	45.0	137.0	1.1	500.0	161.0	126.0	1.0	17673.1	17797.5	0.01
	16:00	223.2	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	119.0	1.0	22140.1	21865.5	0.01
	21:00	220.2	45.0	135.0	1.1	500.0	162.0	120.0	1.0	21600.8	21357.0	0.01
6-Jan-2017	0:00	207.0	46.0	135.0	1.1	500.0	162.0	123.0	1.0	20081.0	19831.5	0.01
	6:00	214.8	45.0	135.0	1.1	500.0	162.0	120.0	1.0	21076.7	21357.0	0.01
	9:00	217.2	43.5	137.0	1.1	500.0	162.0	119.0	1.0	22137.8	21865.5	0.01
	14:00	227.5	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	118.0	1.0	22563.8	22374.0	0.01
	16:00	194.9	44.0	136.0	1.1	500.0	157.0	119.0	1.0	19547.2	19323.0	0.01
	21:00	183.4	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	126.0	1.0	18188.1	18306.0	0.01
7-Jan-2017	0:00	190.8	42.0	135.0	1.1	500.0	156.0	118.0	1.0	19337.2	19323.0	0.00
	6:00	232.3	45.0	134.0	1.1	500.0	163.0	119.0	1.0	22535.2	22374.0	0.01
	9:00	157.5	42.0	135.0	1.1	500.0	159.0	128.0	1.0	15969.2	15763.5	0.01
	14:00	172.2	42.0	134.7	1.1	500.0	161.5	127.0	1.0	17402.8	17543.3	0.01
	16:00	221.2	46.0	136.0	1.1	500.0	161.5	119.0	1.0	21700.0	21611.3	0.00
	21:00	179.8	44.0	136.0	1.1	500.0	162.0	127.0	1.0	18031.8	17797.5	0.01
8-Jan-2017	0:00	179.7	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	127.0	1.0	17827.4	17797.5	0.00
	6:00	187.0	43.0	136.0	1.1	500.0	157.0	120.0	1.0	18957.2	18814.5	0.01
	9:00	176.8	43.0	135.0	1.1	500.0	162.0	127.0	1.0	17725.2	17797.5	0.00
	14:00	218.2	45.7	136.0	1.1	500.0	162.0	120.0	1.0	21473.2	21357.0	0.01
	16:00	177.2	45.0	136.0	1.1	500.0	162.0	127.0	1.0	17578.0	17797.5	0.01
	21:00	223.7	45.0	134.7	1.1	500.0	163.0	120.0	1.0	21873.0	21865.5	0.00
9-Jan-2017	0:00	192.9	44.0	136.0	1.1	500.0	161.5	124.0	1.0	19340.0	19068.8	0.01
	6:00	180.8	45.0	136.0	1.1	500.0	163.0	128.0	1.0	17931.9	17797.5	0.01
	9:00	183.8	46.0	136.6	1.1	500.0	163.0	127.6	1.0	18151.6	18000.9	0.01
	14:00	172.6	46.0	136.0	1.1	500.0	161.0	128.0	1.0	16928.0	16780.5	0.01
	16:00	206.8	45.8	134.0	1.1	500.0	163.0	124.0	1.0	19879.0	19831.5	0.00
	21:00	197.0	46.0	134.0	1.1	500.0	162.0	125.0	1.0	18895.5	18814.5	0.00

10-Jan-2017	0:00	235.6	45.0	134.0	1.1	500.0	163.0	118.0	1.0	22856.6	22882.5	0.00
	6:00	202.0	44.0	136.0	1.1	500.0	157.0	117.0	1.0	20257.3	20340.0	0.00
	9:00	205.0	42.0	136.3	1.1	500.0	161.0	120.0	1.0	21069.2	20848.5	0.01
	14:00	178.6	45.4	134.0	1.1	500.0	161.0	127.5	1.0	17249.9	17034.8	0.01
	16:00	213.4	42.0	134.7	1.1	500.0	162.0	120.0	1.0	21564.6	21357.0	0.01
	21:00	205.0	43.0	136.0	1.1	500.0	161.0	120.0	1.0	20776.8	20848.5	0.00

(b) Pasca Rekonsiliasi Data pada *Preheater*

Date	Time	Preheater										
		Ton/jam	°C	°C		Ton/jam	°C	°C				
		<i>flow in COLD</i>	T <sub>Cin</sub>	T <sub>Cout</sub>	<i>CpCI</i>	<i>flow in HOT</i>	T <sub>Hin</sub>	T <sub>Hout</sub>	<i>CpHI</i>	<b>Qcold</b>	<b>Qhot</b>	<b>Selisih</b>
1-Jan-2017	0:00	188.0	42.9	135.0	1.09	500	155.8	119.1	1.017	18874.6	18643.8	0.01
	6:00	164.0	46.1	134.9	1.09	500	157.2	125.8	1.017	15873.8	15943.0	0.00
	9:00	182.0	44.0	136.0	1.09	500	161.7	126.1	1.017	18258.0	18081.9	0.01
	14:00	192.0	46.1	136.1	1.09	500	162.4	125.6	1.017	18842.9	18703.1	0.01
	16:00	190.0	45.2	135.0	1.09	500	163.4	126.6	1.017	18604.4	18675.4	0.00
	21:00	220.0	44.0	135.9	1.09	500	162.6	119.4	1.017	22048.0	21997.9	0.00
2-Jan-2017	0:00	227.0	45.9	136.1	1.09	500	163.0	119.0	1.017	22299.9	22386.4	0.00
	6:00	199.0	45.9	135.0	1.09	500	157.0	119.5	1.017	19310.9	19031.6	0.01
	9:00	179.0	44.9	137.0	1.09	500	161.8	126.8	1.017	17983.4	17787.7	0.01
	14:00	195.0	43.0	136.1	1.09	500	161.7	123.0	1.017	19779.7	19692.3	0.00
	16:00	218.0	44.7	135.1	1.09	500	163.7	121.4	1.017	21466.3	21505.7	0.00
	21:00	184.0	46.6	135.4	1.09	500	162.7	128.0	1.017	17804.4	17631.3	0.01
3-Jan-2017	0:00	207.0	46.0	137.0	1.09	500	162.9	122.8	1.017	20534.5	20385.2	0.01
	6:00	194.0	44.0	135.9	1.09	500	157.2	119.1	1.017	19447.7	19355.3	0.00
	9:00	222.0	45.2	134.9	1.09	500	162.2	119.6	1.017	21715.6	21656.6	0.00
	14:00	226.0	44.9	136.0	1.09	500	161.5	118.0	1.017	22426.4	22123.2	0.01
	16:00	215.0	45.1	134.9	1.09	500	162.3	121.0	1.017	21059.1	21033.0	0.00
	21:00	231.0	46.2	135.1	1.09	500	162.1	118.0	1.017	22385.0	22417.1	0.00
4-Jan-2017	0:00	205.0	43.9	134.9	1.09	500	157.4	117.6	1.017	20344.7	20230.8	0.01
	6:00	192.0	43.7	136.0	1.09	500	157.3	119.2	1.017	19318.2	19356.7	0.00

	9:00	205.0	45.6	136.1	1.09	500	162.7	122.9	1.017	20221.5	20235.9	0.00
	14:00	227.0	44.9	134.9	1.09	500	161.7	118.3	1.017	22275.7	22051.1	0.01
	16:00	227.0	45.1	134.0	1.09	500	162.2	118.8	1.017	21995.2	22041.5	0.00
	21:00	211.0	45.0	136.0	1.09	500	161.7	120.8	1.017	20911.6	20775.2	0.01
5-Jan-2017	0:00	190.0	43.0	136.0	1.09	500	157.0	119.3	1.017	19263.2	19140.0	0.01
	6:00	189.0	46.1	135.0	1.09	500	159.1	123.3	1.017	18316.3	18203.3	0.01
	9:00	181.0	44.9	136.0	1.09	500	161.8	126.5	1.017	17985.9	18000.1	0.00
	14:00	178.0	45.1	136.9	1.09	500	161.8	126.7	1.017	17816.0	17893.0	0.00
	16:00	221.0	44.8	136.1	1.09	500	162.1	118.8	1.017	21974.3	21997.6	0.00
	21:00	218.0	45.0	135.2	1.09	500	162.1	120.0	1.017	21417.3	21404.5	0.00
6-Jan-2017	0:00	205.0	45.3	135.8	1.09	500	163.0	123.4	1.017	20214.0	20109.3	0.01
	6:00	217.0	45.9	136.0	1.09	500	162.1	120.1	1.017	21312.8	21344.5	0.00
	9:00	217.0	43.7	137.0	1.09	500	162.2	118.8	1.017	22053.0	22081.9	0.00
	14:00	227.0	44.7	136.1	1.09	500	162.3	117.8	1.017	22615.4	22651.0	0.00
	16:00	193.0	43.8	135.9	1.09	500	157.1	119.0	1.017	19361.1	19368.1	0.00
	21:00	183.0	44.9	136.0	1.09	500	162.2	126.4	1.017	18176.2	18178.6	0.00
7-Jan-2017	0:00	191.0	42.4	135.0	1.09	500	156.7	118.7	1.017	19283.0	19353.4	0.00
	6:00	230.0	44.9	134.1	1.09	500	163.2	119.2	1.017	22354.1	22383.3	0.00
	9:00	156.0	41.0	135.0	1.09	500	159.8	128.3	1.017	15978.7	16001.2	0.00
	14:00	174.0	42.0	134.6	1.09	500	161.9	127.3	1.017	17566.2	17615.8	0.00
	16:00	221.0	45.2	136.0	1.09	500	161.1	118.7	1.017	21862.0	21561.2	0.01
	21:00	178.0	43.9	136.0	1.09	500	162.1	127.1	1.017	17870.9	17810.7	0.00
8-Jan-2017	0:00	178.0	44.6	136.3	1.09	500	161.9	127.1	1.017	17787.8	17720.8	0.00
	6:00	188.0	42.6	136.0	1.09	500	157.3	119.5	1.017	19139.7	19184.5	0.00
	9:00	175.0	42.7	135.0	1.09	500	161.9	127.2	1.017	17619.0	17669.8	0.00
	14:00	216.0	45.7	136.0	1.09	500	161.8	120.1	1.017	21261.3	21188.3	0.00
	16:00	179.0	45.1	136.0	1.09	500	161.8	127.1	1.017	17743.2	17678.3	0.00
	21:00	226.0	44.7	134.7	1.09	500	163.1	119.4	1.017	22164.6	22205.6	0.00
9-Jan-2017	0:00	191.0	43.9	136.0	1.09	500	160.7	123.0	1.017	19166.5	19195.3	0.00
	6:00	179.0	44.9	136.0	1.09	500	162.9	128.0	1.017	17777.7	17738.2	0.00
	9:00	182.0	46.0	136.6	1.09	500	162.9	127.6	1.017	17963.3	17965.0	0.00
	14:00	170.0	46.0	136.2	1.09	500	160.5	127.7	1.017	16705.1	16661.0	0.00
	16:00	211.0	45.7	133.9	1.09	500	163.3	123.2	1.017	20284.4	20372.1	0.00
	21:00	197.0	45.9	133.9	1.09	500	163.0	126.0	1.017	18881.6	18814.5	0.00
10-Jan-2017	0:00	238.0	44.9	134.0	1.09	500	163.2	117.7	1.017	23093.4	23129.9	0.00
	6:00	200.0	44.2	136.0	1.09	500	157.2	117.8	1.017	20007.9	20012.7	0.00

	9:00	203.0	41.6	136.1	1.09	500	160.4	119.5	1.017	20906.9	20805.8	0.00
	14:00	176.9	45.2	133.9	1.09	500	160.9	127.2	1.017	17098.4	17106.9	0.00
	16:00	213.4	42.9	134.8	1.09	500	162.0	120.1	1.017	21376.0	21301.7	0.00
	21:00	207.0	43.1	135.9	1.09	500	161.2	120.2	1.017	20945.9	20833.4	0.01

## Lampiran D

### a. Pra Rekonsiliasi data pada *Low Pressure Economizer*

Date	Time	HP Primer Economizer										
		Ton/jam	°C	°C		Ton/jam	°C	°C				
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC3$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH3$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	138.2831	139	167.6954	1.5	364	172	156	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	122.237	139	169.4333	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	9:00	121.8051	139	171.5773	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	133.5202	139	168.719	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	137.4744	138	165.9622	1.5	364	179	163.5	1.022	5766.124	5766.124	0.00
	21:00	160.6667	139.2	163.8976	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
2-Jan-2017	0:00	169.8924	138	161.3565	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	144.1663	139	166.5244	1.5	364	173	157	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	9:00	137.5632	139	167.8455	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	142.0075	139	166.9428	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	164.3695	139	162.236	1.5	364	179	163.6	1.022	5728.9232	5728.9232	0.00
	21:00	135.1864	138	167.3527	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
3-Jan-2017	0:00	149.1829	138	164.5988	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	144.3908	139	166.4816	1.5	364	173	157	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	9:00	161.0449	139	163.6396	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	164.685	139	163.095	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	147.2769	139	165.943	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	157.7314	139	164.1572	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
4-Jan-2017	0:00	137.3207	138.8	165.8905	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	6:00	137.9074	138	165.155	1.5	364	172	156.9	1.022	5617.3208	5617.3208	0.00
	9:00	160.1962	138	162.7702	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	154.0857	138	163.7525	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	152.9909	139	164.9367	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	131.248	139	169.2335	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
5-Jan-2017	0:00	130.2218	138	166.5673	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	6:00	132.9522	139.2	169.046	1.5	364	175	159	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	9:00	131.5366	139	169.1672	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	126.3447	139	170.4068	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00

	16:00	152.0727	139	165.0934	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	158.1666	139	164.088	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
6-Jan-2017	0:00	153.0745	138	163.9226	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	168.4603	138	161.555	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	9:00	165.4915	139	162.9776	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	167.7307	139	162.6575	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	146.8242	138	163.337	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	21:00	138.9827	139	165.7665	1.5	364	177	162	1.022	5580.12	5580.12	0.00
7-Jan-2017	0:00	155.6311	139	162.9032	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	6:00	138.0211	138	164.953	1.5	364	178	163	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	9:00	130.8831	138	162.6332	1.5	364	173	160	1.022	4836.104	4836.104	0.00
	14:00	142.6517	138	164.0781	1.5	364	177	162	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	16:00	166.8893	139	155.3465	1.5	364	173	162	1.022	4092.088	4092.088	0.00
	21:00	144.6404	139	166.4341	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
8-Jan-2017	0:00	131.7214	139	169.1248	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	143.3093	139	166.689	1.5	364	173	157	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	9:00	138.9345	138.8	169.1459	1.5	364	179	162	1.022	6324.136	6324.136	0.00
	14:00	166.9037	139	162.7747	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	16:00	138.9737	138	166.5528	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	154.7785	138	162.0349	1.5	364	178	163	1.022	5580.12	5580.12	0.00
9-Jan-2017	0:00	158.5318	139	164.0302	1.5	364	176	160	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	6:00	131.9113	139	167.2014	1.5	364	178	163	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	9:00	134.9128	138.9	168.3122	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	125.8406	139	176.445	1.5	364	179	160	1.022	7068.152	7068.152	0.00
	16:00	149.0829	139	165.6166	1.5	364	179	163	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	153.8128	139	166.4105	1.5	364	179	162	1.022	6324.136	6324.136	0.00
10-Jan-2017	0:00	155.5417	138	161.9169	1.5	364	178	163	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	6:00	151.9898	138	162.4759	1.5	364	172	157	1.022	5580.12	5580.12	0.00
	9:00	144.6465	139.2	166.633	1.5	364	176	160	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	14:00	147.6703	139.2	167.7507	1.5	364	178	161	1.022	6324.136	6324.136	0.00
	16:00	153.452	138.9	164.7588	1.5	364	178	162	1.022	5952.128	5952.128	0.00
	21:00	149.193	139	165.597	1.5	364	177	161	1.022	5952.128	5952.128	0.00

b. Pasca rekonsiliasi data pada *Low Pressure Economizer*

Date	Time	HP Primer Economizer										
		Ton/jam	°C	°C		Ton/jam	°C	°C				
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC3$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH3$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	136.91	138.94	168.81	1.5	364	171.91	155.49	1.02	6133.69	6108.90	0.00
	6:00	121.03	139.02	170.78	1.5	364	172.08	156.56	1.02	5766.78	5774.25	0.00
	9:00	123.04	139.00	171.93	1.5	364	178.00	161.83	1.02	6077.89	6018.33	0.01
	14:00	134.87	139.07	167.67	1.5	364	178.10	162.57	1.02	5785.87	5778.22	0.00
	16:00	138.86	137.81	166.02	1.5	364	179.37	163.60	1.02	5875.47	5863.55	0.00
	21:00	159.08	139.27	164.93	1.5	364	179.28	162.78	1.02	6122.08	6135.59	0.00
2-Jan-2017	0:00	169.05	138.01	162.19	1.5	364	179.15	162.60	1.02	6131.08	6157.98	0.00
	6:00	144.89	138.92	166.35	1.5	364	172.87	156.95	1.02	5961.02	5923.21	0.01
	9:00	136.88	139.13	168.02	1.5	364	177.90	162.03	1.02	5931.79	5904.13	0.00
	14:00	141.87	138.98	166.42	1.5	364	177.75	162.18	1.02	5839.19	5792.99	0.01
	16:00	162.74	138.99	163.04	1.5	364	179.35	163.55	1.02	5868.97	5875.56	0.00
	21:00	133.85	137.93	167.00	1.5	364	178.76	163.22	1.02	5837.57	5780.53	0.01
3-Jan-2017	0:00	147.71	138.04	164.46	1.5	364	178.68	163.12	1.02	5852.99	5789.05	0.01
	6:00	145.85	138.73	167.84	1.5	364	173.51	156.49	1.02	6369.60	6328.62	0.01
	9:00	161.21	138.98	164.01	1.5	364	178.16	162.07	1.02	6053.82	5986.90	0.01
	14:00	164.52	138.93	163.26	1.5	364	177.78	161.62	1.02	6004.21	6014.22	0.00
	16:00	149.52	138.94	164.61	1.5	364	177.21	161.94	1.02	5757.49	5681.74	0.01
	21:00	158.52	139.03	163.66	1.5	364	177.70	162.18	1.02	5855.64	5771.01	0.01
4-Jan-2017	0:00	135.96	138.77	164.02	1.5	364	171.00	157.18	1.02	5149.05	5140.23	0.00
	6:00	136.54	138.01	165.45	1.5	364	171.86	156.94	1.02	5621.64	5550.13	0.01
	9:00	158.61	138.06	163.90	1.5	364	179.49	162.91	1.02	6146.84	6167.10	0.00
	14:00	155.64	138.01	164.34	1.5	364	178.40	161.85	1.02	6147.71	6155.99	0.00
	16:00	154.54	139.02	164.27	1.5	364	177.45	161.91	1.02	5852.85	5779.40	0.01
	21:00	132.57	139.05	168.43	1.5	364	177.63	162.03	1.02	5844.35	5803.01	0.01
5-Jan-2017	0:00	131.54	138.16	166.62	1.5	364	171.78	156.72	1.02	5614.85	5604.43	0.00
	6:00	131.64	139.32	168.79	1.5	364	175.00	159.50	1.02	5817.57	5765.84	0.01
	9:00	129.59	138.95	170.62	1.5	364	178.13	161.68	1.02	6156.55	6118.37	0.01
	14:00	127.62	138.93	169.21	1.5	364	177.60	162.01	1.02	5796.90	5798.96	0.00
	16:00	153.61	138.98	164.62	1.5	364	177.38	161.65	1.02	5908.08	5852.63	0.01



	21:00	156.60	139.02	164.11	1.5	364	177.77	162.08	1.02	5891.87	5836.08	0.01
6-Jan-2017	0:00	151.56	137.98	164.83	1.5	364	179.00	162.81	1.02	6103.78	6024.03	0.01
	6:00	166.79	137.96	162.11	1.5	364	178.34	162.07	1.02	6041.73	6051.96	0.00
	9:00	165.49	139.00	162.89	1.5	364	178.02	162.00	1.02	5929.59	5959.33	0.00
	14:00	165.25	138.00	162.18	1.5	364	178.00	161.91	1.02	5993.03	5986.42	0.00
	16:00	145.37	138.03	164.23	1.5	364	172.36	156.98	1.02	5713.63	5724.20	0.00
	21:00	137.61	139.01	165.83	1.5	364	176.96	162.04	1.02	5537.44	5548.76	0.00
7-Jan-2017	0:00	153.79	139.10	163.15	1.5	364	171.79	157.04	1.02	5547.99	5486.97	0.01
	6:00	139.42	137.99	164.94	1.5	364	178.07	163.05	1.02	5634.73	5586.28	0.01
	9:00	129.59	137.89	163.06	1.5	364	173.11	159.95	1.02	4893.60	4896.38	0.00
	14:00	141.24	137.98	165.94	1.5	364	177.51	161.53	1.02	5923.50	5947.43	0.00
	16:00	165.24	138.06	156.01	1.5	364	173.80	161.83	1.02	4449.91	4452.63	0.00
	21:00	143.21	139.04	168.20	1.5	364	178.91	162.00	1.02	6264.79	6288.59	0.00
8-Jan-2017	0:00	131.59	139.08	169.24	1.5	364	177.80	161.80	1.02	5952.52	5950.15	0.00
	6:00	144.76	139.10	169.14	1.5	364	174.00	156.59	1.02	6522.35	6476.89	0.01
	9:00	137.56	138.79	169.93	1.5	364	178.09	161.00	1.02	6426.18	6356.64	0.01
	14:00	165.25	139.05	163.12	1.5	364	177.95	161.88	1.02	5966.16	5976.14	0.00
	16:00	137.60	137.99	166.69	1.5	364	177.96	162.05	1.02	5925.11	5918.15	0.00
	21:00	153.25	138.00	162.95	1.5	364	178.46	163.13	1.02	5734.31	5704.48	0.01
9-Jan-2017	0:00	158.22	139.03	165.13	1.5	364	176.40	159.74	1.02	6194.00	6196.71	0.00
	6:00	130.61	138.97	166.91	1.5	364	177.99	163.34	1.02	5473.55	5449.94	0.00
	9:00	133.58	139.10	167.74	1.5	364	178.30	163.00	1.02	5737.51	5694.52	0.01
	14:00	124.59	138.99	175.40	1.5	364	178.02	159.71	1.02	6804.19	6813.38	0.00
	16:00	147.61	139.00	165.30	1.5	364	179.00	163.42	1.02	5822.33	5795.72	0.00
	21:00	152.29	138.99	167.06	1.5	364	179.07	161.89	1.02	6412.94	6390.39	0.00
10-Jan-2017	0:00	155.23	137.87	162.89	1.5	364	178.49	162.81	1.02	5826.59	5830.16	0.00
	6:00	150.48	138.00	162.67	1.5	364	171.80	156.95	1.02	5568.86	5522.92	0.01
	9:00	143.21	139.15	165.64	1.5	364	175.51	160.31	1.02	5689.05	5656.04	0.01
	14:00	146.21	139.18	168.34	1.5	364	178.14	161.08	1.02	6394.90	6346.25	0.01
	16:00	155.00	139.04	165.07	1.5	364	178.30	161.97	1.02	6051.80	6077.69	0.00
	21:00	150.70	139.16	165.48	1.5	364	176.89	160.93	1.02	5949.05	5938.94	0.00

## Lampiran E

### a. Pra rekonsiliasi data pada *Low Pressure Economizer*

Date	Time	LP Evaporator										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC4$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH4$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	51.45	165.22	276.45	5.15	500	229	172	1.034	29469	29469	0.00
	6:00	42.55	167.53	304.36	5.15	500	230	172	1.034	29986	29986	0.00
	9:00	43.42	171.97	303.75	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	14:00	51.51	166.83	277.91	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	16:00	50.91	164.28	278.64	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	21:00	58.01	161.30	261.67	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
2-Jan-2017	0:00	62.53	161.90	255.01	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	6:00	54.94	162.38	261.05	5.15	500	227	173	1.034	27918	27918	0.00
	9:00	51.88	166.07	276.35	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	14:00	54.95	164.68	268.81	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	16:00	59.08	161.37	259.92	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	21:00	51.62	165.23	278.03	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
3-Jan-2017	0:00	56.92	164.45	266.75	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	6:00	51.39	165.64	273.09	5.15	500	228	173	1.034	28435	28435	0.00
	9:00	62.49	161.04	252.61	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	14:00	62.09	160.38	254.15	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	16:00	59.04	161.74	258.66	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	21:00	62.10	160.77	254.52	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
4-Jan-2017	0:00	53.52	161.83	264.99	5.15	500	227	172	1.034	28435	28435	0.00
	6:00	50.89	164.14	270.67	5.15	500	226	172	1.034	27918	27918	0.00
	9:00	56.79	163.90	266.43	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	14:00	56.83	163.01	265.47	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	16:00	60.06	161.55	256.83	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	21:00	51.94	164.23	276.32	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
5-Jan-2017	0:00	48.89	166.48	285.58	5.15	500	230	172	1.034	29986	29986	0.00
	6:00	51.91	164.78	275.01	5.15	500	232	175	1.034	29469	29469	0.00
	9:00	48.93	167.80	282.69	5.15	500	234	178	1.034	28952	28952	0.00
	14:00	48.64	166.65	282.24	5.15	500	234	178	1.034	28952	28952	0.00

	16:00	57.95	162.40	261.14	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	21:00	60.98	158.82	252.66	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
6-Jan-2017	0:00	57.98	162.88	263.29	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	6:00	60.59	160.75	256.85	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	9:00	59.08	161.89	257.05	5.15	500	234	178	1.034	28952	28952	0.00
	14:00	61.36	161.79	253.42	5.15	500	234	178	1.034	28952	28952	0.00
	16:00	54.13	162.02	265.87	5.15	500	228	172	1.034	28952	28952	0.00
	21:00	52.45	160.30	271.31	5.15	500	235	177	1.034	29986	29986	0.00
7-Jan-2017	0:00	58.77	162.50	268.40	5.15	500	234	172	1.034	32054	32054	0.00
	6:00	54.12	162.70	255.44	5.15	500	228	178	1.034	25850	25850	0.00
	9:00	48.90	151.98	279.25	5.15	500	235	173	1.034	32054	32054	0.00
	14:00	50.52	178.90	284.21	5.15	500	230	177	1.034	27401	27401	0.00
	16:00	62.36	187.60	289.02	5.15	500	236	173	1.034	32571	32571	0.00
	21:00	50.00	166.60	281.03	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
8-Jan-2017	0:00	48.91	167.43	286.47	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	6:00	49.73	168.20	283.27	5.15	500	230	173	1.034	29469	29469	0.00
	9:00	51.91	167.64	277.88	5.15	500	236	179	1.034	29469	29469	0.00
	14:00	62.35	160.54	255.53	5.15	500	237	178	1.034	30503	30503	0.00
	16:00	51.91	166.05	278.22	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	21:00	57.71	161.93	262.83	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
9-Jan-2017	0:00	58.34	160.20	254.84	5.15	500	231	176	1.034	28435	28435	0.00
	6:00	51.93	163.11	277.17	5.15	500	237	178	1.034	30503	30503	0.00
	9:00	51.94	166.06	278.16	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	14:00	50.91	160.86	271.28	5.15	500	235	179	1.034	28952	28952	0.00
	16:00	57.96	162.41	262.86	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
	21:00	56.30	163.38	266.80	5.15	500	237	179	1.034	29986	29986	0.00
10-Jan-2017	0:00	58.32	163.06	261.17	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	6:00	56.06	161.18	256.10	5.15	500	225	172	1.034	27401	27401	0.00
	9:00	53.27	159.32	270.50	5.15	500	235	176	1.034	30503	30503	0.00
	14:00	53.07	166.45	276.16	5.15	500	236	178	1.034	29986	29986	0.00
	16:00	55.90	162.59	264.95	5.15	500	235	178	1.034	29469	29469	0.00
	21:00	56.71	162.77	265.43	5.15	500	235	177	1.034	29986	29986	0.00

b. Pasca rekonsiliasi data pada *Low Pressure Economizer*

Date	Time	LP Evaporator										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC4$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH4$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	51.45	165.09	275.93	5.15	500	229.06	172.03	1.034	29367.42	29484.32	0.00
	6:00	42.98	167.08	303.22	5.15	500	230.18	171.68	1.034	30136.32	30243.23	0.00
	9:00	42.99	171.71	304.03	5.15	500	234.75	177.89	1.034	29297.41	29396.07	0.00
	14:00	51.00	165.22	278.55	5.15	500	235.27	178.23	1.034	29767.77	29491.08	0.01
	16:00	50.41	163.74	278.58	5.15	500	236.55	178.70	1.034	29813.19	29909.26	0.00
2-Jan-2017	21:00	57.43	162.44	262.91	5.15	500	236.99	178.67	1.034	29718.33	30147.39	0.01
	0:00	61.92	161.31	255.00	5.15	500	237.29	178.70	1.034	29874.64	30293	0.01
	6:00	54.13	162.27	261.17	5.15	500	226.86	173.17	1.034	27567.12	27762.02	0.01
	9:00	51.12	165.49	277.19	5.15	500	235.43	178.15	1.034	29406.71	29612.12	0.01
	14:00	54.14	164.21	269.99	5.15	500	234.99	178.06	1.034	29492.43	29434.69	0.00
3-Jan-2017	16:00	58.21	161.68	260.66	5.15	500	236.96	178.75	1.034	29669.83	30094.69	0.01
	21:00	51.11	165.50	278.86	5.15	500	236.91	179.18	1.034	29836.36	29846.38	0.00
	0:00	56.35	164.40	267.55	5.15	500	236.98	179.43	1.034	29937.02	29751.62	0.01
	6:00	51.13	166.07	274.45	5.15	500	227.84	172.85	1.034	28540.73	28429.57	0.00
	9:00	61.74	160.53	253.49	5.15	500	234.92	178.15	1.034	29562.73	29351.58	0.01
4-Jan-2017	14:00	61.48	161.61	255.82	5.15	500	235.98	178.40	1.034	29828.62	29765.31	0.00
	16:00	58.46	160.33	259.11	5.15	500	235.30	177.91	1.034	29736.67	29667.74	0.00
	21:00	61.49	160.95	255.47	5.15	500	235.29	178.21	1.034	29931.68	29509.78	0.01
	0:00	52.99	162.25	265.12	5.15	500	227.26	172.45	1.034	28073.35	28335.89	0.01
	6:00	51.40	164.00	269.94	5.15	500	226.22	172.17	1.034	28045.19	27944.17	0.00
5-Jan-2017	9:00	57.36	163.29	265.05	5.15	500	237.00	179.49	1.034	30060.28	29732.54	0.01
	14:00	57.40	162.66	264.74	5.15	500	236.22	177.98	1.034	30175.32	30107.61	0.00
	16:00	59.46	162.57	257.91	5.15	500	235.26	177.98	1.034	29192.73	29616.5	0.01
	21:00	51.43	165.93	277.98	5.15	500	236.12	178.80	1.034	29676.8	29632.76	0.00
	0:00	48.40	165.87	285.09	5.15	500	230.14	171.85	1.034	29718.76	30135.89	0.01
5-Jan-2017	6:00	51.40	165.73	276.64	5.15	500	231.88	174.82	1.034	29357.64	29497.58	0.00
	9:00	48.45	167.71	283.86	5.15	500	234.04	177.68	1.034	28978.6	29139.28	0.01
	14:00	48.39	167.21	283.90	5.15	500	233.97	178.45	1.034	29082.73	28704.38	0.01
	16:00	57.38	162.80	261.94	5.15	500	234.78	177.42	1.034	29297.6	29655.12	0.01
	21:00	60.37	159.45	253.11	5.15	500	234.89	178.05	1.034	29120.7	29385.45	0.01

6-Jan-2017	0:00	57.41	162.85	264.08	5.15	500	237.11	178.85	1.034	29929.38	30118.49	0.01
	6:00	61.20	160.74	256.15	5.15	500	235.59	177.60	1.034	30070.28	29984.67	0.00
	9:00	58.50	162.05	257.64	5.15	500	233.98	177.95	1.034	28796.06	28971.33	0.01
	14:00	60.75	159.78	252.10	5.15	500	234.01	178.37	1.034	28882.16	28764.5	0.00
	16:00	53.60	162.85	266.87	5.15	500	227.51	171.93	1.034	28713.81	28734.41	0.00
	21:00	51.42	159.92	271.09	5.15	500	234.09	177.07	1.034	29439.18	29481.81	0.00
7-Jan-2017	0:00	58.19	161.53	267.67	5.15	500	233.46	172.22	1.034	31806.42	31660.87	0.00
	6:00	53.58	163.09	256.45	5.15	500	228.10	178.19	1.034	25764.96	25802.46	0.00
	9:00	48.42	152.98	280.86	5.15	500	234.16	172.95	1.034	31886.86	31647.85	0.01
	14:00	49.77	179.21	285.02	5.15	500	229.72	177.21	1.034	27123.28	27150.86	0.00
	16:00	61.74	186.43	288.37	5.15	500	235.68	172.82	1.034	32412.52	32500.54	0.00
	21:00	49.75	166.79	282.71	5.15	500	235.45	178.36	1.034	29700.76	29515.06	0.01
8-Jan-2017	0:00	48.43	167.74	287.07	5.15	500	235.00	177.79	1.034	29761.16	29578.9	0.01
	6:00	49.23	167.42	283.45	5.15	500	229.84	172.88	1.034	29419.53	29447.01	0.00
	9:00	51.39	167.92	278.02	5.15	500	236.10	179.42	1.034	29140.97	29302.73	0.01
	14:00	61.74	161.07	255.72	5.15	500	237.25	177.51	1.034	30093.06	30888.91	0.03
	16:00	51.40	165.76	278.97	5.15	500	236.09	177.98	1.034	29965.06	30039.21	0.00
	21:00	57.76	161.81	263.16	5.15	500	237.00	178.55	1.034	30150.57	30219.57	0.00
9-Jan-2017	0:00	57.76	161.04	255.30	5.15	500	230.59	176.56	1.034	28037.54	27935.2	0.00
	6:00	51.41	163.79	278.12	5.15	500	236.93	178.42	1.034	30272.87	30251.62	0.00
	9:00	51.43	165.98	279.96	5.15	500	237.02	178.64	1.034	30187.84	30181.04	0.00
	14:00	50.41	160.84	272.90	5.15	500	236.10	179.38	1.034	29093.73	29327.77	0.01
	16:00	57.39	162.74	263.02	5.15	500	237.21	179.05	1.034	29640.37	30068.1	0.01
	21:00	55.75	163.03	267.36	5.15	500	237.13	179.04	1.034	29953.7	30032.62	0.00
10-Jan-2017	0:00	57.74	163.25	262.29	5.15	500	235.31	178.14	1.034	29452.22	29554.97	0.00
	6:00	55.50	161.96	257.74	5.15	500	224.90	171.86	1.034	27380.2	27421.79	0.00
	9:00	53.81	159.89	269.96	5.15	500	235.38	176.34	1.034	30504.18	30525.27	0.00
	14:00	53.61	165.91	275.95	5.15	500	236.49	178.45	1.034	30379.53	30008.32	0.01
	16:00	56.46	163.00	264.36	5.15	500	234.85	177.59	1.034	29475.48	29603.37	0.00
	21:00	57.29	163.14	265.80	5.15	500	235.06	176.53	1.034	30287.3	30255.78	0.00

## Lampiran F

### a. Pra rekonsiliasi data pada *High Pressure Economizer 2*

Date	Time	HP Secondary Economizer										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC5$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH5$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	138.18	167.70	261.91	1.89	500	276	229	1.047	24604.5	24604.5	0.00
	6:00	114.97	169.43	258.57	1.89	500	267	230	1.047	19369.5	19369.5	0.00
	9:00	115.11	171.58	313.54	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	14:00	139.19	168.72	286.13	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	16:00	135.45	165.96	286.62	1.89	500	296	237	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	21:00	153.46	163.90	268.58	1.89	500	295	237	1.047	30363	30363	0.00
2-Jan-2017	0:00	161.39	161.36	269.48	1.89	500	300	237	1.047	32980.5	32980.5	0.00
	6:00	145.35	166.52	282.77	1.89	500	288	227	1.047	31933.5	31933.5	0.00
	9:00	135.45	167.85	288.50	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	14:00	146.34	166.94	278.61	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	16:00	156.16	162.24	265.11	1.89	500	295	237	1.047	30363	30363	0.00
	21:00	141.21	167.35	285.04	1.89	500	297	237	1.047	31410	31410	0.00
3-Jan-2017	0:00	152.15	164.60	273.83	1.89	500	297	237	1.047	31410	31410	0.00
	6:00	137.50	166.48	277.28	1.89	500	283	228	1.047	28792.5	28792.5	0.00
	9:00	166.03	163.64	262.07	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	14:00	165.30	163.09	261.96	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	16:00	156.25	165.94	270.53	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	21:00	165.30	164.16	263.02	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
4-Jan-2017	0:00	143.33	165.89	279.91	1.89	500	286	227	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	6:00	138.92	165.16	284.79	1.89	500	286	226	1.047	31410	31410	0.00
	9:00	155.86	162.77	267.62	1.89	500	296	237	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	14:00	153.22	163.75	270.41	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	16:00	161.06	164.94	266.40	1.89	500	294	235	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	21:00	140.94	169.23	285.19	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
5-Jan-2017	0:00	130.83	166.57	259.72	1.89	500	274	230	1.047	23034	23034	0.00
	6:00	137.54	169.05	279.81	1.89	500	287	232	1.047	28792.5	28792.5	0.00
	9:00	128.81	169.17	293.89	1.89	500	292	234	1.047	30363	30363	0.00
	14:00	128.81	170.41	295.13	1.89	500	292	234	1.047	30363	30363	0.00

	16:00	156.10	165.09	268.01	1.89	500	293	235	1.047	30363	30363	0.00
	21:00	163.18	164.09	262.54	1.89	500	293	235	1.047	30363	30363	0.00
6-Jan-2017	0:00	152.02	163.92	271.42	1.89	500	296	237	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	6:00	165.39	161.56	260.37	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
	9:00	157.78	162.98	264.79	1.89	500	292	234	1.047	30363	30363	0.00
	14:00	168.88	162.66	257.79	1.89	500	292	234	1.047	30363	30363	0.00
	16:00	143.79	163.34	271.21	1.89	500	284	228	1.047	29316	29316	0.00
	21:00	138.92	165.77	273.44	1.89	500	289	235	1.047	28269	28269	0.00
7-Jan-2017	0:00	159.88	162.90	270.32	1.89	500	292	230	1.047	32457	32457	0.00
	6:00	158.94	164.95	262.54	1.89	500	284	228	1.047	29316	29316	0.00
	9:00	133.86	162.63	245.40	1.89	500	274	234	1.047	20940	20940	0.00
	14:00	168.67	164.08	249.47	1.89	500	286	234	1.047	27222	27222	0.00
	16:00	139.26	155.35	274.68	1.89	500	295	235	1.047	31410	31410	0.00
	21:00	133.14	166.43	272.53	1.89	500	286	235	1.047	26698.5	26698.5	0.00
8-Jan-2017	0:00	131.48	169.12	287.10	1.89	500	292	236	1.047	29316	29316	0.00
	6:00	132.72	166.69	258.52	1.89	500	274	230	1.047	23034	23034	0.00
	9:00	138.92	169.15	294.76	1.89	500	299	236	1.047	32980.5	32980.5	0.00
	14:00	170.90	162.77	253.54	1.89	500	293	237	1.047	29316	29316	0.00
	16:00	138.92	166.55	278.21	1.89	500	292	236	1.047	29316	29316	0.00
	21:00	146.45	162.03	273.62	1.89	500	295	236	1.047	30886.5	30886.5	0.00
9-Jan-2017	0:00	148.44	164.03	268.52	1.89	500	287	231	1.047	29316	29316	0.00
	6:00	136.85	167.20	282.57	1.89	500	294	237	1.047	29839.5	29839.5	0.00
	9:00	138.84	168.31	290.00	1.89	500	298	237	1.047	31933.5	31933.5	0.00
	14:00	128.89	176.45	301.09	1.89	500	295	237	1.047	30363	30363	0.00
	16:00	155.09	165.62	269.20	1.89	500	295	237	1.047	30363	30363	0.00
	21:00	150.68	166.41	274.86	1.89	500	296	237	1.047	30886.5	30886.5	0.00
10-Jan-2017	0:00	147.19	161.92	274.83	1.89	500	295	235	1.047	31410	31410	0.00
	6:00	150.96	162.48	276.24	1.89	500	287	225	1.047	32457	32457	0.00
	9:00	146.64	166.63	287.52	1.89	500	289	225	1.047	33504	33504	0.00
	14:00	146.86	167.75	271.48	1.89	500	291	236	1.047	28792.5	28792.5	0.00
	16:00	152.45	164.76	262.87	1.89	500	289	235	1.047	28269	28269	0.00
	21:00	152.65	165.60	258.14	1.89	500	286	235	1.047	26698.5	26698.5	0.00

b. Pasca rekonsiliasi data pada *High Pressure Economizer 2*

Date	Time	HP Secondary Economizer										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam		°C				
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC5$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH5$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	136.81	166.99	262.11	1.89	500	275.41	229.04	1.047	24595.49	24273.62	0.01
	6:00	114.97	170.34	259.44	1.89	500	266.59	230.06	1.047	19361.12	19123.58	0.01
	9:00	113.97	172.50	314.57	1.89	500	293.60	236.00	1.047	30604.52	30153.29	0.01
	14:00	137.81	167.10	286.40	1.89	500	294.63	235.06	1.047	31073.29	31187.14	0.00
	16:00	136.81	165.09	285.05	1.89	500	295.76	237.31	1.047	31019.65	30602.48	0.01
	21:00	155.01	163.79	268.39	1.89	500	295.09	237.19	1.047	30646.22	30311.69	0.01
2-Jan-2017	0:00	163.02	162.33	269.34	1.89	500	299.62	237.37	1.047	32970.3	32586.03	0.01
	6:00	146.82	165.39	282.02	1.89	500	287.91	226.00	1.047	32363.44	32411.82	0.00
	9:00	136.81	166.99	287.40	1.89	500	294.09	234.97	1.047	31133.9	30947.16	0.01
	14:00	147.82	165.39	278.19	1.89	500	295.00	234.67	1.047	31515.51	31583.04	0.00
	16:00	157.74	162.52	265.63	1.89	500	295.55	236.69	1.047	30743.03	30810.63	0.00
	21:00	139.81	167.99	285.94	1.89	500	297.18	237.80	1.047	31167.87	31087.94	0.00
3-Jan-2017	0:00	150.65	163.33	273.61	1.89	500	296.79	237.10	1.047	31399.67	31247.88	0.00
	6:00	136.81	166.99	278.30	1.89	500	283.10	228.52	1.047	28781.88	28571.1	0.01
	9:00	165.21	162.01	260.90	1.89	500	293.60	235.00	1.047	30877.11	30675.55	0.01
	14:00	164.48	162.12	261.45	1.89	500	295.11	236.18	1.047	30877.13	30848.23	0.00
	16:00	155.47	164.35	269.76	1.89	500	293.18	234.24	1.047	30973.22	30853.25	0.00
	21:00	164.48	163.12	262.45	1.89	500	294.97	235.76	1.047	30877.13	30993.5	0.00
4-Jan-2017	0:00	141.91	164.01	279.12	1.89	500	286.06	227.12	1.047	30875.75	30856.21	0.00
	6:00	137.54	164.22	285.00	1.89	500	285.75	225.96	1.047	31398.52	31297.98	0.00
	9:00	153.56	162.83	268.22	1.89	500	295.08	236.78	1.047	30586.32	30521.96	0.00
	14:00	155.56	162.83	269.22	1.89	500	296.00	236.06	1.047	31278.7	31376.91	0.00
	16:00	159.47	163.35	267.76	1.89	500	294.13	234.00	1.047	31468.71	31479.91	0.00
	21:00	139.54	168.84	286.06	1.89	500	295.54	236.74	1.047	30915.36	30783.84	0.00
5-Jan-2017	0:00	129.53	165.71	259.76	1.89	500	273.92	229.91	1.047	23025.04	23038.85	0.00
	6:00	137.54	168.04	278.76	1.89	500	286.71	231.83	1.047	28782.02	28726.87	0.00
	9:00	127.53	168.62	292.60	1.89	500	291.71	234.89	1.047	29882.67	29745.42	0.00
	14:00	127.53	169.62	294.60	1.89	500	291.30	234.25	1.047	30123.71	29862.76	0.01
	16:00	154.56	164.83	268.42	1.89	500	293.53	235.89	1.047	30258.53	30175.38	0.00



	21:00	161.57	163.55	263.96	1.89	500	293.23	235.10	1.047	30658.87	30428.55	0.01
6-Jan-2017	0:00	153.56	162.83	270.22	1.89	500	295.97	237.25	1.047	31166.77	30741.65	0.01
	6:00	163.75	161.23	260.99	1.89	500	295.00	236.16	1.047	30877.2	30799.98	0.00
	9:00	157.47	163.35	265.99	1.89	500	291.89	233.30	1.047	30547.26	30671.95	0.00
	14:00	167.21	162.01	258.97	1.89	500	292.20	234.06	1.047	30641.39	30436.17	0.01
	16:00	142.37	162.94	271.09	1.89	500	283.36	227.71	1.047	29101.43	29132.28	0.00
	21:00	137.54	165.04	273.74	1.89	500	289.14	235.17	1.047	28258.85	28249.73	0.00
7-Jan-2017	0:00	156.74	161.88	270.39	1.89	500	292.52	230.88	1.047	32146.03	32265.6	0.00
	6:00	157.37	163.94	261.09	1.89	500	285.05	229.75	1.047	28895.98	28953.28	0.00
	9:00	132.53	161.88	246.38	1.89	500	274.66	234.31	1.047	21166.3	21124.62	0.00
	14:00	166.17	164.92	250.04	1.89	500	285.61	235.00	1.047	26731.19	26494.39	0.01
	16:00	137.21	154.51	275.07	1.89	500	294.92	235.23	1.047	31265.08	31250.23	0.00
	21:00	131.17	167.79	273.82	1.89	500	285.00	234.97	1.047	26287.56	26193.2	0.00
8-Jan-2017	0:00	129.53	168.62	288.32	1.89	500	291.66	236.04	1.047	29304.69	29119.49	0.01
	6:00	132.72	167.11	259.61	1.89	500	274.44	229.93	1.047	23200.12	23303.2	0.00
	9:00	137.54	168.44	295.27	1.89	500	298.00	235.77	1.047	32968.46	32577.81	0.01
	14:00	169.21	162.01	254.87	1.89	500	293.30	236.62	1.047	29696.97	29671.43	0.00
	16:00	137.54	165.84	278.57	1.89	500	291.90	235.96	1.047	29305.31	29285.98	0.00
	21:00	147.19	161.93	272.43	1.89	500	294.00	235.97	1.047	30740.5	30379.07	0.01
9-Jan-2017	0:00	149.19	164.59	268.52	1.89	500	286.83	230.57	1.047	29306.28	29453.46	0.00
	6:00	137.54	166.04	281.78	1.89	500	293.99	237.11	1.047	30088.67	29777.09	0.01
	9:00	139.54	167.74	291.54	1.89	500	299.00	237.04	1.047	32649.92	32436.45	0.01
	14:00	129.53	177.36	300.03	1.89	500	294.00	236.35	1.047	30032.1	30180.5	0.00
	16:00	153.56	164.93	270.42	1.89	500	295.01	236.27	1.047	30614.19	30751.11	0.00
	21:00	149.19	166.25	275.75	1.89	500	296.40	237.61	1.047	30876.07	30780.37	0.00
10-Jan-2017	0:00	150.19	161.93	273.29	1.89	500	294.66	234.01	1.047	31610.03	31751.14	0.00
	6:00	149.46	162.05	277.68	1.89	500	286.86	224.37	1.047	32664.65	32711.81	0.00
	9:00	145.19	165.79	286.57	1.89	500	288.77	225.16	1.047	33143.51	33296.75	0.00
	14:00	146.13	167.04	271.25	1.89	500	290.74	235.90	1.047	28782.53	28706.28	0.00
	16:00	150.94	164.18	263.24	1.89	500	288.92	235.53	1.047	28259.56	27949.73	0.01
	21:00	152.65	164.33	258.07	1.89	500	286.73	235.11	1.047	27043.87	27020.08	0.00

## Lampiran G

### a. Pra rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Evaporator*

Date	Time	HP Evaporator										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in OLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC6$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH6$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	138.18	266	382.245	4.89	500	422	276	1.076	78548	78548	0.00
	6:00	114.97	257	386.184	4.89	500	402	267	1.076	72630	72630	0.00
	9:00	115.11	177	312.717	4.89	500	436	294	1.076	76396	76396	0.00
	14:00	139.19	177	289.240	4.89	500	436	294	1.076	76396	76396	0.00
	16:00	135.45	284	396.907	4.89	500	435	296	1.076	74782	74782	0.00
	21:00	153.46	282	376.633	4.89	500	427	295	1.076	71016	71016	0.00
2-Jan-2017	0:00	161.39	286	383.483	4.89	500	443	300	1.076	76934	76934	0.00
	6:00	145.35	276	394.079	4.89	500	444	288	1.076	83928	83928	0.00
	9:00	135.45	177	292.344	4.89	500	436	294	1.076	76396	76396	0.00
	14:00	146.34	177	283.755	4.89	500	436	294	1.076	76396	76396	0.00
	16:00	156.16	282	378.519	4.89	500	432	295	1.076	73706	73706	0.00
	21:00	141.21	284	391.518	4.89	500	435	297	1.076	74244	74244	0.00
3-Jan-2017	0:00	152.15	281	375.725	4.89	500	428	297	1.076	70478	70478	0.00
	6:00	137.50	276	402.425	4.89	500	441	283	1.076	85004	85004	0.00
	9:00	166.03	282	378.084	4.89	500	439	294	1.076	78010	78010	0.00
	14:00	165.30	283	376.181	4.89	500	435	295	1.076	75320	75320	0.00
	16:00	156.25	282	384.101	4.89	500	439	294	1.076	78010	78010	0.00
	21:00	165.30	283	376.181	4.89	500	435	295	1.076	75320	75320	0.00
4-Jan-2017	0:00	143.33	273	396.585	4.89	500	447	286	1.076	86618	86618	0.00
	6:00	138.92	273.9	399.826	4.89	500	445	286	1.076	85542	85542	0.00
	9:00	155.86	283	382.530	4.89	500	437	296	1.076	75858	75858	0.00
	14:00	153.22	282	381.089	4.89	500	433	295	1.076	74244	74244	0.00
	16:00	161.06	282	381.047	4.89	500	439	294	1.076	78010	78010	0.00
	21:00	140.94	283	392.289	4.89	500	435	295	1.076	75320	75320	0.00
5-Jan-2017	0:00	130.83	264	385.937	4.89	500	419	274	1.076	78010	78010	0.00
	6:00	137.54	276	389.586	4.89	500	429	287	1.076	76396	76396	0.00
	9:00	128.81	280	392.746	4.89	500	424	292	1.076	71016	71016	0.00
	14:00	128.81	281	400.579	4.89	500	432	292	1.076	75320	75320	0.00

	16:00	156.10	280	373.032	4.89	500	425	293	1.076	71016	71016	0.00
	21:00	163.18	281	375.391	4.89	500	433	293	1.076	75320	75320	0.00
6-Jan-2017	0:00	152.02	283	385.043	4.89	500	437	296	1.076	75858	75858	0.00
	6:00	165.39	282	373.802	4.89	500	433	295	1.076	74244	74244	0.00
	9:00	157.78	281	374.436	4.89	500	426	292	1.076	72092	72092	0.00
	14:00	168.88	280	367.298	4.89	500	426	292	1.076	72092	72092	0.00
	16:00	143.79	272	393.659	4.89	500	443	284	1.076	85542	85542	0.00
	21:00	138.92	277	387.878	4.89	500	429	289	1.076	75320	75320	0.00
	7-Jan-2017	0:00	171.50	281	366.964	4.89	500	426	292	1.076	72092	72092
6:00		148.91	282	391.345	4.89	500	437	289	1.076	79624	79624	0.00
9:00		132.90	277	402.833	4.89	500	426	274	1.076	81776	81776	0.00
14:00		132.55	274	381.903	4.89	500	429	299	1.076	69940	69940	0.00
16:00		166.92	272	355.710	4.89	500	411	284	1.076	68326	68326	0.00
21:00		133.14	274	377.293	4.89	500	411	286	1.076	67250	67250	0.00
8-Jan-2017	0:00	131.48	279	391.969	4.89	500	427	292	1.076	72630	72630	0.00
	6:00	132.72	262	377.228	4.89	500	413	274	1.076	74782	74782	0.00
	9:00	138.92	285	398.254	4.89	500	442	299	1.076	76934	76934	0.00
	14:00	166.88	281	371.321	4.89	500	430	293	1.076	73706	73706	0.00
	16:00	138.92	279	377.206	4.89	500	416	292	1.076	66712	66712	0.00
	21:00	153.74	281	376.177	4.89	500	428	295	1.076	71554	71554	0.00
9-Jan-2017	0:00	148.44	274	379.244	4.89	500	429	287	1.076	76396	76396	0.00
	6:00	136.85	281	390.334	4.89	500	430	294	1.076	73168	73168	0.00
	9:00	138.84	286	404.068	4.89	500	447	298	1.076	80162	80162	0.00
	14:00	128.89	281	417.580	4.89	500	447	287	1.076	86080	86080	0.00
	16:00	153.09	281	375.865	4.89	500	427	295	1.076	71016	71016	0.00
	21:00	150.68	283	385.221	4.89	500	436	296	1.076	75320	75320	0.00
10-Jan-2017	0:00	150.76	282	381.250	4.89	500	431	295	1.076	73168	73168	0.00
	6:00	149.97	275	392.382	4.89	500	447	287	1.076	86080	86080	0.00
	9:00	150.73	278	388.945	4.89	500	439	287	1.076	81776	81776	0.00
	14:00	146.86	280	390.872	4.89	500	439	291	1.076	79624	79624	0.00
	16:00	152.45	278	372.542	4.89	500	420	289	1.076	70478	70478	0.00
	21:00	152.65	274	367.698	4.89	500	416	286	1.076	69940	69940	0.00

b. Pasca rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Evaporator*

Date	Time	HP Evaporator										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC6$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH6$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	137.86	266.43	383.24	4.89	500	421.87	275.64	1.076	78747.45	78670.91	0.00
	6:00	115.04	256.13	386.05	4.89	500	402.37	266.99	1.076	73083.48	72837.06	0.00
	9:00	116.07	177.08	312.66	4.89	500	436.03	293.00	1.076	76951.58	76947.75	0.00
	14:00	134.83	176.30	290.25	4.89	500	436.00	294.97	1.076	75129.74	75876.54	0.01
	16:00	137.89	284.18	396.08	4.89	500	435.31	295.38	1.076	75448.08	75279.96	0.00
	21:00	157.03	282.33	375.70	4.89	500	427.26	294.48	1.076	71697.52	71433.23	0.00
2-Jan-2017	0:00	162.10	286.41	382.97	4.89	500	442.96	300.86	1.076	76542.11	76450.71	0.00
	6:00	146.86	276.31	394.04	4.89	500	444.33	287.78	1.076	84544.54	84222.1	0.00
	9:00	136.91	176.84	291.13	4.89	500	436.50	294.10	1.076	76515.47	76613.08	0.00
	14:00	144.86	177.07	284.68	4.89	500	435.70	293.87	1.076	76230.65	76304.19	0.00
	16:00	154.79	281.00	378.03	4.89	500	432.19	295.53	1.076	73443.17	73522.23	0.00
	21:00	136.86	283.60	392.40	4.89	500	435.32	298.05	1.076	72812.47	73852.17	0.01
3-Jan-2017	0:00	152.70	280.47	375.64	4.89	500	428.03	296.53	1.076	71063.22	70748.14	0.00
	6:00	136.85	275.64	402.93	4.89	500	441.35	283.14	1.076	85185.53	85113.94	0.00
	9:00	165.25	282.26	378.54	4.89	500	438.54	293.96	1.076	77796.53	77787.11	0.00
	14:00	165.53	283.19	377.16	4.89	500	435.96	294.04	1.076	76062.77	76352.12	0.00
	16:00	155.54	282.16	384.30	4.89	500	439.31	295.00	1.076	77691.06	77636.13	0.00
	21:00	161.49	282.59	377.61	4.89	500	434.08	294.86	1.076	75029.26	74899.45	0.00
4-Jan-2017	0:00	140.94	272.34	397.76	4.89	500	446.93	286.17	1.076	86437.13	86487.25	0.00
	6:00	135.56	272.90	400.98	4.89	500	444.36	286.45	1.076	84904.48	84955.34	0.00
	9:00	153.66	283.37	384.45	4.89	500	437.09	296.15	1.076	75948.73	75824.53	0.00
	14:00	153.61	281.90	380.65	4.89	500	433.16	295.50	1.076	74183.11	74065.7	0.00
	16:00	156.52	281.98	383.93	4.89	500	439.06	294.15	1.076	78023.9	77963.94	0.00
	21:00	137.60	283.04	393.12	4.89	500	434.99	296.76	1.076	74069.18	74367.03	0.00
5-Jan-2017	0:00	129.58	263.54	386.11	4.89	500	418.51	273.86	1.076	77661.65	77823.21	0.00
	6:00	137.58	275.86	389.89	4.89	500	428.71	286.61	1.076	76715.79	76449.52	0.00
	9:00	128.58	280.26	393.07	4.89	500	423.96	292.12	1.076	70928.19	70933.84	0.00
	14:00	130.60	281.41	399.84	4.89	500	432.48	291.98	1.076	75630.47	75589.69	0.00
	16:00	154.60	279.85	373.54	4.89	500	425.01	293.26	1.076	70836.68	70881.83	0.00
	21:00	161.59	280.89	375.85	4.89	500	432.72	292.99	1.076	75042.83	75178.33	0.00

6-Jan-2017	0:00	155.62	283.53	384.71	4.89	500	437.59	296.15	1.076	76994.33	76093.67	0.01
	6:00	163.79	282.28	374.24	4.89	500	432.83	295.42	1.076	73658.23	73929.75	0.00
	9:00	156.52	281.10	374.95	4.89	500	425.91	292.37	1.076	71830.06	71843.09	0.00
	14:00	164.26	279.38	368.25	4.89	500	426.38	292.95	1.076	71379.07	71789.22	-0.01
	16:00	145.38	272.06	393.27	4.89	500	444.00	283.52	1.076	86171.6	86336.88	0.00
	21:00	135.59	276.89	388.82	4.89	500	429.06	289.35	1.076	74210.44	75165.49	0.01
7-Jan-2017	0:00	169.80	281.95	367.91	4.89	500	426.16	291.90	1.076	71374.89	72232.15	0.01
	6:00	147.44	283.08	390.98	4.89	500	436.00	290.05	1.076	77789.93	78522.55	0.01
	9:00	131.58	276.24	401.61	4.89	500	425.25	275.65	1.076	80671.23	80483.68	0.00
	14:00	131.24	273.56	381.50	4.89	500	428.91	299.90	1.076	69270.36	69410.02	0.00
	16:00	165.26	271.79	356.53	4.89	500	410.76	283.82	1.076	68478.46	68295.11	0.00
	21:00	133.21	273.83	376.66	4.89	500	410.44	285.42	1.076	66984.67	67258.55	0.00
8-Jan-2017	0:00	128.61	278.00	392.62	4.89	500	426.82	293.00	1.076	72083.18	71997.43	0.00
	6:00	129.79	261.08	378.04	4.89	500	413.22	275.00	1.076	74236.78	74362	0.00
	9:00	137.58	285.36	398.83	4.89	500	442.17	300.00	1.076	76338.44	76490.02	0.00
	14:00	165.23	281.00	372.33	4.89	500	429.44	292.96	1.076	73789.56	73425.57	0.00
	16:00	139.64	279.95	377.73	4.89	500	416.46	292.23	1.076	66774.07	66835.18	0.00
	21:00	152.22	281.15	377.24	4.89	500	428.93	295.65	1.076	71523.57	71705.22	0.00
9-Jan-2017	0:00	149.25	274.08	378.40	4.89	500	429.23	287.58	1.076	76134.89	76210.44	0.00
	6:00	134.62	280.00	389.66	4.89	500	429.19	294.54	1.076	72188.15	72439.29	0.00
	9:00	137.56	286.29	404.99	4.89	500	447.02	298.05	1.076	79844.03	80144.02	0.00
	14:00	129.61	281.31	416.80	4.89	500	446.59	286.97	1.076	85868.01	85875.71	0.00
	16:00	151.57	281.10	376.45	4.89	500	426.50	295.04	1.076	70670.34	70724.11	0.00
	21:00	149.25	282.84	386.59	4.89	500	436.44	295.92	1.076	75717.41	75598.58	0.00
10-Jan-2017	0:00	149.27	281.53	381.94	4.89	500	431.18	295.26	1.076	73289.45	73123.32	0.00
	6:00	148.48	274.91	393.72	4.89	500	447.59	288.00	1.076	86266.26	85857.2	0.00
	9:00	149.24	277.71	389.35	4.89	500	439.11	287.66	1.076	81475.14	81478.36	0.00
	14:00	146.19	280.36	390.91	4.89	500	438.43	290.97	1.076	79031.57	79333.19	0.00
	16:00	151.00	277.91	373.66	4.89	500	419.86	289.68	1.076	70706.97	70032.87	0.01
	21:00	150.71	274.46	368.91	4.89	500	416.20	286.26	1.076	69606.14	69903.91	0.00

## Lampiran H

### a. Pra rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Superheater 1*

Date	Time	HP Superheater 1										
		Ton/jam <i>flow in</i> <i>COLD</i>	°C $T_{C,in}$	°C $T_{C,out}$	$C_pH7$	kTon/jam <i>flow in</i> <i>HOT</i>	°C $T_{H,in}$	°C $T_{H,out}$	$C_pH7$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	136.86	383.36	448.95	3.7	500	483	422	1.089	33214.5	33214.5	0.00
	6:00	115.02	386.13	452.66	3.7	500	454	402	1.089	28314	28314	0.00
	9:00	115.02	312.82	381.91	3.7	500	490	436	1.089	29403	29403	0.00
	14:00	136.86	291.15	349.21	3.7	500	490	436	1.089	29403	29403	0.00
	16:00	136.86	395.74	454.88	3.7	500	490	435	1.089	29947.5	29947.5	0.00
	21:00	155.06	375.66	423.11	3.7	500	477	427	1.089	27225	27225	0.00
2-Jan-2017	0:00	163.07	382.48	434.82	3.7	500	501	443	1.089	31581	31581	0.00
	6:00	144.87	394.47	466.59	3.7	500	515	444	1.089	38659.5	38659.5	0.00
	9:00	136.86	291.15	349.21	3.7	500	490	436	1.089	29403	29403	0.00
	14:00	144.87	284.84	339.69	3.7	500	490	436	1.089	29403	29403	0.00
	16:00	155.79	378.75	426.92	3.7	500	483	432	1.089	27769.5	27769.5	0.00
	21:00	136.86	394.93	453.00	3.7	500	489	435	1.089	29403	29403	0.00
3-Jan-2017	0:00	150.70	376.64	426.44	3.7	500	479	428	1.089	27769.5	27769.5	0.00
	6:00	136.86	403.01	479.35	3.7	500	512	441	1.089	38659.5	38659.5	0.00
	9:00	165.26	378.53	429.29	3.7	500	496	439	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	14:00	164.53	376.62	424.92	3.7	500	489	435	1.089	29403	29403	0.00
	16:00	156.52	383.92	437.52	3.7	500	496	439	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	21:00	164.53	376.62	424.92	3.7	500	489	435	1.089	29403	29403	0.00
4-Jan-2017	0:00	141.96	397.78	474.49	3.7	500	521	447	1.089	40293	40293	0.00
	6:00	137.59	401.04	478.05	3.7	500	517	445	1.089	39204	39204	0.00
	9:00	153.61	383.99	436.68	3.7	500	492	437	1.089	29947.5	29947.5	0.00
	14:00	153.61	380.84	432.58	3.7	500	487	433	1.089	29403	29403	0.00
	16:00	156.52	383.92	437.52	3.7	500	496	439	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	21:00	137.59	394.95	452.70	3.7	500	489	435	1.089	29403	29403	0.00
5-Jan-2017	0:00	129.58	387.11	456.38	3.7	500	480	419	1.089	33214.5	33214.5	0.00
	6:00	137.59	389.55	452.65	3.7	500	488	429	1.089	32125.5	32125.5	0.00
	9:00	129.58	392.07	452.26	3.7	500	477	424	1.089	28858.5	28858.5	0.00
	14:00	129.58	399.86	461.19	3.7	500	486	432	1.089	29403	29403	0.00

	16:00	153.61	374.54	424.36	3.7	500	477	425	1.089	28314	28314	0.00
	21:00	161.62	376.31	425.48	3.7	500	487	433	1.089	29403	29403	0.00
6-Jan-2017	0:00	153.61	383.99	436.68	3.7	500	492	437	1.089	29947.5	29947.5	0.00
	6:00	163.80	374.69	423.21	3.7	500	487	433	1.089	29403	29403	0.00
	9:00	156.52	375.19	425.96	3.7	500	480	426	1.089	29403	29403	0.00
	14:00	165.26	369.21	417.30	3.7	500	480	426	1.089	29403	29403	0.00
	16:00	143.42	393.98	466.83	3.7	500	514	443	1.089	38659.5	38659.5	0.00
	21:00	137.59	388.95	447.77	3.7	500	484	429	1.089	29947.5	29947.5	0.00
7-Jan-2017	0:00	154.32	375.63	417.59	3.7	500	487	443	1.089	23958	23958	0.00
	6:00	148.84	395.54	433.11	3.7	500	480	442	1.089	20691	20691	0.00
	9:00	129.58	406.05	468.51	3.7	500	483	428	1.089	29947.5	29947.5	0.00
	14:00	133.22	381.36	431.07	3.7	500	471	426	1.089	24502.5	24502.5	0.00
	16:00	165.26	356.55	403.75	3.7	500	464	411	1.089	28858.5	28858.5	0.00
	21:00	133.22	377.23	432.46	3.7	500	461	411	1.089	27225	27225	0.00
8-Jan-2017	0:00	129.58	393.62	453.81	3.7	500	480	427	1.089	28858.5	28858.5	0.00
	6:00	131.77	378.06	442.83	3.7	500	471	413	1.089	31581	31581	0.00
	9:00	137.59	399.34	460.31	3.7	500	499	442	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	14:00	165.26	372.21	419.41	3.7	500	483	430	1.089	28858.5	28858.5	0.00
	16:00	137.59	378.15	429.49	3.7	500	464	416	1.089	26136	26136	0.00
	21:00	149.24	379.05	429.34	3.7	500	479	428	1.089	27769.5	27769.5	0.00
9-Jan-2017	0:00	149.24	378.68	435.88	3.7	500	487	429	1.089	31581	31581	0.00
	6:00	137.59	389.75	445.36	3.7	500	482	430	1.089	28314	28314	0.00
	9:00	137.59	405.14	468.25	3.7	500	506	447	1.089	32125.5	32125.5	0.00
	14:00	129.58	416.84	456.59	3.7	500	482	447	1.089	19057.5	19057.5	0.00
	16:00	153.61	375.54	423.45	3.7	500	477	427	1.089	27225	27225	0.00
	21:00	149.24	386.21	439.46	3.7	500	490	436	1.089	29403	29403	0.00
10-Jan-2017	0:00	149.24	382.26	432.55	3.7	500	482	431	1.089	27769.5	27769.5	0.00
	6:00	148.51	393.53	466.86	3.7	500	521	447	1.089	40293	40293	0.00
	9:00	150.76	390.06	445.69	3.7	500	473	416	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	14:00	146.18	391.39	448.77	3.7	500	496	439	1.089	31036.5	31036.5	0.00
	16:00	150.99	373.46	425.11	3.7	500	473	420	1.089	28858.5	28858.5	0.00
	21:00	150.70	368.91	422.62	3.7	500	471	416	1.089	29947.5	29947.5	0.00

b. Pasca rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Superheater 1*

Date	Time	HP Superheater 1										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam	°C					
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC7$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH7$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	136.87	383.56	448.93	3.7	500	482.88	422.45	1.089	33102.99	32903.71	0.01
	6:00	115.06	386.17	452.18	3.7	500	453.76	402.35	1.089	28100.66	27995.45	0.00
	9:00	116.02	312.79	382.02	3.7	500	490.19	435.53	1.089	29718.94	29760.04	0.00
	14:00	137.88	290.82	348.21	3.7	500	490.21	436.50	1.089	29276.47	29243.26	0.00
	16:00	135.89	395.76	454.22	3.7	500	489.32	435.33	1.089	29395.91	29397.76	0.00
	21:00	154.07	374.97	423.23	3.7	500	477.24	426.82	1.089	27514.66	27455.78	0.00
2-Jan-2017	0:00	163.06	382.33	434.95	3.7	500	500.97	442.71	1.089	31751.14	31726.16	0.00
	6:00	142.88	394.27	466.60	3.7	500	514.00	443.70	1.089	38236.82	38276.58	0.00
	9:00	135.84	290.30	348.21	3.7	500	489.21	436.01	1.089	29106.01	28966.45	0.00
	14:00	143.91	285.10	339.43	3.7	500	489.87	437.00	1.089	28926.48	28788.53	0.00
	16:00	153.79	379.13	427.46	3.7	500	483.03	432.50	1.089	27496.9	27511.05	0.00
	21:00	137.87	394.26	452.52	3.7	500	489.30	434.83	1.089	29721.74	29657.53	0.00
3-Jan-2017	0:00	146.69	376.69	426.28	3.7	500	478.00	428.43	1.089	26915.39	26992.38	0.00
	6:00	134.88	402.78	479.92	3.7	500	511.72	441.23	1.089	38495.61	38381.86	0.00
	9:00	167.24	378.79	429.06	3.7	500	496.17	438.99	1.089	31105.76	31131.63	0.00
	14:00	163.51	377.19	424.87	3.7	500	488.00	435.02	1.089	28842.49	28846.37	0.00
	16:00	156.50	383.59	437.90	3.7	500	496.53	438.55	1.089	31444.61	31567.12	0.00
	21:00	164.53	376.41	425.10	3.7	500	488.99	434.75	1.089	29641.01	29529.56	0.00
4-Jan-2017	0:00	145.95	398.14	474.22	3.7	500	522.00	446.91	1.089	41082.53	40887.76	0.00
	6:00	137.58	401.37	477.79	3.7	500	517.40	446.00	1.089	38900.47	38874.83	0.00
	9:00	151.56	382.99	436.80	3.7	500	492.14	436.85	1.089	30176.52	30104.05	0.00
	14:00	153.66	381.21	433.08	3.7	500	486.70	432.54	1.089	29488.52	29489.68	0.00
	16:00	156.52	384.12	437.25	3.7	500	495.40	438.62	1.089	30769.46	30915.58	0.00
	21:00	139.59	395.64	452.43	3.7	500	489.36	435.59	1.089	29330.13	29274.6	0.00
5-Jan-2017	0:00	129.61	387.56	456.40	3.7	500	480.11	419.36	1.089	33012.8	33079.61	0.00
	6:00	141.54	390.43	452.54	3.7	500	487.68	428.04	1.089	32526.31	32472.61	0.00
	9:00	133.61	391.92	451.40	3.7	500	477.99	424.06	1.089	29401.81	29363.4	0.00
	14:00	131.59	399.68	460.19	3.7	500	485.74	431.88	1.089	29462.14	29328.69	0.00
	16:00	152.62	374.64	424.73	3.7	500	476.89	425.01	1.089	28287.39	28250.14	0.00
	21:00	161.65	376.75	425.39	3.7	500	486.55	433.06	1.089	29087.46	29126.33	0.00



6-Jan-2017	0:00	151.60	383.21	436.60	3.7	500	491.90	437.01	1.089	29948.43	29887.35	0.00
	6:00	171.81	375.35	422.88	3.7	500	487.49	432.03	1.089	30213.57	30196.51	0.00
	9:00	156.52	375.58	426.32	3.7	500	481.00	426.86	1.089	29386.9	29476.71	0.00
	14:00	170.24	370.21	417.31	3.7	500	480.16	425.72	1.089	29665.66	29640.99	0.00
	16:00	140.41	392.98	466.67	3.7	500	514.20	443.97	1.089	38284.5	38239.5	0.00
	21:00	136.54	389.95	447.64	3.7	500	483.00	429.58	1.089	29148.06	29087.46	0.00
7-Jan-2017	0:00	152.79	375.52	417.07	3.7	500	486.09	443.22	1.089	23488.78	23341.01	0.01
	6:00	147.37	396.41	433.39	3.7	500	481.21	443.84	1.089	20160.08	20350.39	0.01
	9:00	129.58	406.23	468.74	3.7	500	482.83	428.24	1.089	29970.95	29727.25	0.01
	14:00	133.22	381.76	431.37	3.7	500	471.17	426.07	1.089	24452.63	24560.15	0.00
	16:00	165.24	356.28	403.31	3.7	500	463.33	410.77	1.089	28750.77	28619.11	0.00
	21:00	133.26	377.56	432.94	3.7	500	461.29	411.12	1.089	27307.25	27316.62	0.00
8-Jan-2017	0:00	129.59	393.69	453.45	3.7	500	480.02	427.18	1.089	28654.31	28770.66	0.00
	6:00	128.74	377.71	443.51	3.7	500	470.09	413.32	1.089	31345.55	30911.86	0.01
	9:00	137.55	399.38	460.30	3.7	500	498.77	442.05	1.089	31007.25	30883.88	0.00
	14:00	168.26	372.34	419.19	3.7	500	482.77	429.00	1.089	29165.2	29275.09	0.00
	16:00	140.61	378.56	429.61	3.7	500	463.77	415.19	1.089	26559.88	26454.33	0.00
	21:00	152.24	378.67	428.39	3.7	500	479.16	427.79	1.089	28011.32	27972.51	0.00
9-Jan-2017	0:00	149.27	379.09	436.39	3.7	500	487.21	429.21	1.089	31651.74	31581.35	0.00
	6:00	137.60	389.75	445.66	3.7	500	481.65	429.31	1.089	28461.33	28504.02	0.00
	9:00	137.62	404.79	467.81	3.7	500	505.92	446.95	1.089	32090.55	32105.59	0.00
	14:00	133.59	416.50	456.59	3.7	500	483.68	447.44	1.089	19814.82	19731.46	0.00
	16:00	155.59	375.30	423.00	3.7	500	477.28	426.79	1.089	27461.39	27491.8	0.00
	21:00	149.22	386.29	439.63	3.7	500	489.82	435.53	1.089	29450.62	29558.89	0.00
10-Jan-2017	0:00	149.24	382.50	433.01	3.7	500	481.82	430.82	1.089	27892.28	27770.05	0.00
	6:00	147.52	393.67	467.23	3.7	500	520.50	447.07	1.089	40152.45	39979.03	0.00
	9:00	149.27	390.20	445.87	3.7	500	476.92	420.85	1.089	30749.73	30529.73	0.01
	14:00	146.18	391.64	448.93	3.7	500	496.01	439.17	1.089	30987.04	30948.99	0.00
	16:00	148.99	373.08	425.29	3.7	500	472.79	419.87	1.089	28786.07	28816.36	0.00
	21:00	150.72	368.06	422.21	3.7	500	471.76	416.03	1.089	30197.53	30348.07	0.00

## Lampiran I

### a. Pra rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Superheater 2*

Date	Time	HP Superheater 2										
		Ton/jam <i>flow in COLD</i>	°C $T_{C,in}$	°C $T_{C,out}$	$CpC8$	kTon/jam <i>flow in HOT</i>	°C $T_{H,in}$	°C $T_{H,out}$	$CpH7$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	150.40	448.95	459.89	2.98	500	492	483	1.089	4900.5	4900.5	0.00
	6:00	127.29	452.66	461.27	2.98	500	460	454	1.089	3267	3267	0.00
	9:00	124.25	381.91	398.09	2.98	500	501	490	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	14:00	129.12	349.21	364.78	2.98	500	501	490	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	16:00	129.19	454.88	471.85	2.98	500	502	490	1.089	6534	6534	0.00
	21:00	131.38	423.11	434.23	2.98	500	485	477	1.089	4356	4356	0.00
2-Jan-2017	0:00	132.31	434.82	452.77	2.98	500	514	501	1.089	7078.5	7078.5	0.00
	6:00	146.30	466.59	486.58	2.98	500	531	515	1.089	8712	8712	0.00
	9:00	132.18	349.21	364.42	2.98	500	501	490	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	14:00	143.30	339.69	353.72	2.98	500	501	490	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	16:00	153.31	426.92	440.03	2.98	500	494	483	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	21:00	132.18	453.00	469.59	2.98	500	501	489	1.089	6534	6534	0.00
3-Jan-2017	0:00	147.14	426.44	438.86	2.98	500	489	479	1.089	5445	5445	0.00
	6:00	137.20	479.35	498.00	2.98	500	526	512	1.089	7623	7623	0.00
	9:00	159.84	429.29	441.87	2.98	500	507	496	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	14:00	170.26	424.92	436.72	2.98	500	500	489	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	16:00	146.96	437.52	451.19	2.98	500	507	496	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	21:00	156.08	424.92	437.80	2.98	500	500	489	1.089	5989.5	5989.5	0.00
4-Jan-2017	0:00	140.36	474.49	495.32	2.98	500	537	521	1.089	8712	8712	0.00
	6:00	136.95	478.05	499.39	2.98	500	533	517	1.089	8712	8712	0.00
	9:00	162.19	436.68	447.95	2.98	500	502	492	1.089	5445	5445	0.00
	14:00	138.94	432.58	447.04	2.98	500	498	487	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	16:00	150.98	437.52	450.83	2.98	500	507	496	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	21:00	134.92	452.70	467.60	2.98	500	500	489	1.089	5989.5	5989.5	0.00
5-Jan-2017	0:00	130.90	456.38	470.34	2.98	500	490	480	1.089	5445	5445	0.00
	6:00	145.02	452.65	462.73	2.98	500	496	488	1.089	4356	4356	0.00
	9:00	123.85	452.26	468.49	2.98	500	488	477	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	14:00	140.98	461.19	474.15	2.98	500	496	486	1.089	5445	5445	0.00

	16:00	158.19	424.36	434.76	2.98	500	486	477	1.089	4900.5	4900.5	0.00
	21:00	157.19	425.48	438.26	2.98	500	498	487	1.089	5989.5	5989.5	0.00
6-Jan-2017	0:00	156.18	436.68	448.38	2.98	500	502	492	1.089	5445	5445	0.00
	6:00	159.40	423.21	435.82	2.98	500	498	487	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	9:00	158.09	425.96	437.52	2.98	500	490	480	1.089	5445	5445	0.00
	14:00	157.87	417.30	431.19	2.98	500	492	480	1.089	6534	6534	0.00
	16:00	151.90	466.83	483.67	2.98	500	528	514	1.089	7623	7623	0.00
	21:00	136.95	447.77	469.12	2.98	500	500	484	1.089	8712	8712	0.00
7-Jan-2017	0:00	156.39	417.19	453.41	2.98	500	492	461	1.089	16879.5	16879.5	0.00
	6:00	146.86	434.53	445.73	2.98	500	480	471	1.089	4900.5	4900.5	0.00
	9:00	130.90	468.51	492.24	2.98	500	500	483	1.089	9256.5	9256.5	0.00
	14:00	143.63	431.07	466.69	2.98	500	489	461	1.089	15246	15246	0.00
	16:00	152.73	403.75	428.87	2.98	500	492	471	1.089	11434.5	11434.5	0.00
	21:00	157.78	432.46	444.04	2.98	500	471	461	1.089	5445	5445	0.00
8-Jan-2017	0:00	139.95	453.81	468.17	2.98	500	491	480	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	6:00	143.15	442.83	454.32	2.98	500	480	471	1.089	4900.5	4900.5	0.00
	9:00	130.89	460.31	477.06	2.98	500	511	499	1.089	6534	6534	0.00
	14:00	141.28	419.41	434.93	2.98	500	495	483	1.089	6534	6534	0.00
	16:00	148.32	429.49	438.11	2.98	500	471	464	1.089	3811.5	3811.5	0.00
	21:00	144.67	429.34	441.97	2.98	500	489	479	1.089	5445	5445	0.00
9-Jan-2017	0:00	146.69	435.88	449.58	2.98	500	498	487	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	6:00	151.12	445.36	457.46	2.98	500	492	482	1.089	5445	5445	0.00
	9:00	146.04	468.25	484.51	2.98	500	519	506	1.089	7078.5	7078.5	0.00
	14:00	132.87	456.59	485.47	2.98	500	492	471	1.089	11434.5	11434.5	0.00
	16:00	139.96	423.45	435.19	2.98	500	486	477	1.089	4900.5	4900.5	0.00
	21:00	146.71	439.46	453.16	2.98	500	501	490	1.089	5989.5	5989.5	0.00
10-Jan-2017	0:00	150.75	432.55	444.67	2.98	500	492	482	1.089	5445	5445	0.00
	6:00	150.04	466.86	485.12	2.98	500	536	521	1.089	8167.5	8167.5	0.00
	9:00	147.69	446.26	488.32	2.98	500	511	477	1.089	18513	18513	0.00
	14:00	145.66	448.77	467.59	2.98	500	511	496	1.089	8167.5	8167.5	0.00
	16:00	153.49	425.11	438.21	2.98	500	484	473	1.089	5989.5	5989.5	0.00
	21:00	157.21	422.62	436.57	2.98	500	483	471	1.089	6534	6534	0.00

b. Pasca rekonsiliasi rekonsiliasi data pada *High Pressure Superheater 2*

Date	Time	HP Superheater 2										
		Ton/jam	°C	°C		kTon/jam		°C				
		<i>flow in COLD</i>	$T_{C,in}$	$T_{C,out}$	$CpC8$	<i>flow in HOT</i>	$T_{H,in}$	$T_{H,out}$	$CpH7$	$Q_{cold}$	$Q_{hot}$	<i>selisih</i>
1-Jan-2017	0:00	148.91	449.15	459.97	2.98	500	491.7093237	482.9034	1.089	4800.857	4794.84	0.00
	6:00	126.03	452.40	460.40	2.98	500	459.8981172	454.3708	1.089	3005.15	3009.632	0.00
	9:00	123.02	382.44	399.52	2.98	500	500.9249575	489.4479	1.089	6260.782	6249.245	0.00
	14:00	127.84	350.56	365.68	2.98	500	500.7725964	490.2087	1.089	5757.235	5752.057	0.00
	16:00	127.91	455.34	471.84	2.98	500	501.2003051	489.6701	1.089	6291.578	6278.203	0.00
	21:00	130.08	424.03	435.59	2.98	500	484.9025576	476.7	1.089	4480.983	4466.267	0.00
2-Jan-2017	0:00	131.00	435.82	452.55	2.98	500	514.9849612	502.8591	1.089	6530.337	6602.522	0.01
	6:00	144.85	466.49	486.45	2.98	500	531.2452696	515.4025	1.089	8615.688	8626.391	0.00
	9:00	130.87	348.29	364.77	2.98	500	501.1789178	489.6168	1.089	6426.026	6295.583	0.02
	14:00	141.88	339.72	353.96	2.98	500	501.1244076	490.0268	1.089	6020.514	6042.672	0.00
	16:00	151.79	427.21	440.02	2.98	500	493.7413636	483.1222	1.089	5794.426	5782.12	0.00
	21:00	130.87	452.44	468.99	2.98	500	500.9207973	489.0679	1.089	6454.016	6453.924	0.00
3-Jan-2017	0:00	145.68	426.42	438.89	2.98	500	488.9584369	479.0209	1.089	5414.453	5410.977	0.00
	6:00	135.84	479.13	498.00	2.98	500	525.6767509	511.6474	1.089	7637.743	7638.965	0.00
	9:00	158.25	428.97	441.44	2.98	500	507.2334481	496.4407	1.089	5885.19	5876.627	0.00
	14:00	168.58	425.43	437.08	2.98	500	499.8909881	489.0892	1.089	5852.651	5881.577	0.00
	16:00	145.51	436.81	450.59	2.98	500	506.9512993	496.0246	1.089	5975.295	5949.594	0.00
	21:00	154.53	424.84	436.65	2.98	500	499.8983344	489.8866	1.089	5438.225	5451.412	0.00
4-Jan-2017	0:00	138.97	475.15	494.96	2.98	500	536.5983123	521.4702	1.089	8204.644	8237.271	0.00
	6:00	135.60	477.96	500.20	2.98	500	533.3015342	516.8378	1.089	8984.407	8964.503	0.00
	9:00	160.58	436.05	447.60	2.98	500	501.9447556	491.7756	1.089	5524.512	5537.093	0.00
	14:00	137.56	432.48	446.33	2.98	500	497.7407278	487.2978	1.089	5676.758	5686.196	0.00
	16:00	149.49	436.93	449.89	2.98	500	506.1595834	495.5623	1.089	5773.058	5770.208	0.00
	21:00	133.58	453.11	467.60	2.98	500	499.6122828	488.9982	1.089	5768.8	5779.354	0.00
5-Jan-2017	0:00	129.60	455.96	470.16	2.98	500	489.9353429	479.9024	1.089	5483.008	5462.947	0.00
	6:00	143.59	452.82	463.28	2.98	500	495.9248298	487.7032	1.089	4473.449	4476.687	0.00
	9:00	122.62	451.53	468.20	2.98	500	495.0110838	483.8336	1.089	6091.389	6086.118	0.00
	14:00	139.59	461.49	475.16	2.98	500	496.2420832	485.8537	1.089	5684.729	5656.449	0.00
	16:00	156.62	424.65	434.90	2.98	500	486.0728587	477.289	1.089	4782.343	4782.83	0.00
	21:00	155.63	425.45	438.10	2.98	500	497.6620847	486.873	1.089	5867.608	5874.652	0.00

6-Jan-2017	0:00	154.63	437.07	448.71	2.98	500	502.0069331	492.1851	1.089	5363.571	5347.965	0.00
	6:00	157.82	423.24	435.59	2.98	500	497.8039606	487.1504	1.089	5810.372	5800.864	0.00
	9:00	156.52	426.01	438.78	2.98	500	490.0466452	479.2013	1.089	5955.1	5905.287	0.01
	14:00	156.30	416.51	431.44	2.98	500	492.1127146	479.4005	1.089	6954.864	6921.797	0.00
	16:00	150.40	466.88	483.67	2.98	500	528.0023765	514.1781	1.089	7522.4	7527.322	0.00
	21:00	135.59	447.82	468.34	2.98	500	499.2535019	484.0792	1.089	8290.855	8262.423	0.00
7-Jan-2017	0:00	154.84	417.76	453.22	2.98	500	491.5425847	461.5335	1.089	16358.06	16339.94	0.00
	6:00	145.41	434.73	446.00	2.98	500	479.8039326	470.8258	1.089	4882.662	4888.604	0.00
	9:00	129.60	468.57	492.29	2.98	500	499.7025489	483.0516	1.089	9161.059	9066.457	0.01
	14:00	142.21	430.22	466.47	2.98	500	489.0875848	460.7838	1.089	15361.31	15411.41	0.00
	16:00	151.22	403.21	427.33	2.98	500	491.8772395	472	1.089	10865.43	10823.16	0.00
	21:00	156.21	433.46	445.17	2.98	500	471.0942448	461.0516	1.089	5451.385	5468.205	0.00
8-Jan-2017	0:00	138.56	454.07	468.77	2.98	500	491.0616525	479.8819	1.089	6069.947	6087.376	0.00
	6:00	141.73	443.14	455.12	2.98	500	480.6250362	471.3595	1.089	5060.037	5045.08	0.00
	9:00	129.60	460.06	476.61	2.98	500	510.795173	499.1898	1.089	6391.251	6319.146	0.01
	14:00	141.28	418.91	435.73	2.98	500	494.9293006	482.1093	1.089	7083.837	6980.465	0.01
	16:00	147.58	428.95	437.15	2.98	500	470.6103799	463.9799	1.089	3605.842	3610.309	0.00
	21:00	143.24	429.55	442.30	2.98	500	488.9331262	478.9676	1.089	5442.861	5426.254	0.00
9-Jan-2017	0:00	145.24	435.76	449.53	2.98	500	497.7333582	486.7938	1.089	5957.767	5956.605	0.00
	6:00	149.62	445.00	458.64	2.98	500	493.9216505	482.8923	1.089	6085.718	6005.485	0.01
	9:00	144.59	467.81	485.52	2.98	500	520.0429207	506.0516	1.089	7629.211	7618.282	0.00
	14:00	131.55	456.07	485.52	2.98	500	492.5325	471.3302	1.089	11545.12	11544.67	0.00
	16:00	138.58	424.45	436.27	2.98	500	485.948755	476.9489	1.089	4883.644	4900.425	0.00
	21:00	145.25	439.49	453.97	2.98	500	501.2867926	489.8888	1.089	6264.463	6206.182	0.01
10-Jan-2017	0:00	149.26	432.08	444.31	2.98	500	491.9596016	481.9342	1.089	5436.228	5458.831	0.00
	6:00	148.56	466.95	485.66	2.98	500	535.7789509	520.7559	1.089	8280.129	8180.071	0.01
	9:00	146.23	446.08	489.55	2.98	500	511.5327524	477.0358	1.089	18941.76	18783.61	0.01
	14:00	144.21	448.92	467.42	2.98	500	510.7518694	496.2321	1.089	7951.433	7905.992	0.01
	16:00	151.97	424.83	438.73	2.98	500	484.414747	472.8494	1.089	6292.316	6297.35	0.00
	21:00	155.65	423.94	436.52	2.98	500	483.1470903	472.4144	1.089	5834.014	5843.977	0.00



## RIWAYAT HIDUP PENULIS

---



### Wahyu Tria Pratiwi

Jl. Veteran 5C No. 04C, RT 02, RW 03, Kec. Kebomas, Kab.

Gresik, Jawa Timur (61122)

HP: 0856 45 47 484 47

email: [wahyutriapратиwi@yahoo.co.id](mailto:wahyutriapратиwi@yahoo.co.id)

Tempat Tanggal Lahir : Gresik, 30 Mei 1991

Bahasa : Bahasa Indonesia

: Bahasa Inggris, EFL Score : 477

---

### Pendidikan

Agustus, 2015 – Agustus,  
2017

#### **S-2 Teknik Fisika**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),  
Surabaya – Indonesia**

#### **Rekayasa Instrumentasi Industri**

IPK 3.67 dari 4.00

Judul Tesis : Rekonsiliasi data pada PLTGU Gresik  
Menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Supervisor : Totok R. Biyanto, Ph.D

---

Agustus, 2009 – Agustus,  
2013

#### **S-1 Pendidikan Fisika**

**Universitas Negeri Malang, Malang – Indonesia**

IPK 3.53 dari 4.00

Judul Tugas Akhir : Pengaruh model pembelajaran  
*Creative Problem Solving* terhadap kemampuan berpikir  
kritis siswa

Supervisor : Dr. Lia Yuliati, S.Pd., M.Pd., Dr. Agus  
Suyudi, S.Pd., M.Pd

---

### Conference

Agustus. 2017. Data Reconciliation on PLTGU Gresik Using Particle Swarm  
Optimization (PSO). The 3<sup>rd</sup> International Seminar on Science and  
Technology (ISST). Surabaya

---

### Reference

Totok Ruki Biyanto, Ph.D

Instrumentation and Control Engineering, Dept. Of Engineering Physics – ITS

---

---

[mainan.engineering@gmail.com](mailto:mainan.engineering@gmail.com)

---