

**OPTIMALISASI SUPLAI UAP *COGENT PLANT*  
TERINTEGRASI DENGAN SISTEM KENDALI PLC  
PADA PT.MNA – KUALA TANJUNG**

**SEMINAR HASIL / TESIS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T)  
Dalam Bidang Ilmu Teknik Elektro*

Oleh:

**DEDY AGUSSYAH PUTRA**  
NPM : 1620080004



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## PENGESAHAN

### OPTIMALISASI SUPLAI UAP *COGENT PLANT* TERINTEGRASI DENGAN SISTEM KENDALI PLC PADA PT.MNA – KUALA TANJUNG

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji  
Yang Dibentuk Oleh MTE PPs. UMSU dan Dinyatakan Lulus Dalam Ujian,  
Pada Hari Rabu, Tanggal 20 Maret 2019”

#### Panitia Penguji

1. Dr. Ir. Suwarno, M.T.  
Ketua

1.....

2. Rohana, S.T., M.T  
Sekretaris

2.....

3. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc  
Anggota

3.....

4. Dr. Ir. Syafruddin Hasan  
Anggota

4.....

5. Dr. Ade Faisal, M.Sc  
Anggota

5.....



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpergana

## PENGESAHAN TESIS

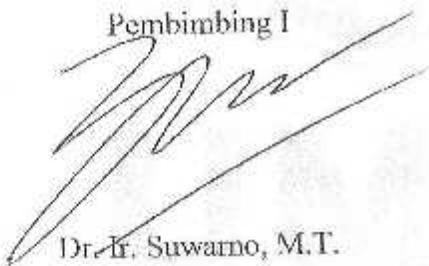
Nama : **DEDY AGUSSYAH PUTRA**  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1620080004  
Prodi/Konsentrasi : Magister Teknik Elektro  
Judul Tesis : Optimalisasi Suplai Uap Cogent Plant Terintegrasi dengan Sistem Kendali PLC Pada PT.MNA – Kuala Tanjung

Pengesahan Tesis:

Medan, Maret 2019

Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Ir. Suwarno, M.T.

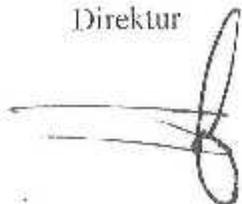
Pembimbing II



Rohana, S.T., M.T.

Diketahui

Direktur



Dr. Syaiful Bahri, M.AP.

Ketua Program Studi



Dr. Muhammad Fitra Zambak

## PERNYATAAN

### OPTIMALISASI SUPLAI UAP *COGENT PLANT* TERINTEGRASI DENGAN SISTEM KENDALI PLC PADA PT. MNA

Dengan ini penulis menyatakan bahwa.

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doctor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, Kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau Sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, Maret 2019

Penulis



**DEDY AGUSSYAH PUTRA**

1620080004

## ABSTRAK

*Economic dispatch* adalah sebuah studi yang umum dipakai untuk menyelesaikan masalah optimasi penggunaan bahan bakar pada sistem tenaga listrik, namun saat ini kebanyakan studi *Economic Dispatch* yang sudah dilakukan hanya sebatas sebuah penelitian saja yang berfokus pada pengembangan metode optimasi, sehingga hasilnya tidak dapat digunakan secara *real time* pada suatu sistem pembangkitan. Pada umumnya, SCADA/PLC digunakan agar *Economic Dispatch* dapat berjalan secara *real time* pada suatu sistem. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem otomasi yang mengintegrasikan *Economic Dispatch* ke dalam PLC pada sistem pembangkit 3 unit ketel uap yang bertujuan untuk memastikan agar sistem *Economic Dispatch* dapat berjalan secara *real time* mengikuti perubahan beban uap tanpa peranan seorang operator. Kalkulasi *Economic Dispatch* dibuat dalam bentuk pemrograman diagram tangga di dalam PLC. Hasil simulasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa program *Economic Dispatch* dalam PLC dapat berjalan dengan baik. Pada simulasi beban uap 76 MT didapatkan nilai optimal pada ketel uap 1 adalah sebesar 45 MT dan pada ketel uap 3 sebesar 31 MT sedangkan pada ketel uap 2 sebesar 0 MT, dengan peluang penghematan penggunaan bahan bakar ketel uap dapat diturunkan sebesar 16,8% dan biaya produksi uap sendiri dapat diturunkan sebesar 10% dari nilai awalnya.

Kata kunci : *Economic Dispatch*, Integrasi PLC, Optimasi Bahan Bakar

## ABSTRACT

*Economic dispatch* is a study that is commonly used to solve optimization problems fuel use on electric power systems, but most studies *Economic Dispatch* that was done only as a research course focuses on the development of optimization methods so that the result can not be used in real time on a system of generation. In General, SCADA/PLC used to *Economic Dispatch* can run in real time on a system. On this research will be designed an automation system which integrates *Economic Dispatch* into the PLC system in 3 steam generator unit which aims to ensure that the system of *Economic Dispatch* can run in real time to follow steam load without the existence of an operator. Calculation of *Economic Dispatch* is made in the form of a ladder diagram programming in the PLC. The results of the simulations in this study showed that the program *Economic Dispatch* in the PLC can be run well. On the simulation of the steam load 76 MT obtained optimal value in boiler 1 of 45 MT and on boiler 3 of 31 MT while the boiler 2 of 0 MT, with the chance of saving boiler fuel use can be derived of 16.8% and production costs steam itself can be lowered to 10%.

Key words : *Economic Dispatch*, PLC Integration, Fuel Optimization

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum wr. wb.*

*Alhamdulillah*, puji dan syukur yang tak terhingga penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan kasih sayang, rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada umat-Nya yang serius dalam hal urusan dunia dan akhiratnya. Dia tumpuan harapan dalam menyelesaikan tesis ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini walau derasnya cobaan dan rintangan yang dihadapi. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Saw, yang telah menuntun umatnya dari zaman kebodohan menuju zaman terang benderang yang berkelimpahan ilmu, beserta keluarga, sahabat dan umat Islam di seluruh dunia ini. Amiin.

Tulisan ini dibuat sebagai tesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemagisteran pada Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tesis ini adalah **“OPTIMALISASI SUPLAI UAP COGENT PLANT TERINTEGRASI DENGAN SISTEM KONTROL PLC PADA PT. MNA – KUALA TANJUNG”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak.

Dari itu penulis haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Syaiful Bahri, MAP. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Bapak Dr. M. Fitra Zambak, S.T, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro.
3. Ibu Rohana, ST, MT. selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. Suwarno, MT. selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Yoopie Algerie selaku Unit Head di PT. Multimas Nabati Asahan.
7. Bapak Jusry Siregar selaku Deputy Unit Head di PT. Multimas Nabati Asahan.
8. Bapak Ahmad Husni Siregar selaku Head Departemen Refinery SF.
9. Bapak Abdi Daniel Siburian selaku Head Departemen Utility dan Elektrikal.
10. Rekan-rekan di PT. Multimas Nabati Asahan, khususnya Departemen Elektrikal dan Utility yang telah banyak membantu memberikan saran dan masukan.
11. Ayahanda dan ibunda tercinta serta seluruh keluarga yang dengan penuh keikhlasan dan kesungguhan hati memberikan bantuan moral dan spiritual yang tak ternilai harganya.
12. Istri tercinta Karni Mei Daniah Sihaloho, S.Th.I, S.Pd.I dan anak kami Andika Muhammad Syahrin yang selalu memberikan motivasi luar biasa dalam menyelesaikan tesis ini.
13. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
14. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Program Pascasarjana, khususnya Program Studi Magister Teknik Elektro yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Atas semua bantuan yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga kita semua oleh Allah senantiasa diberi

sehat selamat jasmani rohani dari terhindar dari segala penyakit dan musibah, lancar urusan, banyak dapat rizki yang halal, baik yang datang dari pintu yang tidak disangka-sangka, tercapai segala apa yang dicita-citakan dan inginkan, lulus dalam segala ujian, diberi kekayaan baik harta, ilmu dan pangkat yang tinggi serta sukses dunia akhirat. Semoga Allah mengabulkan. *Amin ya rabbal 'alamin.*

Akhir kata, penulis sadar dengan sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang konstruktif dari pembaca tetap penulis harapkan demi perbaikan dan sebagai bekal pengetahuan dalam penyusunan-penyusunan berikutnya. Akhirnya, semoga tesis ini bermanfaat bagi semua, khususnya bagi para peneliti di bidang optimalisasi khususnya dalam optimasi penggunaan bahan bakar dan bagi penulis pribadi, Amin.

Medan, 20 Maret 2019  
Penulis,

Dedy Agussyah Putra  
1620080004

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

BAB.I. PENDAHULUAN

I.A. Latar Belakang Masalah .....	1
I.B. Identifikasi Masalah .....	3
I.C. Pembatasan Masalah .....	4
I.D. Rumusan Masalah .....	5
I.E. Tujuan Penelitian .....	6
I.F. Manfaat Penelitian .....	6

BAB.II. KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERFIKIR

II.A. Kajian Pustaka .....	8
II.A.1. Sistem Manajemen Energi .....	8
II.A.1.a. Standar Sistem Manajemen Energi .....	9
II.A.2. Operasi Ekonomis Sistem Tenaga .....	10
II.A.2.a. Karakteristik <i>Input-Output</i> Unit Pembangkit .....	11
II.A.2.b. Perhitungan Parameter Karakteristik <i>Input-Output</i> .....	13
II.A.2.c. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-rugi Daya dan Batas-batas Generator .....	15
II.A.2.d. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-rugi Daya dan Memperhitungkan Batas-batas Generator .....	21
II.A.3. Sistem Ketel Uap .....	22
II.A.3.a. Prinsip Ketel Uap .....	25
II.A.3.b. Peralatan Ketel Uap .....	27

II.A.4.	PLC ( <i>Programmable Logic Control</i> ) .....	31
II.A.4.a.	Konfigurasi Dasar PLC .....	34
II.A.4.b.	Instruksi Dasar PLC .....	37
II.A.5.	Sistem <i>Human Machinery Interface</i> (HMI) .....	43
II.A.6.	Uji Hipotesis .....	45
II.B.	Kajian Penelitian yang Relevan .....	46
II.C.	Kerangka Berpikir .....	52
II.D.	Hipotesis .....	55
BAB.III.	METODOLOGI PENELITIAN	
III.A.	Tempat dan Waktu Penelitian .....	56
III.B.	Rancangan Penelitian .....	56
III.C.	Populasi, Sample dan Sampling .....	58
III.D.	Teknik Pengumpulan Data .....	59
III.E.	Teknik Analisis Data .....	59
BAB.IV.	ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.A.	Hasil Penelitian .....	61
IV.A.1.	Deskripsi Data .....	61
IV.A.2.	Hasil Uji Persyaratan Analisis .....	61
IV.A.3.	Hasil Uji Hipotesis .....	64
IV.B.	Pembahasan .....	66
IV.B.1.	Formulasi <i>Economic Dispatch</i> .....	66
IV.B.2.	<i>Economic Dispatch</i> dalam PLC .....	73
IV.B.3.	Analisa Penggunaan Bahan Bakar .....	82
IV.B.4.	Analisa Ekonomis Penerapan <i>Economic Dispatch</i> .....	84
BAB.V.	SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN .....	86

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Hasil pengujian kecukupan <i>raw data</i> .....	63
Tabel 4.2.	Tabel data yang akan dipotong.....	63
Tabel 4.3.	Hasil pengujian kecukupan data setelah pemotongan data .....	64
Tabel 4.4.	Data produksi uap vs bahan bakar .....	66
Tabel 4.5.	Konversi nilai daya turbin dengan jumlah uap.....	71
Tabel 4.6.	Nilai konstanta – konstanta Ketel uap .....	72
Tabel 4.7.	Nilai konstanta kurva <i>input - output</i> .....	74
Tabel 4.8.	Nilai parameter konstanta untuk Lambda .....	77
Tabel 4.9.	Tabel perbandingan nilai aktual dengan <i>Economic Dispatch</i> periode Juli 2017 – Juni 2018 .....	83
Tabel 4.10.	Tabel perbandingan biaya untuk periode Juli 2017 – Juni 2018 .....	84

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Karakteristik <i>input-output</i> dari unit pembangkit .....	12
Gambar 2.2.	Sebuah bus yang menghubungkan 3 pembangkit dan sebuah beban .....	15
Gambar 2.3.	Ketel Uap Pipa Api .....	24
Gambar 2.4.	Ketel Uap Pipa Air .....	25
Gambar 2.5.	Ilustrasi Ketel Uap .....	26
Gambar 2.6.	Modul <i>Power Supply</i> .....	34
Gambar 2.7.	<i>Central Processing Unit</i> .....	35
Gambar 2.8.	<i>IO Modul</i> .....	37
Gambar 2.9.	Kontak <i>Normally Open</i> .....	37
Gambar 2.10.	Kontak <i>Normally Closed</i> .....	38
Gambar 2.11.	<i>Coil</i> .....	38
Gambar 2.12.	<i>Negated Coil</i> .....	39
Gambar 2.13.	<i>Set Coil</i> .....	39
Gambar 2.14.	<i>Reset Coil</i> .....	40
Gambar 2.15.	<i>On Delay Timer</i> .....	41
Gambar 2.16.	<i>Off Delay Timer</i> .....	41
Gambar 2.17.	<i>Up Counter</i> .....	42
Gambar 2.18.	<i>Down Counter</i> .....	42
Gambar 2.19.	<i>Move Integer</i> .....	43
Gambar 2.20.	HMI <i>Cimplicity</i> .....	44
Gambar 2.21.	Diagram kendali dari 2 ketel yang dioperasikan secara paralel .....	51
Gambar 2.22.	Kerangka Berpikir .....	53
Gambar 2.23.	Diagram Alir Pemograman .....	54
Gambar 3.1.	Rancangan <i>Economic Dispatch</i> sistem Ketel Uap .....	56
Gambar 3.2.	<i>Economic Dispatch</i> sistem Ketel uap .....	57
Gambar 4.1.	Kurva <i>input-output</i> Ketel Uap 1 .....	67
Gambar 4.2.	Kurva <i>input-output</i> Ketel Uap 2 .....	67

Gambar 4.3.	Kurva <i>input-output</i> Ketel Uap 3 .....	68
Gambar 4.4.	Kurva <i>input-output</i> 3 Ketel Uap .....	69
Gambar 4.5.	<i>Ladder diagram</i> masukan konstanta dan beban Ketel uap .....	76
Gambar 4.6.	<i>Ladder diagram</i> parameter konstanta Ketel uap .....	77
Gambar 4.7.	<i>Ladder diagram</i> perhitungan Lambda .....	78
Gambar 4.8.	<i>Ladder diagram</i> perhitungan optimum keluaran Ketel uap	79-80
Gambar 4.9.	HMI sistem suplai uap .....	81

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.A. Latar Belakang Masalah**

Sejak Revolusi industri pada abad ke 18, kebutuhan energi dunia meningkat setiap waktunya. Saat ini penggunaan energi fosil adalah yang terbanyak dari semua jenis energi yang digunakan. Hal ini dikarenakan pengembangannya telah banyak dilakukan khususnya pada bidang transportasi dan industri, namun energi fosil adalah sumber daya yang tidak dapat diperbaharui sehingga penggunaan dalam jangka panjang akan mengakibatkan kurangnya persediaan yang berpotensi mengarah kepada terjadinya krisis energi.

Upaya untuk mencegah terjadinya krisis energi ini, dunia telah mengambil langkah antisipasi dengan membuat beberapa kebijakan. Salah satu contoh adalah dengan dikeluarkannya suatu sistem standar yang mengatur pengelolaan energi dalam ISO 50001 (*Energy Management System*) dan audit energi dalam ISO 50002 (*Energy Audits*). Di Indonesia sendiri juga sudah dikeluarkan beberapa kebijakan terkait dengan energi seperti Undang-undang no. 30 tahun 2007 tentang energi, Peraturan Pemerintah no. 70 tahun 2009 tentang konservasi energi dan Peraturan Pemerintah tahun 2014 tentang kebijakan Energi Nasional serta beberapa Peraturan Menteri yang mengikutinya. Secara spesifik PP no. 70 tahun 2009 dalam pasal 12 juga mewajibkan melaksanakan manajemen energi dan audit energi secara berkala pada pengguna energi sama dengan atau diatas 6000 TOE (69,78 GWh) per tahun.

Di sisi lain, kewajiban melaksanakan manajemen energi bagi para pengguna energi mempunyai efek positif yaitu dapat menurunkan biaya energi yang digunakan pada proses produksinya. Turunnya biaya energi bagi pengguna energi yang bergerak di bidang manufaktur (produksi) secara langsung dapat menurunkan biaya produksinya sehingga dapat meningkatkan efisiensi biaya dan pada akhirnya juga dapat meningkatkan daya saing produk di pasaran.

PT. MNA Kuala Tanjung adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur pengolahan minyak kelapa sawit. Perusahaan ini juga telah menjalankan ISO 50001 sejak tahun 2012. Pada proses operasinya, perusahaan menggunakan energi yang beragam sesuai dengan kebutuhan peralatan yang ada. Energi uap (termal) dan listrik adalah jenis energi yang paling signifikan penggunaannya. Pada tahun 2018 energi uap telah digunakan sebesar 76,5% dari total energi yang digunakan, sementara listrik menduduki tempat kedua dengan 20,3% dari energi total. Energi lain yang digunakan seperti bahan bakar minyak dan biogas digunakan hanya sebesar 3,2%.

Melihat kondisi di atas, penulis merasa perlu dilakukan konservasi energi pada sumber energi uap tersebut. Pada kasus ini, paling tidak ada 2 alternatif yang bisa ditempuh untuk melakukan konservasi energi pada sistem suplai uap tersebut. Pertama adalah dengan melakukan diversifikasi (penganekaragaman) energi bahan bakar, namun hal ini sudah dilakukan dimana sebelumnya ketel uap menggunakan jenis ketel pipa api yang menggunakan bahan bakar fosil lalu kemudian diganti dengan ketel pipa air sehingga dapat menggunakan bahan bakar cangkang (biomass). Alternatif kedua adalah melakukan studi optimasi dimana

dalam kasus ini penulis melihat adanya kesamaan konsep dengan studi optimasi *Economic Dispatch* (ED) yang umum dipakai dalam sistem tenaga listrik sehingga penulis akan memilih metode ED dalam penelitian ini.

Perhitungan operasi ekonomis (*Economic Dispatch*) dengan metode iterasi saat ini banyak dilakukan dengan menggunakan komputer. Hal ini dikarenakan komputer mampu mempercepat proses perhitungan iterasi dibandingkan dengan perhitungan secara manual<sup>[1]</sup>, namun kebanyakan studi *Economic Dispatch* yang sudah dilakukan hanya sebatas penelitian saja sehingga unuk menerapkannya dalam sistem kendali proses diperlukan peranan seorang operator. Disini akan timbul masalah jika terjadi fluktuasi kebutuhan beban yang cukup tinggi sehingga dibutuhkan sebuah sistem yang dapat berjalan secara *real time*, agar dapat menjalankan *Economic Dispatch* sistem secara *real time* umumnya digunakan sistem SCADA/PLC<sup>[2]</sup>.

Penelitian ini akan merancang sebuah sistem otomasi dengan meng-integrasi-kan *Economic Dispatch* ke dalam sistem PLC General Electric (GE) eksisting untuk memastikan sistem dapat berjalan tanpa peranan seorang operator dan melihat peluang penghematan bahan bakar serta aspek ekonomisnya terhadap perusahaan.

## **I.B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah ditulis sebelumnya, dapat diberikan identifikasi masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan studi optimasi untuk meningkatkan efisiensi biaya bahan bakar Ketel uap.
2. Kebanyakan studi *Economic Dispatch* (ED) hanya dilakukan sebatas analisa saja sehingga dibutuhkan operator untuk melakukan pengaturan/*setting* nilai ED ke dalam sistem ketel uap secara manual.
3. *Human Error* dalam memasukkan setting akan berpotensi mengakibatkan pemborosan bahan bakar Ketel uap.
4. Diperlukan sebuah sistem yang dapat berjalan secara *real time* tanpa peranan operator.
5. Apakah ED dapat di-integrasikan dengan sistem PLC.
6. Seberapa besar peluang penghematan bahan bakar dan aspek ekonomisnya jika ED dapat di-integrasikan dengan PLC.

### **I.C. Pembatasan Masalah**

Agar penyelesaian masalah dari penelitian ini tidak menyimpang dari ruang lingkup yang telah ditentukan, maka perlu dilakukan pembatasan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Optimalisasi menggunakan metode *Economic Dispatch* dengan iterasi lambda.
2. Pembahasan hanya pada kondisi normal, dimana tidak akan membahas kondisi manuver boiler saat terjadi gangguan pada sistem suplai-nya.
3. Integrasi sistem hanya berbentuk simulasi dengan bantuan software PLC, HMI dan Ms. Excell.

4. Pada penelitian ini, rugi-rugi uap akibat drop tekanan, *venting* dan lainnya akan diabaikan sehingga fokus hanya kepada aliran beban uap.
5. Perancangan sistem hanya mencakup sistem formulasi *Economic Dispatch* yang terintegrasi dengan pengendalian beban ketel uap melalui PLC.
6. Teknik pemrograman yang digunakan adalah *ladder diagram* pada PLC GE Versamax Micro IC200UDR005.
7. Analisa yang dilakukan seputar analisa ekonomis potensi optimalisasi dan penghematan bahan bakar sedangkan pencegahan *Human Error*, peningkatan kinerja serta peningkatan faktor keselamatan operasi ketel uap hanya dibahas secara umum.
8. Biaya start up ketel uap diabaikan.
9. Tidak membahas metode respon PID atau controller terhadap perubahan *Set Point*.

#### **I.D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang ditentukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancangan program *Economic Dispatch* di dalam PLC.
2. Bagaimana peluang penghematan penggunaan bahan bakar pada sistem pembangkit uap yang menjalankan *Economic Dispatch*.
3. Bagaimana dampak optimalisasi bahan bakar dari aspek ekonomis terhadap bisnis perusahaan.

### **I.E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat disusun tujuan penelitian seperti di bawah ini :

1. Merancang program *Economic Dispatch* yang dapat dijalankan dalam sistem PLC.
2. Melakukan analisa peluang penghematan penggunaan bahan bakar pada sistem pembangkit uap yang ter-integrasi dengan *Economic Dispatch*.
3. Melakukan analisa ekonomis dampak optimalisasi bahan bakar terhadap bisnis perusahaan.

### **I.F. Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini dilihat dari beberapa sisi adalah sebagai berikut :

Bagi Penulis :

1. Sebagai sarana pendalaman studi optimalisasi, khususnya dalam bidang penghematan bahan bakar.
2. Sebagai sarana pemecahan masalah praktis di industri.

Bagi Perusahaan :

1. Sebagai upaya mendukung kebijakan perusahaan dalam pelaksanaan efisiensi energi.
2. Meningkatkan kinerja suplai uap dengan pertimbangan harga terendah.

Bagi Perguruan Tinggi :

1. Sebagai sumbangan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang optimasi.
2. Sebagai bahan masukan bagi Perguruan Tinggi untuk memberikan gambaran tentang permasalahan di industri.
3. Sebagai bahan referensi untuk penelitian lanjutan.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS**

#### **II.A. Kajian Pustaka**

##### **II.A.1. Sistem Manajemen Energi**

Sejak masa revolusi industri tahun 1750, sebagian besar energi yang digunakan saat itu di Eropa dan Amerika adalah kayu bakar, dan pada 100 tahun kemudian tepatnya pada tahun 1850 pemanfaatan kayu bakar di Eropa telah melampaui daya dukung sumber daya alam yang ada, dan mengakibatkan deforestasi yang besar, serta mengakibatkan krisis energi pada saat itu. Pada tahun 1859 minyak mentah pertama kali berhasil ditambang dari sumur minyak di Titusville, Pennsylvania, Amerika Serikat. Pengembangan pemanfaatan energi fosil ini selanjutnya banyak dilakukan sehingga energi fosil menjadi energi yang paling banyak digunakan di dunia, saat ini penggunaannya telah mencapai 79% dari seluruh penggunaan energi dunia<sup>[3]</sup>.

Energi fosil adalah sumber daya alam yang tidak terbarukan. Aktifitas penambangan minyak, gas dan batubara akan terus mengakibatkan berkurangnya ketersediaan sumber daya tersebut. Pada akhirnya kondisi ini akan mengantarkan pada krisis energi yang tentunya akan berdampak pada kemampuan sistem ekonomi untuk menghasilkan produk dan jasa serta juga dapat menaikkan biaya energi itu sendiri.

Naiknya biaya energi dalam komponen biaya produksi di industri tentu akan menimbulkan masalah tersendiri bagi perusahaan, untuk mengatasi besarnya biaya energi tersebut di kalangan industri saat ini sudah mulai dilaksanakan sistem manajemen energi. Hal ini sesuai dengan diberlakukannya ketentuan pemerintah untuk menerapkan sistem manajemen energi khususnya untuk industri dengan kategori besar, yakni dengan konsumsi setara dengan 6.000 ton minyak pertahun<sup>[4-5]</sup>.

Manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi dan meminimalisasi konsumsi bahan baku dan bahan pendukung. Dalam pelaksanaannya, dalam manajemen energi perlu diangkat seorang manajer energi yang diberi tugas dan tanggung jawab untuk melakukan manajemen energi berdasarkan kompetensi yang sesuai<sup>[6]</sup>.

#### **II.A.1.a. Standar Sistem Manajemen Energi (ISO50001)**

Diperkenalkan untuk pertama kalinya pada Juni 2011, ISO 50001 menyediakan kerangka kerja dan acuan untuk semua jenis dan ukuran organisasi dalam pengelolaan energi. Tujuan dari standar ini adalah untuk memungkinkan organisasi menetapkan sistem dan proses yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja energi, termasuk efisiensi energi, penggunaan dan konsumsi energinya. Selain untuk biaya energi, penerapan standar ini dimaksudkan juga untuk

pengurangan gas rumah kaca dan dampak lingkungan lainnya yang terkait dengan pengelolaan energi.

ISO50001 menggunakan pendekatan Plan-Do-Check-Action dalam setiap aktifitasnya yang dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut.

*Plan* adalah kegiatan perencanaan antara lain melakukan *review* energi dan menetapkan *baseline*, indikator kinerja energi (EnPI), tujuan, sasaran dan tindakan rencana yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan peluang yang telah diidentifikasi dalam rangka meningkatkan kinerja energi dan kebijakan energi organisasi yang berkelanjutan.

*Do* adalah melaksanakan tindakan dari rencana manajemen energi yang telah ditetapkan.

*Check* adalah kegiatan memantau dan mengukur proses dan karakteristik pokok dari operasi, dimana hal tersebut menentukan kinerja energi terhadap kebijakan dan tujuan energi serta selalu melaporkan hasilnya di semua level manajemen sesuai kebutuhannya.

*Act* adalah kegiatan yang berupa *review* dari pelaksanaan dan pemantauan, dimana keluarannya adalah pengambilan tindakan yang diperlukan untuk terus meningkatkan kinerja energi dan sistem manajemen energinya<sup>[7]</sup>.

## **II.A.2. Operasi Ekonomis Sistem Tenaga**

Operasi ekonomis adalah satu hal yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik untuk pengembalian dana yang telah diinvestasikan. Untuk itu efisiensi dalam pengurangan biaya energi pada konsumen dan biaya pembangkitan pada

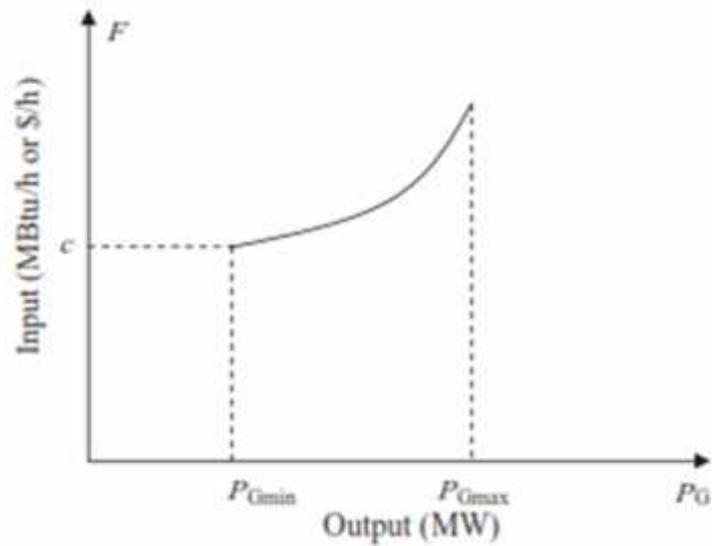
perusahaan pembangkit mutlak diperlukan. Operasi ekonomis melibatkan pembangkitan dan pen transmisi yang dapat dibagi menjadi 2 bagian, satu bagian yang terkait dengan biaya minimum pembangkitan disebut dengan penjadwalan ekonomis (*Economic Dispatch*) dan satu bagian lainnya terkait dengan rugi-rugi transmisi untuk daya yang ditransmisikan ke beban<sup>[8]</sup>.

*Economic Dispatch* bertujuan untuk membuat konsumsi bahan bakar atau biaya operasi menjadi minimal dengan menentukan keluaran daya dari masing-masing unit pembangkit dalam batasan kondisi dari sistem pembebanan. Dasar dari masalah *economis dispatch* adalah pengaturan dari karakteristik *input-output* daya unit pembangkit.

#### **II.A.2.a. Karakteristik *Input-Output* Unit Pembangkit**

Pada unit pembangkit, karakteristik *input-output* disebut sebagai fungsi konsumsi bahan bakar atau fungsi biaya operasi. Fungsi konsumsi bahan bakar generator dapat dituliskan sebagai MBtu/h, sedangkan *fuel cost rate* dapat ditulis dengan \$/h dan keluaran pembangkit dapat ditulis sebagai  $P_G$ .

Pada unit pembangkit termal, masukan dari ketel uap adalah bahan bakar, dan keluarannya adalah jumlah uap. Hubungan antara masukan dan keluaran pada pembangkit tenaga listrik dapat dilihat seperti Gambar 2.1. dimana .pada gambar terlihat fungsi bahan bakar berbanding jumlah produksi generator dengan batasan generator dari  $P_{GMIN}$  sampai  $P_{GMAX}$ .



Gambar 2.1. Karakteristik *input-output* unit pembangkit.

Nilai keluaran yang dibatasi oleh nilai minimum dan nilai maksimum dari pembangkit, maka nilainya akan memenuhi persamaan berikut.

$$P_{Gmin} \leq P_G \leq P_{Gmax} \quad (2.1)$$

Karakteristik kurva *input-output* dari unit pembangkit pada umumnya berbentuk non linier, dimana persamaanya dapat digambarkan sebagai sebuah persamaan kuadrat berikut.

$$F = P_G^2 + P_G + c \quad (2.2)$$

Notasi  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah notasi dari sebuah koefisien dari karekteristik *input-output*. Nilai dari konstanta  $c$  adalah sama dengan nilai konsumsi bahan

bakar dari unit pembangkit tanpa daya keluaran seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.<sup>[9]</sup>

### II.A.2.b. Perhitungan Parameter Karakteristik *Input-Output*

Parameter karakteristik *input-output* dari unit pembangkit dapat ditentukan melalui pendekatan berikut:

- (1) Berdasarkan percobaan efisiensi unit pembangkit.
- (2) Berdasarkan catatan historis pengoperasian pembangkit.
- (3) Berdasarkan data desain dari pabrikan unit pembangkit.

Dalam praktiknya, kita lebih mudah menemukan data penggunaan bahan bakar dan daya keluaran pembangkit. Melalui analisa dan perhitungan computer ( $F_k, P_k$ ), kita dapat menentukan bentuk karakteristik *input-output* mengikuti parameter yang ada. Sebagai contoh, jika kurva kuadrat dibuat mengikuti data statistic, kita dapat menggunakan metode *least square* untuk menghitung parameter dengan prosedur sebagai berikut.

Kita katakan ( $F_k, P_k$ ) didapat dari data statistic, dimana  $k = 1, 2, \dots, n$ , dan kurva bahan bakar akan membentuk fungsi kuadrat. Untuk menentukan nilai koefisien a, b dan c, perhitungan akan mengikuti *error* untuk setiap pasangan ( $F_k, P_k$ ):

$$F_k = ( P_k^2 + P_k + ) - F_k \quad (2.3)$$

Mengikuti prinsip dari *least square*, persamaan dibentuk mengikuti fungsi objektif dan membuatnya minimal sebagai berikut,

$$J = (\Delta F_k)^2 = \sum_{k=1}^n (yP_k^2 + \beta P_k + \alpha - F_k) \quad (2.4)$$

Kita akan mendapatkan kondisi yang diperlukan untuk sebuah nilai ekstrim dari fungsi objektif dimana kita akan mengambil turunan pertama dari fungsi J ke masing-masing variable  $\gamma$ ,  $\beta$  dan  $\alpha$  dan mengatur persamaan turunan ke nol.

$$\frac{\partial J}{\partial \gamma} = \sum_{k=1}^n 2P_k^2 (yP_k^2 + \beta P_k + \alpha - F_k) = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \beta} = \sum_{k=1}^n 2P_k (yP_k^2 + \beta P_k + \alpha - F_k) = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha} = \sum_{k=1}^n 2(yP_k^2 + \beta P_k + \alpha - F_k) = 0 \quad (2.7)$$

Dengan melakukan kalkulasi pada Persamaan (2.5) sampai Persamaan (2.7), maka kita mendapatkan,

$$\left( \sum_{k=1}^n P_k^2 \right) \gamma + \left( \sum_{k=1}^n P_k \right) \beta + n = \sum_{k=1}^n F_k \quad (2.8)$$

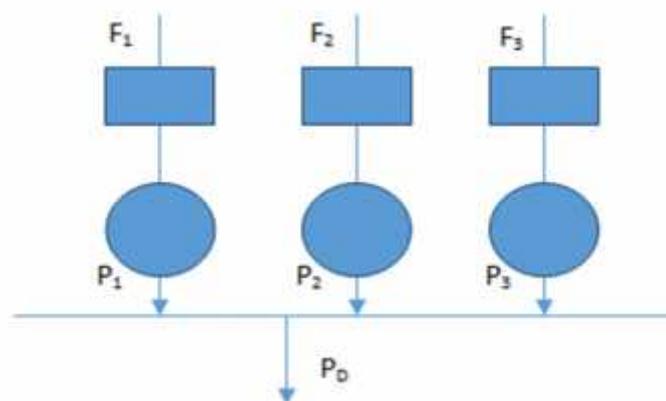
$$\left(\sum_{k=1}^n P_k^3\right)\gamma + \left(\sum_{k=1}^n P_k^2\right)\beta + \left(\sum_{k=1}^n P_k\right)\alpha = \sum_{k=1}^n (F_k P_k) \quad (2.9)$$

$$\left(\sum_{k=1}^n P_k^4\right)\gamma + \left(\sum_{k=1}^n P_k^3\right)\beta + \left(\sum_{k=1}^n P_k^2\right)\alpha = \sum_{k=1}^n (F_k^2 P_k^2) \quad (2.10)$$

Koefisien  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  didapatkan dengan menyelesaikan Persamaan (2.8) sampai dengan Persamaan (2.10)<sup>[9]</sup>.

### II.A.2.c. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-Rugi Daya dan Batas-Batas Generator

Masalah pengiriman daya yang optimal yang paling sederhana adalah ketika kita mengabaikan rugi-rugi saluran transmisi. Dalam masalah ini kita tidak akan menyertakan impedansi saluran atau bagaimana bentuk dari sistem tenaga listrik seperti yang dapat digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Sebuah bus yang menghubungkan 3 pembangkit dan beban.

Ketika rugi saluran diabaikan, dimana jumlah permintaan beban  $P_D$  sama dengan jumlah daya yang dikeluarkan oleh semua pembangkit, fungsi biaya  $F_k$  diasumsikan biaya dari masing-masing pembangkit, untuk menemukan total biaya produksi pada pembangkit adalah seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.11).

$$F_t = \sum_{k=1}^3 \gamma P_k^2 + \beta P_k + \alpha \quad (2.11)$$

Dan,

$$\sum_{k=1}^3 P_k = P_D \quad (2.12)$$

Dengan,

$F_t$  : total biaya produksi

$F_k$  : biaya produksi pada pembangkit ke k

$P_k$  : daya dari pembangkit ke k.

$P_D$  : total beban

3 : total jumlah pembangkit

Sebuah tipikal pendekatan untuk menambah batasan ke dalam fungsi dengan menggunakan bilangan pengali *Lagrange* seperti persamaan berikut.

$$L = F_t + \lambda \left( P_D - \sum_{k=1}^3 P_k \right) \quad (2.13)$$

Minimum dari fungsi tanpa batas untuk menentukan titik dimana sebagian dari fungsi untuk variable-variabel sama dengan nol adalah seperti persamaan berikut:

$$\frac{\partial}{\partial P_k} = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} = 0 \quad (2.15)$$

Dari Persamaan (2.14) diberikan,

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_k} + \lambda(0 - 1) = 0 \quad (2.16)$$

Karena,

$$F_t = F_1 + F_2 + F_3 \quad (2.17)$$

Maka,

$$\frac{\partial F_k}{\partial P_k} = \frac{dF_k}{dP_k} = \lambda \quad (2.18)$$

Sehingga kondisi untuk biaya pengiriman yang optimum adalah,

$$\frac{dF_k}{dP_k} = \lambda \quad ; k = 1,2,3 \quad (2.19)$$

Atau,

$$2 P_k + \dots = \dots \quad (2.20)$$

Dari Persamaan (2.20), dapat ditentukan nilai  $P_k$  adalah:

$$P_k = \frac{\lambda - \beta}{2\gamma} \quad (2.21)$$

Hubungan yang diberikan dari Persamaan (2.21) diketahui sebagai persamaan koordinat sebagai fungsi dari  $\lambda$ . Persamaan (2.21) dapat diselesaikan secara iterasi. Harga  $\lambda$  didapat dengan mensubstitusikan harga  $P_k$  pada Persamaan (2.21) yang hasilnya adalah sebagai berikut.

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\lambda - \beta}{2\gamma} = P_D \quad (2.22)$$

Atau,

$$\lambda = \frac{P_D - \sum_{k=1}^3 \frac{\beta}{2\gamma}}{\sum_{k=1}^3 \frac{1}{2\gamma}} \quad (2.23)$$

Penyelesaian pengiriman daya yang optimal dari pembangkit dengan mengabaikan rugi saluran dapat dilakukan secara analisis. Dalam sebuah teknik iterasi, harga  $\lambda$  didapat dari hasil perhitungan dengan harga estimasi awal yang telah ditentukan terlebih dahulu dan sampai  $P_k$  dalam sebuah ketelitian yang akurat. Penyelesaian secara tepat dapat dilakukan dengan menggunakan metode gradient yang ditunjukkan pada Persamaan (2.22) dan dapat ditulis ulang sebagai berikut.

$$F(\lambda) = P_D \quad (2.24)$$

Persamaan (2.24) di atas bila ditulis dalam deret Taylor pada sebuah titik operasi  $\lambda^{(k)}$  dan dengan mengabaikan bentuk orde paling tinggi akan menghasilkan:

$$f(\lambda)^{(k)} + \left( \frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)} (\lambda - \lambda^{(k)}) = P_D \quad (2.25)$$

Atau,

$$\begin{aligned}\Delta\lambda^{(k)} &= \frac{\Delta P^{(k)}}{\left(\frac{d}{d}(\lambda)\right)^{(k)}} \\ &= \frac{\Delta P^{(k)}}{\Sigma\left(\frac{d}{d}\right)^{(k)}}\end{aligned}\quad (2.26)$$

Atau,

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\Sigma \frac{1}{\lambda}} \quad (2.27)$$

Sehingga,

$$P^{(k+1)} = P^{(k)} + \Delta P^{(k)} \quad (2.28)$$

dan,

$$\Delta P^{(k)} = P_D - \sum_{k=1}^3 P_k^{(k)} \quad (2.29)$$

Proses dilanjutkan sampai  $P^{(k)}$  lebih kecil dari sebuah ketelitian yang telah ditentukan<sup>[10]</sup>.

#### II.A.2.d. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-Rugi Daya dan Memperhitungkan Batas-Batas Generator

Keluaran daya dari generator seharusnya tidak melebihi keperluan operasi sistem sehingga daya dari generator tersebut terbatas hanya pada batas minimum dan maksimum yang diberikan. Persoalannya, bagaimana memperoleh hasil daya untuk setiap stasiun pembangkit yang optimal sehingga fungsi seperti yang didefinisikan dalam Persamaan (2.11) adalah minimum sesuai dengan batasan yang diberikan oleh Persamaan (2.12) dan ketentuan ketidaksamaan seperti yang diberikan oleh:

$$P_{k(\min)} \leq P_k \leq P_{k(\max)} \quad k = 1,2,3 \quad (2.30)$$

Dengan  $P_{k(\min)}$  dan  $P_{k(\max)}$  adalah daya minimum dan maksimum dari pembangkit  $k$ .

Syarat *Kuhn-Tucker* melengkapi syarat *Lagrangian* untuk mengikuti ketentuan ketidaksamaan. Syarat-syarat untuk pengiriman daya yang optimal dari pembangkit dengan mengabaikan rugi-rugi daya adalah sebagai berikut:

$$\frac{dF_T}{dP_k} = \lambda \text{ untuk } P_{k(\min)} \leq P_k \leq P_{k(\max)} \quad (2.31)$$

$$\frac{dF_T}{dP_k} \leq \lambda \text{ untuk } P_k = P_{k(\max)} \quad (2.32)$$

$$\frac{dF_T}{dP_k} \geq \lambda \text{ untuk } P_k = P_{k(\min)} \quad (2.33)$$

$P_i$  didapat dari Persamaan (2.21) dan iterasi pada perhitungan berlangsung sampai  $P_k = P_D^{[10]}$ .

### II.A.3. Ketel Uap

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas dari uap air keluaran ketel uap tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, ketel uap memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja.

Bejana bertekanan pada ketel uap umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), terutama untuk penggunaan ketel uap pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material digunakan sebagai bahan pembuatan ketel uap seperti tembaga, kuningan, dan besi cor. Namun bahan-bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industri.

Panas yang diberikan kepada fluida di dalam ketel uap berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi, dan gas. Dengan adanya kemajuan

teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai sumber panas pada ketel uap.

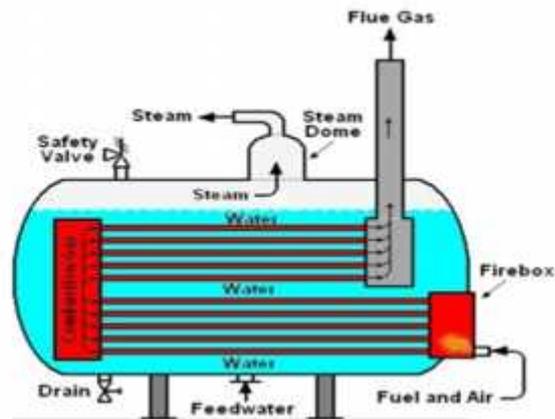
Berikut adalah beberapa jenis boiler yang pernah ada di industri saat ini :

#### 1. *Pot Boiler*

Merupakan ketel uap dengan desain paling sederhana dalam sejarah. Mulai diperkenalkan pada abad ke 18, dengan menggunakan volume air besar tapi hanya bisa memproduksi pada tekanan rendah. Ketel ini menggunakan bahan bakar kayu dan batubara dan jenis ini tidak bertahan lama penggunaannya karena efisiensinya yang sangat rendah.

#### 2. Ketel Uap Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

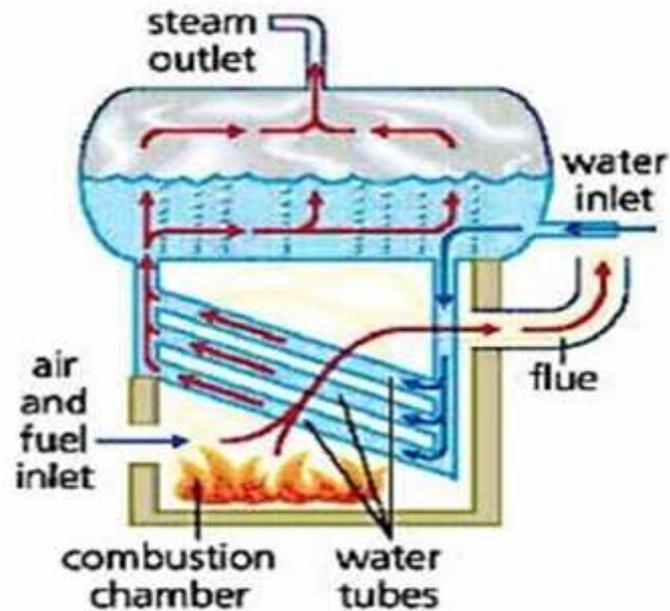
Pada perkembangan selanjutnya muncul desain baru yakni ketel uap pipa api. Ketel ini terdapat 2 bagian di dalamnya, yaitu sisi pipa dan sisi tong seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Pada sisi tong berisi air, sedangkan sisi pipa merupakan tempat terjadinya pembakaran. Ketel pipa api biasanya memiliki kecepatan produksi uap air yang rendah, tetapi memiliki cadangan uap air yang lebih besar. Biasanya ketel ini menggunakan bahan bakar gas atau cair seperti bahan bakar solar atau *Marine Fuel Oil* (MFO).



Gambar 2.3. Ketel Uap Pipa Api

### 3. Ketel Uap Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Sama seperti ketel pipa api, ketel pipa air juga terdiri atas bagian pipa dan tong seperti Gambar 2.4. Tetapi sisi pipa diisi oleh air sedangkan sisi tong menjadi tempat terjadinya proses pembakaran. Ketel uap jenis ini memiliki kecepatan yang tinggi dalam memproduksi uap air, tetapi tidak banyak memiliki cadangan uap air di dalamnya. Saat ini ketel uap pipa air banyak dipakai untuk jenis ketel yang berbahan bakar biomassa dan semakin populer penggunaannya di Indonesia. Pada awal keluarnya ketel uap pipa air ini, sistem kendalinya masih menggunakan sistem kendali konvensional namun seiring perkembangan zaman, penggunaan PLC sudah mulai banyak digunakan dan bahkan pada industri pembangkit sudah mulai digunakan sistem kendali terdistribusi (DCS) untuk menjamin kehandalan dan keberlangsungan berjalannya sistem.



Gambar 2.4. Ketel Uap Pipa Air

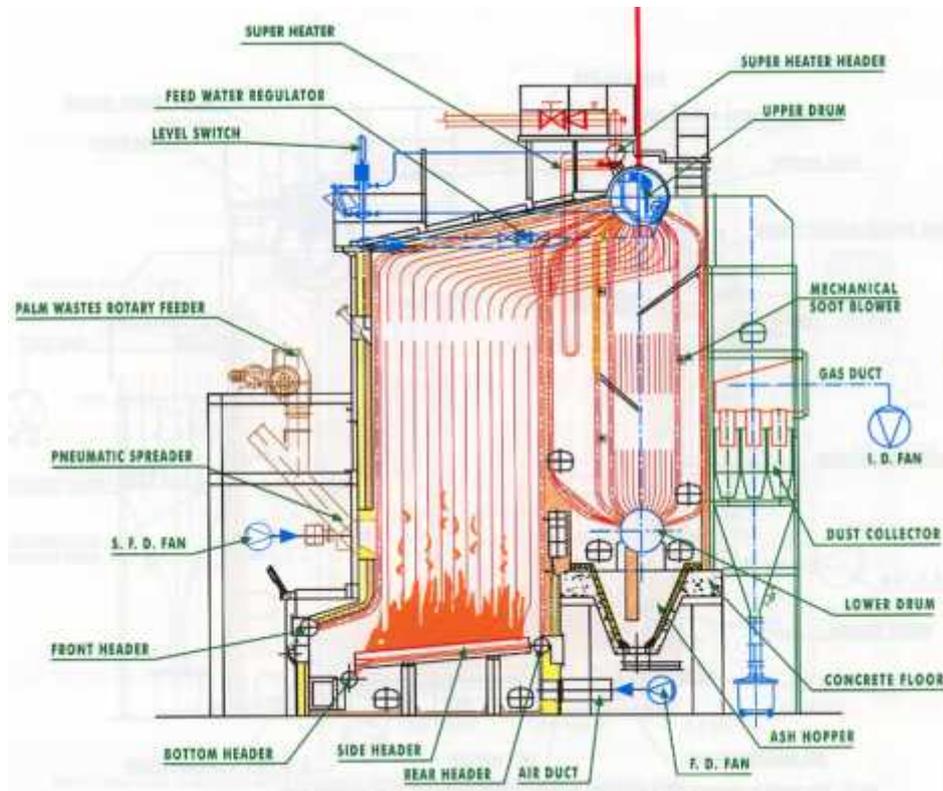
#### 4. Kombinasi Ketel Uap Pipa Api dengan Pipa Air

Ketel jenis ini merupakan kombinasi antara ketel pipa api dengan pipa air. Sebuah kotak api didalamnya terdapat pipa-pipa berisi air, uap air yang dihasilkan mengalir ke dalam tong dengan pipa-api didalamnya. Ketel jenis ini diaplikasikan pada beberapa kereta uap, namun tidak terlalu populer dipergunakan<sup>[11]</sup>.

#### II.A.3.a. Prinsip Kerja Ketel Uap

Prinsip kerja ketel uap cukup sederhana yakni sama seperti pada saat kita sedang mendidihkan air menggunakan panci. Proses pendidihan air tersebut akan selalu diiringi proses perpindahan panas yang melibatkan bahan bakar, udara, material wadah air, serta air itu sendiri. Proses perpindahan panas ini mencakup

tiga jenis perpindahan panas yang sudah sangat kita kenal yakni konduksi, konveksi, dan radiasi.



Gambar 2.5. Ilustrasi Ketel Uap

Pada ketel pipa air di atas misalnya, sumber panas didapatkan dari pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Energi panas ini sebagian akan terpancar secara radiasi ke pipa-pipa *evaporator* sehingga memanaskan pipa-pipa tersebut. Panas yang terserap oleh permukaan pipa akan secara konduksi berpindah ke sisi permukaan dalam pipa. Di dalam pipa, mengalir air yang terus-menerus menyerap panas tersebut. Proses penyebaran panas antar molekul air di dalam aliran ini terjadi secara konveksi. Perpindahan panas konveksi antar

molekul air, seakan-akan menciptakan aliran fluida tersendiri terlepas dengan aliran air di dalam pipa-pipa ketel uap.

Gas hasil pembakaran yang mengandung energi panas akan terus mengalir mengikuti bentuk boiler hingga ke sisi keluaran. Di sepanjang perjalanan, panas yang terkandung di dalam gas buang akan diserap oleh permukaan tubing ketel dan diteruskan secara konduksi ke air di dalam pipa. Secara bertahap, air akan berubah fase menjadi uap basah (*saturated steam*) dan dapat berlanjut hingga menjadi uap kering (*superheated steam*)[11].

### **II.A.3.b. Peralatan Ketel Uap**

Sama seperti pompa, kompresor dan peralatan pabrik lainnya yang tersusun dari berbagai komponen sehingga alat tersebut dapat beroperasi dan menjalankan perannya, ketel uap juga tersusun dari berbagai macam komponen dengan fungsinya masing-masing. Di bawah ini adalah fungsi dari masing-masing komponen pada boiler, yaitu:

#### **1. Ruang Bakar (*Furnace*)**

Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran. Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara:

- 1) Perpindahan panas secara radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding pipa sehingga panas tersebut akan diserap oleh fluida yang mengalir di dalamnya.
- 2) Perpindahan panas secara konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air.
- 3) Perpindahan panas secara konveksi. panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar kesetiap aliran air.

Di dalam ketel uap, ruang bakar terbagi atas dua bagian yaitu ruang pertama dan ruang kedua. Pada ruang pertama, di dalamnya akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima oleh pipa (*tube*), sedangkan pada ruang kedua yang terdapat pada bagian atas, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama. Jadi, fungsi dari ruang pemanas kedua ini yakni untuk menyerap panas yang terbuang dari ruang pemanasan pertama, agar energi panas yang terbuang secara cuma-cuma tidak terlalu besar, dan untuk mengontrol panas fluida yang telah dipanaskan pada ruang pertama agar tidak mengalami penurunan panas secara berlebihan.

## 2. Tong Uap (*Steam drum*)

Tong uap berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Tong ini menampung uap jenuh (*saturated steam*) beserta air

dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. untuk menghindari agar air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap.

### 3. Pemanas Lanjut (*Superheater*)

Merupakan tempat pengeringan steam, dikarenakan uap yang berasal dari tong uap masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan pipa *superheater* yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain.

### 4. Pemanas Udara (*Air Heater*)

Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air heater memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) yaitu 35-38°C. Namun, setelah melalui *air heater*, suhunya udara tersebut akan meningkat menjadi 200°C sehingga sudah dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.

#### 5. Pengumpul Abu (*Dust Collector*)

Bagian ini berfungsi untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran hingga debu yang terikut dalam gas buang. Keuntungan menggunakan alat ini adalah gas hasil pembakaran yang dibuang ke udara bebas dari kandungan debu. Alasannya tidak lain karena debu dapat mencemari udara di lingkungan sekitar, serta bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada alat akibat adanya gesekan abu maupun pasir.

#### 6. Pengatur Pembuangan Gas Bekas

Asap dari ruang pembakaran dihisap oleh blower IDF (*Induced Draft Fan*) melalui dust collector selanjutnya akan dibuang melalui cerobong asap. Damper pengatur gas asap diatur terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum IDF dinyalakan, karena semakin besar damper dibuka maka akan semakin besar isapan yang akan terjadi dari dalam tungku.

#### 7. Katup Pengaman (*Safety Valve*)

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. *Safety valve* ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg per cm kuadrat. Dalam

pengaturannya, *safety valve* ini harus diuji oleh sebuah badan independen sehingga dapat memberikan jaminan *safety valve* ini bekerja dengan aman.

#### 8. Gelas Penduga (*Sight Glass*)

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.

#### 9. Pembuangan Air Ketel

Komponen ketel ini berfungsi untuk membuang air dalam tong/drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan *blowdown valve* yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.

### II.A.4. PLC

PLC (*Programmable Logic Controller*) adalah suatu peralatan elektronika yang bekerja secara digital, memiliki memori yang dapat deprogram, menyimpan perintah-perintah untuk melakukan fungsi-fungsi khusus seperti *logic*, *sequencing*,

*timing, counting, dan arithmetic* untuk mengontrol berbagai jenis mesin atau proses melalui modul masukan / keluaran analog ataupun digital<sup>[12]</sup>.

Berdasarkan namanya konsep PLC adalah sebagai berikut:

1. *Programmable*, menunjukkan kemampuan dalam hal memori untuk menyimpan program yang telah dibuat yang dengan mudah diubah-ubah fungsi atau kegunaannya.
2. *Logic*, menunjukkan kemampuan dalam memproses input secara aritmatik dan logic, yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, mengurangi, negasi, AND, OR, dan lain sebagainya.
3. *Controller*, menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan output yang diinginkan.

PLC ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian relay sequensial dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, alat ini juga dapat dikendalikan, dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat dengan menggunakan software yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan. Alat ini bekerja berdasarkan input-input yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng-ON atau meng-OFF kan output-output. 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan

terpenuhi sedangkan 0 berarti keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. PLC juga dapat diterapkan untuk pengendalian sistem yang memiliki output banyak.

Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC dapat dibagi secara umum dan secara khusus.

Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. Sekuensial Control. PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. Monitoring Plant. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan input ke CNC (Computerized Numerical Control). Beberapa PLC dapat memberikan input ke CNC untuk kepentingan pemrosesan lebih lanjut. CNC bila dibandingkan dengan PLC mempunyai ketelitian yang lebih tinggi dan lebih mahal harganya. CNC biasanya dipakai untuk proses finishing, membentuk benda kerja, moulding dan sebagainya.

Prinsip kerja sebuah PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu

menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

#### **II.A.4.a. Konfigurasi Dasar PLC**

Umumnya konfigurasi dasar PLC terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut:

1. Power Supply

Unit ini berfungsi untuk memberikan sumber daya pada PLC. Kebanyakan PLC bekerja dengan catu daya 24 VDC atau 220 VAC. Sumber tegangan yang dibutuhkan oleh CPU, memori dan rangkaianlain adalah sumber tegangan DC, umumnya untuk komponen digital diperlukan tegangan searah 24VDC. Modul power supply PLC ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.6. Modul *Power Supply*.

## 2. CPU (*Central Processing Unit*)

Unit processor atau *Central Processing Unit* (CPU) adalah unit yang berisi mikroprosesor yang mengolah sinyal-sinyal input dan melaksanakan pengontrolan, sesuai dengan program yang disimpan di dalam memori, lalu mengkomunikasikan keputusan-keputusan yang diambilnya sebagai sinyal-sinyal kontrol ke interface output. Fungsi CPU adalah mengatur semua proses yang terjadi di PLC.



Gambar 2.7. *Central Processing Unit*.

## 3. Memory

Memory juga merupakan elemen yang terdapat pada CPU yang berupa IC (integrated circuit). Karakteristik memori ini mudah dihapus dengan mematikan catu daya. Seperti halnya sistem komputer, memory PLC terdiri atas RAM dan ROM. Kapasitas memory antara satu PLC dengan yang lain berbeda-beda tergantung pada type dan pabrik pembuatnya. Beberapa pabrik menyatakan

ukuran memory dalam byte, ada juga yang kilobyte, dan ada pula yang dinyatakan dengan jumlah instruksi yang dapat disimpan.

#### 4. Modul *Input/Output*

Sebagaimana PLC yang direncanakan untuk mengontrol sebuah proses atau operasional mesin, maka peran modul input / output sangatlah penting karena modul ini merupakan suatu perantara antara perangkat kontrol dengan CPU. Suatu peralatan yang dihubungkan ke PLC dimana mengirimkan suatu sinyal ke PLC dinamakan peralatan input. Sinyal masuk kedalam PLC melalui terminal atau melalui kaki - kaki penghubung pada unit. Tempat dimana sinyal memasuki PLC dinamakan input poin, Input poin ini memberikan suatu lokasi didalam memory dimana mewakili keadaannya, lokasi memori ini dinamakan input bit. Ada juga output bit di dalam memori dimana diberikan oleh output poin pada unit, sinyal output dikirim ke peralatan output. Setiap input / output memiliki alamat dan nomor urutan khusus yang digunakan selama membuat program untuk memonitor satu persatu aktivitas input dan output didalam program. Indikasi urutan status dari input output ditandai Light Emitting Diode (LED) pada PLC atau modul input / output, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pengecekan proses pengoperasian input / output dari PLC itu sendiri.



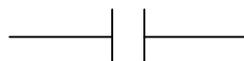
Gambar 2.8. IO Modul.

#### II.A.4.b. Instruksi Dasar PLC

Berikut adalah beberapa instruksi dasar dari PLC General Electric (GE) dalam *software Proficy Machine Edition 6.5*.

##### 1. Kontak *Normally Open*.

Kontak *Normally Open* seperti pada Gambar 2.9. akan melewatkan daya ke kanan ketika variable Boolean/digital bernilai 1 (*On*). Kontak ini juga dapat berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan/menjalankan program yang ada disebelah kanannya.



Gambar 2.9. Kontak *Normally Open*.

## 2. Kontak *Normally Closed*.

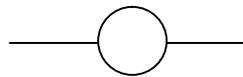
Kontak *normally closed* seperti pada Gambar 2.10. mempunyai fungsi kebalikan dari Kontak *normally open*, dimana kontak akan melewatkan daya ke kana saat variable Boolean/digital bernilai 0 (off). Kontak NO dan NC adalah kontak yang paling umum ditemukan dalam setiap program PLC karena kontak-kontak ini mewakili bentuk dari *digital input* dari sistem yang akan dikendalikan.



Gambar 2.10. Kontak *Normally Closed*.

## 3. *Coil*.

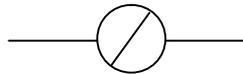
Pada Gambar 2.11. menunjukkan gambar sebuah *coil*. Ketika *coil* menerima daya, variable Boolean akan bernilai 1. Dan demikian juga sebaliknya, jika tidak ada daya pada *coil* maka variable Boolean-nya akan bernilai 0.



Gambar 2.11. Coil.

#### 4. *Negated Coil.*

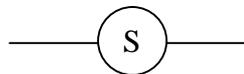
Pada Gambar 2.12. terlihat sebuah *negated coil* yang akan bekerja secara kebalikan dari *coil*, yaitu variable Boolean akan bernilai 0 jika *coil* menerima daya dan akan bernilai 1 jika tidak ada daya yang diterima oleh *coil*.



Gambar 2.12. Negated Coil.

#### 5. *Set Coil.*

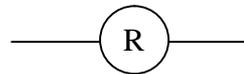
Pada Gambar 2.13. terlihat sebuah gambar dari *set coil*. Saat *set coil* diberi atau menerima daya, maka variable Boolean-nya akan bernilai 1, namun nilai variable Boolean akan tetap 1 walaupun daya masukan ini sudah dilepaskan. *Set coil* akan bernilai tetap dan tidak bisa kembali ke 0. Untuk membuat nilai pada *set coil* bernilai 0 kita harus melakukan set dari perintah *Reset Coil*.



Gambar 2.13. Set Coil.

#### 6. *Reset Coil.*

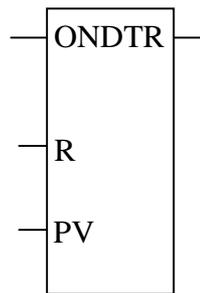
*Reset coil* yang terlihat seperti pada Gambar 2.14. mempunyai fungsi kebalikan dari *set coil*, dimana saat *Coil* diberi daya maka *Coil* akan bernilai 0 dan akan tetap demikian hingga *set coil* kembali diberi daya. *Reset coil* dan *set coil* adalah *coil* yang mempunyai alamat atau register PLC yang sama hanya saja berbeda fungsi antara satu dengan yang lainnya.



Gambar 2.14. Reset Coil.

#### 7. *On Delay Timer.*

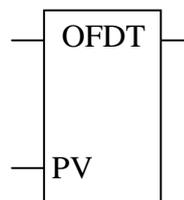
*On delay timer* seperti yang terlihat pada Gambar 2.15, bertambah setiap detik saat menerima aliran daya dan menyimpan nilainya ketika aliran daya terhenti kemudian pengatur waktu akan melewatkan daya setelah nilai “PV” yang merupakan nilai *settingannya* terlewati, pada kondisi ini timer akan mengeluarkan daya tanpa menghiraukan daya masukannya dan nilainya hanya akan menjadi 0 jika “R” yang menjadi tombol reset-nya menerima daya masukan. *On delay timer* ini banyak digunakan dalam pemograman PLC yang membutuhkan fungsi pewaktu dan fungsi tunda dari sebuah keluaran yang akan dipakai sesuai dengan kebutuhan sistem.



Gambar 2.15. On Delay Timer.

#### 8. *Off Delay Timer.*

*Off delay timer* seperti yang terlihat pada Gambar 2.16. akan bertambah setiap sepersepuluh detik saat aliran daya mati, dan diatur ulang ke 0 ketika ada aliran daya. Pengatur waktu melewati daya hingga interval “PV” yang telah ditentukan telah berlalu.

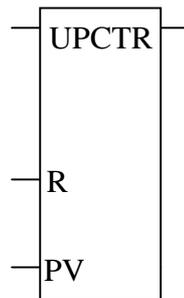


Gambar 2.16. Off Delay Timer.

#### 9. *Up Counter.*

Menambah nilai saat ini “CV” yang ada pada register PLC setiap kali ada transisi input dari off ke on. Ketika nilai “PV” tercapai, keluaran akan aktif dan tetap menyala sampai masukan “R” menerima aliran daya untuk mereset “CV” ke nol. *Up counter* seperti pada Gambar 2.17, bisa juga dipakai sebagai timer

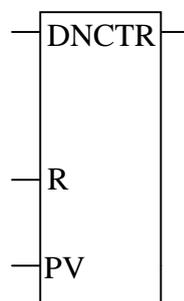
dengan meng-kombinasikan *Up counter* dengan *counting* waktu berupa detik ( $T_{Sec}$ ). ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi dari timer itu sendiri.



Gambar 2.17. Up Counter.

#### 10. Down Counter.

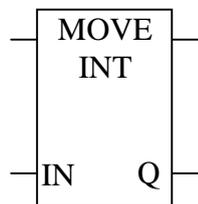
*Down counter* seperti pada Gambar 2.18. akan menurunkan nilai saat ini “CV” setiap kali terjadi transisi masukan dari off ke on. Ketika nilai “CV” berkurang menjadi nol atau kurang, keluaran akan menyala sampai masukan “R” menerima aliran daya untuk mereset “CV” ke “PV”.



Gambar 2.18. Down Counter.

### 11. *Move Int.*

*Move integer* seperti yang terlihat pada Gambar 2.19. akan memindahkan blok data integer yang telah ditandai dari satu lokasi ke dalam memori PLC yang lain, ketika “IN” adalah konstan, nilai tersebut dipindahkan ke variable yang ditetapkan ke “Q” dan lokasi selanjutnya jika panjang data lebih besar dari 1.

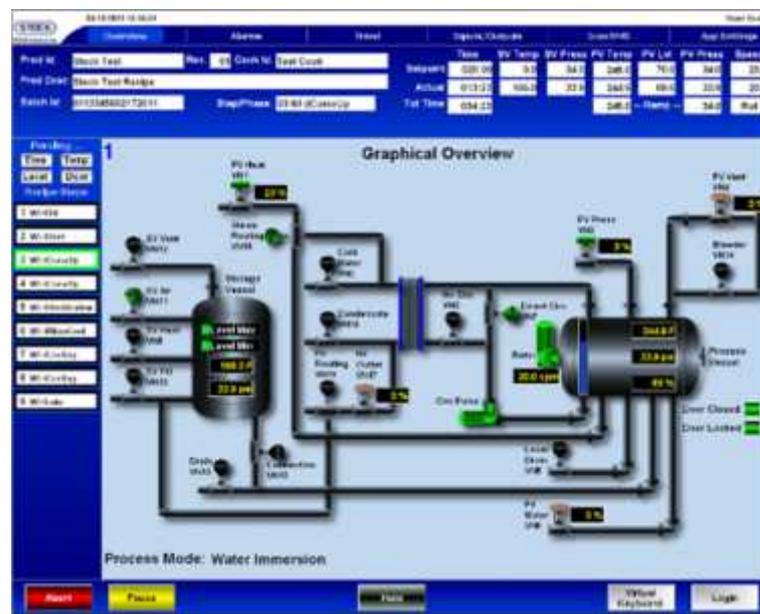


Gambar 2.19. Move Integer.

### II.A.5. Sistem *Human Machinery Interface* (HMI)

HMI adalah singkatan dari *Human Machine Interface* merupakan media komunikasi antara manusia dan mesin dari suatu sistem. HMI membantu operator secara lebih dekat untuk mengontrol suatu plant sebagai basis proses visualisasi sistem yang menghubungkan semua komponen dalam sistem dengan baik. Dengan menggunakan HMI sebagai console operator, operator bisa menyajikan berbagai macam analisa grafis, historical information, database, data login untuk keamanan, dan animasi ke dalam bentuk software. Dalam dunia industri HMI menyajikan data yang diperlukan oleh operator untuk memonitor operasi peralatan dan lain sebagainya.

Pada dasarnya HMI memvisualisasikan kejadian, peristiwa, ataupun proses yang sedang terjadi di plant secara nyata sehingga memudahkan operator melakukan pekerjaan fisik. Biasanya HMI digunakan juga untuk menunjukkan kesalahan mesin, status mesin, memudahkan operator untuk memulai dan menghentikan operasi, serta memonitor beberapa part pada proses produksi.



Gambar 2.20. HMI *Cimplicity*

HMI memiliki berbagai macam fungsi yaitu sebagai berikut:

1. Memonitor keadaan yang ada di plant
2. Mengatur nilai pada parameter yang ada di plant
3. Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadan yang terjadi
4. Memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi suatu yang tidak normal.

## II.A.6. Uji Hipotesis

Uji hipotesis adalah metode pengambilan keputusan yang didasarkan dari analisis data, baik dari percobaan yang terkontrol, maupun dari observasi (tidak terkontrol). Dalam statistic, sebuah hasil bisa dikatakan signifikan secara statistik jika kejadian tersebut hampir tidak mungkin disebabkan oleh faktor yang kebetulan, sesuai dengan batas probabilitas yang sudah ditentukan sebelumnya<sup>[13]</sup>.

Hipotesis sendiri adalah suatu anggapan atau pernyataan yang mungkin benar atau mungkin juga tidak benar tentang suatu populasi<sup>[14]</sup>. Dengan menggunakan uji hipotesis ini peneliti dapat menguji berbagai teori yang berhubungan dengan masalah penelitian, baik penelitian yang sudah ada sebelumnya ataupun penelitian yang baru.

Hipotesis merupakan pernyataan yang kebenarannya masih lemah. Agar pernyataannya tidak diragukan maka secara statistik kita bisa melakukan pengumpulan data dan melakukan pengujian. Dengan melakukan pengujian statistik terhadap hipotesis kita dapat memutuskan apakah hipotesis dapat diterima (data tidak memberikan bukti untuk menolak) atau ditolak (data memberikan bukti untuk menolak hipotesis)<sup>[15]</sup>.

Prosedur umum yang harus dipenuhi dalam pengujian hipotesis adalah sebagai berikut.

1. Menyatakan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatifnya ( $H_1$ ), yaitu pernyataan yang akan diuji kebenarannya dan pernyataan lain jika  $H_0$  ditolak.

2. Memilih tingkat kepercayaan tertentu dan menentukan besar sampel yang akan diambil.
3. Memilih statistik uji yang sesuai.
4. Menentukan daerah kritis pengujian.
5. Mengumpulkan data sampel dan menghitung statistic sampelnya.
6. Menyatakan menolak atau menerima  $H_0$ .

## **II.B. Kajian Penelitian yang Relevan**

Biaya produksi menjadi salah satu unsur yang cukup penting dalam pelaporan operasional perusahaan. Biaya produksi adalah biaya yang timbul dari suatu proses produksi perusahaan manufaktur dalam membuat barang atau jasa yang akan dipasarkan. Biaya energi dikategorikan ke dalam biaya tak langsung dalam komponen biaya produksi. Secara umum, biaya energi akan mengambil porsi sebesar 10-40% dari total biaya produksi.

Dalam perjalanannya, sudah banyak dilakukan langkah-langkah optimasi yang dilakukan untuk menekan biaya produksi, baik dari sisi teknik dengan menerapkan aplikasi teknologi terbaru atau analisa-analisa studi terkait penghematan juga sisi non teknik dengan mencari langkah efisiensi lainnya. Studi-studi optimasi saat ini sudah banyak dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Penggunaan teknologi berbasis PLC dan DCS juga tidak bisa dipungkiri sudah sangat luas penggunaannya dalam menunjang langkah optimasi dengan melakukan otomatisasi proses produksi.

Dalam penelitian ini, penulis mencoba untuk melakukan sebuah langkah optimasi bahan bakar ketel uap yang saat ini merupakan menjadi sebuah fokus perhatian dalam bisnis perusahaan dimana tempat penulis bekerja. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *Economic Dispatch* yang akan diintegrasikan ke dalam sistem PLC operasional ketel uap agar diperoleh kondisi pengendalian *real time* kemudian akan dilakukan analisa terhadap aspek ekonomisnya.

*Economic Dispatch/Optimal dispatch* yang dalam bahasa Indonesianya lebih dikenal dengan istilah Pengiriman Ekonomis atau Pengiriman Optimal, sudah banyak diteliti oleh peneliti atau akademisi baik di Indonesia ataupun di dunia Internasional.

Brannlund dkk<sup>[2]</sup> telah melakukan penelitian tentang “*Industrial Implementation of Economic Dispatch for Co-Generation Sistem,*”.dalam penelitian ini mereka membuat sebuah formula *Economic Dispatch* yang akan diintegrasikan ke dalam SCADA, Penelitian ini mencakup 3 jenis konfigurasi unit kogenerasi, yaitu :

1. Konfigurasi yang terdiri dari turbin gas dan generator uap dengan *heat recovery* yang mengekstrak panas dari keluaran turbin gas untuk menghasilkan uap.
2. Terdiri dari boiler konvensional dan turbin uap.
3. Konfigurasi gabungan, yaitu turbin gas dengan generator uap *heat recovery* yang menghasilkan uap untuk pengoperasian turbin.

Namun tidak dijelaskan secara detail tentang apa dan bagaimana sistem kerja SCADA pada *Economic Dispatch* tersebut.

Dewa dan Nurhalim<sup>[16]</sup> telah melakukan penelitian tentang “Perancangan Operasi Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBiogas) Di Kabupaten Kepulauan Meranti Menggunakan Metode *Economic Dispatch*,”. Dalam penelitian ini mereka melakukan analisa terkait dengan operasi optimal pembangkit termal dan pembangkit biogas yang berasal dari limbah sagu. Masalah yang terkait dengan jadwal adalah Pengiriman Ekonomi terdiri dari membagi beban pada setiap unit pembangkit untuk mendapatkan kombinasi unit pembangkit untuk memenuhi permintaan beban dengan optimal. Pembagian biaya beban untuk setiap unit pembangkit termal dapat diperoleh dengan menggunakan metode iterasi lambda. Metode ini dapat mencapai hasil yang lebih optimal, dimana penghematan bahan bakar yang bisa didapatkan selama satu bulan adalah sebesar Rp 18.704.761,40.

Kanata<sup>[17]</sup> melakukan penelitian tentang “Pembangkitan Ekonomis pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Telaga Gorontalo Menggunakan Algoritma Genetika,”. Penerapan strategi penghematan biaya operasional yang mana salah satunya adalah biaya bahan bakar telah menjadi sebuah tuntutan perusahaan khususnya yang bergerak di bidang pembangkitan. Salah satu strategi yang bisa dilakukan adalah dengan optimasi pembangkitan ekonomis. Metode algoritma genetika merupakan suatu metode heuristic yang mampu mengatasi permasalahan yang memiliki karakteristik tidak liner, diskrit, tidak kontinu dan sistem dengan jumlah variable yang banyak. Studi kasus diterapkan

pada sistem tenaga IEEE 26 bus dan sistem unit PLTD Telaga Gorontalo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu meminimalkan biaya pembangkitan yang lebih baik dibanding metode sebelumnya. Pada akhir penelitian diperoleh penghematan sebesar RP 20.201.000,00 per jam dengan total pembebanan 5.000 kW.

Syafii dan Putri<sup>[18]</sup> telah melakukan penelitian tentang pengiriman ekonomis yang berjudul “Analisa Operasi Ekonomis Pembangkit Termal untuk Melayani Beban Puncak Sistem Kelistrikan Sumbar”. Dalam penelitiannya mereka bertujuan untuk melakukan analisa operasi ekonomis pembangkit termal dengan sebuah perhitungan untuk mendapatkan daya yang optimal serta biaya pembangkitan yang minimum menggunakan metode iterasi lambda. Adapun studi kasus dilakukan pada sistem kelistrikan Sumbar dengan asumsi unit pembangkit termal yang digunakan adalah PLTD, PLTG dan PLTU, dimana besar beban (PD) yang akan dilayani adalah 15% dari kurva lama beban harian yaitu sebesar 76,8 MW. Pembagian optimal yang diperoleh melalui perhitungan *Economic Dispatch* adalah  $P1 = 1,25$  MW,  $P2 = 15,867$  MW dan  $P3 = 59,683$  MW dengan total biaya pembangkitan adalah Rp 57.295.977,57 per jam, hasil perhitungan dan perbandingan penjadwalan lainnya memperlihatkan bahwa telah diperoleh konfigurasi pembangkitan yang efisien dengan biaya operasi minimum untuk melayani beban puncak. Dengan demikian biaya pembangkitan dapat dihemat sesuai dengan hasil perhitungan operasi ekonomis.

Zainal abidin dkk<sup>[19]</sup> telah menggunakan *Dynamic Economic Dispatch* yang merupakan pengembangan dari *Economic Dispatch* konvensional untuk

menentukan pembagian pembebanan unit pembangkit secara ekonomis dalam rentang waktu tertentu tanpa melanggar *ramp rate* unit pembangkit. Pada penelitian ini *Dynamic Economic Dispatch* diselesaikan dengan *Quadratic Programming*. Mereka menunjukkan bahwa *Quadratic Programming* dapat menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* tanpa melanggar parameter *ramp rate* yang telah ditentukan. Pada percobaan ini dilakukan dengan 3 unit pembangkit dan 3 profil beban.

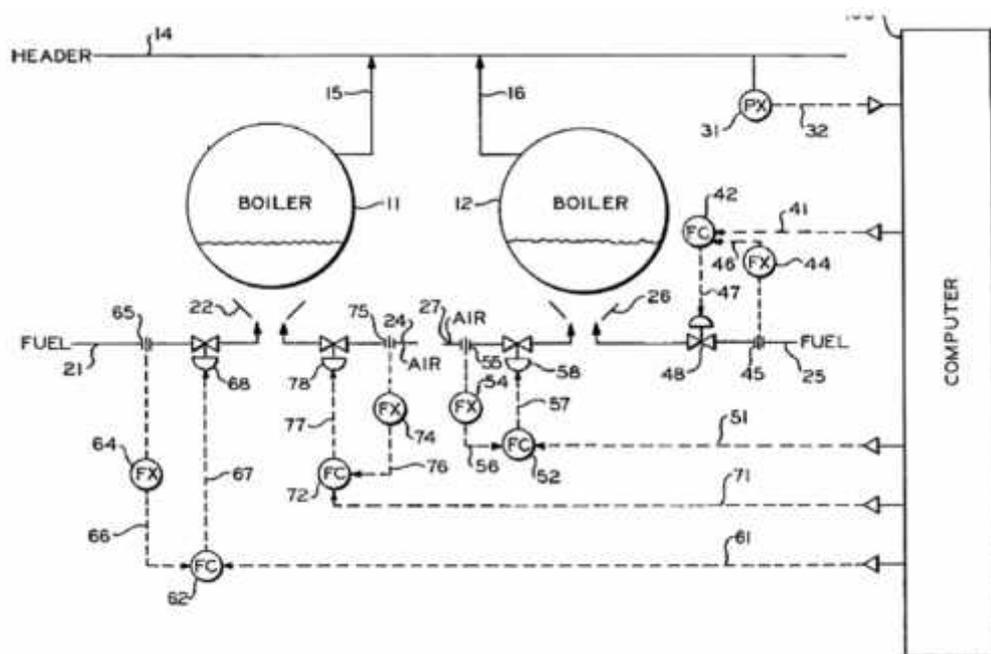
Vijay Kumar dkk,<sup>[20]</sup> menggunakan Algoritma genetika dalam penyelesaian masalah *Optimal Economic Dispatch*.

Komsiyah<sup>[21]</sup> melakukan analisa perbandingan metode Gaussian Particle Swarm Optimization (GPSO) dan Lagrange Multiplier pada Masalah Economic Dispatch. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa metode GPSO memberikan perhitungan yang lebih baik dibandingkan dengan metode Lagrange.

Dalam penelitian sebelumnya<sup>[16-21]</sup>, *Economic Dispatch* dilakukan hanya sebatas studi analisa saja. Sedangkan untuk optimasi bahan bakar, selain menggunakan metode *Economic Dispatch*, ada juga beberapa penelitian yang pernah dilakukan dengan metode lain.

Vicente dan Pablo<sup>[22]</sup> sudah melakukan optimasi pembangkit uap dengan *Optimal Supervisory Control (SCADA)* berbasis kendali PID. Disini kendali PID dibuat untuk mengendalikan sisi masukan bahan bakar dari 2 ketel uap seperti yang terlihat pada Gambar 2.21, yang bertujuan untuk mendapatkan biaya operasional yang paling ekonomis. Perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan ini adalah dilihat dari sisi pengendalian, dalam tesis ini pengendalian

lebih mengarah ke sisi keluaran dari ketel uap dan pengendalian dilakukan berbasis PLC dengan mempertimbangkan keluaran listrik dari sistem kogenerasi yang ada, juga dalam penelitian ini akan di-integrasikan sebuah teori ED menggunakan metode iterasi lambda ke dalam sistem PLC sehingga nilai optimal yang telah didapatkan dapat dijalankan secara *real time*.



Gambar 2.21. Diagram kendali dari 2 ketel yang dioperasikan secara paralel.

Anri Aruan dkk<sup>[23]</sup> melakukan studi analisa dan optimalisasi penggunaan bahan bakar pembangkit listrik yang ditinjau dari sisi persediaan dengan menggunakan metode *Economic Order Quantity* (EOQ). Dari penelitian ini pembahasan yang dilakukan terkait dengan aspek penyediaan bahan bakar, mulai dari jumlah pemesanan sampai dengan ketersediaannya di gudang PT. PT

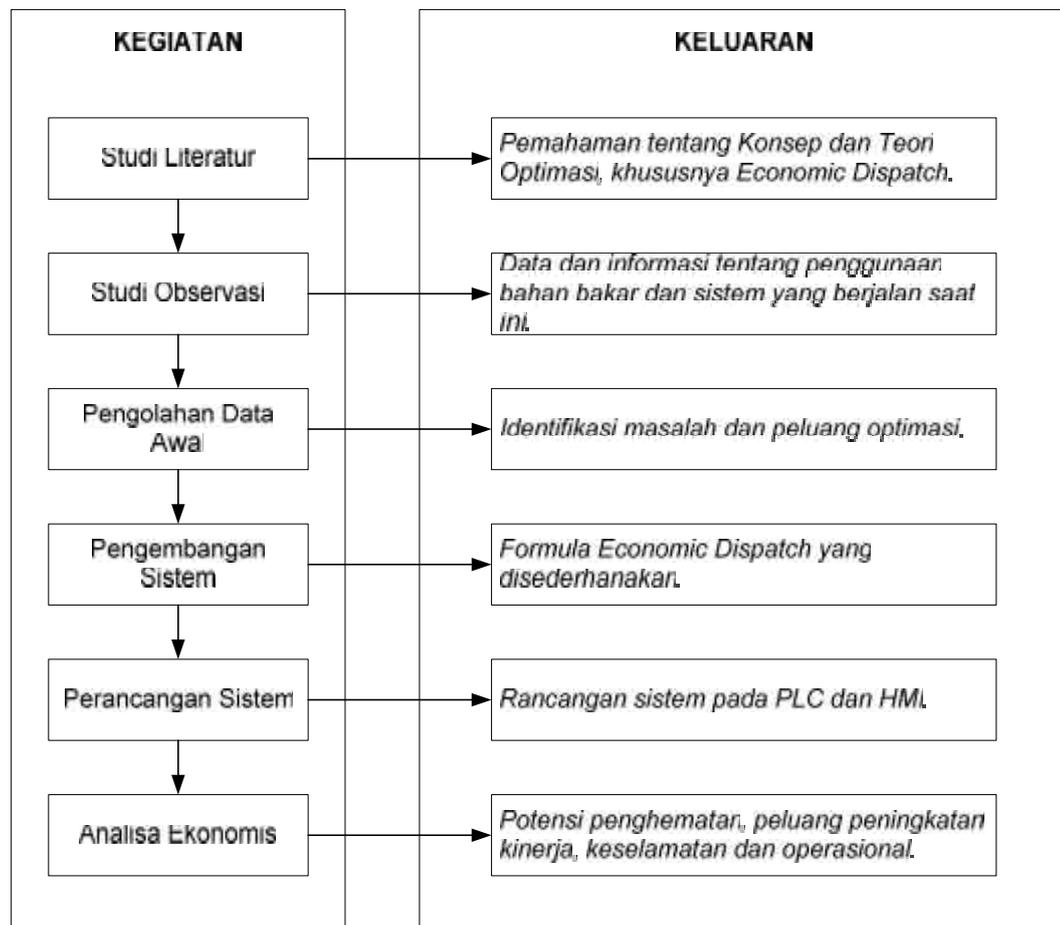
Pembangkit Listrik X yang menggunakan bahan bakar solar dan *Marine Fuel Oil* (MFO).

Sebuah pendekatan penggunaan struktur arsitektur supervisi dari sistem kendali proses pembakaran pada ketel uap juga sudah dilakukan oleh Daria dkk<sup>[24]</sup> sebagai suatu upaya untuk menjaga nilai bahan bakar pada titik yang optimal.

### **II.C. Kerangka Berpikir**

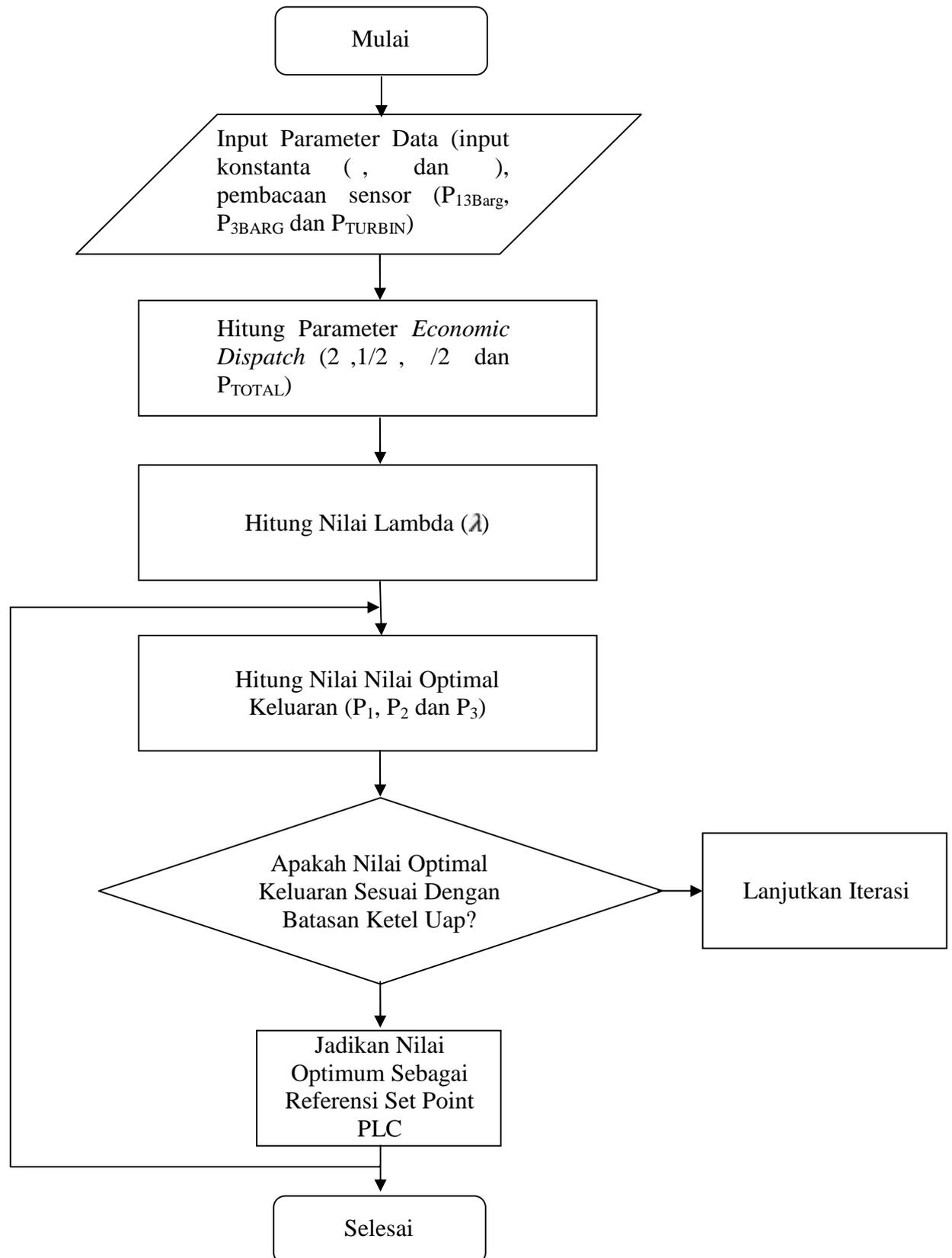
Studi literatur dibutuhkan untuk mendapatkan beberapa referensi dalam mendukung konsep penelitian ini sehingga didapatkan gambaran yang jelas terkait dengan metode optimasi. Studi obeservasi dilakukan untuk mendapat gambaran yang jelas terkait permasalahan sistem yang terjadi di lapangan. Pengolahan data awal dilakukan untuk mendapat gambaran yang jelas terkait dengan peluang optimasi yang mungkin dilakukan, sehingga bisa didapatkan angka peluang penghematan yang memungkinkan. Pengembangan dan perancangan sistem dilakukan dengan mengadopsi formula *Economic Dispatch* ke dalam PLC dengan tujuan agar nilai optimal dapat dihitung dan mengendalikan sistem sesuai dengan nilai optimal tersebut.

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas. Kerangka yang akan digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Kerangka Berpikir

Pada pemrograman PLC, program dibuat mengikuti diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 2.23. Program dimulai dengan mendapatkan masukan nilai dari parameter konstanta kurva *input-output*, nilai total beban dan nilai beban Turbin yang kemudian diproses untuk mendapatkan parameter konstanta perhitungan lainnya. Nilai konstanta-konstanta yang sudah dihitung akan dipakai sebagai masukan untuk menghitung nilai optimal bahan bakar masing-masing ketel uap.



Gambar 2.23. Diagram Alir Pemograman.

## **II.D. Hipotesis**

Berdasarkan landasan teori dan kerangka pikir di atas, maka hipotesis penelitian yang diajukan dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Sistem kendali proses pembangkit uap dapat dirancang dengan meng-integrasi-kan *Economic Dispatch* ke dalam PLC.
2. Dengan menjalankan program *Economic Dispatch* ke dalam PLC, penggunaan bahan bakar dapat dihemat penggunaannya.
3. Biaya produksi uap dapat diturunkan.

## BAB III

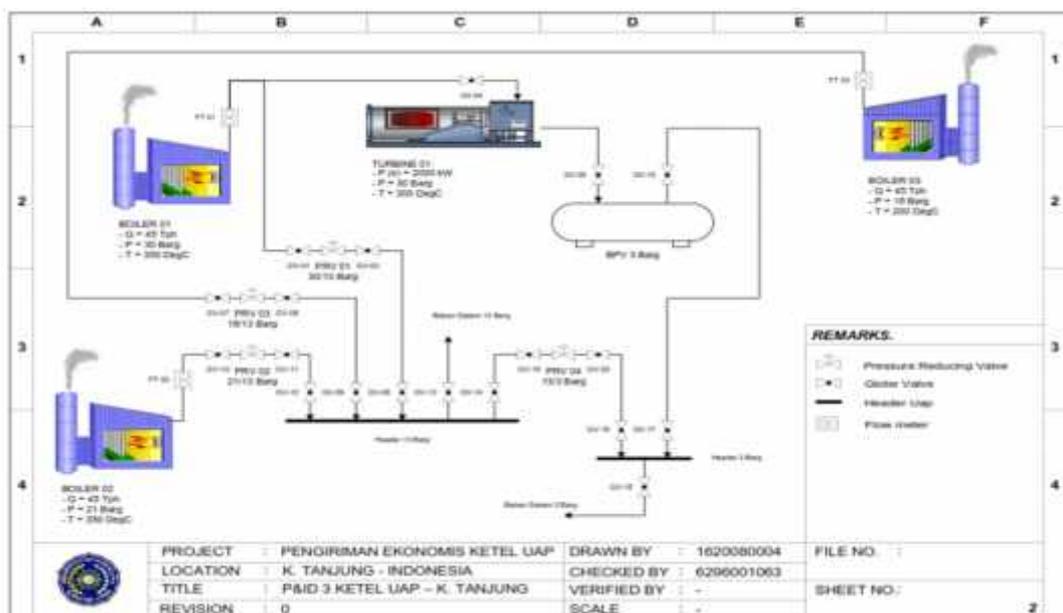
### METODE PENELITIAN

#### III.A. Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam penulisan tesis ini, telah dilakukan beberapa penelitian yang dilakukan di PT. Multimas Nabati Asahan yang beralamat di jalan Access Road Inalum desa Kuala Tanjung Kabupaten Batubara, Sumatera Utara – 21257, dimana waktu penelitian dilakukan mulai tanggal 26 sampai 30 November 2018.

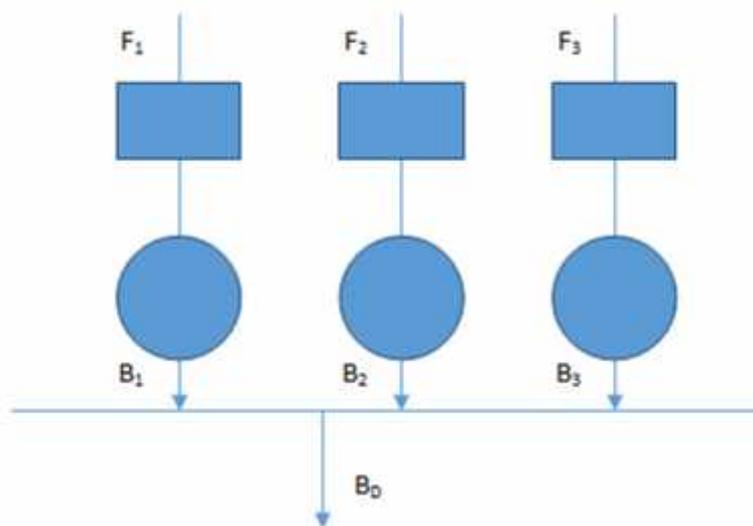
#### III.B. Rancangan Penelitian

Sistem yang akan diteliti adalah sistem pembangkit uap dengan 3 unit ketel uap yang beroperasi secara bersamaan seperti Gambar 3.1, dimana salah satu ketel uap dipakai juga untuk melayani 1 unit Turbin uap.



Gambar 3.1. Rancangan *Economic Dispatch* dalam Sistem Ketel Uap.

Dari Gambar 3.2. terlihat 3 unit ketel uap yang mempunyai karakteristik berbeda antara yang satu dengan yang lainnya. Ketiga ketel uap ini menggunakan bahan bakar biomass berupa cangkang kelapa sawit. Ketiga ketel uap ini digunakan untuk memikul beban uap sistem. Dalam distribusinya, beban uap dibagi menjadi 2 sistem, yaitu sistem 13 bar dan sistem 3 bar. Digunakan sebuah PRV yang berfungsi untuk menurunkan tingkat tekanan uap ke tingkat yang diinginkan agar kedua sistem tersebut dapat dipenuhi, di saat bersamaan PRV ini juga dapat mengatur jumlah aliran uap ke beban. Gambar sistem diatas dapat dianalogikan ke dalam bentuk umum *economic dispatch* berikut.



Gambar 3.2. *Economic Dispatch* sistem Ketel uap.

Dimana :

$F_1, F_2$  &  $F_3$  : Bahan bakar yang digunakan untuk Ketel 1, 2 dan 3

$B_1, B_2$  &  $B_3$  : Uap yang diproduksi oleh untuk Ketel 1, 2 dan 3

$B_D$  : Jumlah total beban uap dari sistem

### III.C. Populasi, Sample dan Sampling

#### 1. Populasi

Populasi adalah sekumpulan objek yang menjadi pusat perhatian, yang padanya terkandung informasi yang ingin diketahui. Objek ini disebut dengan satuan analisis. Satuan analisis ini memiliki kesamaan perilaku yang ingin diteliti.

Populasi dalam penelitian ini adalah sistem pembangkit uap dengan 3 ketel uap yang beroperasi secara bersamaan untuk memikul beban uap yang dibutuhkan dalam proses produksi minyak kelapa sawit dan turunannya. Ketiga ketel uap ini memiliki kriteria sebagai berikut:

- a. Menggunakan bahan bakar bio massa berupa cangkang kelapa sawit.
- b. Memikul beban uap pada PT. Multimas Nabati Asahan yang berada di Kuala Tanjung.
- c. Sistem kendali ketel uap tersebut menggunakan PLC.

#### 2. Sample

Dalam penelitian ini, digunakan sampel data dengan mengambil data penggunaan bahan bakar dan produksi uap masing-masing ketel selama periode 1 Juli 2017 sampai 30 Juni 2018.

#### 3. Sampling

Metode *sampling* yang digunakan adalah *sampling non probability* melalui teknik kuota *sampling*. Kuota *sampling* adalah teknik untuk menentukan sampel dari populasi yang mempunyai ciri-ciri tertentu sampai jumlah yang diinginkan.

### III.D. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi sistem kerja ketel uap, studi dokumentasi berupa *logsheet* dan *checklist* operasional, di PT. Multimas Nabati Asahan dalam waktu satu tahun terakhir untuk mengetahui cara kerja dan profil kurva bahan bakar dari masing-masing ketel uap.

2. Wawancara.

Wawancara dilakukan langsung dengan operator, kepala seksi dan pihak perawatan peralatan pabrik dalam kaitannya dengan sistem proses ketel uap dan pengoperasiannya.

3. Analisis Data.

Analisis dilakukan dengan metode formulasi data kedalam bentuk polynomial dengan bantuan piranti lunak Ms. Excell agar didapatkan karakteristik kurva *input-output* ketel uap.

### III.E. Teknik Analisa Data

Teknik analisa data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisa data berfungsi untuk menyimpulkan hasil penelitian. Analisis data dapat dilakukan melalui tahap berikut:

1. Pada tahap perencanaan, peneliti merancang kebutuhan data dari objek yang dijadikan sampel.

2. Pada tahap pelaksanaan, peneliti melakukan pendataan pada sampel penelitian.
3. Pada tahap evaluasi, peneliti menganalisis dan mengolah data yang telah dikumpulkan dengan metode persamaan kuadrat.

## **BAB IV**

### **ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.A. Hasil Penelitian**

##### **IV.A.1. Deskripsi Data**

Pada penelitian ini data diperoleh dengan melakukan observasi langsung di lapangan dan melakukan studi historis berdasarkan data-data logsheet yang ada di site perusahaan. Sistem cogent pada penelitian ini memiliki 3 unit ketel uap produksi yang beroperasi bersamaan. Uap diproduksi pada tekanan menengah, yaitu sekitar tekanan 18 – 28 Barg namun untuk distribusi uap, tekanan uap tersebut diturunkan ke 13 Barg dan 3 Barg sesuai dengan tingkat tekanan yang dibutuhkan pada plant produksi.

Data penggunaan bahan bakar untuk masing-masing ketel uap diambil dari laporan operasi sehari-hari di departemen Utility. Dalam laporan harian ini, terdapat data penggunaan bahan bakar cangkang dan jumlah uap yang diproduksi oleh masing-masing ketel uap. Adapun data yang diambil adalah data dalam periode 1 Juli 2017 sampai 30 Juni 2018.

##### **IV.A.2. Hasil Uji Persyaratan Analisis**

Setelah data pemakaian bahan bakar sebagai referensi untuk menentukan kurva *input-output* kita dapatkan, kita tidak serta merta dapat mengolah data tersebut langsung ke dalam program *spreadsheet*. Langkah pertama yang akan dilakukan adalah melakukan pengujian data tersebut terlebih dahulu untuk

memastikan data telah cukup dan obyektif. Pengujian kecukupan data dilakukan dengan berpedoman pada konsep statistik, yaitu derajat ketelitian dan tingkat kepercayaan. Derajat ketelitian dan tingkat kepercayaan adalah mencerminkan tingkat kepastian yang diinginkan oleh pengukur setelah memutuskan tidak akan melakukan pengukuran dalam jumlah yang banyak. Pada penelitian ini data yang akan diuji adalah data dengan periode mulai tanggal 1 Juli 2017 sampai dengan 30 Juni 2018.

Uji kecukupan data akan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N = \left[ \frac{k/s\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \quad (4.1)$$

Dengan:

k = Tingkat kepercayaan >>> 99% = 3 >>> 95% = 2

s = Derajat ketelitian

N = Jumlah data yang diamati

N' = Jumlah data teoritis

Data dianggap cukup jika nilai N' ≤ N dan dinyatakan tidak cukup jika nilai N' > N. Jika data tersebut dinyatakan tidak cukup, maka kita perlu menambahkan data atau memotong data yang tidak relevan dengan data lainnya.

Pada pengujian yang dilakukan terhadap ketiga ketel uap, didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.

Tabel 4.1. Hasil pengujian kecukupan data mentah.

No. Ketel Uap	N	N'	Kecukupan Data
1	268	61,5	CUKUP
2	283	4.325,4	TIDAK CUKUP
3	257	26,8	CUKUP

Pada Tabel 4.1. terlihat bahwa data untuk ketel uap no. 2 tidak lulus dalam pengujian data sehingga perlu dilakukan analisis data lebih lanjut, dari analisis data tersebut, ditemukan data rasio bahan bakar untuk ketel uap no. 2 sebanyak 18 hari tidak bisa diambil sebagai data dikarenakan rasio ketel uap bernilai diatas 1000 kg/MT uap yang diperkirakan pada saat tersebut ketel uap mengalami gangguan seperti yang terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tabel data yang akan dipotong.

Tanggal	Rasio Bahan Bakar (kg/MT)	Produksi Uap (MT/hari)
18 September 2017	1.822	31
23 Desember 2017	1.188	77
25 Desember 2017	2.483	13
02 Januari 2018	29.590	1
03 Januari 2018	1.499	70
04 Januari 2018	1.419	91
07 Januari 2018	3.120	25
10 Januari 2018	1.292	127
18 Januari 2018	1.207	107
19 Januari 2018	1.176	135
20 Januari 2018	1.170	92
21 Januari 2018	1.871	46
28 Maret 2018	3.612	70
30 Maret 2018	1.190	52
21 April 2018	1.334	121
29 April 2018	1.049	141
13 Mei 2018	5.118	41
24 Mei 2018	3.896	58

Setelah dilakukan pemotongan data untuk saat ketel uap mengalami gangguan, maka dilakukan pengujian data kembali untuk melihat kecukupan data. Dari pengujian kedua didapatkan hasil pengujian kecukupan data sebagai seperti yang ditunjukkan Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kecukupan data setelah pemotongan data.

No. Ketel Uap	N	N'	Kecukupan Data
1	268	61,5	CUKUP
2	265	87,7	CUKUP
3	257	26,8	CUKUP

#### IV.A.3. Hasil Uji Hipotesis

Dalam penelitian ini uji hipotesis dapat diberikan secara eksperimen, dimana formula *Economic Dispatch* dapat berjalan pada sistem PLC dan simulasi program dapat berjalan dengan sempurna.

Untuk hipotesis penggunaan bahan bakar dapat diuji dengan metode sebagai berikut.

Langkah 1. Formulasi  $H_0$  dan  $H_1$ .

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 < u_2$$

Langkah 2. Tentukan *level of significant*

Ditentukan derajat nyata ( $\alpha$ ) = 0.05 atau 5%

Langkah 3. Tentukan nilai kritis

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

$$df = 22$$

$$t_{\text{tabel}} = 1,717$$

Langkah 4. Hitung nilai statistik uji hipotesis

Diketahui :

Metode ED ;  $N_1 = 12$

$$X_1 = 11.748$$

$$S_1 = 1.482$$

Metode Lama ;  $N_2 = 12$

$$X_2 = 13.731$$

$$S_2 = 1.876$$

$$S = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

$$S_p = 1.690$$

$$t = -2,874$$

Langkah 5. Pengambilan keputusan

$$t_{\text{hitung}} < t_{\text{tabel}}$$

$-2,874 < 1,717$  sehingga  $H_0$  tertolak dan didapatkan kesimpulan jika metode baru lebih hemat jika dibandingkan dengan metode lama.

## IV.B. Pembahasan

### IV.B.1. Formulasi *Economic Dispatch*

Pada bagian ini akan dilakukan formulasi *Economic Dispatch*, mulai dari formulasi kurva *input-output* sampai ke simulasi *Economic Dispatch* dalam program *spreadsheet*/Ms. Excell. Di sini akan digunakan program Ms. Excell tahun 2007.

#### 1. Formulasi kurva *input-output* ketel uap.

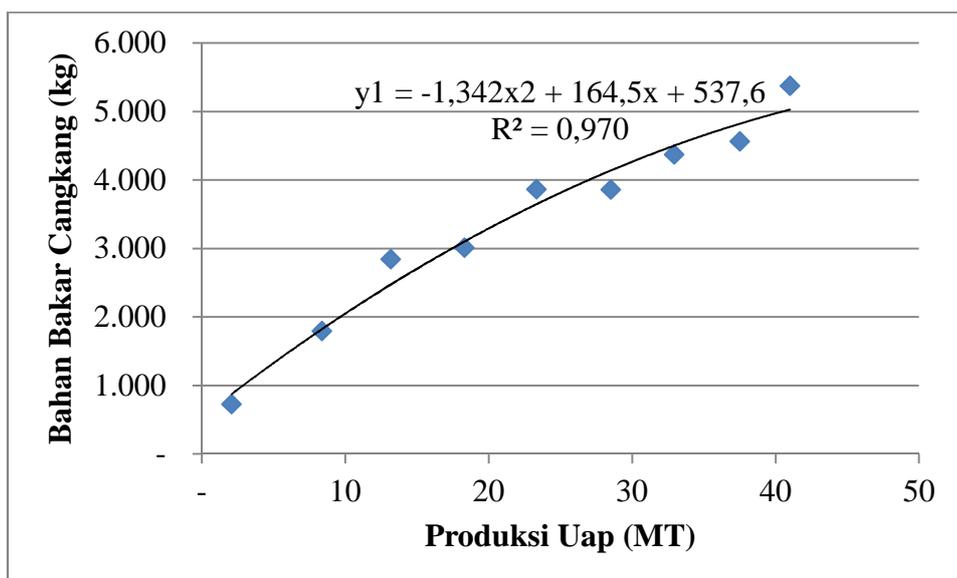
Dalam memformulasikan kurva *input-output* ketel uap, kita menggunakan data yang telah diuji pada tahap sebelumnya. Data ini akan kita olah dengan program Ms. Excell 2007. Penggunaan program ini direkomendasikan karena dapat menghitung dan menampilkan bentuk persamaan polynomial yang kita butuhkan pada penyelesaian metode *Economic Dispatch*. Untuk membuat kurva *input-output*, sorot bagian data produksi uap vs bahan bakar seperti Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data produksi uap vs bahan bakar.

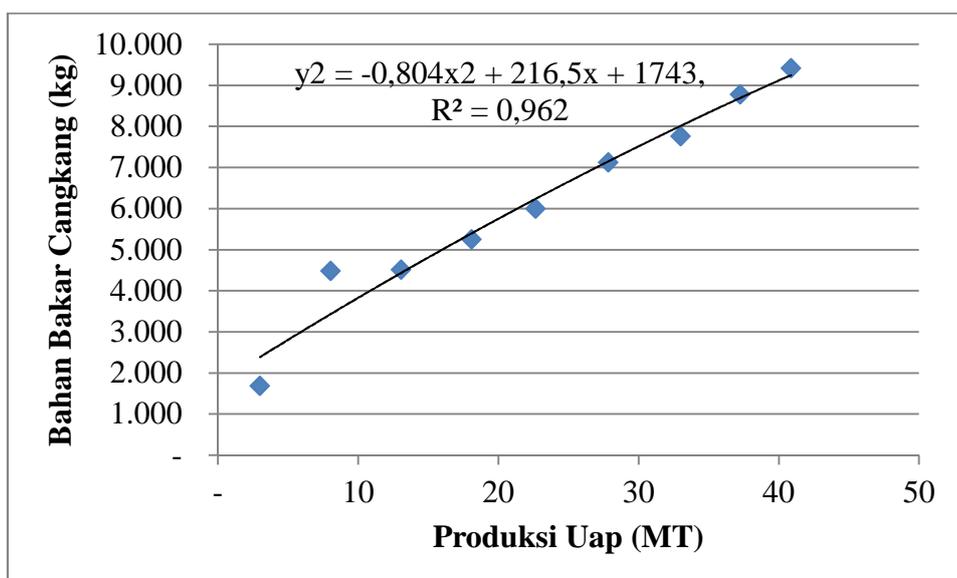
Ketel 1		Ketel 2		Ketel 3	
MT	kg Bahan Bakar	MT	kg Bahan Bakar	MT	kg Bahan Bakar
2	726	3	1,681	9	2,318
8	1,795	8	4,476	14	3,749
13	2,842	13	4,512	19	4,360
18	3,010	18	5,246	23	4,343
23	3,864	23	5,998	28	4,883
29	3,858	28	7,125	32	5,238
33	4,371	33	7,757	37	5,536
38	4,562	37	8,780	42	5,616
41	5,374	41	9,415	47	5,649

Data yang sudah disorot tadi kemudian dibuat ke dalam bentuk diagram.

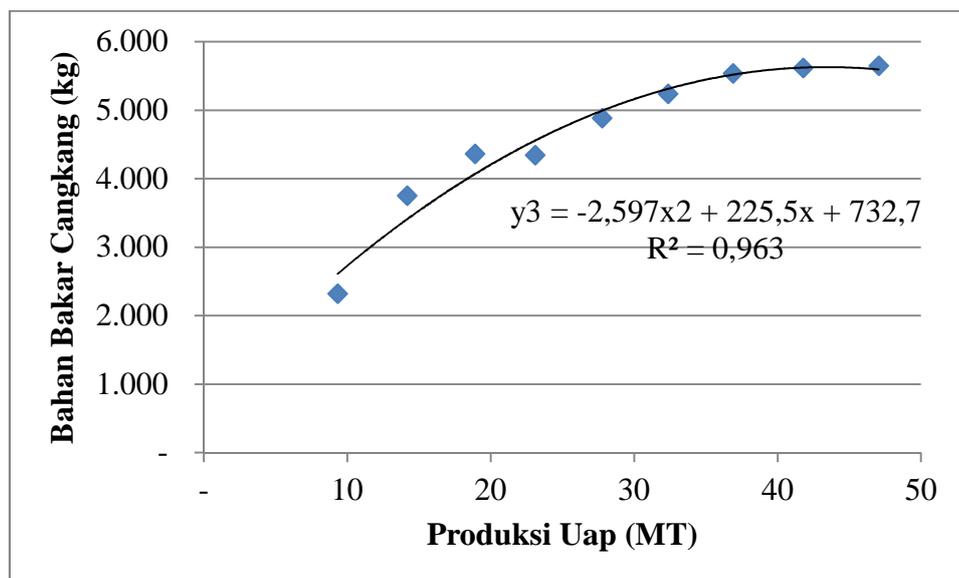
Gambar 4.1. sampai dengan Gambar4.3. menunjukkan bentuk kurva *input-output* masing-masing ketel.



Gambar 4.1. Kurva *input-output* Ketel uap 1.

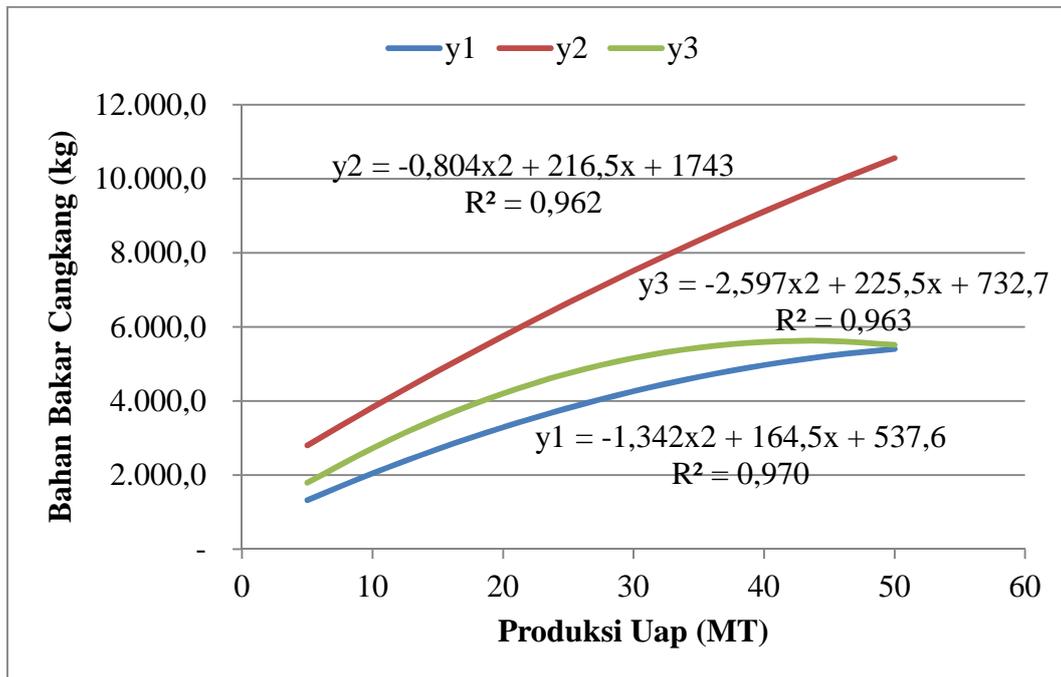


Gambar 4.2. Kurva *input-output* Ketel uap 2.



Gambar 4.3. Kurva *input-output* Ketel uap 3.

Ketiga bentuk kurva telah menunjukkan hubungan dari produksi uap dan penggunaan bahan bakar untuk masing-masing ketel uap. Dari gambar masing-masing kurva juga terlihat persamaan polynomial orde dua yang sengaja ditampilkan saat pembuatan kurva pada tahap sebelumnya. Tampilan persamaan polynomial ini bertujuan untuk dijadikan sebagai input persamaan dalam perhitungan *Economic Dispatch* pada tahap selanjutnya. Ketiga kurva tersebut jika digabungkan ke dalam satu gambar maka akan terlihat kinerja dari masing-masing ketel uap, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. yang memperlihatkan kinerja efisiensi masing-masing ketel uap.



Gambar 4.4. Kurva *input-output* 3 Ketel uap.

Pada Gambar 4.4. terlihat jika efisiensi dari ketel uap no. 1 adalah yang paling baik, diikuti oleh ketel uap no. 3 dan terakhir adalah ketel uap no. 2. Sebelumnya, pembagian beban untuk ketiga ketel uap ini tidak pernah diatur dalam kegiatan operasionalnya, sehingga dari sini terlihat sebuah peluang penghematan penggunaan bahan bakar dengan melakukan optimasi pembebanan ketel uap.

Berdasarkan Gambar 4.4. juga dapat peroleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= -1,342x^2 + 164,5x + 537,6 \\
 y_2 &= -0,804x^2 + 216,5x + 1743 \\
 y_3 &= -2,597x^2 + 225,5x + 732,7
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Berdasarkan Gambar 4.4. juga didapatkan pula nilai  $R^2$  untuk  $y_1$ ,  $y_2$  dan  $y_3$  berturut-turut adalah 0,970, 0,962 dan 0,963, dimana nilai ini menunjukkan persamaan dari masing-masing kurva *input-output* adalah valid dan dapat dijadikan sebagai sebuah data.

## 2. Formulasi persamaan dalam *Economic Dispatch*.

Sebelum melakukan perhitungan *Economic Dispatch*, perlu terlebih dahulu ditentukan nilai-nilai awal untuk mempermudah dilakukannya perhitungan. Nilai-nilai awal yang dimaksud adalah nilai konversi hubungan beban turbin dengan jumlah uap, batasan-batasan pembangkit uap dan konstanta-konstanta dari kurva *input-output* yang sudah didapatkan dari tahap sebelumnya.

Untuk data konversi daya turbin ke jumlah uap didapatkan dari *manual book* turbin, dimana grafik hubungan antara keduanya memenuhi persamaan berikut.

$$Y = 0,011x + 9,883 \quad (4.3)$$

Saat dilakukan tabulasi untuk melihat konversi jumlah uap pada beban turbine mulai dari 800 kW sampai 1200 kW dengan peningkatan setiap tahapnya adalah 100 kW, maka akan didapatkan data seperti tabel 4.5. Pada tabel ini juga terlihat peningkatan kebutuhan uap seiring meningkatkan beban dari turbin uap.

Tabel 4.5. Konversi nilai daya turbin dengan jumlah uap (MT).

kW	MT(uap)
800	19,2
900	20,3
1000	21,5
1100	22,7
1200	23,8
1300	25,0

Umumnya, daya keluaran turbin saat operasi normal adalah 1200 kW, sehingga ini akan menjadi nilai batasan minimum ketel uap no. 1 yang setara dengan 23,8 MT uap. Batasan-batasan ketel uap secara keseluruhan pada daya keluaran turbin sebesar 1200 kW adalah sebagai berikut.

$$\begin{array}{rclcl}
 23,8 & \text{KU1} & 45 & \Gamma/\text{h} & \\
 0 & \text{KU2} & 45 & \Gamma/\text{h} & \\
 0 & \text{KU3} & 45 & \Gamma/\text{h} & (4.4)
 \end{array}$$

Dengan,

KU1 = Ketel Uap 1

KU2 = Ketel Uap 2

KU3 = Ketel Uap 3

Nilai dari konstanta-konstanta yang akan digunakan dalam perhitungan *Economic Dispatch* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6. Nilai konstanta-konstanta.

No. KU				2	1/2	/2
1	-1.342	164.5	537.6	-2.68	-0.37	-61.29
2	-0.804	216.5	1743	-1.61	-0.62	-134.64
3	-2.597	225.5	732.7	-5.19	-0.19	-43.42

Nilai-nilai pada Tabel 4.5. jika sudah ditentukan, maka perhitungan *Economic Dispatch* dapat dilanjutkan. Perhitungan nilai optimasi pembebanan masing-masing ketel uap dapat dihitung dengan mulai menghitung nilai optimum bahan bakar ( $\lambda$ ). Nilai ini dihitung dengan menggunakan formula berikut.

$$\lambda = \frac{P_D + \frac{\beta_1}{2\gamma_1} + \frac{\beta_2}{2\gamma_2} + \frac{\beta_3}{2\gamma_3}}{\frac{1}{2\gamma_1} + \frac{1}{2\gamma_2} + \frac{1}{2\gamma_3}} \quad (4.5)$$

Pada simulasi, jika ditentukan nilai  $P_D = 76$  MT, dan formula di atas dimasukkan ke dalam program excell, maka didapatkan nilai lambda ( $\lambda$ ) = 137,61 kg/MT. Kemudian Beban optimum masing-masing ketel ditentukan oleh Persamaan 4.6.

$$P_k = \frac{\lambda - \beta_k}{2\gamma_k} \quad (4.6)$$

Maka diperoleh nilai optimum untuk masing-masing ketel adalah,

$$P_1 = 10,02 \text{ MT/h}$$

$$P_2 = 49,06 \text{ MT/h}$$

$$P_3 = 16,92 \text{ MT/h}$$

Nilai yang didapatkan tidak sesuai dengan nilai batasan dari masing-masing ketel uap, walaupun jumlah uap total dari ketida nilai tersebut sama dengan nilai total beban uap ( $P_D$ ). Dari beberapa contoh simulasi yang telah dilakukan sesuai formula di atas, ditemukan penyebab nilai tersebut melompat jauh adalah nilai yang terlalu besar, yakni mencapai angka ratusan. Oleh sebab itu formula tersebut dilanjutkan dengan mempertimbangkan nilai batasan masing-masing ketel uap dan prioritas ketel uap berdasarkan harga bahan bakarnya, maka nilai optimum dari masing-masing ketel pada beban total 76 MT adalah.

$$P_1 = 45 \text{ MT}$$

$$P_2 = 0 \text{ MT}$$

$$P_3 = 31 \text{ MT}$$

Dengan memasukkan nilai diatas ke Persamaan 2.11. maka nilai total bahan bakar adalah 12.193 kg.

#### **IV.B.2. *Economic Dispatch* dalam PLC**

Bagian ini akan membahas bagaimana proses mengintegrasikan formula *Economic Dispatch* yang sudah dijabarkan pada bagian sebelumnya ke dalam sistem PLC. Dalam sistem ini nilai  $P_D$  akan dijumlahkan dari total beban sistem 13 Barg dan 3 Barg, kemudian nilai ini akan dicari nilai optimumnya. Nilai optimum untuk masing-masing ketel uap kemudian akan dijadikan sebagai

referensi kepada *control valve*, dimana instrumen ini akan berfungsi sebagai pengatur jumlah aliran dari masing-masing ketel uap.

Dalam pemrogramannya, sistem ini dibagi ke dalam 2 jenis program, yaitu pemrograman PLC dan pemrograman HMI. Dalam pemrograman PLC, teknik pemrograman yang dipilih adalah dengan menggunakan *ladder diagram* yang dalam pembuatannya akan dibagi ke dalam beberapa block untuk mempermudah pemrograman dan penelusuran masalah. Secara umum beberapa block yang akan digunakan adalah, *Map I/O*, Input Konstanta, perhitungan *Economic Dispatch* dan kendali *Control valve* untuk aliran optimum.

Integrasi dilakukan dengan cara memasukkan formula dari masing – masing perhitungan ke dalam bentuk pemrograman PLC sehingga akan dikalkulasi sesuai dengan perintah pemrogramannya serta menjadikan nilai tersebut sebagai referensi pengendalian peralatan uap seperti PRV, adapun formula yang dimasukkan adalah sebagai berikut.

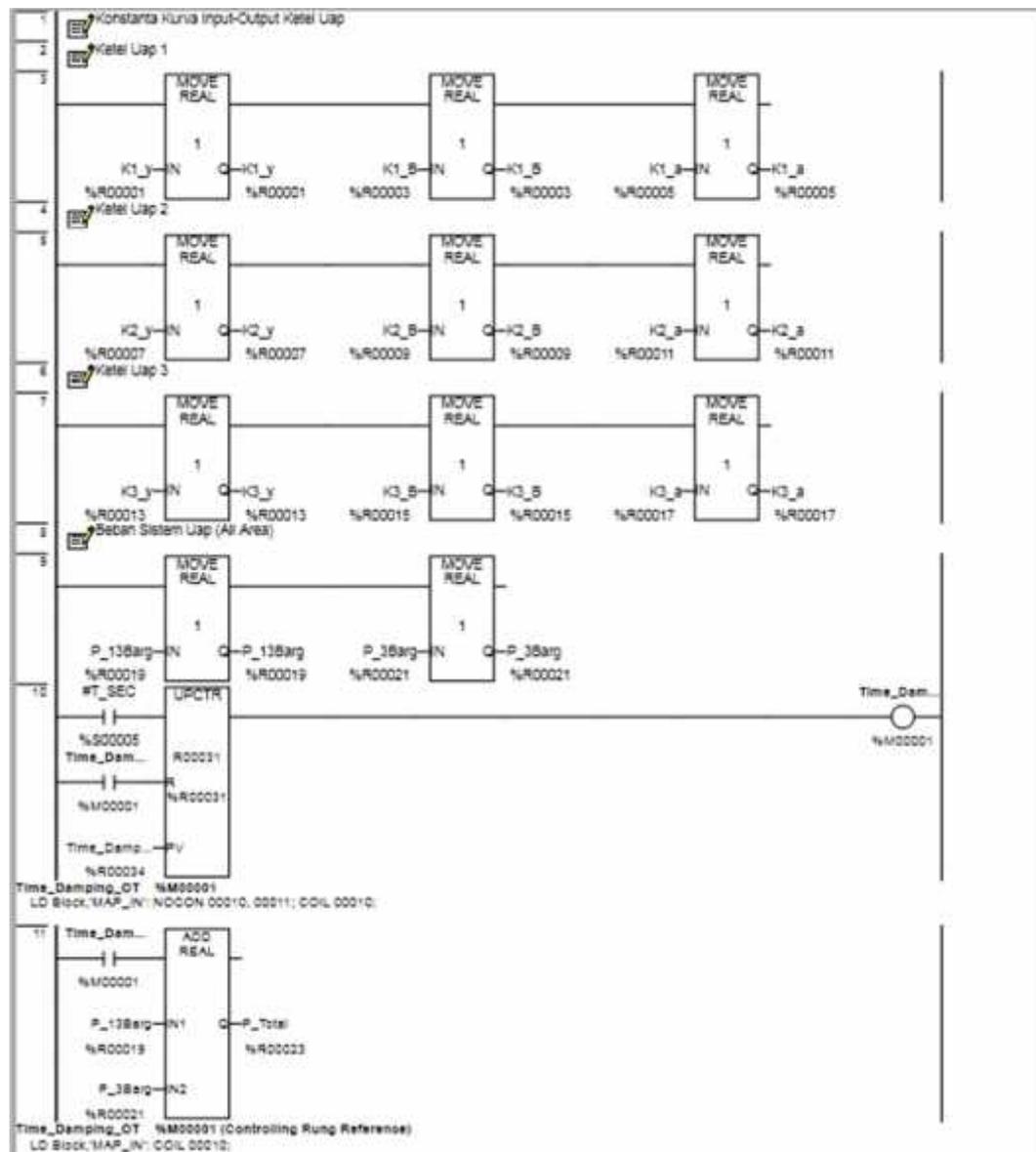
1. Nilai masukan dari parameter kurva *input-output* dan beban ketel uap.

Dari Persamaan 4.2. diperoleh nilai konstanta kurva *input-output* sebagai berikut.

Tabel 4.7. Nilai konstanta kurva *input-output*.

No.KU			
1	-1,342	164,5	537,6
2	-0,804	216,5	1743
3	-2,597	225,5	732,7

Pembacaan dari beban ketel uap akan dimasukkan secara manual ke dalam sistem PLC yang diasumsikan sebagai pengganti dari pembacaan sensor aktual di lapangan. Data di atas jika diubah ke dalam bentuk pemrograman akan terlihat seperti Gambar 4.5. dalam gambar tersebut juga langsung dihitung nilai beban total dari beban uap sistem 13 barg dan sistem 3 barg. Alamat yang diberikan untuk konstanta ketel uap 1 adalah %R0001, %R0003 dan %R0005. Alamat yang diberikan untuk konstanta ketel uap 2 adalah %R0007, %R0009 dan %R0011. Alamat yang diberikan untuk konstanta ketel uap 3 adalah %R0013, %R0015 dan %R0017 sedangkan alamat untuk beban uap adalah %R0019 dan %R0021. Perintah yang digunakan adalah MOVE REAL untuk memindahkan nilai real dari satu register ke register lain. Perintah UPCTR untuk penghitung waktu maju dan ADD REAL yang digunakan untuk menjumlahkan 2 nilai register yang mempunyai tipe data real. Tipe data real digunakan agar nilai data tidak dibatasi pada ambang batas nilai integer yang maksimum hanya pada angka 64.000 saja. Pada fungsi ADD REAL, nilai beban pada sistem 13 Barg akan keluar pada register no %R00019 dan beban pada sistem 3 Barg yang keluar pada register %R00021 akan dijumlahkan langsung oleh PLC sehingga didapatkan hasil pada keluarannya di register No %R00023 yang diberi tag sebagai P\_Total.



Gambar 4.5. Ladder diagram masukan konstanta dan beban ketel uap.

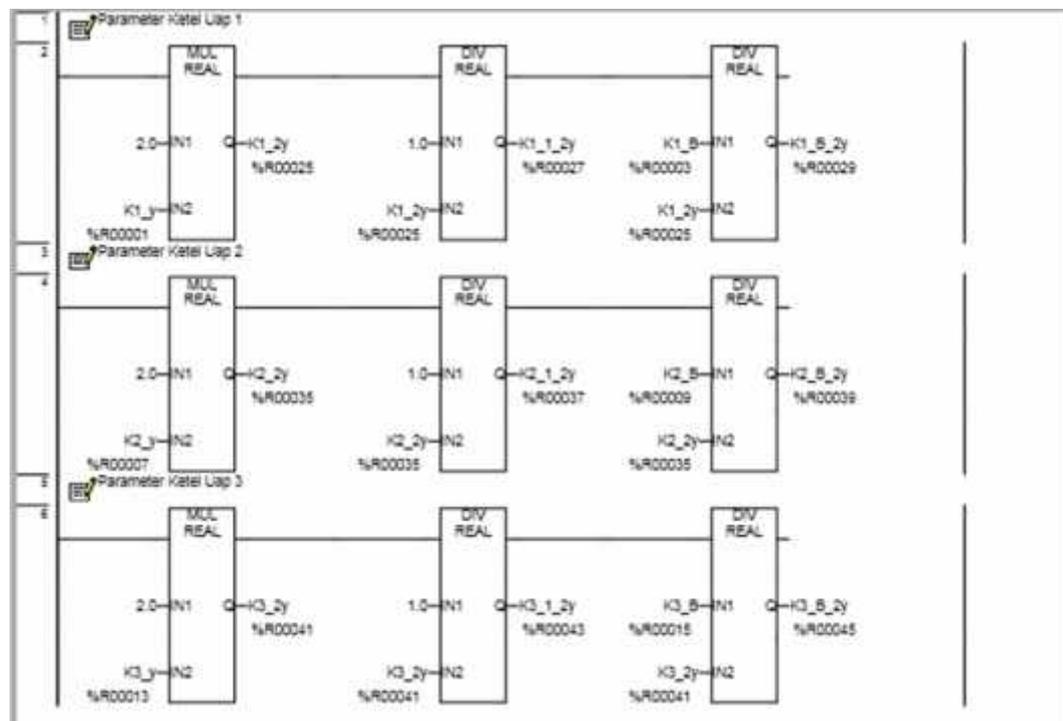
## 2. Nilai perhitungan lambda.

Untuk menentukan nilai lambda, perlu terlebih dahulu diketahui nilai – nilai parameter konstanta yang dibutuhkan. Adapun nilai konstanta yang harus diketahui terlebih seperti yang terlihat dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Nilai parameter konstanta untuk lambda.

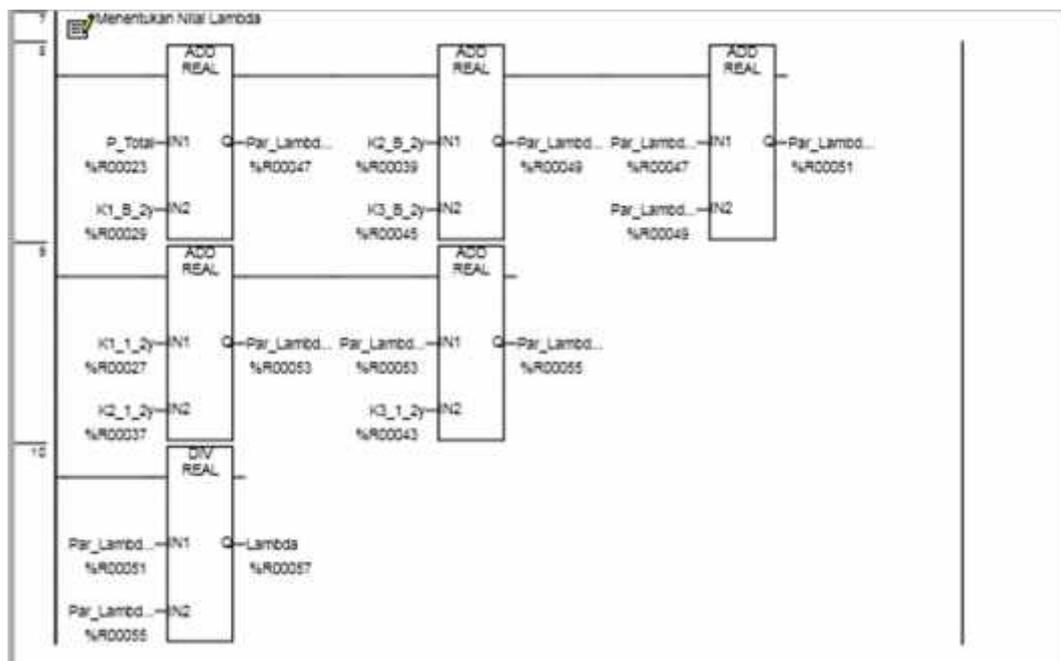
No.KU	2	1/2	/2
1	-2,68	-0,37	-61,29
2	-1,61	-0,62	134,64
3	-5,19	-0,19	-43,42

Parameter pada Tabel 4.8. jika diubah ke dalam bentuk *ladder diagram*, maka akan terlihat seperti Gambar 4.6.

Gambar 4.6. *Ladder diagram* parameter konstanta ketel uap.

Selanjutnya nilai lambda akan dihitung berdasarkan nilai parameter di atas. Formula yang akan digunakan adalah seperti Persamaan 4.6. Perintah ladder diagram yang digunakan adalah kombinasi dari penjumlahan dan pembagian,

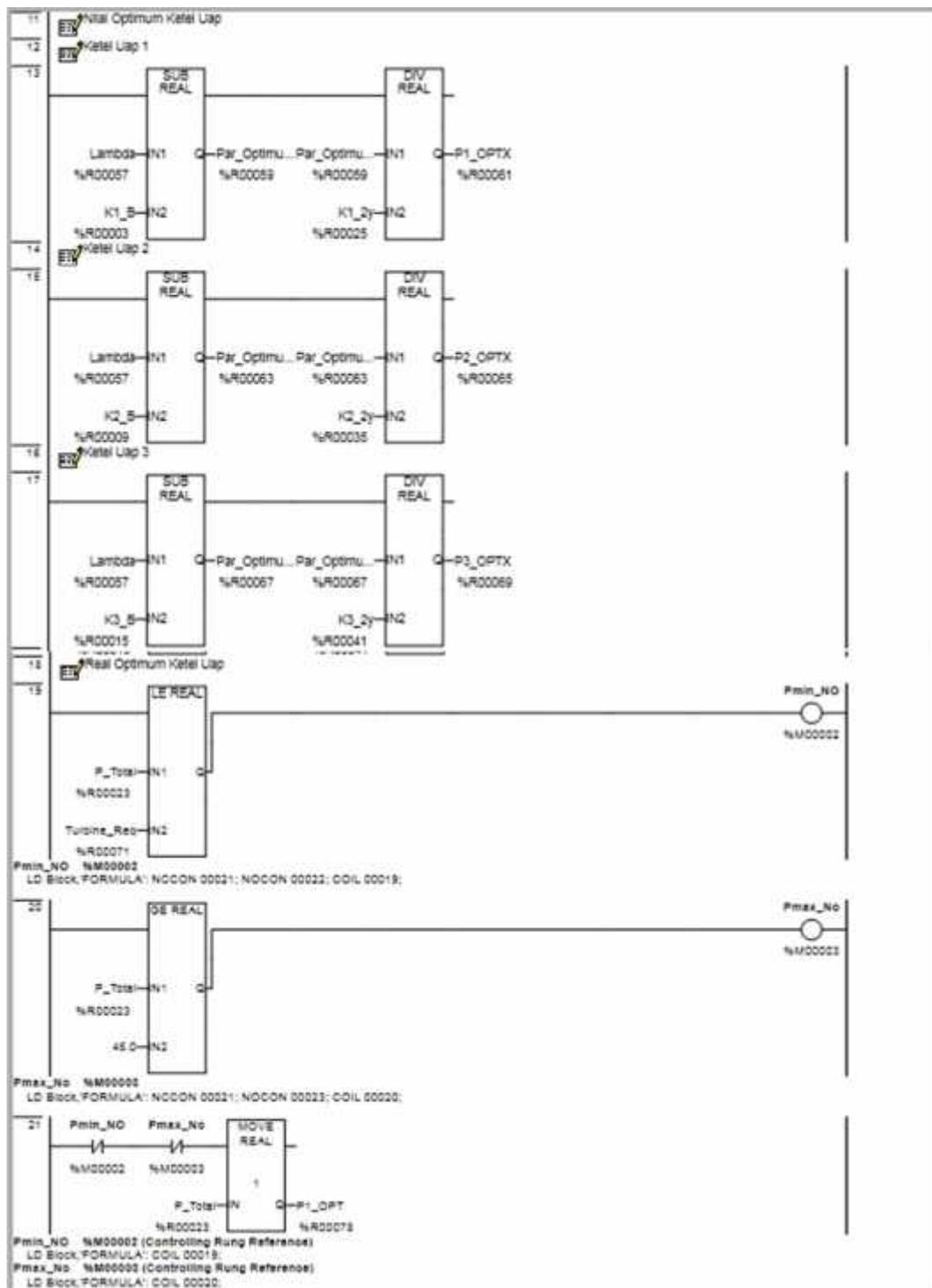
sehingga akan digunakan fungsi ADD REAL dan DIV REAL seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.

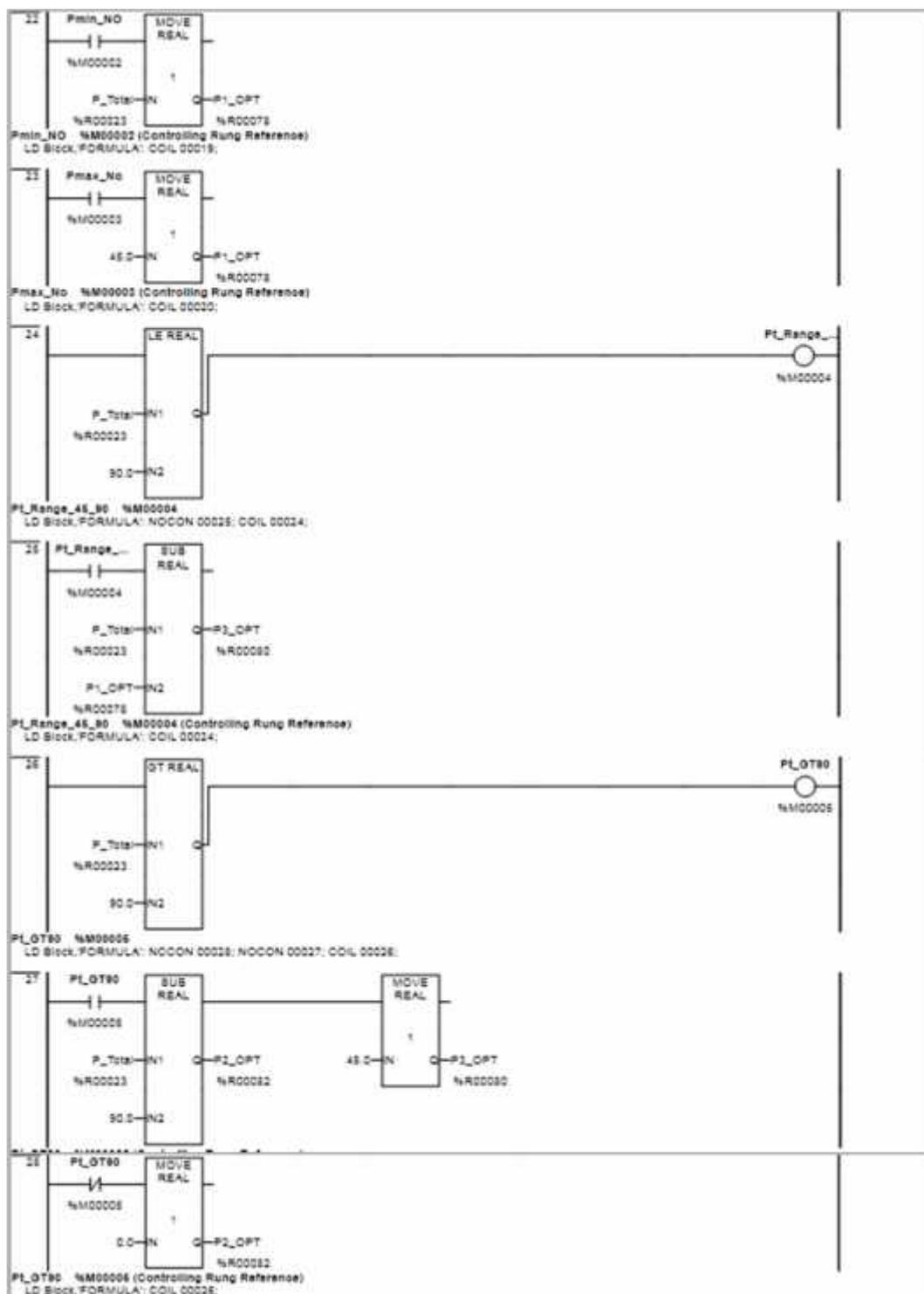


Gambar 4.7. Ladder diagram perhitungan lambda.

### 3. Nilai optimal keluaran ketel uap.

Bentuk *ladder diagram* dari nilai optimal keluaran ketel uap akan menggunakan kombinasi beberapa fungsi pengurangan (SUB REAL), pembagian (DIV REAL), fungsi – fungsi logika seperti LE REAL, GE REAL, GT REAL dan beberapa fungsi pemindahan MOVE REAL. Kombinasi dari *ladder diagram* tersebut dibentuk dari 18 baris program (*Rung*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.8..

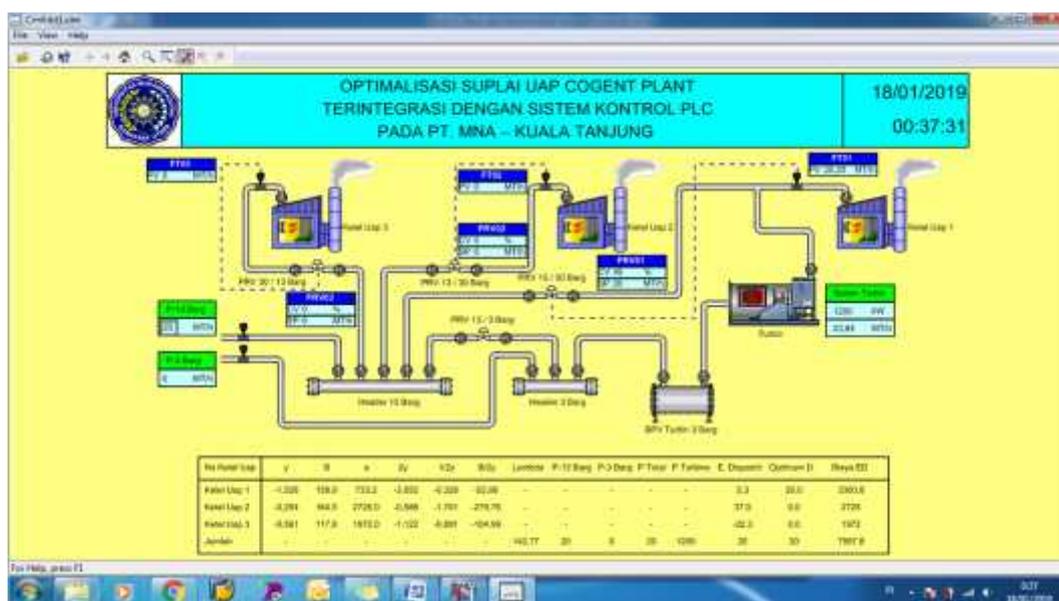




Gambar 4.8. Ladder diagram perhitungan nilai optimum keluaran ketel uap.

#### 4. Pengendalian aliran keluaran ketel uap.

Dalam dunia industri, PLC umumnya digunakan sebagai sebuah sistem kendali dari sebuah proses. Dalam penelitian ini, setelah dapat mengkalkulasikan *Economic Dispatch* maka langkah selanjutnya adalah menggunakan nilai optimal tersebut sebagai referensi untuk mengendalikan sistem atau jumlah keluaran uap dari masing – masing ketel uap dengan mengatur bukaan dari PRV (*Control Valve*). Gambar 4.9. memperlihatkan hubungan kendali tersebut dengan garis hubung putus – putus dari PRV menuju *flowmeter*.



Gambar 4.9. HMI sistem suplai uap.

Pada PRV terdapat 2 buah parameter yaitu, nilai bukaan *Control Valve* dari PRV yang ditunjukkan dalam satuan (%) dan dibawahnya adalah nilai Set Point (SP) dari hasil perhitungan *Economic Dispatch* yang ditunjukkan dalam satuan (MT/h) sebagai nilai referensi yang akan diikuti oleh PRV. Di sini akan ada 3

kondisi proses yang akan terjadi. Pertama adalah nilai referensi berada di bawah nilai aktual *Flowmeter*, pada kondisi ini *Control Valve* akan menutup atau nilainya akan turun ke nilai yang sesuai dengan nilai referensinya. Kedua, nilai referensi berada di atas nilai aktual *Flowmeter*, pada kondisi ini *Control Valve* akan membuka atau nilainya akan naik ke nilai yang menyesuaikan dengan nilai referensinya. Kondisi Ketiga, yaitu nilai referensi sama dengan nilai aktual *Flowmeter*, pada kondisi ini tidak ada respon berarti dari *Control Valve*.

#### **IV.B.3. Analisis Penggunaan Bahan Bakar**

Bagian selanjutnya adalah analisa penggunaan bahan bakar. Analisa dilakukan dengan membandingkan nilai actual dengan nilai perhitungan *Economic Dispatch*. Tabel di bawah ini menunjukkan perhitungan perbandingan kedua nilai penggunaan bahan bakar tersebut. Dari tabel tersebut dapat dilihat jika terdapat peluang penghematan dengan dilakukannya optimasi pembebanan untuk masing-masing ketel uap. Analisa yang dilakukan mengambil data dari 12 bulan terakhir (Juli 2017 – Juni 2018) yang menunjukkan jika ketel uap beroperasi bersama-sama dalam menyuplai beban uap di kawasan PT. Multimas Nabati Asahan Kuala Tanjung. Nilai penghematan yang mungkin dicapai untuk periode tersebut adalah sekitar 16,8%. Angka 16,8% ini setara dengan dengan 15.736.838 kg cangkang pertahun seperti yang terlihat pada Tabel 4.9. angka ini turun dari 93.394.600 kg cangkang yang digunakan menjadi 77.657.762 kg.

Tabel 4.9. Tabel perbandingan nilai actual dengan *Economic Dispatch* periode Juli 2017-Jun 2018.

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)	Peluang Penghematan Bahan Bakar (kg)
Jul-17	40,088	6,668,390	166.3	6,146,554	153.3	521,836
Agust-17	49,408	7,210,350	145.9	8,051,595	163.0	(841,245)
Sep-17	30,357	5,492,770	180.9	5,234,331	172.4	258,439
Okt-17	45,273	7,886,190	174.2	7,481,764	165.3	404,426
Nop-17	48,541	8,620,710	177.6	7,792,473	160.5	828,237
Des-17	30,452	6,782,630	222.7	5,571,898	183.0	1,210,732
Jan-18	29,836	7,396,700	247.9	5,459,186	183.0	1,937,514
Feb-18	37,604	7,371,920	196.0	5,392,881	143.4	1,979,039
Mar-18	32,109	6,830,550	212.7	5,656,832	176.2	1,173,718
Apr-18	41,087	10,810,700	263.1	6,789,776	165.3	4,020,924
Mei-18	40,318	9,189,660	227.9	6,492,885	161.0	2,696,775
Jun-18	48,119	9,134,030	189.8	7,587,590	157.7	1,546,440
<b>TOTAL</b>	<b>473,192</b>	<b>93,394,600</b>		<b>77,657,762</b>		<b>15,736,838</b>
<b>AVERAGE</b>	<b>39,433</b>	<b>7,782,883</b>		<b>6,471,480</b>		<b>1,311,403</b>
<b>Peluang Penghematan</b>						<b>16.8%</b>

#### IV.B.4. Analisa Ekonomi Penerapan *Economic Dispatch*

Dalam penerapan *Economic Dispatch* untuk optimalisasi suplai uap, terdapat aspek-aspek yang menguntungkan dari sisi ekonomis. Penghematan penggunaan bahan bakar seperti yang sudah dibahas pada bagian sebelumnya sebagai suatu bentuk meningkatnya nilai efisiensi bahan bakar. Jumlah penghematan bahan bakar ini dapat dikonversi ke sisi biaya sehingga masuk ke dalam area ekonomis. Jika diambil nilai penghematan 12 bulan terakhir (Juli 2017 – Juni 2018), dapat dilihat jika total biaya kebutuhan bahan bakar untuk ketiga ketel uap adalah sebesar Rp. 46.697.300.000,- turun menjadi Rp. 38.828.880.976,- sehingga peluang penghematan adalah sebesar Rp. 7.868.419.024,-.

Ditinjau dari sisi biaya produksi uap, juga terdapat penurunan biaya dari sisi biaya bahan bakar. Biaya bahan bakar berdasarkan data di lapangan adalah sebesar 100% per MT uap. Setelah dilakukan optimalisasi, biaya bahan bakar turun menjadi 90% per MT.

Tabel 4.10. Tabel perbandingan biaya untuk periode Jul 2017 - Juni 2018.

	Aktual	ED	Peluang Penghematan
Bahan Bakar Cangkang (kg)	93,394,600	77,657,762	15,736,838
Biaya (Rp)	46,697,300,000	38,828,880,976	7,868,419,024

Sedangkan dari sisi operasi, penambahan sistem ini tidak menimbulkan biaya apapun dikarenakan sistem berjalan secara otomatis dan tidak diperlukan peranan operator sehingga biaya pekerja tidak ada penambahan dan bahkan dalam penerapan sistem ini dapat mengurangi beban kerja operator, dengan penerapan

sistem ini operator tidak perlu lagi untuk memantau sistem suplai uap secara berkala dikarenakan sistem sudah berjalan secara otomatis. Sistem akan mengambil nilai beban sistem dan melakukan perhitungan serta pengendalian secara *realtime* dan ini berlangsung secara terus menerus.

## BAB V

### SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

#### V.A. Simpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi dengan PLC, didapatkan nilai optimal masing-masing ketel uap saat memikul beban uap sistem sebesar 76 MT adalah  $P_1 = 45$  MT,  $P_2 = 0$  dan  $P_3 = 31$  MT dengan nilai lambda sebesar 137,61 kg/MT sedangkan tanpa *Economic Dispatch* adalah  $P_1 = 32$  MT,  $P_2 = 16$  MT dan  $P_3 = 29$  MT. Disamping itu simulasi juga bisa berjalan secara *real time* dengan cara mengubah nilai beban uap sistem.
2. Dengan *Economic Dispatch*, terdapat peluang penghematan bahan bakar sebesar 16,8% yang setara dengan 15.736.838 kg selama periode Juli 2017 – Juni 2018, dimana sebelumnya digunakan 93.394.600 kg cangkang namun turun menjadi 77.657.762 kg cangkang untuk periode yang sama.
3. Secara ekonomis, terdapat peluang penghematan bahan bakar sebesar Rp. 7.868.419.024,- untuk periode Juli 2017 – Juni 2018, dimana biaya sebelum dioptimasi besar biayanya adalah Rp. 46.697.300.000,- dan turun menjadi Rp. 38.828.880.976,- setelah dilakukan optimasi. Dengan demikian biaya produksi uap dapat diturunkan sebesar 10,0%.

## **V.B. Implikasi**

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dikemukakan implikasi secara teoritis dan praktis.

### 1. Implikasi Teoritis

Pemilihan metode *Economic Dispatch* dapat berpengaruh secara langsung terhadap tingkat kesulitan pemograman PLC.

### 2. Implikasi Praktis

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan bagi perusahaan dalam meningkatkan dan mengembangkan peluang konservasi energi dari sektor pembangkit uap yang mungkin selama ini belum teridentifikasi dengan baik.

## **V.C. Saran**

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak potensi yang dapat digali lebih dalam dari penelitian ini, berikut beberapa saran sebagai referensi untuk penelitian lanjutan yang dapat dikembangkan dari penelitian ini.

1. Kendali aliran uap dapat memperhitungkan drop tekanan uap pada sisi distribusi.
2. Penggunaan kendali PID untuk memperhalus kinerja PRV.
3. Perhitungan biaya dapat menyertakan biaya *start up* ketel uap.
4. Mencoba metode *Economic Dispatch* lainnya dengan tipe PLC berbeda.
5. Mencoba untuk menggunakan metode optimasi lain utk diintegrasikan ke dalam PLC.

Saran untuk perusahaan, tempat penulis melakukan penelitian. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi untuk mendukung program efisiensi energi yang sudah dijalankan. Dengan menjalankan program ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi biaya bahan bakar ketel uap yang pada akhirnya dapat berpengaruh kepada biaya produksi di plant.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kristianto, H. Suyono, Wijoyono, “*Operasi Ekonomis Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Metode Iterasi Lambda Menggunakan Komputasi Parelel*” Universitas Brawijaya, vol. 2, No. 6, pp. 1-6, 2014.
- [2] H. Brannlund, S. Rahimi, J.O. Eriksson, M. Thorgrennd, “*Industrial Implementation of Economic Dispatch for Co-Generation System,*” *IEEE*, vol. -, No. -, pp. 1-7, 2012.
- [3] P. Marpaung dkk, *Modul Manajer Energi di Industri dan Gedung*, Jakarta, Kementerian ESDM, 2017.
- [4] Peraturan Tentang Konservasi Energi, PP No.70 Tahun 2009.
- [5] Permen ESDM Tentang Manajemen Energi No. 14 Tahun 2012.
- [6] SKKNI Tentang Manajer Energi No. 80 Tahun 2015.
- [7] HAKE, TUV Nord & ASSIST, *Pelatihan Manajer Energi*, Jakarta, 2013.
- [8] N. Harun, *Bahan Ajar Perancangan Pembangkitan Tenaga Listrik*, Makassar, Universitas Hasanuddin, 2011.
- [9] Jizhong Zhu, *Optimization of Power System Operation*, Redmond, IEEE, 2009.
- [10] Cekmas Cekdin, *Sistem Tenaga Listrik*, Palembang, Penerbit Andi, 2006.
- [11] O. Apriyahanda, “Pengertian Boiler (Ketel Uap),” *artikel-teknologi.com*, [Online]. Tersedia : <http://artikel-teknologi.com/pengertian-boiler-ketel-uap/>, [Diakses : 29 Oktober 2018].
- [12] Almuhtarom, P. Sasmoko, “Perancangan *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) Menggunakan *Software CX-Supervisor 3.1* pada Simulasi Sistem Listrik *Redundant* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) Omron CP1E NA-20-DRA,” *GemaTeknologi*, vol. 18, No. 2, pp. 88-94, 2015.
- [13] “*Uji Hipotesis*”, [Online]. Tersedia : [https://id.wikipedia.org/wiki/Uji\\_hipotesis](https://id.wikipedia.org/wiki/Uji_hipotesis), [Diakses : Maret 2020].
- [14] Akhmad Fauzy, *Statistik Industri*, Jakarta, Penerbit Erlangga, 2008.).
- [15] “*Hipotesis*”. Tersedia : <https://www.rumusstatistik.com/2019/05/pengujian-hipotesis.html>, [Diakses : Maret 2020].
- [16] M. Dewa, Nurhalim, “Perancangan Operasi Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBiogas) Di Kabupaten Kepulauan Meranti Menggunakan Metode *Economic Dispatch*,” *JOM FTeknik*, vol. 3, No. 2, pp. 1-5, Oktober 2016.
- [17] S. Kanata, “Pembangkitan Ekonomis pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Telaga Gorontalo Menggunakan Algoritma Genetika,” *jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 13, No. 3, pp. 119-124, Desember 2017.
- [18] Syafii, K.I. Putri, “Analisa Operasi Ekonomis Pembangkit Termal untuk Melayani Beban Puncak Sistem Kelistrikan Sumbar,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 7, No. 1, pp. 1-7, Maret 2018.

- [19] Z. Abidin, I. Robandi, R.S. Wibowo, “*Dynamic Economic Dispatch menggunakan Quadratic Programming,*” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1. No. 1, pp. 49-52, September 2012.
- [20] V. Kumar, J. Singh, Y. Singh, S. Sood, “*Optimal Economic Dispatch Using Genetic Algorithms,*” *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, vol. 9, No. 4, pp. 463 – 470. 2015.
- [21] S. Komsiyah, “Perbandingan Metode Gaussian Particle Swarm Optimization (GPSO) dan Lagrange Multiplier pada Masalah Economic Dispatch,” *Comtech*, vol. 3, No. 1, pp. 228-240, Juni 2012.
- [22] V. Costanza, P. S. Rivadeneira, “*Optimal Supervisory Control of Steam Generator Operating in Parallel,*” *Science Direct, Energy* 93, pp. 1819-1831, 2015.
- [23] A. Aruan, R. Siregar, H.R. Sitepu, “Analisis Persediaan dan Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar Pembangkit Listrik di PT. Pembangkit Listrik X,” *Saintia Matematika*, vol. 1, No. 2, pp. 151-160, 2013.
- [24] D. Ryashentseva, A. Luder, R. Rosendhal, “*An Optimization Approach Within Supervisor Architecture for Boiler Control,*” *IEEE*, 2015.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DEDY AGUSSYAH PUTRA, dilahirkan di Kota Sibolga pada hari Kamis, 15 Agustus 1985. Anak pertama dari pasangan Bahri Silitonga A.Md.Pd. dan Falentina Ciu. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Sekolah Dasar di SD Negeri 084085 di Kota Sibolga pada tahun 1997. Pada tahun ini juga penulis melanjutkan Pendidikan di SLTP Negeri 3 Kota Sibolga dan tamat pada tahun 2000 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Kejuruan di SMKTI Negeri 1 Sibolga-Tapteng pada tahun yang sama dan selesai pada tahun 2003. Pada tahun 2003, penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknologi Industri di salah satu perguruan tinggi di Kota Medan yaitu Institut Teknologi Medan dengan Program Studi Teknik Elektro. Penulis menyelesaikan kuliah strata satu (S1) pada tahun 2008. Setelah menyelesaikan Pendidikan S1, penulis terjun ke dunia Industri sebagai seorang *engineer* di bidang Teknik Elektro. Penulis juga sudah mengantongi beberapa sertifikat seperti, Ahli K3 Listrik, Auditor Energi, Manajer Energi, Sertifikat Kalibrasi, dll di bidang Teknik Elektro. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan Pendidikan strata dua (S2) pada Program Studi Magister Teknik Elektro di Universitas Sumatera Utara. Pada saat penulisan ini dibuat, penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa di universitas tersebut.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DEDY AGUSSYAH PUTRA, dilahirkan di Kota Sibolga pada hari Kamis, 15 Agustus 1985. Anak pertama dari pasangan Bahri Silitonga A.Md.Pd. dan Falentina Ciu. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Sekolah Dasar di SD Negeri 084085 di Kota Sibolga pada tahun 1997. Pada tahun ini juga penulis melanjutkan Pendidikan di SLTP Negeri 3 Kota Sibolga dan tamat pada tahun 2000 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Kejuruan di SMKTI Negeri 1 Sibolga-Tapteng pada tahun yang sama dan selesai pada tahun 2003. Pada tahun 2003, penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknologi Industri di salah satu perguruan tinggi di Kota Medan yaitu Institut Teknologi Medan dengan Program Studi Teknik Elektro. Penulis menyelesaikan kuliah strata satu (S1) pada tahun 2008. Setelah menyelesaikan Pendidikan S1, penulis terjun ke dunia Industri sebagai seorang *engineer* di bidang Teknik Elektro. Penulis juga sudah mengantongi beberapa sertifikat seperti, Ahli K3 Listrik, Auditor Energi, Manajer Energi, Sertifikat Kalibrasi, dll di bidang Teknik Elektro. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan Pendidikan strata dua (S2) pada Program Studi Magister Teknik Elektro di Universitas Sumatera Utara. Pada saat penulisan ini dibuat, penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa di universitas tersebut.

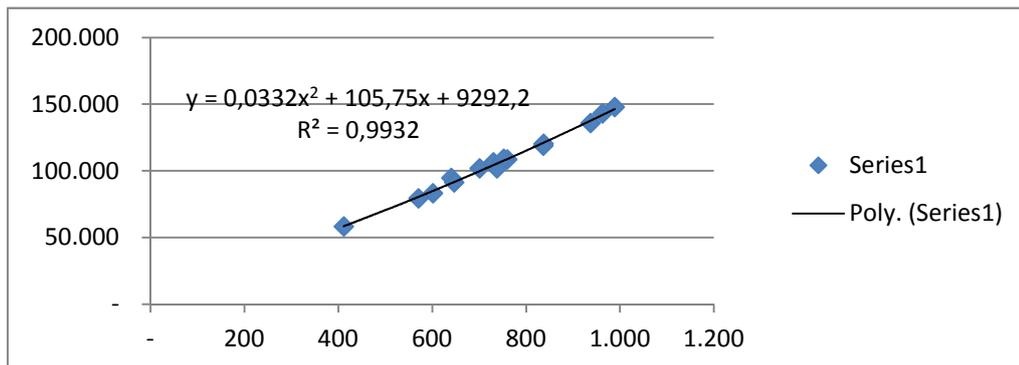
Avg 148,0  
 Stdev 58,1

**Ketel Uap 1**

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
14 Oktober 2017	641	94.600	147,6
15 Oktober 2017	731	106.480	145,7
19 Desember 2017	647	91.300	141,1
19 Januari 2018	602	83.160	138,1
21 Januari 2018	571	79.420	139,1
25 Januari 2018	760	108.460	142,7
06 Februari 2018	963	143.000	148,5
07 Februari 2018	989	147.840	149,5
08 Februari 2018	938	135.740	144,7
12 Juni 2018	838	120.340	143,6
18 Juni 2018	701	101.860	145,3
19 Juni 2018	753	109.120	144,9
20 Juni 2018	837	118.800	141,9
22 Juni 2018	412	58.300	141,5
26 Juni 2018	738	101.860	138,0

**Ketel Uap 2**

Tanggal
21 Agustus 2017
22 Agustus 2017
03 Nopember 2017
13 Desember 2017
15 Desember 2017
19 Desember 2017
29 Desember 2017
30 Desember 2017
31 Desember 2017
17 Mei 2018
23 Mei 2018
24 Mei 2018
26 Mei 2018
28 Mei 2018
30 Mei 2018



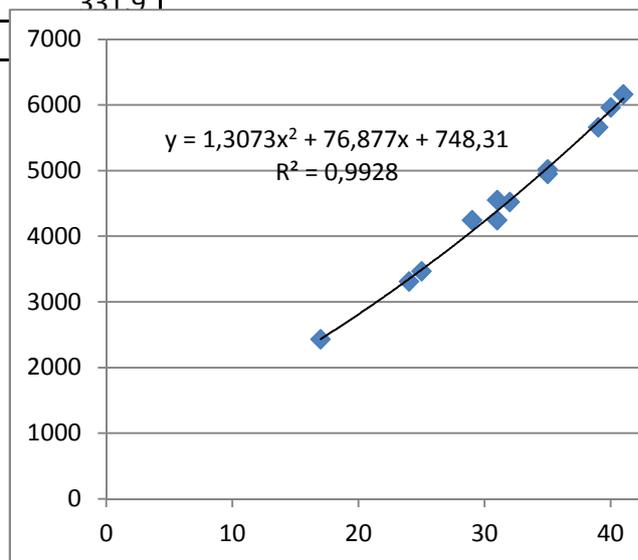
Avg 564,2  
 Stdev 1.856,6

**Ketel Uap 3**

Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
410	112.980	275,6
439	78.010	177,7
304	131.810	433,6
261	142.570	546,2
294	131.810	448,3
348	112.980	324,7
198	131.810	665,7
150	126.430	842,9
74	67.250	908,8
465	145.260	312,4
588	174.850	297,4
58	225.960	3.895,9
410	185.610	452,7
462	153.330	331,9
529	164.090	

Tanggal	Produksi Uap (MT)
04 September 2017	504
05 September 2017	536
19 Nopember 2017	682
05 Maret 2018	629
07 Maret 2018	910
12 Maret 2018	688
22 Maret 2018	334
23 Maret 2018	709
24 Maret 2018	760
25 Juni 2018	720

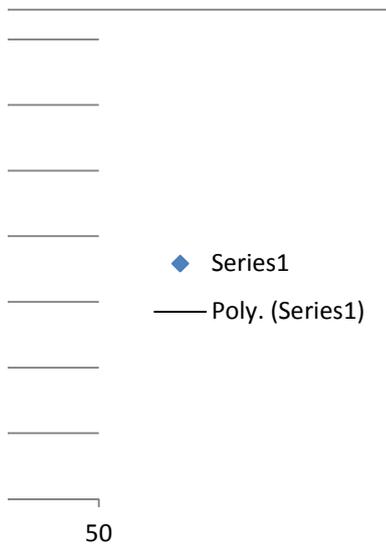
25	3.465
24	3.309
32	4.519
40	5.958
41	6.160
39	5.656
35	5.014
29	4.244
31	4.547
35	4.950
17	2.429
31	4.244



17	2429
24	3309
25	3465
29	4244
31	4547
31	4244
32	4519
35	5014
35	4950
39	5656
40	5958
41	6160

Avg 176,5  
Stdev 45,7

Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
112.350	222,9
118.770	221,6
131.610	193,0
116.630	185,4
145.520	159,9
132.680	192,8
119.840	358,8
126.260	178,1
125.190	164,7
107.000	148,6



Lampiran 1 : Data Produksi vs bahan bakar ketel uap

Monthly - Act Cap

Ketel Uap 1

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	11.027	1.076.460	97,6
Agust-17	16.105	1.770.120	109,9
Sep-17	-	-	-
Okt-17	21.005	2.195.160	104,5
Nop-17	22.717	2.268.860	99,9
Des-17	22.192	2.804.120	126,4
Jan-18	22.941	3.652.220	159,2
Feb-18	17.609	3.089.020	175,4
Mar-18	12.667	2.554.420	201,7
Apr-18	8.081	1.748.560	216,4
Mei-18	5.344	999.020	186,9
Jun-18	19.013	2.867.700	150,8
<b>Total</b>	<b>178.701</b>	<b>25.025.660</b>	<b>140,0</b>
<b>Average</b>	<b>16.246</b>	<b>2.275.060</b>	<b>140,0</b>

Ketel Uap 2

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	18.601	4.145.290	222,9
Agust-17	13.636	2.749.180	201,6
Sep-17	8.035	2.001.360	249,1
Okt-17	11.226	3.400.160	302,9
Nop-17	7.824	2.649.650	338,7
Des-17	8.260	3.978.510	481,7
Jan-18	6.895	3.744.480	543,1
Feb-18	5.219	1.767.330	338,6
Mar-18	1.021	745.130	729,8
Apr-18	17.264	6.004.080	347,8
Mei-18	15.052	4.855.450	322,6
Jun-18	10.152	2.759.940	271,9
<b>Total</b>	<b>123.185</b>	<b>38.800.560</b>	<b>315,0</b>
<b>Average</b>	<b>10.265</b>	<b>3.233.380</b>	<b>315,0</b>

Ketel Uap 3

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	10.460	1.446.640	138,3
Agust-17	19.667	2.691.050	136,8
Sep-17	22.322	3.491.410	156,4
Okt-17	13.042	2.290.870	175,7
Nop-17	18.000	3.702.200	205,7
Des-17	-	-	-
Jan-18	-	-	-
Feb-18	14.776	2.515.570	170,2
Mar-18	18.421	3.531.000	191,7
Apr-18	15.742	3.058.060	194,3
Mei-18	19.922	3.335.190	167,4
Jun-18	18.954	3.506.390	185,0
<b>Total</b>	<b>171.306</b>	<b>29.568.380</b>	<b>172,6</b>
<b>Average</b>	<b>17.131</b>	<b>2.956.838</b>	<b>172,6</b>

3 Ketel Uap

Tanggal	Produksi Uap (MT)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	40.088	6.668.390	166,3
Agust-17	49.408	7.210.350	145,9
Sep-17	30.357	5.492.770	180,9
Okt-17	45.273	7.886.190	174,2
Nop-17	48.541	8.620.710	177,6
Des-17	30.452	6.782.630	222,7
Jan-18	29.836	7.396.700	247,9
Feb-18	37.604	7.371.920	196,0
Mar-18	32.109	6.830.550	212,7
Apr-18	41.087	10.810.700	263,1
Mei-18	40.318	9.189.660	227,9
Jun-18	48.119	9.134.030	189,8
<b>Total</b>	<b>473.192</b>	<b>93.394.600</b>	<b>197,4</b>
<b>Average</b>	<b>39.433</b>	<b>7.782.883</b>	<b>197,4</b>

Monthly - Act Flowrate

Ketel Uap 1

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	31	2.990	97,6
Agust-17	29	3.207	109,9
Sep-17	-	-	-
Okt-17	29	3.049	104,5
Nop-17	32	3.151	99,9
Des-17	30	3.769	126,4
Jan-18	31	4.909	159,2
Feb-18	28	4.950	175,4
Mar-18	18	3.670	201,7
Apr-18	20	4.286	216,4
Mei-18	28	5.203	186,9
Jun-18	28	4.267	150,8
<b>Average</b>			<b>135,7</b>

Ketel Uap 2

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	25	5.572	222,9
Agust-17	18	3.695	201,6
Sep-17	15	3.790	249,1
Okt-17	16	4.722	302,9
Nop-17	16	5.257	338,7
Des-17	11	5.347	481,7
Jan-18	11	5.779	543,1
Feb-18	27	9.205	338,6
Mar-18	9	6.209	729,8
Apr-18	25	8.627	347,8
Mei-18	21	6.744	322,6
Jun-18	24	6.389	271,9
<b>Average</b>			<b>362,5</b>

Ketel Uap 3

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	26	3.546	138,3
Agust-17	26	3.617	136,8
Sep-17	31	4.849	156,4
Okt-17	27	4.773	175,7
Nop-17	29	5.933	205,7
Des-17	-	-	-
Jan-18	-	-	-
Feb-18	32	5.517	170,2
Mar-18	26	5.073	191,7
Apr-18	27	5.309	194,3
Mei-18	27	4.483	167,4
Jun-18	26	4.870	185,0
<b>Average</b>			<b>143,5</b>

3 Ketel Uap

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)	Rasio (kG/MT)
Jul-17	81	12.107	149,0
Agust-17	74	10.519	142,3
Sep-17	46	8.640	186,9
Okt-17	72	12.544	174,4
Nop-17	76	14.341	188,9
Des-17	41	9.116	222,7
Jan-18	41	10.687	257,7
Feb-18	88	19.672	224,0
Mar-18	53	14.953	281,2
Apr-18	72	18.221	253,3
Mei-18	76	16.430	217,6
Jun-18	78	15.526	198,8
<b>Average</b>			<b>208,1</b>

**Ketel Uap 1**

Tanggal	Rasio (kG/MT)	Rasio^2 (kG/MT)
01 Juli 2017	87,37	7.633,77
02 Juli 2017	80,36	6.457,61
03 Juli 2017	126,85	16.090,12
04 Juli 2017	112,73	12.707,44
05 Juli 2017	102,39	10.483,02
06 Juli 2017	88,66	7.861,37
07 Juli 2017	73,04	5.334,50
08 Juli 2017	91,01	8.281,94
09 Juli 2017	84,64	7.163,41
10 Juli 2017	55,50	3.079,75
11 Juli 2017	103,07	10.622,58
12 Juli 2017	100,27	10.054,50
13 Juli 2017	101,30	10.261,09
14 Juli 2017	118,87	14.130,85
15 Juli 2017	135,76	18.431,80
01 Agustus 2017	130,26	16.968,49
02 Agustus 2017	118,36	14.010,14
03 Agustus 2017	116,56	13.586,31
04 Agustus 2017	135,85	18.453,94
05 Agustus 2017	98,31	9.664,98
06 Agustus 2017	107,02	11.453,06
07 Agustus 2017	108,30	11.728,49
08 Agustus 2017	108,50	11.772,55
09 Agustus 2017	105,82	11.196,86
10 Agustus 2017	108,02	11.668,78
11 Agustus 2017	90,82	8.248,79
12 Agustus 2017	108,44	11.758,69
13 Agustus 2017	100,92	10.185,47
14 Agustus 2017	105,65	11.161,86
15 Agustus 2017	94,60	8.949,16
16 Agustus 2017	108,72	11.819,16
17 Agustus 2017	125,41	15.726,96
18 Agustus 2017	112,77	12.717,77
19 Agustus 2017	87,31	7.623,47
20 Agustus 2017	125,67	15.793,05
21 Agustus 2017	117,12	13.716,54
22 Agustus 2017	121,11	14.668,30
23 Agustus 2017	97,28	9.463,19
01 Oktober 2017	123,68	15.297,57
02 Oktober 2017	132,18	17.472,50
03 Oktober 2017	101,99	10.402,18
04 Oktober 2017	77,67	6.032,19
05 Oktober 2017	80,60	6.495,82
06 Oktober 2017	79,47	6.316,07
07 Oktober 2017	73,61	5.418,14
08 Oktober 2017	98,26	9.654,09
09 Oktober 2017	102,33	10.470,52
10 Oktober 2017	68,13	4.641,78

**Ketel Uap 2**

Tanggal
01 Juli 2017
02 Juli 2017
03 Juli 2017
04 Juli 2017
05 Juli 2017
06 Juli 2017
07 Juli 2017
08 Juli 2017
09 Juli 2017
10 Juli 2017
11 Juli 2017
12 Juli 2017
13 Juli 2017
14 Juli 2017
15 Juli 2017
16 Juli 2017
17 Juli 2017
18 Juli 2017
19 Juli 2017
20 Juli 2017
21 Juli 2017
22 Juli 2017
23 Juli 2017
24 Juli 2017
25 Juli 2017
26 Juli 2017
27 Juli 2017
28 Juli 2017
29 Juli 2017
30 Juli 2017
31 Juli 2017
01 Agustus 2017
02 Agustus 2017
03 Agustus 2017
04 Agustus 2017
05 Agustus 2017
06 Agustus 2017
07 Agustus 2017
08 Agustus 2017
09 Agustus 2017
10 Agustus 2017
11 Agustus 2017
12 Agustus 2017
13 Agustus 2017
14 Agustus 2017
15 Agustus 2017
16 Agustus 2017
17 Agustus 2017

11 Oktober 2017	52,83	2.791,08
12 Oktober 2017	67,16	4.510,18
13 Oktober 2017	151,92	23.078,73
14 Oktober 2017	147,58	21.780,42
15 Oktober 2017	145,66	21.217,85
16 Oktober 2017	156,14	24.379,35
17 Oktober 2017	171,41	29.381,12
18 Oktober 2017	170,88	29.198,85
19 Oktober 2017	47,51	2.257,54
21 Oktober 2017	115,21	13.273,09
22 Oktober 2017	134,17	18.001,70
23 Oktober 2017	113,63	12.910,95
24 Oktober 2017	101,31	10.264,02
25 Oktober 2017	92,28	8.515,53
26 Oktober 2017	114,17	13.035,06
27 Oktober 2017	101,24	10.248,85
28 Oktober 2017	116,75	13.629,46
29 Oktober 2017	61,85	3.824,95
30 Oktober 2017	81,29	6.608,26
31 Oktober 2017	96,25	9.264,06
01 Nopember 2017	117,00	13.688,05
02 Nopember 2017	113,18	12.809,53
03 Nopember 2017	133,57	17.841,33
04 Nopember 2017	103,69	10.752,09
05 Nopember 2017	109,70	12.033,43
06 Nopember 2017	89,55	8.019,28
07 Nopember 2017	74,57	5.560,06
08 Nopember 2017	71,86	5.163,93
09 Nopember 2017	75,91	5.762,02
10 Nopember 2017	78,15	6.107,65
11 Nopember 2017	81,53	6.647,87
12 Nopember 2017	110,70	12.255,03
13 Nopember 2017	104,95	11.013,87
14 Nopember 2017	75,28	5.666,85
15 Nopember 2017	62,96	3.963,59
16 Nopember 2017	167,81	28.160,62
17 Nopember 2017	172,36	29.708,28
18 Nopember 2017	129,56	16.785,54
19 Nopember 2017	116,02	13.460,62
20 Nopember 2017	117,57	13.821,80
21 Nopember 2017	81,31	6.611,74
22 Nopember 2017	77,20	5.960,22
23 Nopember 2017	57,68	3.326,88
24 Nopember 2017	60,96	3.716,09
25 Nopember 2017	42,97	1.846,10
26 Nopember 2017	74,53	5.555,25
27 Nopember 2017	127,88	16.352,43
28 Nopember 2017	109,73	12.039,58
29 Nopember 2017	121,99	14.881,08
30 Nopember 2017	124,73	15.558,67

18 Agustus 2017
19 Agustus 2017
20 Agustus 2017
21 Agustus 2017
22 Agustus 2017
23 Agustus 2017
24 Agustus 2017
25 Agustus 2017
26 Agustus 2017
27 Agustus 2017
28 Agustus 2017
29 Agustus 2017
30 Agustus 2017
31 Agustus 2017
01 September 2017
02 September 2017
03 September 2017
04 September 2017
05 September 2017
06 September 2017
07 September 2017
08 September 2017
09 September 2017
18 September 2017
19 September 2017
20 September 2017
21 September 2017
22 September 2017
23 September 2017
24 September 2017
25 September 2017
26 September 2017
27 September 2017
28 September 2017
29 September 2017
30 September 2017
01 Oktober 2017
02 Oktober 2017
03 Oktober 2017
04 Oktober 2017
05 Oktober 2017
06 Oktober 2017
07 Oktober 2017
08 Oktober 2017
09 Oktober 2017
10 Oktober 2017
11 Oktober 2017
12 Oktober 2017
14 Oktober 2017
15 Oktober 2017

01 Desember 2017	89,23	7.961,13
02 Desember 2017	88,37	7.808,49
03 Desember 2017	88,68	7.864,96
04 Desember 2017	89,00	7.920,24
05 Desember 2017	90,68	8.222,71
06 Desember 2017	88,20	7.779,12
07 Desember 2017	137,15	18.809,28
08 Desember 2017	104,55	10.931,10
09 Desember 2017	116,97	13.680,89
10 Desember 2017	128,64	16.547,70
11 Desember 2017	107,57	11.571,52
12 Desember 2017	100,12	10.024,78
13 Desember 2017	103,03	10.615,98
14 Desember 2017	96,65	9.340,72
15 Desember 2017	103,44	10.699,32
16 Desember 2017	88,00	7.744,00
17 Desember 2017	91,84	8.434,22
18 Desember 2017	65,88	4.339,61
19 Desember 2017	141,11	19.912,83
20 Desember 2017	154,41	23.841,65
21 Desember 2017	111,48	12.428,34
22 Desember 2017	178,95	32.021,62
23 Desember 2017	200,90	40.359,71
24 Desember 2017	182,57	33.330,44
25 Desember 2017	158,43	25.101,30
26 Desember 2017	170,55	29.087,46
27 Desember 2017	169,77	28.822,43
28 Desember 2017	157,78	24.895,61
29 Desember 2017	172,08	29.610,16
30 Desember 2017	180,88	32.718,43
31 Desember 2017	174,14	30.326,11
01 Januari 2018	136,03	18.504,93
02 Januari 2018	127,34	16.215,28
03 Januari 2018	150,61	22.683,17
04 Januari 2018	204,59	41.855,43
05 Januari 2018	191,67	36.736,11
06 Januari 2018	161,77	26.170,33
07 Januari 2018	178,71	31.938,39
08 Januari 2018	169,00	28.561,91
09 Januari 2018	219,10	48.005,70
10 Januari 2018	199,11	39.644,40
11 Januari 2018	188,94	35.698,77
12 Januari 2018	173,88	30.234,09
13 Januari 2018	167,95	28.207,61
14 Januari 2018	167,85	28.174,89
15 Januari 2018	128,56	16.528,32
16 Januari 2018	126,08	15.895,04
17 Januari 2018	121,94	14.868,26
18 Januari 2018	135,96	18.484,92
19 Januari 2018	138,14	19.082,53

16 Oktober 2017
17 Oktober 2017
18 Oktober 2017
19 Oktober 2017
20 Oktober 2017
21 Oktober 2017
22 Oktober 2017
23 Oktober 2017
24 Oktober 2017
25 Oktober 2017
26 Oktober 2017
27 Oktober 2017
28 Oktober 2017
29 Oktober 2017
30 Oktober 2017
31 Oktober 2017
01 Nopember 2017
02 Nopember 2017
03 Nopember 2017
04 Nopember 2017
05 Nopember 2017
06 Nopember 2017
07 Nopember 2017
08 Nopember 2017
14 Nopember 2017
19 Nopember 2017
20 Nopember 2017
21 Nopember 2017
22 Nopember 2017
23 Nopember 2017
24 Nopember 2017
25 Nopember 2017
26 Nopember 2017
27 Nopember 2017
28 Nopember 2017
29 Nopember 2017
30 Nopember 2017
01 Desember 2017
02 Desember 2017
03 Desember 2017
04 Desember 2017
05 Desember 2017
06 Desember 2017
07 Desember 2017
08 Desember 2017
09 Desember 2017
10 Desember 2017
11 Desember 2017
12 Desember 2017
13 Desember 2017

20 Januari 2018	156,69	24.552,97
21 Januari 2018	139,09	19.345,84
22 Januari 2018	173,80	30.206,44
23 Januari 2018	117,11	13.713,64
24 Januari 2018	127,61	16.284,91
25 Januari 2018	142,71	20.366,29
26 Januari 2018	191,46	36.657,30
27 Januari 2018	184,80	34.151,04
28 Januari 2018	183,33	33.611,11
29 Januari 2018	136,34	18.588,06
30 Januari 2018	129,22	16.697,64
31 Januari 2018	127,38	16.226,63
01 Februari 2018	133,36	17.783,65
02 Februari 2018	125,31	15.701,96
03 Februari 2018	112,26	12.601,21
06 Februari 2018	148,49	22.050,55
07 Februari 2018	149,48	22.345,56
08 Februari 2018	144,71	20.941,61
09 Februari 2018	177,72	31.582,64
10 Februari 2018	188,29	35.453,43
11 Februari 2018	193,95	37.615,58
12 Februari 2018	197,78	39.117,98
13 Februari 2018	201,86	40.745,71
14 Februari 2018	190,04	36.116,97
15 Februari 2018	210,85	44.458,00
16 Februari 2018	311,32	96.920,61
17 Februari 2018	191,85	36.805,79
18 Februari 2018	213,01	45.371,82
19 Februari 2018	199,64	39.854,27
20 Februari 2018	190,83	36.415,04
21 Februari 2018	187,92	35.312,67
22 Februari 2018	187,13	35.018,58
23 Februari 2018	182,14	33.174,81
24 Februari 2018	196,62	38.660,36
25 Februari 2018	344,86	118.931,78
26 Februari 2018	185,22	34.307,70
27 Februari 2018	185,44	34.387,28
28 Februari 2018	176,55	31.169,50
01 Maret 2018	185,86	34.544,71
02 Maret 2018	128,98	16.637,07
03 Maret 2018	105,27	11.080,89
04 Maret 2018	366,67	134.444,44
05 Maret 2018	159,89	25.563,96
06 Maret 2018	187,33	35.091,30
07 Maret 2018	215,38	46.390,53
08 Maret 2018	156,84	24.599,45
09 Maret 2018	160,44	25.739,93
10 Maret 2018	117,83	13.884,03
11 Maret 2018	230,05	52.921,01
12 Maret 2018	189,36	35.856,13

14 Desember 2017
15 Desember 2017
16 Desember 2017
17 Desember 2017
18 Desember 2017
19 Desember 2017
20 Desember 2017
21 Desember 2017
22 Desember 2017
23 Desember 2017
24 Desember 2017
25 Desember 2017
26 Desember 2017
27 Desember 2017
28 Desember 2017
29 Desember 2017
30 Desember 2017
31 Desember 2017
02 Januari 2018
03 Januari 2018
04 Januari 2018
05 Januari 2018
06 Januari 2018
07 Januari 2018
08 Januari 2018
09 Januari 2018
10 Januari 2018
11 Januari 2018
12 Januari 2018
13 Januari 2018
14 Januari 2018
15 Januari 2018
16 Januari 2018
17 Januari 2018
18 Januari 2018
19 Januari 2018
20 Januari 2018
21 Januari 2018
25 Januari 2018
26 Januari 2018
27 Januari 2018
28 Januari 2018
29 Januari 2018
30 Januari 2018
31 Januari 2018
01 Februari 2018
02 Februari 2018
03 Februari 2018
06 Februari 2018
07 Februari 2018

13 Maret 2018	190,78	36.397,49
14 Maret 2018	209,73	43.988,07
15 Maret 2018	251,05	63.027,42
16 Maret 2018	199,96	39.984,50
17 Maret 2018	214,86	46.165,95
18 Maret 2018	275,38	75.832,33
19 Maret 2018	203,46	41.394,05
20 Maret 2018	236,33	55.849,55
21 Maret 2018	218,50	47.741,50
22 Maret 2018	160,72	25.830,46
23 Maret 2018	299,20	89.520,64
24 Maret 2018	244,21	59.638,78
25 Maret 2018	377,14	142.236,73
28 Maret 2018	239,38	57.301,94
29 Maret 2018	191,15	36.537,38
30 Maret 2018	212,79	45.280,65
31 Maret 2018	232,75	54.172,04
01 April 2018	206,31	42.565,53
02 April 2018	185,66	34.468,48
03 April 2018	231,89	53.773,85
04 April 2018	279,29	78.003,34
05 April 2018	300,61	90.366,79
06 April 2018	187,31	35.084,75
07 April 2018	198,49	39.398,92
09 April 2018	199,07	39.627,44
10 April 2018	262,17	68.731,36
11 April 2018	255,23	65.143,03
12 April 2018	202,75	41.108,92
13 April 2018	165,64	27.435,64
14 April 2018	335,34	112.452,79
15 April 2018	216,72	46.966,01
16 April 2018	205,74	42.329,25
17 April 2018	211,18	44.598,35
18 April 2018	106,80	11.405,41
24 Mei 2018	219,14	48.023,35
25 Mei 2018	190,96	36.464,19
26 Mei 2018	128,62	16.541,92
27 Mei 2018	202,37	40.954,78
28 Mei 2018	200,92	40.370,08
29 Mei 2018	195,32	38.149,34
30 Mei 2018	188,40	35.493,73
31 Mei 2018	175,20	30.693,86
01 Juni 2018	179,17	32.101,17
02 Juni 2018	220,00	48.400,00
03 Juni 2018	109,36	11.959,30
04 Juni 2018	183,05	33.506,65
05 Juni 2018	182,88	33.443,96
06 Juni 2018	254,12	64.576,74
07 Juni 2018	212,08	44.977,32
08 Juni 2018	261,79	68.532,80

08 Februari 2018
09 Februari 2018
10 Februari 2018
26 Maret 2018
27 Maret 2018
28 Maret 2018
29 Maret 2018
30 Maret 2018
02 April 2018
03 April 2018
04 April 2018
05 April 2018
06 April 2018
07 April 2018
08 April 2018
09 April 2018
10 April 2018
11 April 2018
12 April 2018
13 April 2018
14 April 2018
15 April 2018
16 April 2018
17 April 2018
18 April 2018
19 April 2018
20 April 2018
21 April 2018
22 April 2018
23 April 2018
24 April 2018
25 April 2018
26 April 2018
27 April 2018
28 April 2018
29 April 2018
30 April 2018
01 Mei 2018
02 Mei 2018
03 Mei 2018
04 Mei 2018
05 Mei 2018
06 Mei 2018
07 Mei 2018
08 Mei 2018
09 Mei 2018
10 Mei 2018
11 Mei 2018
12 Mei 2018
13 Mei 2018

09 Juni 2018	159,26	25.364,27
10 Juni 2018	151,43	22.932,05
11 Juni 2018	39,25	1.540,47
12 Juni 2018	143,60	20.622,06
13 Juni 2018	156,55	24.506,39
14 Juni 2018	171,97	29.572,53
15 Juni 2018	161,62	26.121,32
16 Juni 2018	188,90	35.681,91
17 Juni 2018	161,86	26.197,73
18 Juni 2018	145,31	21.114,04
19 Juni 2018	144,91	20.999,97
20 Juni 2018	141,94	20.145,68
21 Juni 2018	122,97	15.121,23
22 Juni 2018	141,50	20.023,62
25 Juni 2018	164,63	27.101,67
26 Juni 2018	138,02	19.049,98
27 Juni 2018	117,91	13.902,87
28 Juni 2018	107,61	11.580,29
29 Juni 2018	102,72	10.551,94
30 Juni 2018	79,27	6.284,44

$\sum X$  39.667,15  
 $(\sum X)^2$  1.573.482.437,15  
 $\sum X^2$  6.773.576,45  
 $k = 95\%$  2  
 $s$  10%

14 Mei 2018
15 Mei 2018
16 Mei 2018
17 Mei 2018
18 Mei 2018
19 Mei 2018
20 Mei 2018
21 Mei 2018
22 Mei 2018
23 Mei 2018
24 Mei 2018
26 Mei 2018
27 Mei 2018
28 Mei 2018
29 Mei 2018
30 Mei 2018
31 Mei 2018
01 Juni 2018
02 Juni 2018
03 Juni 2018
04 Juni 2018
05 Juni 2018
06 Juni 2018
07 Juni 2018
08 Juni 2018
09 Juni 2018
10 Juni 2018
11 Juni 2018
22 Juni 2018
23 Juni 2018
24 Juni 2018
25 Juni 2018
28 Juni 2018
29 Juni 2018
30 Juni 2018

$\sum X$   
 $(\sum X)^2$   
 $\sum X^2$   
 $k = 95\%$   
 $s$

**Pengujian Data:**

Ketel Uap 1

N = 268

Ketel Uap 2

N =

N' = 61,48

Data Cukup? CUKUP

N' =

Data Cukup?

Rasio (kG/MT)	Rasio^2 (kG/MT)
195,46	38.202,92
213,07	45.398,53
186,16	34.655,24
183,20	33.562,57
155,08	24.049,06
150,81	22.743,16
119,20	14.208,07
198,47	39.391,01
229,80	52.807,58
221,58	49.095,54
202,28	40.918,14
260,44	67.830,35
287,48	82.645,28
222,38	49.454,97
178,67	31.923,54
342,36	117.212,86
233,13	54.351,15
297,24	88.350,17
295,47	87.301,99
435,04	189.260,18
255,88	65.473,58
242,01	58.567,35
221,02	48.850,74
350,49	122.842,26
270,35	73.090,07
268,35	72.009,31
234,32	54.906,12
252,37	63.688,97
261,91	68.595,12
163,19	26.630,92
134,50	18.090,25
142,38	20.272,59
139,85	19.557,21
124,75	15.563,47
221,68	49.141,97
187,67	35.221,69
223,26	49.844,63
287,28	82.530,69
300,65	90.388,65
226,05	51.098,79
243,56	59.322,14
261,43	68.346,81
166,78	27.815,57
209,22	43.773,94
206,54	42.660,75
190,16	36.158,99
241,08	58.121,93
271,72	73.830,22

### Ketel Uap 3

Tanggal	Rasio (kG/MT)
15 Juli 2017	180,87
16 Juli 2017	113,75
17 Juli 2017	155,98
18 Juli 2017	65,07
19 Juli 2017	139,43
20 Juli 2017	120,85
21 Juli 2017	146,60
22 Juli 2017	138,43
23 Juli 2017	138,27
24 Juli 2017	119,76
25 Juli 2017	174,50
26 Juli 2017	142,11
27 Juli 2017	132,84
28 Juli 2017	119,32
29 Juli 2017	163,47
30 Juli 2017	166,31
31 Juli 2017	162,55
01 Agustus 2017	133,33
02 Agustus 2017	145,42
03 Agustus 2017	170,49
04 Agustus 2017	122,74
05 Agustus 2017	114,11
06 Agustus 2017	122,29
07 Agustus 2017	125,42
08 Agustus 2017	153,27
09 Agustus 2017	153,99
10 Agustus 2017	169,68
11 Agustus 2017	115,87
12 Agustus 2017	129,89
13 Agustus 2017	136,24
14 Agustus 2017	129,07
15 Agustus 2017	122,50
16 Agustus 2017	140,12
17 Agustus 2017	109,43
18 Agustus 2017	139,42
19 Agustus 2017	140,39
20 Agustus 2017	148,72
21 Agustus 2017	140,39
22 Agustus 2017	118,00
23 Agustus 2017	136,96
24 Agustus 2017	162,12
25 Agustus 2017	141,42
26 Agustus 2017	116,99
27 Agustus 2017	99,20
28 Agustus 2017	110,21
29 Agustus 2017	147,26
30 Agustus 2017	138,94
31 Agustus 2017	230,96

244,55	59.802,48
167,57	28.080,97
504,38	254.394,14
275,56	75.933,85
177,70	31.577,05
170,49	29.067,85
228,56	52.240,63
151,06	22.818,61
129,27	16.710,15
228,24	52.094,60
165,64	27.436,74
312,23	97.488,91
170,12	28.940,33
147,55	21.771,81
154,92	24.000,66
238,83	57.040,62
440,98	194.466,54
237,56	56.434,01
212,82	45.290,84
262,44	68.874,24
194,93	37.996,74
329,60	108.639,29
224,84	50.551,15
1.822,26	3.320.624,45
205,17	42.094,52
224,73	50.505,45
460,13	211.721,07
377,26	142.322,16
323,32	104.534,08
256,91	66.002,81
160,22	25.670,27
196,51	38.616,08
208,19	43.341,98
270,94	73.405,91
270,69	73.274,06
302,95	91.779,58
280,02	78.409,56
260,32	67.767,85
213,93	45.767,01
237,23	56.277,29
272,47	74.238,69
350,02	122.516,87
317,61	100.878,94
402,04	161.634,59
425,58	181.120,11
316,78	100.347,07
238,05	56.669,28
343,11	117.726,01
529,18	280.031,82
355,57	126.433,38

01 September 2017	157,68
02 September 2017	180,23
03 September 2017	160,50
04 September 2017	222,92
05 September 2017	221,59
06 September 2017	167,73
07 September 2017	177,36
08 September 2017	179,73
09 September 2017	190,69
10 September 2017	188,12
11 September 2017	134,77
12 September 2017	138,38
13 September 2017	133,39
14 September 2017	137,85
15 September 2017	180,38
16 September 2017	195,38
17 September 2017	194,70
18 September 2017	114,26
19 September 2017	176,90
20 September 2017	153,06
21 September 2017	183,68
22 September 2017	157,50
23 September 2017	164,62
24 September 2017	187,47
25 September 2017	183,04
26 September 2017	156,78
27 September 2017	104,30
28 September 2017	88,07
29 September 2017	103,74
30 September 2017	141,07
12 Oktober 2017	248,39
13 Oktober 2017	195,13
14 Oktober 2017	185,65
15 Oktober 2017	199,20
16 Oktober 2017	181,41
17 Oktober 2017	157,45
18 Oktober 2017	191,28
19 Oktober 2017	147,84
20 Oktober 2017	163,01
21 Oktober 2017	150,64
22 Oktober 2017	158,46
23 Oktober 2017	143,36
24 Oktober 2017	173,43
25 Oktober 2017	178,68
26 Oktober 2017	180,87
27 Oktober 2017	128,40
28 Oktober 2017	179,25
29 Oktober 2017	238,82
30 Oktober 2017	205,77
31 Oktober 2017	200,74

374,68	140.384,03
297,92	88.753,53
235,45	55.436,03
314,16	98.696,87
219,28	48.082,27
213,13	45.422,84
300,98	90.588,37
266,87	71.216,97
561,65	315.448,87
474,71	225.345,67
768,57	590.702,04
496,21	246.227,93
254,02	64.525,84
584,78	341.970,70
497,47	247.472,18
409,35	167.565,64
245,75	60.394,58
451,54	203.884,50
433,59	187.996,41
402,06	161.655,51
465,36	216.558,67
441,64	195.047,47
360,78	130.159,66
333,93	111.509,94
410,34	168.378,08
347,10	120.476,17
420,08	176.469,05
329,16	108.343,75
329,81	108.773,60
300,15	90.088,44
340,21	115.740,04
283,16	80.178,39
245,46	60.248,76
255,72	65.393,80
306,05	93.665,32
346,12	119.797,24
397,23	157.790,07
520,36	270.775,21
377,93	142.834,02
775,96	602.116,31
485,22	235.439,92
332,60	110.624,78
316,77	100.340,92
440,60	194.131,40
360,64	130.059,31
355,40	126.308,19
681,01	463.778,24
591,52	349.893,93
807,00	651.249,00
546,25	298.383,83

01 Nopember 2017	169,11
02 Nopember 2017	170,34
03 Nopember 2017	158,22
04 Nopember 2017	187,10
05 Nopember 2017	244,86
06 Nopember 2017	210,00
07 Nopember 2017	220,25
08 Nopember 2017	211,54
09 Nopember 2017	204,54
10 Nopember 2017	178,81
11 Nopember 2017	214,31
12 Nopember 2017	223,61
13 Nopember 2017	244,52
14 Nopember 2017	215,05
15 Nopember 2017	217,51
16 Nopember 2017	240,20
17 Nopember 2017	244,72
18 Nopember 2017	229,29
19 Nopember 2017	192,98
20 Nopember 2017	213,19
21 Nopember 2017	230,23
22 Nopember 2017	184,23
23 Nopember 2017	195,17
24 Nopember 2017	193,96
25 Nopember 2017	201,45
26 Nopember 2017	163,63
10 Februari 2018	154,43
11 Februari 2018	255,43
12 Februari 2018	153,20
13 Februari 2018	188,03
14 Februari 2018	16,36
15 Februari 2018	178,99
16 Februari 2018	209,08
17 Februari 2018	186,51
18 Februari 2018	270,91
19 Februari 2018	167,64
20 Februari 2018	173,81
21 Februari 2018	157,10
22 Februari 2018	165,41
23 Februari 2018	155,67
24 Februari 2018	164,11
25 Februari 2018	205,77
26 Februari 2018	161,00
27 Februari 2018	178,13
28 Februari 2018	174,93
01 Maret 2018	171,48
02 Maret 2018	173,37
03 Maret 2018	210,29
04 Maret 2018	231,07
05 Maret 2018	185,42

753,79	568.201,19
448,33	201.002,78
399,56	159.648,73
593,74	352.525,69
373,45	139.464,17
324,66	105.400,98
564,03	318.132,39
597,78	357.338,27
472,57	223.320,11
1.187,79	1.410.850,33
890,73	793.397,22
2.483,08	6.165.671,01
299,58	89.749,59
478,85	229.295,57
503,78	253.795,21
665,71	443.165,90
842,87	710.424,22
908,78	825.887,97
29.590,00	875.568.100,00
1.498,71	2.246.144,51
1.418,90	2.013.280,33
678,90	460.911,68
609,56	371.559,31
3.120,40	9.736.896,16
660,00	435.600,00
613,07	375.854,54
1.292,05	1.669.386,08
435,15	189.352,96
407,58	166.118,00
429,61	184.562,07
303,62	92.187,39
647,90	419.769,67
963,58	928.490,44
434,82	189.070,10
1.206,73	1.456.194,81
1.175,63	1.382.105,03
1.169,57	1.367.882,80
1.871,30	3.501.779,96
384,29	147.675,51
529,85	280.739,42
338,17	114.359,92
486,14	236.336,55
372,87	139.033,00
321,91	103.627,31
319,79	102.265,78
302,04	91.225,19
271,88	73.918,04
295,71	87.443,94
289,21	83.644,66
318,51	101.446,76

06 Maret 2018	178,33
07 Maret 2018	159,91
08 Maret 2018	151,18
09 Maret 2018	152,50
10 Maret 2018	160,66
12 Maret 2018	192,85
13 Maret 2018	171,88
14 Maret 2018	168,86
15 Maret 2018	183,28
16 Maret 2018	188,37
17 Maret 2018	230,02
18 Maret 2018	218,60
19 Maret 2018	184,86
20 Maret 2018	217,20
21 Maret 2018	175,20
22 Maret 2018	358,80
23 Maret 2018	178,08
24 Maret 2018	164,72
25 Maret 2018	159,72
26 Maret 2018	175,48
27 Maret 2018	135,07
28 Maret 2018	229,06
30 Maret 2018	214,44
31 Maret 2018	453,70
01 April 2018	156,07
02 April 2018	174,62
03 April 2018	186,22
04 April 2018	236,95
05 April 2018	319,35
06 April 2018	279,71
07 April 2018	182,64
08 April 2018	155,59
09 April 2018	210,62
10 April 2018	139,94
11 April 2018	137,89
12 April 2018	166,03
13 April 2018	169,20
14 April 2018	116,85
15 April 2018	133,35
16 April 2018	316,35
17 April 2018	284,83
18 April 2018	217,34
19 April 2018	198,96
20 April 2018	211,26
21 April 2018	203,24
28 April 2018	228,84
29 April 2018	147,46
30 April 2018	208,98
01 Mei 2018	179,67
02 Mei 2018	190,52

290,21	84.220,37
596,65	355.996,16
815,44	664.935,12
553,00	305.805,15
362,60	131.480,12
3.612,29	13.048.608,08
532,49	283.547,16
1.189,81	1.415.642,34
501,43	251.427,47
601,71	362.055,56
596,16	355.409,32
323,41	104.593,23
304,91	92.971,23
263,07	69.206,68
257,84	66.481,35
334,26	111.729,98
241,64	58.388,94
323,43	104.607,67
272,11	74.043,76
286,01	81.799,29
298,89	89.334,57
337,76	114.080,36
376,60	141.827,56
421,04	177.277,61
896,67	804.011,11
434,03	188.385,31
580,63	337.129,36
1.333,88	1.779.247,32
230,67	53.209,95
408,28	166.690,69
219,53	48.194,34
266,43	70.986,00
292,69	85.669,95
230,34	53.054,85
434,47	188.761,88
1.049,29	1.101.011,14
273,72	74.922,25
253,84	64.434,80
287,72	82.785,65
345,59	119.432,64
188,69	35.605,78
252,72	63.868,88
975,78	952.155,03
258,95	67.055,70
241,71	58.423,79
259,17	67.168,80
237,00	56.171,09
234,26	54.879,75
286,68	82.184,57
5.117,56	26.189.430,34

03 Mei 2018	204,31
04 Mei 2018	206,49
05 Mei 2018	187,58
06 Mei 2018	189,16
07 Mei 2018	175,96
08 Mei 2018	183,72
09 Mei 2018	168,95
10 Mei 2018	164,87
11 Mei 2018	138,96
12 Mei 2018	122,79
13 Mei 2018	138,06
14 Mei 2018	167,81
15 Mei 2018	88,77
16 Mei 2018	162,75
17 Mei 2018	187,15
18 Mei 2018	170,03
19 Mei 2018	170,76
20 Mei 2018	165,68
21 Mei 2018	187,55
22 Mei 2018	145,38
23 Mei 2018	171,84
24 Mei 2018	187,66
25 Mei 2018	138,27
26 Mei 2018	197,20
27 Mei 2018	189,12
28 Mei 2018	205,77
29 Mei 2018	156,93
30 Mei 2018	158,82
31 Mei 2018	150,59
01 Juni 2018	130,45
02 Juni 2018	156,17
03 Juni 2018	192,50
04 Juni 2018	262,45
05 Juni 2018	212,11
06 Juni 2018	187,40
07 Juni 2018	181,62
08 Juni 2018	180,87
09 Juni 2018	218,37
10 Juni 2018	185,40
11 Juni 2018	137,40
12 Juni 2018	183,65
13 Juni 2018	249,94
14 Juni 2018	268,11
15 Juni 2018	243,96
16 Juni 2018	182,57
17 Juni 2018	238,32
18 Juni 2018	241,56
19 Juni 2018	281,22
20 Juni 2018	181,76
21 Juni 2018	128,98

246,48	60.750,96
339,39	115.187,28
561,84	315.659,07
312,39	97.585,70
223,79	50.080,21
295,32	87.215,20
300,94	90.562,52
239,64	57.429,08
247,12	61.070,02
297,36	88.425,32
3.895,86	15.177.741,26
452,71	204.943,91
257,30	66.205,53
331,88	110.146,40
460,67	212.219,41
310,19	96.217,24
340,91	116.220,24
390,15	152.219,11
295,76	87.473,48
364,85	133.115,94
220,28	48.524,80
274,14	75.152,81
233,71	54.618,34
238,29	56.780,89
228,05	52.008,60
167,04	27.901,53
192,50	37.054,48
250,66	62.829,98
562,22	316.089,81
269,35	72.549,32
276,51	76.455,09
362,60	131.480,12
240,41	57.797,27
306,40	93.880,14
288,52	83.242,26

155.307,30  
24.120.358.500,80  
1.006.882.851,09  
2  
10%

22 Juni 2018	180,87
23 Juni 2018	180,15
24 Juni 2018	171,67
25 Juni 2018	148,61
26 Juni 2018	129,37
27 Juni 2018	145,59
28 Juni 2018	184,23
29 Juni 2018	173,34
30 Juni 2018	176,43

$\sum X$  45.348,83  
 $(\sum X)^2$  2.056.516.265,00  
 $\sum X^2$   
k = 95% 2  
s 10%

**Contoh :**  
Suatu pengukuran elemen kerj  
kali dengan menggunakan s  
keyakinan 95% dan derajat  
jumlah pengamatan cukup?

Pengamatan (n)						
Pengamatan ke	1	2	3	4	5	6
Data Pengamt.	8	7	7	6	8	6

$\sum X = 107$   
 $(\sum X)^2 = 11449$   
 $\sum X^2 = 791$   
k = 95% = 2  
s = 10%

$N' = \frac{k/s \cdot \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X}$

Ketel Uap 3

4325,43

$N' = 26,75$

TIDAK CUKUP

Data Cukup? CUKUP

Rasio^2 (kG/MT)
32.713,55
12.938,01
24.328,72
4.233,79
19.441,68
14.604,01
21.490,40
19.161,92
19.118,70
14.341,67
30.449,62
20.195,07
17.646,50
14.238,12
26.723,17
27.659,30
26.423,89
17.777,78
21.146,82
29.065,33
15.063,95
13.021,38
14.953,80
15.729,03
23.490,59
23.713,26
28.792,26
13.426,18
16.872,39
18.561,95
16.659,95
15.007,35
19.633,35
11.975,32
19.437,70
19.709,37
22.117,17
19.709,37
13.924,00
18.758,04
26.283,29
19.998,26
13.686,70
9.839,95
12.147,26
21.685,54
19.303,66
53.343,08

24.864,31
32.483,03
25.760,25
49.691,84
49.100,28
28.133,26
31.456,16
32.301,64
36.363,85
35.387,38
18.164,16
19.148,71
17.793,61
19.001,75
32.536,38
38.173,31
37.910,01
13.055,69
31.294,35
23.426,67
33.739,57
24.807,51
27.098,22
35.145,40
33.504,55
24.578,89
10.879,43
7.755,59
10.762,60
19.899,59
61.699,01
38.074,57
34.464,69
39.681,49
32.908,88
24.791,30
36.589,92
21.855,75
26.571,55
22.693,84
25.108,94
20.552,59
30.076,26
31.927,86
32.712,68
16.486,56
32.128,96
57.036,18
42.340,98
40.296,59

28.599,46
29.015,73
25.032,45
35.007,84
59.955,90
44.100,00
48.508,20
44.750,60
41.836,62
31.974,45
45.928,07
50.001,29
59.790,95
46.246,08
47.309,82
57.698,00
59.890,10
52.571,94
37.239,94
45.450,15
53.007,92
33.940,81
38.093,14
37.619,59
40.580,54
26.773,28
23.849,55
65.245,68
23.471,63
35.354,46
267,54
32.037,92
43.714,64
34.787,38
73.392,63
28.104,19
30.211,09
24.679,87
27.360,68
24.233,29
26.932,23
42.340,98
25.920,57
31.729,29
30.601,16
29.406,57
30.057,68
44.221,47
53.393,36
34.381,06

31.802,78
25.571,88
22.856,27
23.255,35
25.811,85
37.190,67
29.543,19
28.512,58
33.591,18
35.483,03
52.908,83
47.786,90
34.173,56
47.177,86
30.696,68
128.739,16
31.713,13
27.133,89
25.510,76
30.793,23
18.243,64
52.469,21
45.983,50
205.840,11
24.357,12
30.491,47
34.676,20
56.145,24
101.983,27
78.237,43
33.358,65
24.207,23
44.359,86
19.582,14
19.012,71
27.567,45
28.629,25
13.653,13
17.783,05
100.075,95
81.128,69
47.238,31
39.585,27
44.632,56
41.306,59
52.369,54
21.743,22
43.674,47
32.282,81
36.299,64

41.744,21
42.638,63
35.184,84
35.782,75
30.960,36
33.753,11
28.543,21
27.181,80
19.310,17
15.076,62
19.061,81
28.159,44
7.880,18
26.487,83
35.024,48
28.910,92
29.160,35
27.449,01
35.173,55
21.135,47
29.529,52
35.214,77
19.117,33
38.886,07
35.764,97
42.340,98
24.628,07
25.222,39
22.678,13
17.017,18
24.389,23
37.054,69
68.881,49
44.992,58
35.119,18
32.987,14
32.714,64
47.684,30
34.371,69
18.879,96
33.725,63
62.471,05
71.885,62
59.516,48
33.330,62
56.795,56
58.348,91
79.083,53
33.037,72
16.636,67

32.712,68
32.452,27
29.469,44
22.085,26
16.736,67
21.195,82
33.940,20
30.047,85
31.126,66

8.537.238,75

ja dilakukan sebanyak 15 stop watch. Bila tingkat ketelitian 10%, apakah

hasil)									
7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	8	9	6	8	5	5	9	6	

$$\left[ \frac{2 / 0,1 \sqrt{15 \times 791 - 11449}}{107} \right]^2 = 14,53$$

No. Ketel Uap	N	N'
1	268	61,5
2	283	4.325,4
3	257	26,8

Tanggal	Rasio Bahan Bakar (kG/MT)	Produksi Uap (MT/hari)
18 September 2017	1.822	31
23 Desember 2017	1.188	77
25 Desember 2017	2.483	13
02 Januari 2018	29.590	1
03 Januari 2018	1.499	70
04 Januari 2018	1.419	91
07 Januari 2018	3.120	25
10 Januari 2018	1.292	127
18 Januari 2018	1.207	107
19 Januari 2018	1.176	135
20 Januari 2018	1.170	92
21 Januari 2018	1.871	46
28 Maret 2018	3.612	70
30 Maret 2018	1.190	52
21 April 2018	1.334	121
29 April 2018	1.049	141
13 Mei 2018	5.118	41
24 Mei 2018	3.896	58













Kecukupan Data
CUKUP
TIDAK CUKUP
CUKUP

**Ketel Uap 1**

Tanggal	Rasio (kG/MT)	Rasio^2 (kG/MT)
01 Juli 2017	87,37	7.633,77
02 Juli 2017	80,36	6.457,61
03 Juli 2017	126,85	16.090,12
04 Juli 2017	112,73	12.707,44
05 Juli 2017	102,39	10.483,02
06 Juli 2017	88,66	7.861,37
07 Juli 2017	73,04	5.334,50
08 Juli 2017	91,01	8.281,94
09 Juli 2017	84,64	7.163,41
10 Juli 2017	55,50	3.079,75
11 Juli 2017	103,07	10.622,58
12 Juli 2017	100,27	10.054,50
13 Juli 2017	101,30	10.261,09
14 Juli 2017	118,87	14.130,85
15 Juli 2017	135,76	18.431,80
01 Agustus 2017	130,26	16.968,49
02 Agustus 2017	118,36	14.010,14
03 Agustus 2017	116,56	13.586,31
04 Agustus 2017	135,85	18.453,94
05 Agustus 2017	98,31	9.664,98
06 Agustus 2017	107,02	11.453,06
07 Agustus 2017	108,30	11.728,49
08 Agustus 2017	108,50	11.772,55
09 Agustus 2017	105,82	11.196,86
10 Agustus 2017	108,02	11.668,78
11 Agustus 2017	90,82	8.248,79
12 Agustus 2017	108,44	11.758,69
13 Agustus 2017	100,92	10.185,47
14 Agustus 2017	105,65	11.161,86
15 Agustus 2017	94,60	8.949,16
16 Agustus 2017	108,72	11.819,16
17 Agustus 2017	125,41	15.726,96
18 Agustus 2017	112,77	12.717,77
19 Agustus 2017	87,31	7.623,47
20 Agustus 2017	125,67	15.793,05
21 Agustus 2017	117,12	13.716,54
22 Agustus 2017	121,11	14.668,30
23 Agustus 2017	97,28	9.463,19
01 Oktober 2017	123,68	15.297,57
02 Oktober 2017	132,18	17.472,50
03 Oktober 2017	101,99	10.402,18
04 Oktober 2017	77,67	6.032,19
05 Oktober 2017	80,60	6.495,82
06 Oktober 2017	79,47	6.316,07
07 Oktober 2017	73,61	5.418,14
08 Oktober 2017	98,26	9.654,09
09 Oktober 2017	102,33	10.470,52
10 Oktober 2017	68,13	4.641,78

**Ketel Uap 2**

Tanggal
01 Juli 2017
02 Juli 2017
03 Juli 2017
04 Juli 2017
05 Juli 2017
06 Juli 2017
07 Juli 2017
08 Juli 2017
09 Juli 2017
10 Juli 2017
11 Juli 2017
12 Juli 2017
13 Juli 2017
14 Juli 2017
15 Juli 2017
16 Juli 2017
17 Juli 2017
18 Juli 2017
19 Juli 2017
20 Juli 2017
21 Juli 2017
22 Juli 2017
23 Juli 2017
24 Juli 2017
25 Juli 2017
26 Juli 2017
27 Juli 2017
28 Juli 2017
29 Juli 2017
30 Juli 2017
31 Juli 2017
01 Agustus 2017
02 Agustus 2017
03 Agustus 2017
04 Agustus 2017
05 Agustus 2017
06 Agustus 2017
07 Agustus 2017
08 Agustus 2017
09 Agustus 2017
10 Agustus 2017
11 Agustus 2017
12 Agustus 2017
13 Agustus 2017
14 Agustus 2017
15 Agustus 2017
16 Agustus 2017
17 Agustus 2017

11 Oktober 2017	52,83	2.791,08
12 Oktober 2017	67,16	4.510,18
13 Oktober 2017	151,92	23.078,73
14 Oktober 2017	147,58	21.780,42
15 Oktober 2017	145,66	21.217,85
16 Oktober 2017	156,14	24.379,35
17 Oktober 2017	171,41	29.381,12
18 Oktober 2017	170,88	29.198,85
19 Oktober 2017	47,51	2.257,54
21 Oktober 2017	115,21	13.273,09
22 Oktober 2017	134,17	18.001,70
23 Oktober 2017	113,63	12.910,95
24 Oktober 2017	101,31	10.264,02
25 Oktober 2017	92,28	8.515,53
26 Oktober 2017	114,17	13.035,06
27 Oktober 2017	101,24	10.248,85
28 Oktober 2017	116,75	13.629,46
29 Oktober 2017	61,85	3.824,95
30 Oktober 2017	81,29	6.608,26
31 Oktober 2017	96,25	9.264,06
01 Nopember 2017	117,00	13.688,05
02 Nopember 2017	113,18	12.809,53
03 Nopember 2017	133,57	17.841,33
04 Nopember 2017	103,69	10.752,09
05 Nopember 2017	109,70	12.033,43
06 Nopember 2017	89,55	8.019,28
07 Nopember 2017	74,57	5.560,06
08 Nopember 2017	71,86	5.163,93
09 Nopember 2017	75,91	5.762,02
10 Nopember 2017	78,15	6.107,65
11 Nopember 2017	81,53	6.647,87
12 Nopember 2017	110,70	12.255,03
13 Nopember 2017	104,95	11.013,87
14 Nopember 2017	75,28	5.666,85
15 Nopember 2017	62,96	3.963,59
16 Nopember 2017	167,81	28.160,62
17 Nopember 2017	172,36	29.708,28
18 Nopember 2017	129,56	16.785,54
19 Nopember 2017	116,02	13.460,62
20 Nopember 2017	117,57	13.821,80
21 Nopember 2017	81,31	6.611,74
22 Nopember 2017	77,20	5.960,22
23 Nopember 2017	57,68	3.326,88
24 Nopember 2017	60,96	3.716,09
25 Nopember 2017	42,97	1.846,10
26 Nopember 2017	74,53	5.555,25
27 Nopember 2017	127,88	16.352,43
28 Nopember 2017	109,73	12.039,58
29 Nopember 2017	121,99	14.881,08
30 Nopember 2017	124,73	15.558,67

18 Agustus 2017
19 Agustus 2017
20 Agustus 2017
21 Agustus 2017
22 Agustus 2017
23 Agustus 2017
24 Agustus 2017
25 Agustus 2017
26 Agustus 2017
27 Agustus 2017
28 Agustus 2017
29 Agustus 2017
30 Agustus 2017
31 Agustus 2017
01 September 2017
02 September 2017
03 September 2017
04 September 2017
05 September 2017
06 September 2017
07 September 2017
08 September 2017
09 September 2017
19 September 2017
20 September 2017
21 September 2017
22 September 2017
23 September 2017
24 September 2017
25 September 2017
26 September 2017
27 September 2017
28 September 2017
29 September 2017
30 September 2017
01 Oktober 2017
02 Oktober 2017
03 Oktober 2017
04 Oktober 2017
05 Oktober 2017
06 Oktober 2017
07 Oktober 2017
08 Oktober 2017
09 Oktober 2017
10 Oktober 2017
11 Oktober 2017
12 Oktober 2017
14 Oktober 2017
15 Oktober 2017
16 Oktober 2017

01 Desember 2017	89,23	7.961,13
02 Desember 2017	88,37	7.808,49
03 Desember 2017	88,68	7.864,96
04 Desember 2017	89,00	7.920,24
05 Desember 2017	90,68	8.222,71
06 Desember 2017	88,20	7.779,12
07 Desember 2017	137,15	18.809,28
08 Desember 2017	104,55	10.931,10
09 Desember 2017	116,97	13.680,89
10 Desember 2017	128,64	16.547,70
11 Desember 2017	107,57	11.571,52
12 Desember 2017	100,12	10.024,78
13 Desember 2017	103,03	10.615,98
14 Desember 2017	96,65	9.340,72
15 Desember 2017	103,44	10.699,32
16 Desember 2017	88,00	7.744,00
17 Desember 2017	91,84	8.434,22
18 Desember 2017	65,88	4.339,61
19 Desember 2017	141,11	19.912,83
20 Desember 2017	154,41	23.841,65
21 Desember 2017	111,48	12.428,34
22 Desember 2017	178,95	32.021,62
23 Desember 2017	200,90	40.359,71
24 Desember 2017	182,57	33.330,44
25 Desember 2017	158,43	25.101,30
26 Desember 2017	170,55	29.087,46
27 Desember 2017	169,77	28.822,43
28 Desember 2017	157,78	24.895,61
29 Desember 2017	172,08	29.610,16
30 Desember 2017	180,88	32.718,43
31 Desember 2017	174,14	30.326,11
01 Januari 2018	136,03	18.504,93
02 Januari 2018	127,34	16.215,28
03 Januari 2018	150,61	22.683,17
04 Januari 2018	204,59	41.855,43
05 Januari 2018	191,67	36.736,11
06 Januari 2018	161,77	26.170,33
07 Januari 2018	178,71	31.938,39
08 Januari 2018	169,00	28.561,91
09 Januari 2018	219,10	48.005,70
10 Januari 2018	199,11	39.644,40
11 Januari 2018	188,94	35.698,77
12 Januari 2018	173,88	30.234,09
13 Januari 2018	167,95	28.207,61
14 Januari 2018	167,85	28.174,89
15 Januari 2018	128,56	16.528,32
16 Januari 2018	126,08	15.895,04
17 Januari 2018	121,94	14.868,26
18 Januari 2018	135,96	18.484,92
19 Januari 2018	138,14	19.082,53

17 Oktober 2017
18 Oktober 2017
19 Oktober 2017
20 Oktober 2017
21 Oktober 2017
22 Oktober 2017
23 Oktober 2017
24 Oktober 2017
25 Oktober 2017
26 Oktober 2017
27 Oktober 2017
28 Oktober 2017
29 Oktober 2017
30 Oktober 2017
31 Oktober 2017
01 Nopember 2017
02 Nopember 2017
03 Nopember 2017
04 Nopember 2017
05 Nopember 2017
06 Nopember 2017
07 Nopember 2017
08 Nopember 2017
14 Nopember 2017
19 Nopember 2017
20 Nopember 2017
21 Nopember 2017
22 Nopember 2017
23 Nopember 2017
24 Nopember 2017
25 Nopember 2017
26 Nopember 2017
27 Nopember 2017
28 Nopember 2017
29 Nopember 2017
30 Nopember 2017
01 Desember 2017
02 Desember 2017
03 Desember 2017
04 Desember 2017
05 Desember 2017
06 Desember 2017
07 Desember 2017
08 Desember 2017
09 Desember 2017
10 Desember 2017
11 Desember 2017
12 Desember 2017
13 Desember 2017
14 Desember 2017

20 Januari 2018	156,69	24.552,97
21 Januari 2018	139,09	19.345,84
22 Januari 2018	173,80	30.206,44
23 Januari 2018	117,11	13.713,64
24 Januari 2018	127,61	16.284,91
25 Januari 2018	142,71	20.366,29
26 Januari 2018	191,46	36.657,30
27 Januari 2018	184,80	34.151,04
28 Januari 2018	183,33	33.611,11
29 Januari 2018	136,34	18.588,06
30 Januari 2018	129,22	16.697,64
31 Januari 2018	127,38	16.226,63
01 Februari 2018	133,36	17.783,65
02 Februari 2018	125,31	15.701,96
03 Februari 2018	112,26	12.601,21
06 Februari 2018	148,49	22.050,55
07 Februari 2018	149,48	22.345,56
08 Februari 2018	144,71	20.941,61
09 Februari 2018	177,72	31.582,64
10 Februari 2018	188,29	35.453,43
11 Februari 2018	193,95	37.615,58
12 Februari 2018	197,78	39.117,98
13 Februari 2018	201,86	40.745,71
14 Februari 2018	190,04	36.116,97
15 Februari 2018	210,85	44.458,00
16 Februari 2018	311,32	96.920,61
17 Februari 2018	191,85	36.805,79
18 Februari 2018	213,01	45.371,82
19 Februari 2018	199,64	39.854,27
20 Februari 2018	190,83	36.415,04
21 Februari 2018	187,92	35.312,67
22 Februari 2018	187,13	35.018,58
23 Februari 2018	182,14	33.174,81
24 Februari 2018	196,62	38.660,36
25 Februari 2018	344,86	118.931,78
26 Februari 2018	185,22	34.307,70
27 Februari 2018	185,44	34.387,28
28 Februari 2018	176,55	31.169,50
01 Maret 2018	185,86	34.544,71
02 Maret 2018	128,98	16.637,07
03 Maret 2018	105,27	11.080,89
04 Maret 2018	366,67	134.444,44
05 Maret 2018	159,89	25.563,96
06 Maret 2018	187,33	35.091,30
07 Maret 2018	215,38	46.390,53
08 Maret 2018	156,84	24.599,45
09 Maret 2018	160,44	25.739,93
10 Maret 2018	117,83	13.884,03
11 Maret 2018	230,05	52.921,01
12 Maret 2018	189,36	35.856,13

15 Desember 2017
16 Desember 2017
17 Desember 2017
18 Desember 2017
19 Desember 2017
20 Desember 2017
21 Desember 2017
22 Desember 2017
24 Desember 2017
26 Desember 2017
27 Desember 2017
28 Desember 2017
29 Desember 2017
30 Desember 2017
31 Desember 2017
05 Januari 2018
06 Januari 2018
08 Januari 2018
09 Januari 2018
11 Januari 2018
12 Januari 2018
13 Januari 2018
14 Januari 2018
15 Januari 2018
16 Januari 2018
17 Januari 2018
25 Januari 2018
26 Januari 2018
27 Januari 2018
28 Januari 2018
29 Januari 2018
30 Januari 2018
31 Januari 2018
01 Februari 2018
02 Februari 2018
03 Februari 2018
06 Februari 2018
07 Februari 2018
08 Februari 2018
09 Februari 2018
10 Februari 2018
26 Maret 2018
27 Maret 2018
29 Maret 2018
02 April 2018
03 April 2018
04 April 2018
05 April 2018
06 April 2018
07 April 2018

13 Maret 2018	190,78	36.397,49
14 Maret 2018	209,73	43.988,07
15 Maret 2018	251,05	63.027,42
16 Maret 2018	199,96	39.984,50
17 Maret 2018	214,86	46.165,95
18 Maret 2018	275,38	75.832,33
19 Maret 2018	203,46	41.394,05
20 Maret 2018	236,33	55.849,55
21 Maret 2018	218,50	47.741,50
22 Maret 2018	160,72	25.830,46
23 Maret 2018	299,20	89.520,64
24 Maret 2018	244,21	59.638,78
25 Maret 2018	377,14	142.236,73
28 Maret 2018	239,38	57.301,94
29 Maret 2018	191,15	36.537,38
30 Maret 2018	212,79	45.280,65
31 Maret 2018	232,75	54.172,04
01 April 2018	206,31	42.565,53
02 April 2018	185,66	34.468,48
03 April 2018	231,89	53.773,85
04 April 2018	279,29	78.003,34
05 April 2018	300,61	90.366,79
06 April 2018	187,31	35.084,75
07 April 2018	198,49	39.398,92
09 April 2018	199,07	39.627,44
10 April 2018	262,17	68.731,36
11 April 2018	255,23	65.143,03
12 April 2018	202,75	41.108,92
13 April 2018	165,64	27.435,64
14 April 2018	335,34	112.452,79
15 April 2018	216,72	46.966,01
16 April 2018	205,74	42.329,25
17 April 2018	211,18	44.598,35
18 April 2018	106,80	11.405,41
24 Mei 2018	219,14	48.023,35
25 Mei 2018	190,96	36.464,19
26 Mei 2018	128,62	16.541,92
27 Mei 2018	202,37	40.954,78
28 Mei 2018	200,92	40.370,08
29 Mei 2018	195,32	38.149,34
30 Mei 2018	188,40	35.493,73
31 Mei 2018	175,20	30.693,86
01 Juni 2018	179,17	32.101,17
02 Juni 2018	220,00	48.400,00
03 Juni 2018	109,36	11.959,30
04 Juni 2018	183,05	33.506,65
05 Juni 2018	182,88	33.443,96
06 Juni 2018	254,12	64.576,74
07 Juni 2018	212,08	44.977,32
08 Juni 2018	261,79	68.532,80

08 April 2018
09 April 2018
10 April 2018
11 April 2018
12 April 2018
13 April 2018
14 April 2018
15 April 2018
16 April 2018
17 April 2018
18 April 2018
19 April 2018
20 April 2018
22 April 2018
23 April 2018
24 April 2018
25 April 2018
26 April 2018
27 April 2018
28 April 2018
30 April 2018
01 Mei 2018
02 Mei 2018
03 Mei 2018
04 Mei 2018
05 Mei 2018
06 Mei 2018
07 Mei 2018
08 Mei 2018
09 Mei 2018
10 Mei 2018
11 Mei 2018
12 Mei 2018
14 Mei 2018
15 Mei 2018
16 Mei 2018
17 Mei 2018
18 Mei 2018
19 Mei 2018
20 Mei 2018
21 Mei 2018
22 Mei 2018
23 Mei 2018
26 Mei 2018
27 Mei 2018
28 Mei 2018
29 Mei 2018
30 Mei 2018
31 Mei 2018
01 Juni 2018

09 Juni 2018	159,26	25.364,27
10 Juni 2018	151,43	22.932,05
11 Juni 2018	39,25	1.540,47
12 Juni 2018	143,60	20.622,06
13 Juni 2018	156,55	24.506,39
14 Juni 2018	171,97	29.572,53
15 Juni 2018	161,62	26.121,32
16 Juni 2018	188,90	35.681,91
17 Juni 2018	161,86	26.197,73
18 Juni 2018	145,31	21.114,04
19 Juni 2018	144,91	20.999,97
20 Juni 2018	141,94	20.145,68
21 Juni 2018	122,97	15.121,23
22 Juni 2018	141,50	20.023,62
25 Juni 2018	164,63	27.101,67
26 Juni 2018	138,02	19.049,98
27 Juni 2018	117,91	13.902,87
28 Juni 2018	107,61	11.580,29
29 Juni 2018	102,72	10.551,94
30 Juni 2018	79,27	6.284,44

$\sum X$  39.667,15  
 $(\sum X)^2$  1.573.482.437,15  
 $\sum X^2$  6.773.576,45  
k = 95% 2  
s 10%

02 Juni 2018
03 Juni 2018
04 Juni 2018
05 Juni 2018
06 Juni 2018
07 Juni 2018
08 Juni 2018
09 Juni 2018
10 Juni 2018
11 Juni 2018
22 Juni 2018
23 Juni 2018
24 Juni 2018
25 Juni 2018
28 Juni 2018
29 Juni 2018
30 Juni 2018

$\sum X$   
 $(\sum X)^2$   
 $\sum X^2$   
k = 95%  
s

**Pengujian Data:**

Ketel Uap 1

N = 268  
N' = 61,48

Data Cukup? CUKUP

Ketel Uap 2

N =  
N' =

Data Cukup?

Rasio (kG/MT)	Rasio^2 (kG/MT)
195,46	38.202,92
213,07	45.398,53
186,16	34.655,24
183,20	33.562,57
155,08	24.049,06
150,81	22.743,16
119,20	14.208,07
198,47	39.391,01
229,80	52.807,58
221,58	49.095,54
202,28	40.918,14
260,44	67.830,35
287,48	82.645,28
222,38	49.454,97
178,67	31.923,54
342,36	117.212,86
233,13	54.351,15
297,24	88.350,17
295,47	87.301,99
435,04	189.260,18
255,88	65.473,58
242,01	58.567,35
221,02	48.850,74
350,49	122.842,26
270,35	73.090,07
268,35	72.009,31
234,32	54.906,12
252,37	63.688,97
261,91	68.595,12
163,19	26.630,92
134,50	18.090,25
142,38	20.272,59
139,85	19.557,21
124,75	15.563,47
221,68	49.141,97
187,67	35.221,69
223,26	49.844,63
287,28	82.530,69
300,65	90.388,65
226,05	51.098,79
243,56	59.322,14
261,43	68.346,81
166,78	27.815,57
209,22	43.773,94
206,54	42.660,75
190,16	36.158,99
241,08	58.121,93
271,72	73.830,22

### Ketel Uap 3

Tanggal	Rasio (kG/MT)
15 Juli 2017	180,87
16 Juli 2017	113,75
17 Juli 2017	155,98
18 Juli 2017	65,07
19 Juli 2017	139,43
20 Juli 2017	120,85
21 Juli 2017	146,60
22 Juli 2017	138,43
23 Juli 2017	138,27
24 Juli 2017	119,76
25 Juli 2017	174,50
26 Juli 2017	142,11
27 Juli 2017	132,84
28 Juli 2017	119,32
29 Juli 2017	163,47
30 Juli 2017	166,31
31 Juli 2017	162,55
01 Agustus 2017	133,33
02 Agustus 2017	145,42
03 Agustus 2017	170,49
04 Agustus 2017	122,74
05 Agustus 2017	114,11
06 Agustus 2017	122,29
07 Agustus 2017	125,42
08 Agustus 2017	153,27
09 Agustus 2017	153,99
10 Agustus 2017	169,68
11 Agustus 2017	115,87
12 Agustus 2017	129,89
13 Agustus 2017	136,24
14 Agustus 2017	129,07
15 Agustus 2017	122,50
16 Agustus 2017	140,12
17 Agustus 2017	109,43
18 Agustus 2017	139,42
19 Agustus 2017	140,39
20 Agustus 2017	148,72
21 Agustus 2017	140,39
22 Agustus 2017	118,00
23 Agustus 2017	136,96
24 Agustus 2017	162,12
25 Agustus 2017	141,42
26 Agustus 2017	116,99
27 Agustus 2017	99,20
28 Agustus 2017	110,21
29 Agustus 2017	147,26
30 Agustus 2017	138,94
31 Agustus 2017	230,96

244,55	59.802,48
167,57	28.080,97
504,38	254.394,14
275,56	75.933,85
177,70	31.577,05
170,49	29.067,85
228,56	52.240,63
151,06	22.818,61
129,27	16.710,15
228,24	52.094,60
165,64	27.436,74
312,23	97.488,91
170,12	28.940,33
147,55	21.771,81
154,92	24.000,66
238,83	57.040,62
440,98	194.466,54
237,56	56.434,01
212,82	45.290,84
262,44	68.874,24
194,93	37.996,74
329,60	108.639,29
224,84	50.551,15
205,17	42.094,52
224,73	50.505,45
460,13	211.721,07
377,26	142.322,16
323,32	104.534,08
256,91	66.002,81
160,22	25.670,27
196,51	38.616,08
208,19	43.341,98
270,94	73.405,91
270,69	73.274,06
302,95	91.779,58
280,02	78.409,56
260,32	67.767,85
213,93	45.767,01
237,23	56.277,29
272,47	74.238,69
350,02	122.516,87
317,61	100.878,94
402,04	161.634,59
425,58	181.120,11
316,78	100.347,07
238,05	56.669,28
343,11	117.726,01
529,18	280.031,82
355,57	126.433,38
374,68	140.384,03

01 September 2017	157,68
02 September 2017	180,23
03 September 2017	160,50
04 September 2017	222,92
05 September 2017	221,59
06 September 2017	167,73
07 September 2017	177,36
08 September 2017	179,73
09 September 2017	190,69
10 September 2017	188,12
11 September 2017	134,77
12 September 2017	138,38
13 September 2017	133,39
14 September 2017	137,85
15 September 2017	180,38
16 September 2017	195,38
17 September 2017	194,70
18 September 2017	114,26
19 September 2017	176,90
20 September 2017	153,06
21 September 2017	183,68
22 September 2017	157,50
23 September 2017	164,62
24 September 2017	187,47
25 September 2017	183,04
26 September 2017	156,78
27 September 2017	104,30
28 September 2017	88,07
29 September 2017	103,74
30 September 2017	141,07
12 Oktober 2017	248,39
13 Oktober 2017	195,13
14 Oktober 2017	185,65
15 Oktober 2017	199,20
16 Oktober 2017	181,41
17 Oktober 2017	157,45
18 Oktober 2017	191,28
19 Oktober 2017	147,84
20 Oktober 2017	163,01
21 Oktober 2017	150,64
22 Oktober 2017	158,46
23 Oktober 2017	143,36
24 Oktober 2017	173,43
25 Oktober 2017	178,68
26 Oktober 2017	180,87
27 Oktober 2017	128,40
28 Oktober 2017	179,25
29 Oktober 2017	238,82
30 Oktober 2017	205,77
31 Oktober 2017	200,74

297,92	88.753,53
235,45	55.436,03
314,16	98.696,87
219,28	48.082,27
213,13	45.422,84
300,98	90.588,37
266,87	71.216,97
561,65	315.448,87
474,71	225.345,67
768,57	590.702,04
496,21	246.227,93
254,02	64.525,84
584,78	341.970,70
497,47	247.472,18
409,35	167.565,64
245,75	60.394,58
451,54	203.884,50
433,59	187.996,41
402,06	161.655,51
465,36	216.558,67
441,64	195.047,47
360,78	130.159,66
333,93	111.509,94
410,34	168.378,08
347,10	120.476,17
420,08	176.469,05
329,16	108.343,75
329,81	108.773,60
300,15	90.088,44
340,21	115.740,04
283,16	80.178,39
245,46	60.248,76
255,72	65.393,80
306,05	93.665,32
346,12	119.797,24
397,23	157.790,07
520,36	270.775,21
377,93	142.834,02
775,96	602.116,31
485,22	235.439,92
332,60	110.624,78
316,77	100.340,92
440,60	194.131,40
360,64	130.059,31
355,40	126.308,19
681,01	463.778,24
591,52	349.893,93
807,00	651.249,00
546,25	298.383,83
753,79	568.201,19

01 Nopember 2017	169,11
02 Nopember 2017	170,34
03 Nopember 2017	158,22
04 Nopember 2017	187,10
05 Nopember 2017	244,86
06 Nopember 2017	210,00
07 Nopember 2017	220,25
08 Nopember 2017	211,54
09 Nopember 2017	204,54
10 Nopember 2017	178,81
11 Nopember 2017	214,31
12 Nopember 2017	223,61
13 Nopember 2017	244,52
14 Nopember 2017	215,05
15 Nopember 2017	217,51
16 Nopember 2017	240,20
17 Nopember 2017	244,72
18 Nopember 2017	229,29
19 Nopember 2017	192,98
20 Nopember 2017	213,19
21 Nopember 2017	230,23
22 Nopember 2017	184,23
23 Nopember 2017	195,17
24 Nopember 2017	193,96
25 Nopember 2017	201,45
26 Nopember 2017	163,63
10 Februari 2018	154,43
11 Februari 2018	255,43
12 Februari 2018	153,20
13 Februari 2018	188,03
14 Februari 2018	16,36
15 Februari 2018	178,99
16 Februari 2018	209,08
17 Februari 2018	186,51
18 Februari 2018	270,91
19 Februari 2018	167,64
20 Februari 2018	173,81
21 Februari 2018	157,10
22 Februari 2018	165,41
23 Februari 2018	155,67
24 Februari 2018	164,11
25 Februari 2018	205,77
26 Februari 2018	161,00
27 Februari 2018	178,13
28 Februari 2018	174,93
01 Maret 2018	171,48
02 Maret 2018	173,37
03 Maret 2018	210,29
04 Maret 2018	231,07
05 Maret 2018	185,42

448,33	201.002,78
399,56	159.648,73
593,74	352.525,69
373,45	139.464,17
324,66	105.400,98
564,03	318.132,39
597,78	357.338,27
472,57	223.320,11
890,73	793.397,22
299,58	89.749,59
478,85	229.295,57
503,78	253.795,21
665,71	443.165,90
842,87	710.424,22
908,78	825.887,97
678,90	460.911,68
609,56	371.559,31
660,00	435.600,00
613,07	375.854,54
435,15	189.352,96
407,58	166.118,00
429,61	184.562,07
303,62	92.187,39
647,90	419.769,67
963,58	928.490,44
434,82	189.070,10
384,29	147.675,51
529,85	280.739,42
338,17	114.359,92
486,14	236.336,55
372,87	139.033,00
321,91	103.627,31
319,79	102.265,78
302,04	91.225,19
271,88	73.918,04
295,71	87.443,94
289,21	83.644,66
318,51	101.446,76
290,21	84.220,37
596,65	355.996,16
815,44	664.935,12
553,00	305.805,15
362,60	131.480,12
532,49	283.547,16
501,43	251.427,47
601,71	362.055,56
596,16	355.409,32
323,41	104.593,23
304,91	92.971,23
263,07	69.206,68

06 Maret 2018	178,33
07 Maret 2018	159,91
08 Maret 2018	151,18
09 Maret 2018	152,50
10 Maret 2018	160,66
12 Maret 2018	192,85
13 Maret 2018	171,88
14 Maret 2018	168,86
15 Maret 2018	183,28
16 Maret 2018	188,37
17 Maret 2018	230,02
18 Maret 2018	218,60
19 Maret 2018	184,86
20 Maret 2018	217,20
21 Maret 2018	175,20
22 Maret 2018	358,80
23 Maret 2018	178,08
24 Maret 2018	164,72
25 Maret 2018	159,72
26 Maret 2018	175,48
27 Maret 2018	135,07
28 Maret 2018	229,06
30 Maret 2018	214,44
31 Maret 2018	453,70
01 April 2018	156,07
02 April 2018	174,62
03 April 2018	186,22
04 April 2018	236,95
05 April 2018	319,35
06 April 2018	279,71
07 April 2018	182,64
08 April 2018	155,59
09 April 2018	210,62
10 April 2018	139,94
11 April 2018	137,89
12 April 2018	166,03
13 April 2018	169,20
14 April 2018	116,85
15 April 2018	133,35
16 April 2018	316,35
17 April 2018	284,83
18 April 2018	217,34
19 April 2018	198,96
20 April 2018	211,26
21 April 2018	203,24
28 April 2018	228,84
29 April 2018	147,46
30 April 2018	208,98
01 Mei 2018	179,67
02 Mei 2018	190,52

257,84	66.481,35
334,26	111.729,98
241,64	58.388,94
323,43	104.607,67
272,11	74.043,76
286,01	81.799,29
298,89	89.334,57
337,76	114.080,36
376,60	141.827,56
421,04	177.277,61
896,67	804.011,11
434,03	188.385,31
580,63	337.129,36
230,67	53.209,95
408,28	166.690,69
219,53	48.194,34
266,43	70.986,00
292,69	85.669,95
230,34	53.054,85
434,47	188.761,88
273,72	74.922,25
253,84	64.434,80
287,72	82.785,65
345,59	119.432,64
188,69	35.605,78
252,72	63.868,88
975,78	952.155,03
258,95	67.055,70
241,71	58.423,79
259,17	67.168,80
237,00	56.171,09
234,26	54.879,75
286,68	82.184,57
246,48	60.750,96
339,39	115.187,28
561,84	315.659,07
312,39	97.585,70
223,79	50.080,21
295,32	87.215,20
300,94	90.562,52
239,64	57.429,08
247,12	61.070,02
297,36	88.425,32
452,71	204.943,91
257,30	66.205,53
331,88	110.146,40
460,67	212.219,41
310,19	96.217,24
340,91	116.220,24
390,15	152.219,11

03 Mei 2018	204,31
04 Mei 2018	206,49
05 Mei 2018	187,58
06 Mei 2018	189,16
07 Mei 2018	175,96
08 Mei 2018	183,72
09 Mei 2018	168,95
10 Mei 2018	164,87
11 Mei 2018	138,96
12 Mei 2018	122,79
13 Mei 2018	138,06
14 Mei 2018	167,81
15 Mei 2018	88,77
16 Mei 2018	162,75
17 Mei 2018	187,15
18 Mei 2018	170,03
19 Mei 2018	170,76
20 Mei 2018	165,68
21 Mei 2018	187,55
22 Mei 2018	145,38
23 Mei 2018	171,84
24 Mei 2018	187,66
25 Mei 2018	138,27
26 Mei 2018	197,20
27 Mei 2018	189,12
28 Mei 2018	205,77
29 Mei 2018	156,93
30 Mei 2018	158,82
31 Mei 2018	150,59
01 Juni 2018	130,45
02 Juni 2018	156,17
03 Juni 2018	192,50
04 Juni 2018	262,45
05 Juni 2018	212,11
06 Juni 2018	187,40
07 Juni 2018	181,62
08 Juni 2018	180,87
09 Juni 2018	218,37
10 Juni 2018	185,40
11 Juni 2018	137,40
12 Juni 2018	183,65
13 Juni 2018	249,94
14 Juni 2018	268,11
15 Juni 2018	243,96
16 Juni 2018	182,57
17 Juni 2018	238,32
18 Juni 2018	241,56
19 Juni 2018	281,22
20 Juni 2018	181,76
21 Juni 2018	128,98

295,76	87.473,48
364,85	133.115,94
220,28	48.524,80
274,14	75.152,81
233,71	54.618,34
238,29	56.780,89
228,05	52.008,60
167,04	27.901,53
192,50	37.054,48
250,66	62.829,98
562,22	316.089,81
269,35	72.549,32
276,51	76.455,09
362,60	131.480,12
240,41	57.797,27
306,40	93.880,14
288,52	83.242,26

91.272,19  
8.330.613.382,43  
38.332.255,14  
2  
10%

22 Juni 2018	180,87
23 Juni 2018	180,15
24 Juni 2018	171,67
25 Juni 2018	148,61
26 Juni 2018	129,37
27 Juni 2018	145,59
28 Juni 2018	184,23
29 Juni 2018	173,34
30 Juni 2018	176,43

$\sum X$  45.348,83  
 $(\sum X)^2$  2.056.516.265,00  
 $\sum X^2$   
k = 95% 2  
s 10%

**Contoh :**  
Suatu pengukuran elemen ker  
kali dengan menggunakan :  
keyakinan 95% dan derajat  
jumlah pengamatan cukup?

Pengamatan ()						
Pengamatan ke	1	2	3	4	5	6
Data Pengamt.	8	7	7	6	8	6

$\sum X = 107$   
 $(\sum X)^2 = 11449$   
 $\sum X^2 = 791$   
k = 95% = 2  
s = 10%

$$N' = \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X}$$

Ketel Uap 3

265  
87,75

CUKUP

N = 257  
N' = 26,75

Data Cukup? CUKUP

Rasio^2 (kG/MT)
32.713,55
12.938,01
24.328,72
4.233,79
19.441,68
14.604,01
21.490,40
19.161,92
19.118,70
14.341,67
30.449,62
20.195,07
17.646,50
14.238,12
26.723,17
27.659,30
26.423,89
17.777,78
21.146,82
29.065,33
15.063,95
13.021,38
14.953,80
15.729,03
23.490,59
23.713,26
28.792,26
13.426,18
16.872,39
18.561,95
16.659,95
15.007,35
19.633,35
11.975,32
19.437,70
19.709,37
22.117,17
19.709,37
13.924,00
18.758,04
26.283,29
19.998,26
13.686,70
9.839,95
12.147,26
21.685,54
19.303,66
53.343,08

24.864,31
32.483,03
25.760,25
49.691,84
49.100,28
28.133,26
31.456,16
32.301,64
36.363,85
35.387,38
18.164,16
19.148,71
17.793,61
19.001,75
32.536,38
38.173,31
37.910,01
13.055,69
31.294,35
23.426,67
33.739,57
24.807,51
27.098,22
35.145,40
33.504,55
24.578,89
10.879,43
7.755,59
10.762,60
19.899,59
61.699,01
38.074,57
34.464,69
39.681,49
32.908,88
24.791,30
36.589,92
21.855,75
26.571,55
22.693,84
25.108,94
20.552,59
30.076,26
31.927,86
32.712,68
16.486,56
32.128,96
57.036,18
42.340,98
40.296,59

28.599,46
29.015,73
25.032,45
35.007,84
59.955,90
44.100,00
48.508,20
44.750,60
41.836,62
31.974,45
45.928,07
50.001,29
59.790,95
46.246,08
47.309,82
57.698,00
59.890,10
52.571,94
37.239,94
45.450,15
53.007,92
33.940,81
38.093,14
37.619,59
40.580,54
26.773,28
23.849,55
65.245,68
23.471,63
35.354,46
267,54
32.037,92
43.714,64
34.787,38
73.392,63
28.104,19
30.211,09
24.679,87
27.360,68
24.233,29
26.932,23
42.340,98
25.920,57
31.729,29
30.601,16
29.406,57
30.057,68
44.221,47
53.393,36
34.381,06

31.802,78
25.571,88
22.856,27
23.255,35
25.811,85
37.190,67
29.543,19
28.512,58
33.591,18
35.483,03
52.908,83
47.786,90
34.173,56
47.177,86
30.696,68
128.739,16
31.713,13
27.133,89
25.510,76
30.793,23
18.243,64
52.469,21
45.983,50
205.840,11
24.357,12
30.491,47
34.676,20
56.145,24
101.983,27
78.237,43
33.358,65
24.207,23
44.359,86
19.582,14
19.012,71
27.567,45
28.629,25
13.653,13
17.783,05
100.075,95
81.128,69
47.238,31
39.585,27
44.632,56
41.306,59
52.369,54
21.743,22
43.674,47
32.282,81
36.299,64

41.744,21
42.638,63
35.184,84
35.782,75
30.960,36
33.753,11
28.543,21
27.181,80
19.310,17
15.076,62
19.061,81
28.159,44
7.880,18
26.487,83
35.024,48
28.910,92
29.160,35
27.449,01
35.173,55
21.135,47
29.529,52
35.214,77
19.117,33
38.886,07
35.764,97
42.340,98
24.628,07
25.222,39
22.678,13
17.017,18
24.389,23
37.054,69
68.881,49
44.992,58
35.119,18
32.987,14
32.714,64
47.684,30
34.371,69
18.879,96
33.725,63
62.471,05
71.885,62
59.516,48
33.330,62
56.795,56
58.348,91
79.083,53
33.037,72
16.636,67

32.712,68
32.452,27
29.469,44
22.085,26
16.736,67
21.195,82
33.940,20
30.047,85
31.126,66

8.537.238,75

ja dilakukan sebanyak 15 stop watch. Bila tingkat ketelitian 10%, apakah

menit)									
7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	8	9	6	8	5	5	9	6	

$$\left[ \frac{2 / 0,1 \sqrt{15 \times 791 - 11449}}{107} \right]^2 = 14,53$$

No. Ketel Uap	N	N'	Kecukupan Data
1	268	61,5	CUKUP
2	265	87,7	CUKUP
3	257	26,8	CUKUP

Ketel Uap 1

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)
01 Juli 2017	29	2.548
02 Juli 2017	28	2.237
03 Juli 2017	32	4.107
04 Juli 2017	35	3.978
05 Juli 2017	35	3.575
06 Juli 2017	36	3.181
07 Juli 2017	31	2.264
08 Juli 2017	32	2.943
09 Juli 2017	33	2.768
10 Juli 2017	23	1.283
11 Juli 2017	29	2.998
12 Juli 2017	31	3.071
13 Juli 2017	32	3.254
14 Juli 2017	33	3.868
15 Juli 2017	20	2.778
01 Agustus 2017	29	3.713
02 Agustus 2017	29	3.438
03 Agustus 2017	30	3.502
04 Agustus 2017	29	3.951
05 Agustus 2017	31	3.007
06 Agustus 2017	31	3.291
07 Agustus 2017	30	3.208
08 Agustus 2017	31	3.318
09 Agustus 2017	31	3.245
10 Agustus 2017	30	3.254
11 Agustus 2017	30	2.713
12 Agustus 2017	29	3.181
13 Agustus 2017	30	3.007
14 Agustus 2017	30	3.117
15 Agustus 2017	33	3.153
16 Agustus 2017	32	3.493
17 Agustus 2017	26	3.208
18 Agustus 2017	30	3.355
19 Agustus 2017	40	3.493
20 Agustus 2017	30	3.749
21 Agustus 2017	28	3.318
22 Agustus 2017	28	3.447
23 Agustus 2017	6	596
01 Oktober 2017	26	3.190
02 Oktober 2017	30	3.960
03 Oktober 2017	28	2.860
04 Oktober 2017	27	2.081
05 Oktober 2017	35	2.814
06 Oktober 2017	35	2.768
07 Oktober 2017	33	2.457
08 Oktober 2017	32	3.144
09 Oktober 2017	29	2.933
10 Oktober 2017	37	2.521
11 Oktober 2017	36	1.898
12 Oktober 2017	24	1.595
13 Oktober 2017	18	2.741
14 Oktober 2017	27	3.942
15 Oktober 2017	30	4.437
16 Oktober 2017	30	4.684
17 Oktober 2017	31	5.271
18 Oktober 2017	30	5.198
19 Oktober 2017	23	1.091
21 Oktober 2017	30	3.447
22 Oktober 2017	19	2.493
23 Oktober 2017	30	3.447
24 Oktober 2017	28	2.833
25 Oktober 2017	27	2.530
26 Oktober 2017	38	4.391
27 Oktober 2017	35	3.548
28 Oktober 2017	18	2.063
29 Oktober 2017	30	1.843
30 Oktober 2017	30	2.466
31 Oktober 2017	29	2.823
01 Nopember 2017	31	3.603
02 Nopember 2017	36	4.079
03 Nopember 2017	26	3.428

Ketel Uap 2

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)
01 Juli 2017	34	6.613
02 Juli 2017	34	7.173
03 Juli 2017	36	6.725
04 Juli 2017	37	6.725
05 Juli 2017	38	5.828
06 Juli 2017	32	4.820
07 Juli 2017	35	4.147
08 Juli 2017	32	6.277
09 Juli 2017	33	7.622
10 Juli 2017	29	6.389
11 Juli 2017	32	6.389
12 Juli 2017	30	7.846
13 Juli 2017	27	7.846
14 Juli 2017	26	5.828
15 Juli 2017	11	2.018
16 Juli 2017	16	5.492
17 Juli 2017	25	5.828
18 Juli 2017	23	6.725
19 Juli 2017	18	5.380
20 Juli 2017	15	6.725
21 Juli 2017	17	4.371
22 Juli 2017	24	5.828
23 Juli 2017	21	4.595
24 Juli 2017	13	4.483
25 Juli 2017	17	4.483
26 Juli 2017	17	4.595
27 Juli 2017	24	5.604
28 Juli 2017	20	4.932
29 Juli 2017	21	5.380
30 Juli 2017	21	3.475
31 Juli 2017	19	2.578
01 Agustus 2017	22	3.138
02 Agustus 2017	27	3.811
03 Agustus 2017	29	3.587
04 Agustus 2017	26	5.828
05 Agustus 2017	18	3.363
06 Agustus 2017	21	4.595
07 Agustus 2017	9	2.466
08 Agustus 2017	14	4.259
09 Agustus 2017	15	3.363
10 Agustus 2017	21	5.044
11 Agustus 2017	16	4.259
12 Agustus 2017	21	3.475
13 Agustus 2017	23	4.708
14 Agustus 2017	23	4.708
15 Agustus 2017	24	4.595
16 Agustus 2017	18	4.259
17 Agustus 2017	17	4.483
18 Agustus 2017	11	2.578
19 Agustus 2017	25	4.259
20 Agustus 2017	3	1.345
21 Agustus 2017	17	4.708
22 Agustus 2017	18	3.250
23 Agustus 2017	12	2.018
24 Agustus 2017	13	2.914
25 Agustus 2017	19	2.914
26 Agustus 2017	18	2.354
27 Agustus 2017	14	3.138
28 Agustus 2017	17	2.802
29 Agustus 2017	19	5.828
30 Agustus 2017	21	3.587
31 Agustus 2017	20	2.914
01 September 2017	8	1.233
02 September 2017	9	2.130
03 September 2017	3	1.121
04 September 2017	16	3.811
05 September 2017	13	2.802
06 September 2017	14	3.587
07 September 2017	14	2.802
08 September 2017	11	3.475
09 September 2017	14	3.138

Ketel Uap 3

Tanggal	Produksi Uap (MT/h)	Bahan Bakar (kG)
15 Juli 2017	26	4.770
16 Juli 2017	34	3.834
17 Juli 2017	29	4.458
18 Juli 2017	31	2.006
19 Juli 2017	29	4.102
20 Juli 2017	35	4.280
21 Juli 2017	30	4.325
22 Juli 2017	24	3.299
23 Juli 2017	21	2.898
24 Juli 2017	17	2.051
25 Juli 2017	23	4.057
26 Juli 2017	21	3.032
27 Juli 2017	25	3.255
28 Juli 2017	23	2.720
29 Juli 2017	21	3.433
30 Juli 2017	22	3.700
31 Juli 2017	25	4.057
01 Agustus 2017	27	3.567
02 Agustus 2017	25	3.611
03 Agustus 2017	27	4.681
04 Agustus 2017	28	3.478
05 Agustus 2017	27	3.076
06 Agustus 2017	26	3.210
07 Agustus 2017	28	3.522
08 Agustus 2017	31	4.770
09 Agustus 2017	28	4.325
10 Agustus 2017	22	3.790
11 Agustus 2017	25	2.853
12 Agustus 2017	27	3.567
13 Agustus 2017	27	3.656
14 Agustus 2017	24	3.076
15 Agustus 2017	23	2.853
16 Agustus 2017	21	2.943
17 Agustus 2017	26	2.809
18 Agustus 2017	27	3.700
19 Agustus 2017	24	3.299
20 Agustus 2017	23	3.433
21 Agustus 2017	24	3.299
22 Agustus 2017	22	2.630
23 Agustus 2017	21	2.853
24 Agustus 2017	22	3.567
25 Agustus 2017	36	5.038
26 Agustus 2017	34	3.968
27 Agustus 2017	34	3.344
28 Agustus 2017	29	3.210
29 Agustus 2017	33	4.860
30 Agustus 2017	25	3.433
31 Agustus 2017	25	5.707
01 September 2017	28	4.369
02 September 2017	24	4.235
03 September 2017	29	4.681
04 September 2017	21	4.681
05 September 2017	22	4.949
06 September 2017	23	3.879
07 September 2017	23	4.057
08 September 2017	21	3.834
09 September 2017	21	4.013
10 September 2017	30	5.573
11 September 2017	49	6.598
12 September 2017	46	6.331
13 September 2017	47	6.242
14 September 2017	46	6.375
15 September 2017	36	6.554
16 September 2017	34	6.643
17 September 2017	25	4.949
18 September 2017	42	4.770
19 September 2017	26	4.592
20 September 2017	32	4.860
21 September 2017	25	4.592
22 September 2017	26	4.102
23 September 2017	25	4.102

04 Nopember 2017	30	3.089
05 Nopember 2017	30	3.318
06 Nopember 2017	34	3.071
07 Nopember 2017	30	2.218
08 Nopember 2017	39	2.833
09 Nopember 2017	34	2.613
10 Nopember 2017	37	2.924
11 Nopember 2017	32	2.613
12 Nopember 2017	33	3.612
13 Nopember 2017	35	3.713
14 Nopember 2017	31	2.365
15 Nopember 2017	26	1.650
16 Nopember 2017	32	5.335
17 Nopember 2017	28	4.776
18 Nopember 2017	29	3.795
19 Nopember 2017	34	3.887
20 Nopember 2017	32	3.703
21 Nopember 2017	24	1.962
22 Nopember 2017	34	2.622
23 Nopember 2017	29	1.678
24 Nopember 2017	27	1.641
25 Nopember 2017	28	1.219
26 Nopember 2017	25	1.898
27 Nopember 2017	35	4.492
28 Nopember 2017	33	3.658
29 Nopember 2017	35	4.244
30 Nopember 2017	36	4.501
01 Desember 2017	34	3.071
02 Desember 2017	30	2.658
03 Desember 2017	29	2.613
04 Desember 2017	29	2.622
05 Desember 2017	36	3.227
06 Desember 2017	37	3.245
07 Desember 2017	29	4.006
08 Desember 2017	35	3.694
09 Desember 2017	35	4.079
10 Desember 2017	25	3.227
11 Desember 2017	26	2.842
12 Desember 2017	27	2.695
13 Desember 2017	28	2.915
14 Desember 2017	29	2.787
15 Desember 2017	29	3.034
16 Desember 2017	34	3.025
17 Desember 2017	27	2.457
18 Desember 2017	22	1.458
19 Desember 2017	27	3.804
20 Desember 2017	23	3.474
21 Desember 2017	31	3.447
22 Desember 2017	29	5.234
23 Desember 2017	29	5.784
24 Desember 2017	30	5.454
25 Desember 2017	32	5.143
26 Desember 2017	27	4.648
27 Desember 2017	27	4.648
28 Desember 2017	33	5.161
29 Desember 2017	29	4.904
30 Desember 2017	31	5.638
31 Desember 2017	34	5.848
01 Januari 2018	30	4.143
02 Januari 2018	33	4.208
03 Januari 2018	35	5.253
04 Januari 2018	33	6.692
05 Januari 2018	33	6.325
06 Januari 2018	35	5.628
07 Januari 2018	31	5.555
08 Januari 2018	31	5.225
09 Januari 2018	31	6.710
10 Januari 2018	36	7.077
11 Januari 2018	35	6.692
12 Januari 2018	35	6.013
13 Januari 2018	34	5.738
14 Januari 2018	35	5.931
15 Januari 2018	27	3.428
16 Januari 2018	25	3.199
17 Januari 2018	28	3.465

19 September 2017	15	3.026
20 September 2017	16	3.699
21 September 2017	3	1.457
22 September 2017	14	5.156
23 September 2017	17	5.604
24 September 2017	22	5.716
25 September 2017	40	6.389
26 September 2017	26	5.044
27 September 2017	20	4.259
28 September 2017	17	4.708
29 September 2017	20	5.380
30 September 2017	21	6.501
01 Oktober 2017	24	6.837
02 Oktober 2017	26	6.725
03 Oktober 2017	28	6.053
04 Oktober 2017	26	6.277
05 Oktober 2017	23	6.165
06 Oktober 2017	17	6.053
07 Oktober 2017	17	5.492
08 Oktober 2017	15	6.165
09 Oktober 2017	14	5.940
10 Oktober 2017	22	6.837
11 Oktober 2017	28	6.725
12 Oktober 2017	8	2.802
14 Oktober 2017	5	2.690
15 Oktober 2017	7	2.578
16 Oktober 2017	12	4.371
17 Oktober 2017	13	3.811
18 Oktober 2017	19	4.483
19 Oktober 2017	11	3.587
20 Oktober 2017	36	7.958
21 Oktober 2017	19	4.147
22 Oktober 2017	12	3.587
23 Oktober 2017	21	5.604
24 Oktober 2017	8	4.259
25 Oktober 2017	10	4.708
26 Oktober 2017	1	1.121
27 Oktober 2017	9	4.259
28 Oktober 2017	17	4.371
29 Oktober 2017	2	1.121
30 Oktober 2017	6	3.026
31 Oktober 2017	10	3.923
01 Nopember 2017	17	4.147
02 Nopember 2017	12	5.268
03 Nopember 2017	13	5.492
04 Nopember 2017	12	4.708
05 Nopember 2017	10	4.595
06 Nopember 2017	11	4.932
07 Nopember 2017	18	6.389
08 Nopember 2017	6	2.018
14 Nopember 2017	2	1.009
19 Nopember 2017	12	4.035
20 Nopember 2017	15	6.389
21 Nopember 2017	20	6.501
22 Nopember 2017	22	7.173
23 Nopember 2017	20	5.940
24 Nopember 2017	14	4.820
25 Nopember 2017	23	6.501
26 Nopember 2017	22	5.492
27 Nopember 2017	23	5.828
28 Nopember 2017	21	6.389
29 Nopember 2017	18	6.389
30 Nopember 2017	16	6.389
01 Desember 2017	13	6.613
02 Desember 2017	15	5.716
03 Desember 2017	7	5.044
04 Desember 2017	13	6.389
05 Desember 2017	19	6.389
06 Desember 2017	22	7.061
07 Desember 2017	15	6.389
08 Desember 2017	19	6.837
09 Desember 2017	18	6.501
10 Desember 2017	7	4.483
11 Desember 2017	8	4.708
12 Desember 2017	6	5.044

24 September 2017	25	4.726
25 September 2017	36	6.643
26 September 2017	23	3.567
27 September 2017	38	3.968
28 September 2017	41	3.567
29 September 2017	37	3.834
30 September 2017	30	4.191
12 Oktober 2017	9	2.318
13 Oktober 2017	28	5.439
14 Oktober 2017	26	4.904
15 Oktober 2017	24	4.681
16 Oktober 2017	29	5.261
17 Oktober 2017	26	4.146
18 Oktober 2017	22	4.280
19 Oktober 2017	37	5.439
20 Oktober 2017	32	5.216
21 Oktober 2017	32	4.770
22 Oktober 2017	27	4.325
23 Oktober 2017	34	4.904
24 Oktober 2017	27	4.726
25 Oktober 2017	21	3.790
26 Oktober 2017	29	5.305
27 Oktober 2017	31	4.013
28 Oktober 2017	33	5.840
29 Oktober 2017	24	5.662
30 Oktober 2017	27	5.573
31 Oktober 2017	24	4.860
01 Nopember 2017	28	4.770
02 Nopember 2017	27	4.592
03 Nopember 2017	27	4.325
04 Nopember 2017	31	5.707
05 Nopember 2017	27	6.509
06 Nopember 2017	27	5.618
07 Nopember 2017	27	5.974
08 Nopember 2017	33	6.910
09 Nopember 2017	35	7.133
10 Nopember 2017	31	5.528
11 Nopember 2017	29	6.197
12 Nopember 2017	24	5.395
13 Nopember 2017	26	6.286
14 Nopember 2017	26	5.484
15 Nopember 2017	25	5.528
16 Nopember 2017	29	6.866
17 Nopember 2017	25	6.108
18 Nopember 2017	32	7.356
19 Nopember 2017	28	5.484
20 Nopember 2017	33	7.044
21 Nopember 2017	30	6.955
22 Nopember 2017	37	6.732
23 Nopember 2017	32	6.286
24 Nopember 2017	28	5.350
25 Nopember 2017	31	6.153
26 Nopember 2017	24	3.968
10 Februari 2018	28	4.369
11 Februari 2018	22	5.662
12 Februari 2018	37	5.618
13 Februari 2018	33	6.197
14 Februari 2018	33	535
15 Februari 2018	34	6.063
16 Februari 2018	25	5.305
17 Februari 2018	27	5.083
18 Februari 2018	23	6.197
19 Februari 2018	31	5.127
20 Februari 2018	36	6.286
21 Februari 2018	36	5.662
22 Februari 2018	43	7.133
23 Februari 2018	48	7.401
24 Februari 2018	34	5.573
25 Februari 2018	28	5.796
26 Februari 2018	31	5.038
27 Februari 2018	36	6.420
28 Februari 2018	31	5.350
01 Maret 2018	31	5.395
02 Maret 2018	25	4.414
03 Maret 2018	22	4.548

18 Januari 2018	25	3.337
19 Januari 2018	25	3.465
20 Januari 2018	20	3.199
21 Januari 2018	24	3.309
22 Januari 2018	29	5.069
23 Januari 2018	35	4.079
24 Januari 2018	30	3.786
25 Januari 2018	32	4.519
26 Januari 2018	33	6.334
27 Januari 2018	32	5.968
28 Januari 2018	30	5.454
29 Januari 2018	30	4.033
30 Januari 2018	34	4.345
31 Januari 2018	31	3.997
01 Februari 2018	38	5.051
02 Februari 2018	39	4.840
03 Februari 2018	37	4.107
06 Februari 2018	40	5.958
07 Februari 2018	41	6.160
08 Februari 2018	39	5.656
09 Februari 2018	31	5.509
10 Februari 2018	33	6.151
11 Februari 2018	32	6.142
12 Februari 2018	38	7.508
13 Februari 2018	36	7.343
14 Februari 2018	37	7.095
15 Februari 2018	22	4.648
16 Februari 2018	2	688
17 Februari 2018	18	3.373
18 Februari 2018	31	6.701
19 Februari 2018	30	5.931
20 Februari 2018	34	6.536
21 Februari 2018	34	6.389
22 Februari 2018	35	6.472
23 Februari 2018	18	3.263
24 Februari 2018	22	4.318
25 Februari 2018	2	532
26 Februari 2018	12	2.246
27 Februari 2018	14	2.558
28 Februari 2018	20	3.538
01 Maret 2018	15	2.695
02 Maret 2018	16	2.118
03 Maret 2018	16	1.733
04 Maret 2018	3	917
05 Maret 2018	15	2.365
06 Maret 2018	13	2.365
07 Maret 2018	12	2.567
08 Maret 2018	17	2.732
09 Maret 2018	19	3.062
10 Maret 2018	25	2.897
11 Maret 2018	27	6.298
12 Maret 2018	23	4.418
13 Maret 2018	21	4.070
14 Maret 2018	25	5.243
15 Maret 2018	17	4.373
16 Maret 2018	22	4.299
17 Maret 2018	30	6.518
18 Maret 2018	24	6.701
19 Maret 2018	21	4.171
20 Maret 2018	12	2.787
21 Maret 2018	12	2.668
22 Maret 2018	14	2.237
23 Maret 2018	8	2.493
24 Maret 2018	9	2.127
25 Maret 2018	2	770
28 Maret 2018	24	5.775
29 Maret 2018	31	5.830
30 Maret 2018	27	5.683
31 Maret 2018	28	6.527
01 April 2018	27	5.528
02 April 2018	27	5.005
03 April 2018	26	6.078
04 April 2018	24	6.563
05 April 2018	11	3.282
06 April 2018	10	1.943

13 Desember 2017	11	5.940
14 Desember 2017	8	5.716
15 Desember 2017	12	5.492
16 Desember 2017	20	7.958
17 Desember 2017	9	5.492
18 Desember 2017	19	7.173
19 Desember 2017	15	4.708
20 Desember 2017	10	5.828
21 Desember 2017	4	2.466
22 Desember 2017	9	4.371
24 Desember 2017	6	5.604
26 Desember 2017	18	5.380
27 Desember 2017	8	3.811
28 Desember 2017	12	5.940
29 Desember 2017	8	5.492
30 Desember 2017	6	5.268
31 Desember 2017	3	2.802
05 Januari 2018	9	5.940
06 Januari 2018	8	5.156
08 Januari 2018	11	7.398
09 Januari 2018	9	5.492
11 Januari 2018	14	6.165
12 Januari 2018	21	8.406
13 Januari 2018	17	7.285
14 Januari 2018	21	6.389
15 Januari 2018	14	8.855
16 Januari 2018	8	8.070
17 Januari 2018	15	6.613
25 Januari 2018	11	4.035
26 Januari 2018	6	2.914
27 Januari 2018	15	4.932
28 Januari 2018	3	1.681
29 Januari 2018	17	6.277
30 Januari 2018	30	9.751
31 Januari 2018	30	9.527
01 Februari 2018	36	10.760
02 Februari 2018	35	9.527
03 Februari 2018	35	10.424
06 Februari 2018	36	10.424
07 Februari 2018	32	10.312
08 Februari 2018	20	5.828
09 Februari 2018	11	6.613
10 Februari 2018	12	9.751
26 Maret 2018	12	6.613
27 Maret 2018	13	4.820
29 Maret 2018	12	6.501
02 April 2018	19	9.527
03 April 2018	13	7.622
04 April 2018	15	9.191
05 April 2018	29	9.527
06 April 2018	33	10.088
07 April 2018	30	7.958
08 April 2018	29	7.510
09 April 2018	28	9.415
10 April 2018	32	7.622
11 April 2018	28	9.191
12 April 2018	29	7.846
13 April 2018	29	8.294
14 April 2018	27	8.070
15 April 2018	28	9.415
16 April 2018	25	9.415
17 April 2018	10	4.035
18 April 2018	14	12.665
19 April 2018	22	9.639
20 April 2018	15	8.855
22 April 2018	32	7.285
23 April 2018	39	15.804
24 April 2018	38	8.406
25 April 2018	35	9.303
26 April 2018	32	9.415
27 April 2018	41	9.415
28 April 2018	12	5.268
30 April 2018	24	6.501
01 Mei 2018	32	8.070
02 Mei 2018	25	7.061

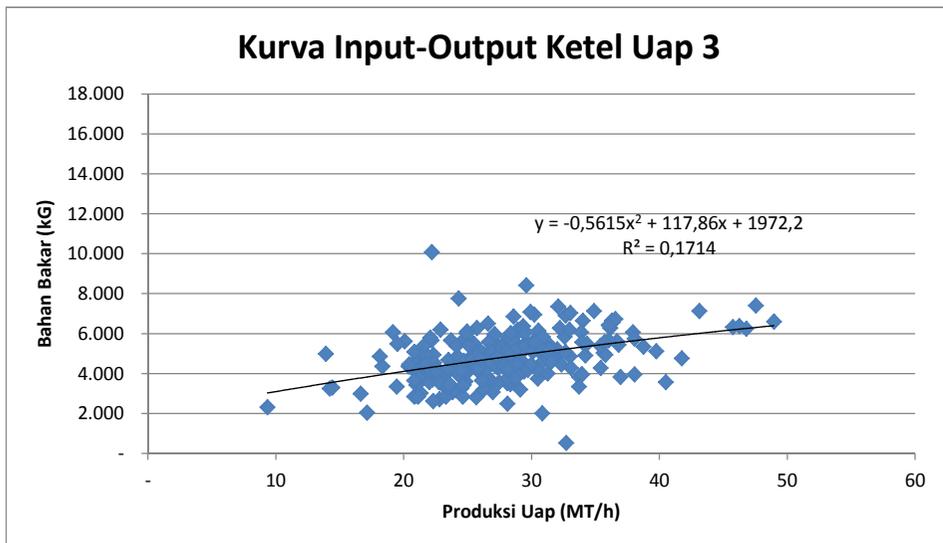
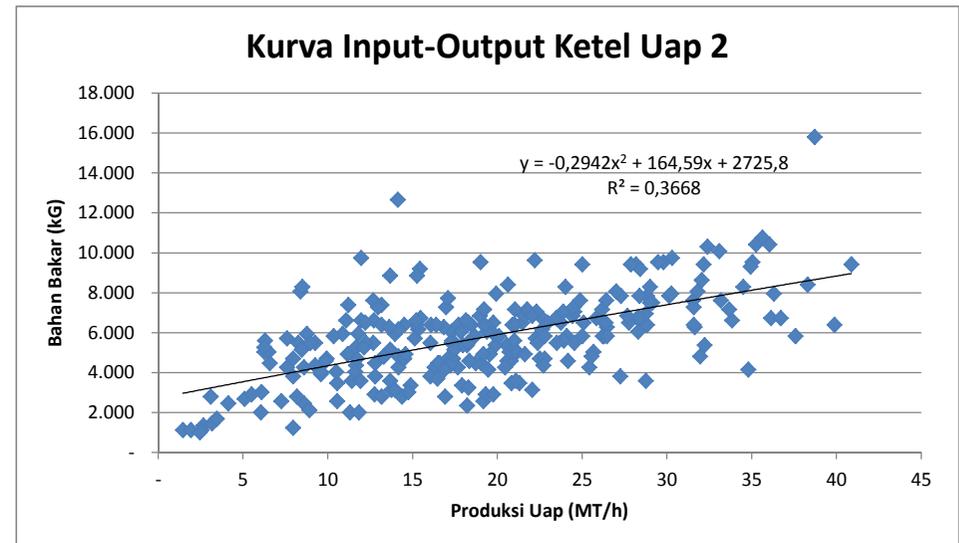
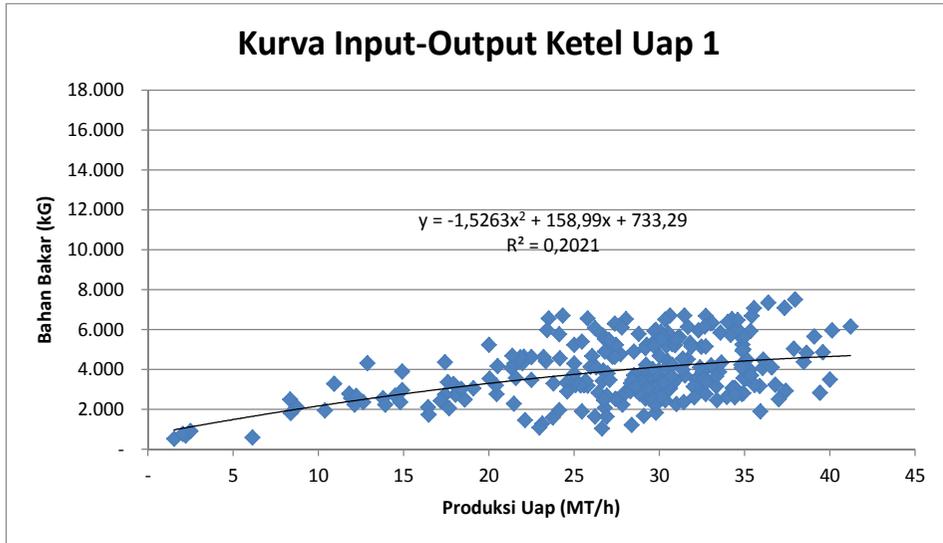
04 Maret 2018	21	4.949
05 Maret 2018	26	4.860
06 Maret 2018	26	4.548
07 Maret 2018	38	6.063
08 Maret 2018	38	5.751
09 Maret 2018	35	5.395
10 Maret 2018	28	4.458
12 Maret 2018	29	5.528
13 Maret 2018	29	4.949
14 Maret 2018	26	4.369
15 Maret 2018	26	4.681
16 Maret 2018	29	5.439
17 Maret 2018	22	4.993
18 Maret 2018	27	5.930
19 Maret 2018	28	5.261
20 Maret 2018	25	5.439
21 Maret 2018	29	4.993
22 Maret 2018	14	4.993
23 Maret 2018	30	5.261
24 Maret 2018	32	5.216
25 Maret 2018	34	5.484
26 Maret 2018	21	3.656
27 Maret 2018	21	2.853
28 Maret 2018	14	3.255
30 Maret 2018	20	4.369
31 Maret 2018	22	10.076
01 April 2018	36	5.573
02 April 2018	24	4.191
03 April 2018	30	5.618
04 April 2018	30	7.089
05 April 2018	24	7.758
06 April 2018	20	5.618
07 April 2018	28	5.038
08 April 2018	33	5.083
09 April 2018	29	6.108
10 April 2018	26	3.656
11 April 2018	32	4.458
12 April 2018	31	5.216
13 April 2018	28	4.681
14 April 2018	34	3.968
15 April 2018	28	3.745
16 April 2018	19	6.063
17 April 2018	30	8.426
18 April 2018	29	6.375
19 April 2018	28	5.662
20 April 2018	29	6.197
21 April 2018	22	4.548
28 April 2018	14	3.299
29 April 2018	24	3.478
30 April 2018	27	5.573
01 Mei 2018	17	2.987
02 Mei 2018	26	4.993
03 Mei 2018	29	6.019
04 Mei 2018	21	4.414
05 Mei 2018	27	5.127
06 Mei 2018	31	5.840
07 Mei 2018	28	4.949
08 Mei 2018	26	4.815
09 Mei 2018	30	5.083
10 Mei 2018	27	4.458
11 Mei 2018	29	4.013
12 Mei 2018	31	3.745
13 Mei 2018	39	5.350
14 Mei 2018	25	4.146
15 Mei 2018	28	2.497
16 Mei 2018	26	4.191
17 Mei 2018	22	4.102
18 Mei 2018	26	4.414
19 Mei 2018	25	4.191
20 Mei 2018	26	4.280
21 Mei 2018	23	4.235
22 Mei 2018	31	4.458
23 Mei 2018	19	3.344
24 Mei 2018	25	4.637
25 Mei 2018	36	4.949

07 April 2018	15	2.961
09 April 2018	23	4.620
10 April 2018	20	5.243
11 April 2018	23	5.977
12 April 2018	22	4.418
13 April 2018	22	3.575
14 April 2018	13	4.318
15 April 2018	8	1.815
16 April 2018	23	4.629
17 April 2018	22	4.611
18 April 2018	21	2.292
24 Mei 2018	21	4.684
25 Mei 2018	27	5.243
26 Mei 2018	27	3.483
27 Mei 2018	27	5.473
28 Mei 2018	30	5.986
29 Mei 2018	30	5.876
30 Mei 2018	30	5.683
31 Mei 2018	30	5.198
01 Juni 2018	26	4.666
02 Juni 2018	28	6.114
03 Juni 2018	29	3.126
04 Juni 2018	27	4.904
05 Juni 2018	30	5.509
06 Juni 2018	26	6.554
07 Juni 2018	25	5.399
08 Juni 2018	15	3.905
09 Juni 2018	26	4.134
10 Juni 2018	25	3.786
11 Juni 2018	27	1.045
12 Juni 2018	35	5.014
13 Juni 2018	26	4.116
14 Juni 2018	25	4.299
15 Juni 2018	32	5.152
16 Juni 2018	24	4.565
17 Juni 2018	35	5.665
18 Juni 2018	29	4.244
19 Juni 2018	31	4.547
20 Juni 2018	35	4.950
21 Juni 2018	40	4.868
22 Juni 2018	17	2.429
25 Juni 2018	18	3.025
26 Juni 2018	31	4.244
27 Juni 2018	31	3.621
28 Juni 2018	33	3.511
29 Juni 2018	33	3.364
30 Juni 2018	34	2.732

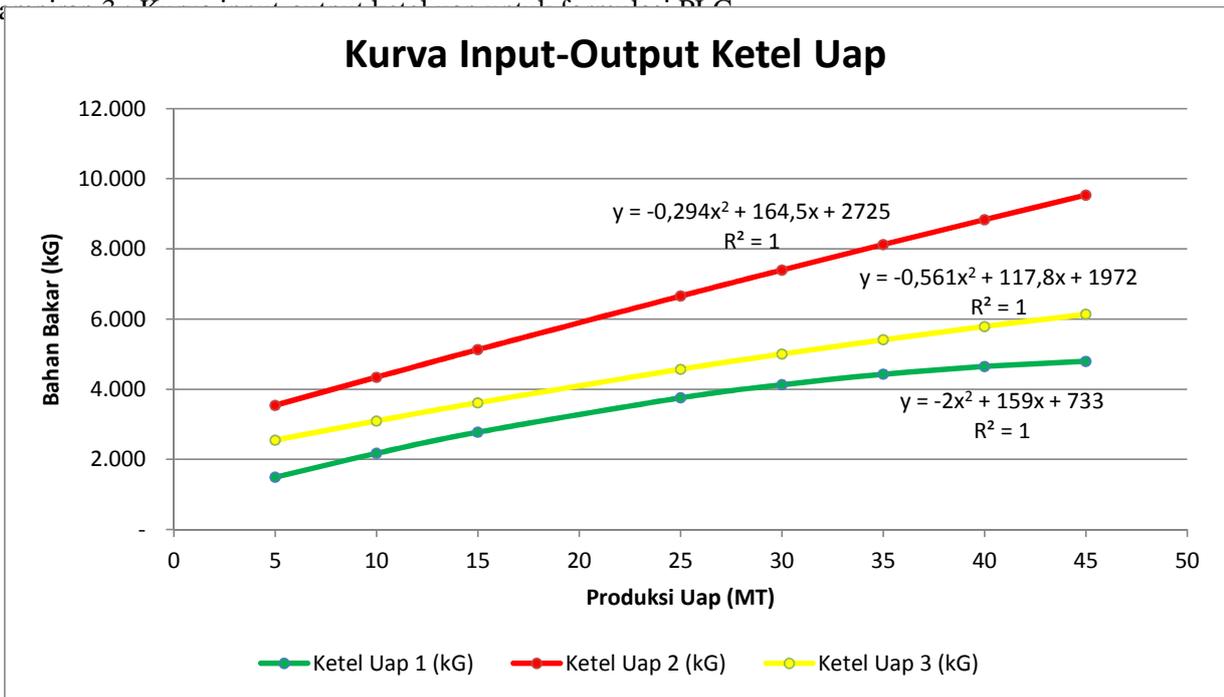
03 Mei 2018	24	8.294
04 Mei 2018	26	4.820
05 Mei 2018	26	6.613
06 Mei 2018	9	8.294
07 Mei 2018	29	7.510
08 Mei 2018	29	6.949
09 Mei 2018	25	6.501
10 Mei 2018	28	6.725
11 Mei 2018	28	6.501
12 Mei 2018	23	6.725
14 Mei 2018	26	6.501
15 Mei 2018	18	6.053
16 Mei 2018	13	7.398
17 Mei 2018	19	6.053
18 Mei 2018	25	5.492
19 Mei 2018	17	5.156
20 Mei 2018	18	5.492
21 Mei 2018	19	4.483
22 Mei 2018	28	6.837
23 Mei 2018	25	7.285
26 Mei 2018	17	7.734
27 Mei 2018	19	4.932
28 Mei 2018	19	6.389
29 Mei 2018	14	6.277
30 Mei 2018	22	6.837
31 Mei 2018	21	7.173
01 Juni 2018	16	6.389
02 Juni 2018	24	7.061
03 Juni 2018	18	6.613
04 Juni 2018	26	5.828
05 Juni 2018	26	7.173
06 Juni 2018	24	5.492
07 Juni 2018	21	5.044
08 Juni 2018	22	4.932
09 Juni 2018	32	5.380
10 Juni 2018	23	4.371
11 Juni 2018	18	4.595
22 Juni 2018	13	7.285
23 Juni 2018	32	8.630
24 Juni 2018	28	7.846
25 Juni 2018	13	4.820
28 Juni 2018	35	8.294
29 Juni 2018	25	7.622
30 Juni 2018	26	7.622

26 Mei 2018	26	5.127
27 Mei 2018	27	5.083
28 Mei 2018	22	4.458
29 Mei 2018	28	4.414
30 Mei 2018	28	4.414
31 Mei 2018	28	4.235
01 Juni 2018	29	3.745
02 Juni 2018	29	4.503
03 Juni 2018	26	4.949
04 Juni 2018	22	5.796
05 Juni 2018	28	6.019
06 Juni 2018	22	4.146
07 Juni 2018	23	4.102
08 Juni 2018	23	4.235
09 Juni 2018	20	4.458
10 Juni 2018	25	4.681
11 Juni 2018	31	4.191
12 Juni 2018	29	5.395
13 Juni 2018	22	5.395
14 Juni 2018	18	4.860
15 Juni 2018	21	5.083
16 Juni 2018	28	5.127
17 Juni 2018	18	4.369
18 Juni 2018	25	6.019
19 Juni 2018	20	5.484
20 Juni 2018	26	4.726
21 Juni 2018	40	5.127
22 Juni 2018	29	5.305
23 Juni 2018	29	5.172
24 Juni 2018	27	4.592
25 Juni 2018	30	4.458
26 Juni 2018	33	4.280
27 Juni 2018	32	4.592
28 Juni 2018	30	5.573
29 Juni 2018	28	4.904
30 Juni 2018	27	4.815

Lampiran 2 : Kurva input-output awal ketel uap



No. Ketel Uap	C	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$
1	C1	-1,526	158,9	733,2
2	C2	-0,294	164,5	2725
3	C3	-0,561	117,8	1972



Lampiran 4 : Economic Dispatch Simulasi dalam Formula Excel 2017

**Beban Turbin Uap**

TU = 1000 kW

kW	MT(uap)
870	20,0
1300	25,0
1000	21,5

**Batasan Ketel Uap**

21,5 ≤ KU1 ≤ 45 MT/h  
 0 ≤ KU2 ≤ 45 MT/h  
 0 ≤ KU3 ≤ 45 MT/h

**Total Beban Uap (P<sub>D</sub>)**

P<sub>D</sub> = 81 MT

**Konstanta-konstanta**

No. KU	γ	β	a	2Y	1/2Y	β/2γ
1	-1,342	164,5	537,6	-2,68	-0,37	-61,29
2	-0,804	216,5	1743	-1,61	-0,62	-134,64
3	-2,597	225,5	732,7	-5,19	-0,19	-43,42

**Menentukan Nilai Lambda (λ)**

λ = 133,40 kG/MT

Formula >>>

$$\lambda = \frac{P_D + \frac{\beta_1}{2\gamma_1} + \frac{\beta_2}{2\gamma_2} + \frac{\beta_3}{2\gamma_3}}{\frac{1}{2\gamma_1} + \frac{1}{2\gamma_2} + \frac{1}{2\gamma_3}}$$

**Menentukan Beban Optimum (P<sub>i</sub>)**

Formula >>>

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$$

P<sub>1</sub> = >>> 45,0

P<sub>2</sub> = >>> 0,0

P<sub>3</sub> = >>> 36,0

P<sub>D</sub> = 81,00 =SUM(C28:C30)

F<sub>T</sub> = 14.867

**Beban Turbin Uap**

TU = 1000 kW

kW	MT(uap)
870	20,0
1300	25,0
1000	21,5

**Batasan Ketel Uap**

21,5 ≤ KU1 ≤ 45 MT/h  
 0 ≤ KU2 ≤ 45 MT/h  
 0 ≤ KU3 ≤ 45 MT/h

**Total Beban Uap (P<sub>D</sub>)**

P<sub>D</sub> = 800 MT

**Konstanta-konstanta**

No. KU	γ	β	β/2γ	1/2γ	2γ
1	0,004	5,3	662,50	125,00	0,01
2	0,006	5,5	458,33	83,33	0,01
3	0,009	5,8	322,22	55,56	0,02

**Menentukan Nilai Lambda (λ)**

λ = 8,50 kG/MT

Formula >>>

$$\lambda = \frac{P_D + \frac{\beta_1}{2\gamma_1} + \frac{\beta_2}{2\gamma_2} + \frac{\beta_3}{2\gamma_3}}{\frac{1}{2\gamma_1} + \frac{1}{2\gamma_2} + \frac{1}{2\gamma_3}}$$

**Menentukan Beban Optimum (P<sub>i</sub>)**

Formula >>>

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$$

P<sub>1</sub> = 400,00 >>>

P<sub>2</sub> = 250,00 >>>

P<sub>3</sub> = 150,00 >>>



P<sub>D</sub> = 800,00 =SUM(C28:C30)

F<sub>T</sub> = 12.886

<b>kW</b>	<b>MT(uap)</b>
870	20,0
900	20,3
1000	21,5
1100	22,7
1200	23,8
1300	25,0



Tanggal	Actual					Economic Dispatch					Peluang Penghematan Bahan Bakar (kG/h)
	Produksi KU 1 (MT/h)	Produksi KU 2 (MT/h)	Produksi KU 3 (MT/h)	Produksi Total (MT/h)	Bahan Bakar Total (kG/h)	Produksi KU 1 (MT/h)	Produksi KU 2 (MT/h)	Produksi KU 3 (MT/h)	Produksi Total (MT/h)	Bahan Bakar Total (kG/h)	
Jul-17	31,0	25,0	26,0	82,0	15.502	45,0	-	37,0	82,0	13.081	2.421
Aug-17	29,0	18,0	26,0	73,0	14.304	45,0	-	28,0	73,0	12.349	1.955
Sep-17	-	16,0	31,0	47,0	11.100	45,0	-	2,0	47,0	9.724	1.376
Oct-17	29,0	16,0	27,0	72,0	14.083	45,0	-	27,0	72,0	12.262	1.821
Nov-17	32,0	16,0	29,0	77,0	14.454	45,0	-	32,0	77,0	12.686	1.768
Dec-17	30,0	12,0	-	42,0	10.755	42,0	-	-	42,0	9.412	1.343
Jan-18	31,0	14,0	-	45,0	11.135	45,0	-	-	45,0	9.491	1.644
Feb-18	28,0	27,0	32,0	87,0	16.105	45,0	-	42,0	87,0	13.449	2.657
Mar-18	18,0	12,0	26,0	56,0	12.411	45,0	-	11,0	56,0	10.718	1.693
Apr-18	20,0	26,0	27,0	73,0	14.848	45,0	-	28,0	73,0	12.349	2.499
May-18	28,0	22,0	27,0	77,0	14.931	45,0	-	32,0	77,0	12.686	2.246
Jun-18	28,0	24,0	26,0	78,0	15.145	45,0	-	33,0	78,0	12.767	2.378