

**ANALISIS EFISIENSI ENERGI LISTRIK PT. (PHPO)
PERMATA HIJAU PALM OLEO DENGAN MENGGUNAKAN
REGRESI LINIER KUADRAT TERKECIL**

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (MT)
Dalam Bidang Teknik Elektro

AHMAD ARIF
NPM : 1920080018



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN TESIS

Nama : AHMAD ARIF
Nomor Pokok Mahasiswa : 1920080018
Program Studi : MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
Judul Tesis : ANALISIS EFISIENSI ENERGI LISTRIK PT.
(PHPO) PERMATA HIJAU PALM OLEO
DENGAN MENGGUNAKAN REGRESI
LINIER KUADRAT TERKECIL

Pengesahan Tesis

Medan, 3 September 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc

Dr. Josef Hadipramana

Diketahui

Direktur

Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., M.Hum

Ketua Program Studi

Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

PENGESAHAN

**ANALISIS EFISIENSI ENERGI LISTRIK PT. (PHPO) PERMATA HIJAU
PALM OLEO DENGAN MENGGUNAKAN REGRESI LINIER
KUADRAT TERKECIL**

Tesis Ini Telah Dipertahankan Di Hadapan Panitia Penguji Yang Terbentuk Oleh
Magister Teknik Elektro PPs UMSU Dan Dinyatakan Lulus Dalam Ujian

Pada Hari Sabtu, Tanggal 3 September 2022

Panitia Penguji

1. Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

Ketua

1.....

2. Rohana, S.T, M.T

Sekretaris

2.....

3. Assoc. Prof. Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc

Anggota

3.....

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PERNYATAAN

ANALISIS EFISIENSI ENERGI LISTRIK PT. (PHPO) PERMATA HIJAU PALM OLEO DENGAN MENGGUNAKAN REGRESI LINIER KUADRAT TERKECIL

Dengan ini penulis menyatakan :

1. Tesis ini disusun dengan syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara adalah benar hasil karya tulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana, magister, maupun Doktor di perguruan tinggi manapun
3. Semua sumber referensi yang dikutip dan yang dirujuk telah ditulis dengan lengkap dengan daftar pustaka.
4. Apabila kemudian hari ditemukan judul penelitian yang sama maka dapat dipertanggung jawabkan sepenuhnya.

Medan, 15 September 2022

Penulis,



(Ahmad Arif)
1920080018

ABSTRAK

PT. Permata Hijau Palm Oleo memiliki pembangkit energi listrik menggunakan batubara sebagai bahan bakar boiler. Secara sederhana dikatakan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Dengan menggunakan 2 boiler dan 1 turbin generator yang dilakukan secara bergantian yang bertujuan menjaga kestabilan energi uap yang dihasilkan untuk mendapatkan energi listrik yang akan terdistribusi ke bagian lain. Boiler yang digunakan dengan kapasitas steam uap 6.85 Mpa dan temperatur suhu boiler 450°C sedangkan turbin dan generator memiliki kapasitas 12 MW. Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil untuk mencari peluang penghematan energi dengan memakai 2 boiler yang digunakan bersama dan di bantu dengan memakai aplikasi Hysys dan MS.Excell. Software aplikasi Hysys digunakan merancang/membuat simulasi peningkatan efisiensi thermal boiler yang mendapatkan peluang energi yang dikeluarkan oleh generator, sedangkan Ms. Excel digunakan untuk perhitungan analisis data yang diambil dari observasi dan analisa perhitungan. Tujuan dari penelitian ini dilakukan untuk menganalisa efisiensi energi listrik pada PT. Permata Hijau Palm Oleo (PHPO) dengan menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil. Untuk hasil uji data pada boiler didapat untuk efisiensi boiler A didapatkan nilai efisiensi sebesar 63,6 %. Sedangkan pada hasil simulasi di 62,91%. Hal ini dapat ditemukan selisih antara perhitungan dan simulasi sebesar 0,77 %. Untuk nilai perhitungan regresi linier metode kuadrat terkecil pada boiler dapat didapat nilai a sebesar 1,024x dan nilai b sebesar 3,714. Hal ini mendapatkan nilai $Y = 1,024 + 3,714 x$. Untuk nilai perhitungan regresi linier metode kuadrat terkecil pada turbin di dapatkan nilai a sebesar 1,0221 sedangkan nilai b sebesar 4,7146 dan didapat nilai $Y = 1,0221x - 4,7146$. Kesimpulan yang diambil dari penelitian ini mendekati dari nilai perhitungan analisis efisiensi menggunakan regresi linier kuadrat terkecil dengan hasil perhitungan simulasi hysys.

Kata Kunci; Boiler, Regresi Linier metode Kuadrat Terkecil, Hysys, PT.PHPO

ABSTRACT

PT. Permata Hijau Palm Oleo has a power plant using coal as boiler fuel. In simple terms, it is said to be a steam power plant (PLTU). By using 2 boilers and 1 turbine generator which are carried out alternately which aims to maintain the stability of the steam energy produced to obtain electrical energy that will be distributed to other parts. The boiler used has a steam capacity of 6.85 Mpa and a boiler temperature of 450oC while the turbine and generator have the same capacity of 12 MW. The method used in this study uses the least squares linear regression method to find energy saving opportunities by using 2 boilers that are used together and assisted by using the Hysys and MS.Excell applications. The Hysys application software is used to design/make a simulation of increasing the thermal efficiency of a boiler that gets the opportunity for energy released by the generator, while Ms. Excel is used for calculation of data analysis taken from observation and calculation analysis. The purpose of this study was to analyze the efficiency of electrical energy at PT. Permata Hijau Palm Oleo (PHPO) using least squares linear regression method. For the results of the test data on the boiler obtained for the efficiency of boiler A, the efficiency value is 63.6%. While the simulation results at 62.91%. It can be found that the difference between the calculation and the simulation is 0.77%. For the value of the smallest quadratic method linear regression calculation on the boiler, the a value of 1.024x can be obtained and the value of b is 3.714. This gets the value $Y = 1.024 + 3.714 x$. For the value of the linear regression calculation of the smallest quadratic method on the turbine, the a value of 1.0221 is obtained, swwhile the value of b is 4.7146 and the value of $Y = 1.0221x - 4.7146$ is obtained. The conclusions drawn from this study are close to the value of the calculation of efficiency analysis using least squares linear regression with the results of the hysys simulation calculation.

Keywords; Boiler, Least Square Method Linear Regression, Hysys, PT.PHPO

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum wr. Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia serta hidayah-Nya kepada umat-Nya Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun umatnya beserta keluarga, sahabat dan umat Islam di seluruh dunia ini. Amiin.

Tulisan ini dibuat sebagai tesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemaisteran pada Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tesis ini adalah “Analisis Efisiensi Energi Listrik PT. (PHPO) Permata Hijau Palm Oleo Dengan Menggunakan Regresi Linier Kuadrat Terkecil”.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Dari itu saya haturkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, S.H., M.Hum selaku Direktur Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis.
3. Bapak Dr. Josef Hadipramana. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Suwarno. MT. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

5. Bapak dan Ibu Dosen di program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Istri dan anak-anak saya tercinta yang dengan penuh keikhlasan dan kesungguhan hati memotivasi kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan Pendidikan Program Magister Teknik.
7. Seluruh karyawan biro Program Pascaarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Program Pascasarjana, khususnya Program Studi Magister Teknik Elektro yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada saya.

Atas semua bantuan yang telah diberikan, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga kita semua diberi kesehatan jasmani dan rohani oleh Allah SWT, semoga kita senantiasa 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 SWT mengabulkan. *Amin ya rabbal 'alamin.*

Akhir kata, saya sadar dengan sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang konstruktif dari pembaca tetap saya harapkan demi perbaikan dan sebagai bekal pengetahuan dalam penyusunan-penyusunan berikutnya. Akhirnya, semoga tesis ini bermanfaat bagi semua, khususnya bagi para mahasiswa pascasarjana dan bagi saya pribadi, Amin

Medan, September 2022
Penulis,

AHMAD ARIF
1920080018

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori	6
2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap	7
2.1.2. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap	10
2.1.3. Bahan Bakar	20
2.1.4. Analisis Efisiensi	21
2.1.5. Regresi Linier	22
2.1.5.1. Regresi Linier Kudarat Terkcil	22
2.1.6. Simulasi Hysys	26
2.2. Kajian Penelitian yang Relevan	27
2.3. Kerangka Berpikir / Konseptual	33
2.4. Hipotesis	37

BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1. Pendekatan Penelitian	38
3.2. Tempat Dan Waktu Penelitian	38
3.3. Populasi dan Sampel	39
3.4. Defenisi Operasional Variabel	39
3.5. Teknik Pengumpulan Data	40
3.6. Teknik Analisis Data	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pendekatan Penelitian – Uji Data	62
4.1.1. Efisiensi Komponen Pembangkit PLTU	62
4.1.2. Analisa Perhitungan Regresi Linier Kuadrat Terkecil .	64
4.2 Analisa Simulasi Data	74
4.2.1. Analisa Simulasi Aspen Hysys	74
4.3 Perbandingan Uji Data – Analisa Simulasi Data	78
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses Konversi Uap	7
Gambar 2.2.	Siklus Kerja Pembangkit PLTU	8
Gambar 2.3.	Siklur Rankie	9
Gambar 2.4.	Boiler Pipa Api	11
Gambar 2.5.	Boiler Pipa Air PT Permata Hijau Group.....	12
Gambar 2.6.	Coal Bunker	14
Gambar 2.7.	Water Wall	15
Gambar 2.8.	Down Comer	15
Gambar 2.9.	Cyclone	16
Gambar 2.10.	Loop Seal	17
Gambar 2.11.	Induced Draught Fan	18
Gambar 2.12.	Software Aplikasi Hysys	26
Gambar 2.13.	Software Aplikasi Hysys	27
Gambar 2.14.	Flowchart Penelitian.....	36
Gambar 3.1.	Plant Unit PT. PHPO KIM II	45
Gambar 3.2.	Desain Project Propertis Environment	46
Gambar 3.3.	Desain Project Building The Model.....	46
Gambar 3.4.	Desain Project Indentify Energy	47
Gambar 3.5.	Desain Project Optimation Energy.....	47
Gambar 3.6.	Simulation Hysys Project	48
Gambar 3.7.	Bentuk Kerja Operasi Project.....	49
Gambar 4.1	Grafik Regresi Linier Kuadrat terkecil pada Boiler A - B	68

Gambar 4.2	Grafik Daya Ouput Boiler A – B	69
Gambar 4.3	Grafik Regresi Linier Kuadrat terkecil pada Turbin (HP – LP)	73
Gambar 4.4	Grafik Daya Ouput LP – HP Turbin.....	74
Gambar 4.5	Penyesuaian tools package aplikasi Hysys.....	75
Gambar 4.6	Desain Awal Pembangkit PLTU pada aplikasi Hysys	75
Gambar 4.7	Rangkaian Simulasi Aplikasi Hysys Pada Turbin dan Boiler ..	76
Gambar 4.8	Grafik Nilai Efisiensi Turbin Keadaan HP - LP.....	76
Gambar 4.9	Grafik Nilai Efisiensi Boiler A - B.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kerangka Konsep Penelitian	34
Tabel 3.1. Spesifikasi Steam Boiler	43
Tabel 3.2. Spesifikasi Turbin	43
Tabel 3.3. Spesifikasi Generator	44
Tabel 3.4. Spesifikasi Deaerator	44
Tabel 3.5. Kondisi Boiler Pada Saat Pengoperasian	49
Tabel 3.6. Unjuk kerja dari boiler A	50
Tabel 3.7. Unjuk kerja dari boiler B	54
Tabel 3.8. Data Operasional Turbin A 100% Nilai HP	60
Tabel 3.9. Data Operasional Turbin A 100% Nilai LP	60
Tabel 3.10. Data Operasional Turbin A 100% Nilai LP	61
Tabel 4.1. Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier Kuadrat Terkecil	64
Tabel 4.2. Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier ..	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Batubara merupakan salah satu energi fosil yang dominan pada pembangkit listrik tenaga uap. Hal ini dikarenakan batubara bisa dimanfaatkan karena mempunyai nilai kalori rendah yang relatif lebih murah. Secara umum bahwa pembangkit listrik tenaga uap bekerja dengan cara konversi energi kimia dari bahan bakar ke energi listrik [1]. Pembangkit listrik tenaga uap atau tenaga thermal banyak digunakan karena efisiensinya dinilai baik sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis, dimana tingkat efisiensi pembangkit yang dipengaruhi jumlah bahan bakar yang menghasilkan daya yang dikeluarkan.

Pada umumnya komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah boiler, turbin, generator, dan komponen pendukungnya lainnya seperti conveyor, kondensor fan dan lainnya. Dan pada PT. Permata Hijau Palm Oleo Group (PHPO) memiliki pembangkit energi listrik tenaga uap menggunakan batubara. Jadi secara sederhananya bahwa ini dikatakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Untuk komponen utama pembangkit listrik tenaga uap adalah boiler, turbin, generator, baterai dan pompa dan komponen pendukungnya, conveyor, kondensor fan dan lainnya.

Suatu pembangkit harus mempunyai efisiensi daya yang besar. Faktor efisiensi merupakan hal yang sangat penting dan selalu menjadi pembahasan utama di dalam setiap pembangkit listrik. Salah satu hal yang menjadi parameter penting dalam menentukan seberapa besar efisiensi yang telah dihasilkan oleh PLTU adalah

efisiensi pada boiler. Efisiensi boiler pada penelitian ini diperoleh dengan melakukan perhitungan daya yang dihasilkan oleh kedua boiler tersebut. Namun untuk mendapat nilai efisiensi pada boiler harus dibantu oleh daya turbin yang digunakan [2].

Dengan kondisi seperti yang diuraikan di atas maka perlu dilakukan analisis efisiensi pada pembangkit listrik tenaga uap terutama di PT. Permata Hijau Palm Oleo Group (PHPO) yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi boiler sebagai bentuk pemanfaatannya. Peningkatan efisiensi boiler dilakukan dengan meninjau bentuk nilai kalori pada batubara.

Dengan uraian di atas, saya merasa perlu melakukan cara untuk menganalisis efisiensi boiler pada pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Adapun tahapan yang diambil pada penelitian diuraikan sebagai berikut, pertama, melakukan menganalisa efisiensi boiler ke turbin untuk mendapatkan daya yang dihasilkan dengan baik [3]. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi supaya meminimalkan *heat losses* pada boiler sebagai nilai daya outputnya yang bisa dikatakan sebagai potensi penghematan energi fosil [4]. Kedua, melakukan studi analisis data daya output boiler yang dihasilkan, dalam hal ini saya menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil untuk mendapatkan hasil perhitungan analisis data yang dibantu aplikasi komputer untuk memudahkan dan mempercepat proses perhitungan yang akan menjadi bahan perbandingan penelitian [5]. Dalam penelitian ini saya menggunakan dua aplikasi yaitu aplikasi Excel dan Aplikasi Hysys untuk menghitung data penelitian untuk mendapatkan

nilai efisiensi, serta mempermudah dalam melakukan analisa dan dapat dikerjakan dengan waktu efisiensi [6].

1.2. Identifikasi Masalah

Uraian latar belakang diatas dapat diambil suatu indentifikasi masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Seberapa besar peluang penghematan bahan bakar dan aspek ekonomisnya terhadap pemakaian bahan bakar.
2. Perlu dilakukan studi analisa pada komponen boiler untuk mendapatkan nilai daya output yang dihasilkan.
3. Perlu dilakukan studi analisis efisiensi boiler yang dilakukan pada pembangkit.

1.3. Pembatasan Masalah

Untuk penelitian sejalan dengan masalah yang ditinjau, perlu dilakukan pembatasan masalah agar tidak terjadi penyimpangan pembahasan, berikut pembatasan masalahnya :

1. Untuk analisa data dari bertujuan untuk mengevaluasi heat losses pada boiler dan untuk studi optimasi menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil.
2. Pembahasan dilakukan pada kondisi berjalan dengan normal. Dan tidak dalam kondisi pembangkit mengalami gangguan operasi.
3. Biaya pembuatan boiler diabaikan dan analisa yang dilakukan seputar penghematan efisiensi energi.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan nilai daya output (unjuk kerja) komponen pembangkit listrik tenaga uap untuk mendapatkan dari produksi energi listrik.
2. Bagaimana mendapatkan nilai efisiensi energi pada boiler dengan menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil.
3. Bagaimana cara melakukan simulasi boiler dengan menggunakan Software HYSYS untuk mengetahui nilai efisiensi.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

1. Dapat menganalisis nilai daya output (unjuk kerja) komponen untuk mendapatkan nilai peluang penghematan energi pada proses produksi listrik.
2. Dapat menganalisis efisiensi boiler pada PT. Permata Hijau Palm Oleo (PHPO) dengan menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil.
3. Dapat melakukan simulasi boiler dengan menggunakan Software HYSYS untuk mengetahui nilai efisiensi.

1.6. Manfaat Penelitian

1. Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, khususnya pada bidang ketel uap atau boiler baik pada unit pembangkit maupun untuk proses produksi di dunia industri.

2. Hasil penelitian ini dapat berfungsi sebagai rujukan bagi para mahasiswa yang ingin memperdalam dengan memberikan kontribusi bagi engineer yang berkecimpung di bidangnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Efisiensi energi merupakan sesuatu yang tidak dapat terpisahkan dari pembangkit. Seiring dengan kemajuan teknologi ternyata banyak energi fosil yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga uap untuk menghasilkan energi listrik yang akan didistribusikan ke sub industri lainya ataupun kepada masyarakat. Boiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembangkit karena akan mempengaruhi kinerja dari sistem pembangkit itu sendiri dan pengkonsumsi energi terbesar. Pengkajian kinerja boiler perlu dilakukan untuk melihat efisien atau tidaknya boiler beroperasi. Konservasi energi pada boiler dirasa perlu dilakukan untuk menunjang efisiensi.

Efisiensi pada boiler sangat ditentukan dan diperhatikan pada bahan bakarnya yaitu batubara. Batubara memiliki nilai propertis yang tersendiri untuk hasil yang baik pada saat pembakaran tersebut. Pembakaran batubara sangat ditentukan untuk nilai efisiensi pada boiler. Turbin dan generator merupan komponen utama setelah boiler. Hal ini mempunyai nilai tersendiri pada pembangkit.

Bagi dunia indrustri, manajemen industri telah menjadikan manajemen energi sebagai salah satu fungsi industri yang utama. Faktor yang menentukan tingkat kualitas manajemen energi meliputi rantai pasok, biaya produksi, kualitas energi dan keberlanjutan lingkungan produksi. Manajemen energi digunakan dalam proses transformasi energi dengan menerapkan prinsip umum yang memiliki keabsahan yang dapat dibuktikan kebenarannya.

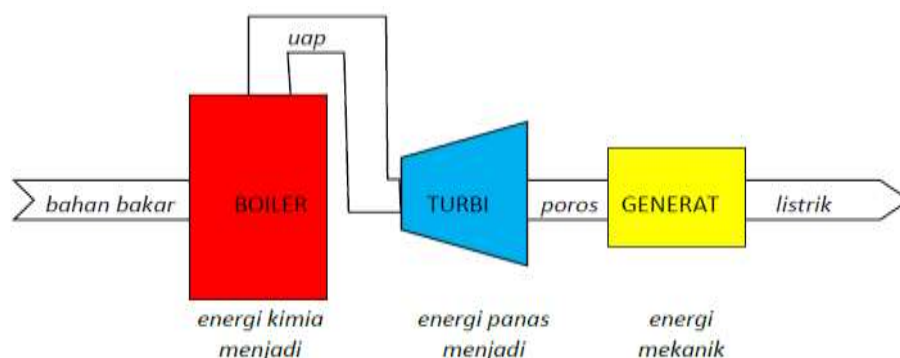
2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan sebuah pembangkit dengan memanfaatkan energi panas dan dikonversikan menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan bahan bakar primer seperti batubara, gas, bahan bakar minyak, dan bahan bakar primer lainnya [6].

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

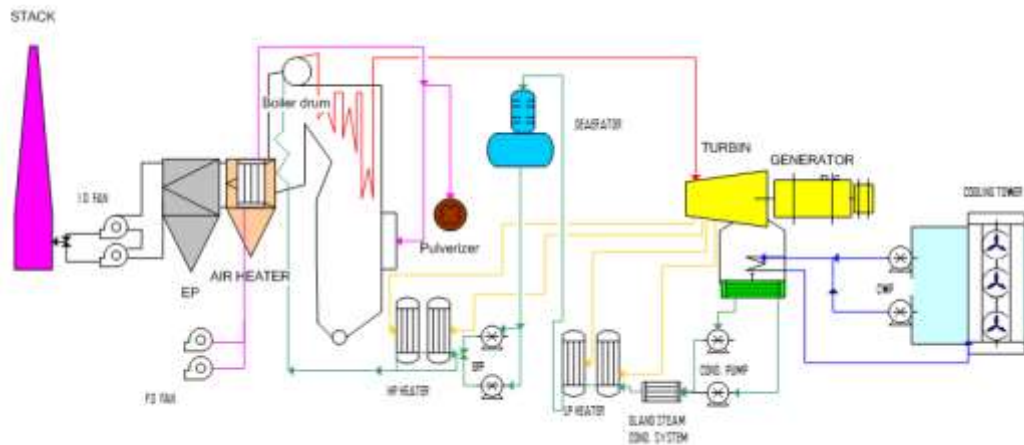
Dalam konversi energi tingkat yang pertama yang terjadi di pembangkit listrik tenaga uap adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam steam drum. Adapun proses konversi uap pada Gambar 2.1 seperti yang di ilustrasikan.



Gambar 2.1 Proses Konversi Uap

2.1.1.1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup [7]. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang yang ada pada Gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2. Siklus Prinsip Kerja PLTU

Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

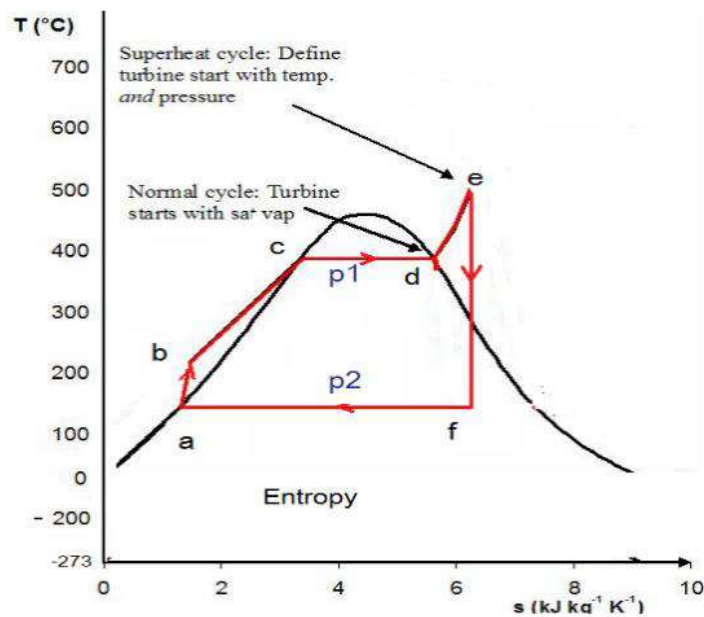
1. Air disisakan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.
4. Uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air. Air kondensat dari hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang. Gambar 2.2.

menunjukkan diagram sederhana pembangkit listrik tenaga uap dengan komponen utama dan siklus kerja sistem-sistemnya.

- Putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang dikopel langsung dengan turbin sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.

2.1.1.2. Siklus Rankine

Siklus kerja pembangkit listrik tenaga uap merupakan siklus tertutup dapat digambarkan dengan diagram T – S (temperatur – entropi) [8]. Siklus ini adalah penerapan siklus rankine pada Gambar 2.3. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut



Gambar 2.3 Siklus Rankine

Adapun penjelasan dari Gambar 2.3 diatas sebagai berikut :

1. a – b : Air dipompa dari tekanan P2 menjadi P1. Langkah ini adalah *kompresi isentropis*, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.
2. b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih.
3. c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut vapourising (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di boiler
4. d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga mencapai temperatur kerjanya. Langkah ini terjadi di boiler dengan proses *isobar*.
5. e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah ekspansi *isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
6. f – a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor

2.1.2. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap

1. Boiler / Ketel Uap

Boiler atau Ketel uap adalah suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan uap (steam) untuk berbagai keperluan dengan cara mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas. Pada boiler, air dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga terjadi perpindahan panas yang mengakibatkan temperatur air menjadi naik sampai mencapai keadaan cair jenuh. Apabila kondisi air sudah sampai cair jenuh maka panas yang diberikan tidak menaikkan temperatur air tetapi merubah fase air menjadi fase uap (perubahan dari kondisi cair jenuh menjadi uap jenuh). Air yang lebih panas memiliki berat jenis

yang lebih rendah dibandingkan dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis lebih tinggi akan turun ke dasar [9].

Berdasarkan fluida yang mengalir didalam pipa, maka boiler dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Pada boiler pipa api ini, gas asap mengalir didalam pipa-pipa sedangkan air/uap diluar pipa (*heating surface*), sebagai tempat penampungan air digunakan drum ketel. Dengan demikian pada boiler pipa api ini, pipa pemanas dan air boiler terletak didalam drum. Boiler pipa api memiliki tekanan operasi standar yaitu maksimum 250 psi (16 bar) pada umumnya berkapasitas kurang dari 7 ton/jam. Bila ingin memperbesar kapasitas boiler pipa api harus dengan cara memperluas permukaan pipa pemanas, maka drum ketel juga harus diperbesar. Adapun pada Gambar 2.4 merupakan boiler pipa api.



Gambar 2.4. Boiler Pipa Api

b. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Pada boiler pipa air ini, air/uap mengalir didalam pipa *down comer*, sedangkan diluar pipa sumber pemanas atau pembakaran, maka kegunaan drum ketel hanya menampung air/uap. Pipa pemanas (*water wall*) diletakkan diluar drum ketel sehingga banyaknya pipa pemanas yang dibutuhkan tidak terlalu mempengaruhi drum ketel [10]. Oleh karena itu, pipa pemanas yang dibutuhkan dengan jumlah yang besar sehingga kapasitas boiler ini dapat jauh lebih besar dari pada boiler pipa api, volume drum dari boiler ini jauh lebih kecil, sehingga waktu pemanasannya pun menjadi lebih singkat.

Sebagai ketel yang sudah sangat modern, *water tube boiler* biasanya dirancang dengan tekanan sangat tinggi dan memiliki kapasitas *steam* antara 4.500-12.000 kg/jam. Apabila kapasitas *boiler* lebih besar dari 2.4 Mpa atau tekanan operasi *boiler* lebih besar dari 24 bar. Maka *boiler* dianggap cocok untuk produksi uap dalam jumlah besar dengan skala industri dengan uap yang dihasilkan yaitu *superheated*. Adapun pada Gambar 2.5 merupakan *Boiler Pipa Air* PT Permata Hijau Group.



Gambar 2.5. Boiler Pipa Air PT Permata Hijau Group

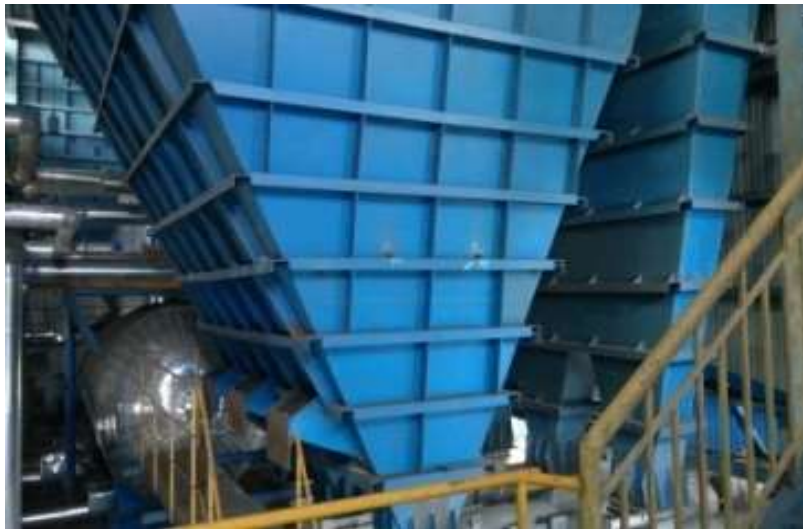
c. Bagian – bagian *Boiler*

1. Coal Crusher

Coal crusher berfungsi menghancurkan batubara menjadi ukuran yang lebih kecil. Batubara di hancurkan menjadi ukuran yang kecil dimaksudkan untuk mendapatkan efisiensi pembakaran yang baik, karena dengan ukuran batubara yang kecil batubara bisa terbakar habis. Setelah melalui proses pemilihan batubara di angkut menggunakan conveyor 1 menuju *Coal Crusher*. Batubara dimasukkan dalam *crusher* pada bagian atas. Batubara dihancurkan oleh ring yang bekerja memutar dan berporos dari pusat pada rotor atau dengan palu berayun melekat padanya. *Motor coal crusher* bekerja pada power 132 Kw dengan daya 380 V, kecepatan 50 Hz, tegangan 244 A, dan rotasi 990 r/min. Pada bagian *adjustable* digunakan untuk menentukan ukuran dari hasil *crusher* batubara yang akan dikehendaki batubara yang sudah dihaluskan, selanjutnya diangkut dengan conveyor 2 menuju conveyor 3 yang terdapat di elevasi 26000 dan melanjutkan transfer batubara menuju *Coal Bunker*, diteruskan ke *Coal Feeder* yang berfungsi mengatur jumlah aliran batubara ke Furnace (Ruang Bakar) Boiler [11].

2. Coal Bunker

Coal Bunker adalah tempat penampungan bahan bakar berupa batubara yang sudah dihancurkan menjadi ukuran yang dibutuhkan sebelum dimasukkan ke ruang bakar. Kapasitas dari *Coal Bunker* adalah 130 Ton. Sounding adalah cara untuk mengukur kuantitas batubara di *Coal Bunker*, yaitu dengan cara mengukur volume dari tumpukan batubara di dalam *Coal Bunkers*. *Coal Bunker* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Coal Bunker*

3. Water Wall

Water Wall merupakan pipa-pipa penguap. Pipa-pipa tersebut berisi air panas, menerima panas dari proses pembakaran secara radiasi. *Water Wall* disusun sedemikian rupa pada keempat sisi ruang bakar sehingga membentuk dinding pipa-pipa. Adapun water wall dapat ada pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Water Wall

4. Down Comer

Down Comer merupakan saluran dan pembagi air dari Drum ke Low Header yang berada di bawah ruang bakar. Down Comer terpasang pada bagian luar dari Furnace (tidak terkena api) dan dilapisi Rock Wool yang berfungsi sebagai isolasi panas. Adapun bentuk dari down comer pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Down Comer

5. Cyclone

Cyclone berfungsi sebagai penyaring abu dan batubara yang belum habis terbakar yang bercampur dengan gas buang. *Cyclone* bekerja secara mekanis berdasarkan gaya sentrifugal, gas buang masuk ke dalam *Cyclone* dengan arah tangensial. Dengan demikian gas buang di dalam *Cyclone* dipaksa melakukan pusaran, sehingga butiran abu dan batubara yang belum habis terbakar dihempaskan ke dinding *Cyclone* dan turun ke bawah menuju seal pot untuk seterusnya dimasukkan kembali ke dalam *Furnace*. Sementara *flue gas* dan abu yang ringan akan terpisah dan naik ke atas melalui pipa yang terdapat di tengah *Cyclone* pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Cyclone

6. Loop Seal

Loop Seal adalah bagian paling bawah dari *Cyclone* yang berfungsi untuk mengalirkan kembali abu dan batubara yang belum habis terbakar yang turun dari

Cyclone menuju ke ruang bakar dengan bantuan tiupan angin dari *Return Fan* pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Loop Seal

7. Induced Draught Fan

Induced Draught Fan berfungsi untuk menghisap gas-gas hasil pembakaran dari *Furnace* dan mendorong gas-gas pembakaran tersebut melalui pipa-pipa *Superheater* dan *Economizer* menuju ke ESP yang dibuang ke udara melalui Chimney/Cerobong [12]. Hal ini bertujuan agar ruang bakar tetap dalam kondisi vacuum/minus. Pada IDF gambar 2.8 terdapat *regulasi damper* yg berfungsi untuk mengatur besarnya *flow flue* gas yang akan ditarik. Selain itu juga terdapat Bearing yang berfungsi sebagai penumpu dan menahan gaya radial dan aksial, temperatur bearing dijaga 90⁰C. untuk mendinginkan minyak pelumas pada bearing digunakan air sebagai media pendingin, air pendingin tersebut berasal dari pompa cooling tower. *Induced draught* fan bekerja pada motor listrik dengan power 400 KW, daya 45,9A, tegangan 6000 V, rotasi kecepatan 990 r/min, dan 50 Hz [13].



Gambar 2.11. Induced Draught Fan

2. Turbin Uap

Pada turbin uap terdapat mesin panas dimana dapat menjadi energi mekanik. Turbin uap yang ada di industri biasanya memiliki 3 bagian tekanan dengan sistem satu poros diantaranya *High Pressure (HP)*, *Intermediate Pressure (IP)*, *Low Pressure (LP)*. Hukum keseimbangan massa dan energi bahwa turbin uap bekerja berdasarkan jumlah massa yang masuk per satuan waktu dan selisih entalpi *input-output* boiler [14]. Sistem kerja turbin uap dapat di buat dalam suatu rumus persamaan sebagai berikut ;

Persamaan pada *high pressure* turbin :

$$WHP = \dot{m}_8 * (h_8 - h_7) \quad (2.1)$$

Persamaan pada *intermediate pressure* turbin :

$$WIP = \dot{m}_9 * (h_9 - h_{10}) \quad (2.2)$$

Persamaan pada *low pressure* turbin :

$$WLP = \dot{m}_{10} * (h_{10} - h_{10}) \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan maka dapat dinilai sistem kerja total turbin uap pada persamaan berikut :

$$WT = WHP + WIP + WLP \quad (2.4)$$

Dimana :

WT : Daya kerja dihasilkan turbin	(kW)
\dot{m}_7 : Laju aliran massa turbin (HP)	(kg/s)
\dot{m}_9 : Laju aliran massa turbin (IP)	(kg/s)
\dot{m}_{10} : Laju aliran massa turbin (LP)	(kg/s)
h_8 : Enthalpy masuk pada turbin (HP)	(kJ/kg)
h_7 : Enthalpy Output turbin (HP)	(kJ/kg)
h_9 : Enthalpy input turbin (IP)	(kJ/kg)
h_{10} : Enthalpy Output turbin (IP) atau input turbin (LP)	(kJ/kg)
h_{11} : Enthalpy Output pada turbin (LP)	(kJ/kg)

Untuk nilai efisiensi dari turbin uap dapat menggunakan persamaan berikut

$$\eta_{turbin} = \frac{h_{input\ actual} - h_{output\ actual}}{h_{input\ actual} - h_{output\ isentropik}} \quad (2.5)$$

Untuk menentukan nilai efisiensi dari generator dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_{generator} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan}}{\text{sistem unjuk kerja turbin uap}} \quad (2.6)$$

3. Pompa

Pompa merupakan berfungsi untuk memindahkan air dari sumber ke tempat yang diinginkan melalui pipa. Pompa dalam pembangkit tenaga uap ini seperti : *Condensate Extraction Pump (CEP)*, *Turbine Feed Water Pump (TFWP)* dan

Boiler Feed Water Pump (BFWP). Condensate Extraction Pump (CEP) adalah pompa yang berfungsi memompa air hasil pendinginan dari kondenser menuju ke *feed water storage tank*. *Turbine Feed Water Pump (TFWP)* adalah pompa yang beroperasi dari *feed water storage tank* menuju ke *steam drum*, karena membutuhkan energi yang besar dalam melakukan kerja maka pompa ini menggunakan *steam* dalam melakukan kerja dengan memutar turbin [15]. *Steam* yang digunakan dalam memutar memanfaatkan ekstraksi dari IP turbin. *Boiler Water Circulation Pumps (BFWP)* adalah pompa yang berfungsi memindahkan air dari *steam drum* menuju ke *evaporator*.

2.1.3. Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (*kalor*). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (*boiler*) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Bahan bakar yang digunakan *boiler* digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu : Bentuk padat, bentuk cair, dan bentuk gas, bentuk padat ini ada yang bisa langsung dipakai seperti batu bara. Pada prinsipnya ketiganya memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing, namun saat ini industri dengan skala besar lebih memilih bahan bakar gas sebagai bahan bakar utama, dikarenakan memiliki efektifitas yang tinggi dan tidak menimbulkan kotor pada permukaan pembakaran [16]. Berikut ini adalah jenis bahan bakar yang digunakan oleh *boiler*.

a. Bahan bakar padat (batubara)

Batubara merupakan bahan bakar jenis batuan sedimen berwarna coklat kehitaman yang dapat terbakar terdiri dari konsolidasi dan senyawa daripada tumbuhan yang tumbuh di hutan. Komposisi kimia batubara bervariasi dari satu daerah ke daerah yang lain, tergantung pada vegetasi dari yang dibentuk dan kondisi lingkungan (seperti suhu dan tekanan) yang terkena formasi lingkungan. Batubara memiliki kandungan kimia utama yaitu karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen, batubara juga mengandung air dan kotoran yang abu, merkuri, dan belerang [17].

2.1.4. Analisis Efisiensi

Efisiensi sistem pada pembangkit yang merupakan perbandingan besar daya output (dihasilkan) dengan besar daya yang dibutuhkan dalam proses pembakaran [19]. Di dalam pembangkit listrik tenaga uap, efisiensi sistem dipengaruhi oleh 3 komponen utama, yaitu daya turbin, daya pompa, dan panas masuk dari *boiler*.

$$\eta = \frac{W_T - W_p}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana :

η : Efisiensi thermal siklus rankine (%)

W_T : Daya output turbin (kW)

W_p : Daya output pompa (kW)

Q_{in} : Laju kalor yang masuk (kW)

2.1.5. Regresi Linier

Pada dasarnya, analisis regresi ialah suatu teknik untuk menggabungkan persamaan dengan menggunakan persamaan untuk membuat perkiraan (*prediction*). Analisis regresi sering disebut istilah analisis prediksi. Hal ini dikarenakan prediksi tidak selalu tepat dengan nilai nyatanya. Jadi semakin kecil tingkat penyimpangan antara nilai prediksi dengan nilai realnya, maka semakin bagus persamaan yang dibuat. Jadi bisa didefinisikan bahwa analisa regresi adalah metode statistika untuk menentukan kemungkinan dalam bentuk hubungan antara beberapa variabel dengan tujuan penggunaan metode untuk memperkirakan nilai dari suatu variabel lainnya [20].

2.1.5.1. Regresi Linier Kuadrat Terkecil (*Ordinary Least Square (OLS)*)

Metode kuadrat terkecil, yang lebih dikenal dengan nama Least-Squares Method, adalah salah satu metode pendekatan' yang paling penting dalam dunia keteknikan untuk: (a). regresi ataupun pembentukan persamaan dari titik titik data diskretnya (dalam pemodelan), dan (b). Analisis sesatan pengukuran (dalam validasi model).

Metode kuadrat terkecil termasuk dalam keluarga metode-metode pendekatan sesatan terdistribusi ("distributed error" approximation methods), berdasarkan karakteristik kerjanya yang melakukan pengurangan sesatan menyeluruh (global error) yang terukur berdasarkan interval pendekatan keseluruhan (whole approximation interval) sesuai dengan order pendekatan yang meningkat. Metode ini berbeda dengan metode lainnya, metode ini khusus dikembangkan melalui

pendekatan melalui deret, karena sesuai pendekatan pada beberapa titik tertentu, sesuai dengan order pendekatan yang meningkat.

Metode kuadrat terkecil ini juga memainkan peranan penting dalam teori statistik, karena metode ini seringkali digunakan dalam penyelesaian problem-problem yang melibatkan kumpulan data yang tersusun secara acak, seperti dalam percobaan penelitian. Untuk persamaan linier ini diambil dari regresi sederhana.

Seperti telah dijelaskan di atas, dalam dunia keteknikan metode kuadrat terkecil ini digunakan untuk melakukan regresi dan atau pencocokan kurva yang diharapkan dapat membentuk persamaan matematis tertentu. Secara empiris, persamaan-persamaan matematis tertentu yang sering digunakan. Adapun pada persamaan sederhana dari regresi linier yang dapat kita ketahui sebagai berikut :

$$Y = ax + b \quad (2.8)$$

Dimana :

Y = variabel tak bebas (dependen)

a = Kelandaian (slope) Kurva garis lurus

x = variabel bebas (independen)

b = Perpotongan (intercept) kurva dengan “ordinat’ atau sumbu tegak

Dengan x dan y merupakan variabel bebas dan tak bebas, sedangkan a dan b merupakan parameter. Jika kita mempunyai sekumpulan data pasangan (x,y), dan data tersebut digambarkan dalam bentuk grafik linear, maka akan diperoleh suatu garis lurus. Regresi yang dimaksudkan disini adalah: pencarian harga – harga tetapan a dan b berdasarkan deretan data yang ada (jumlah atau pasangan data x-y sebanyak N).

Dengan menganggap bahwa x memiliki sesatan yang lebih kecil dari pada sesatan pada y , maka garis lurus terbaik dapat diperoleh berdasarkan metode kuadrat terkecil (regresi terhadap y). Nilai a terbaik dituliskan dengan notasi a sedangkan nilai b terbaik dituliskan dengan notasi b dengan menggunakan persamaan. Persamaan sebaran (S atau distribusi) yang menyatakan sesatan terdistribusi dari persamaan linier tersebut dinyatakan sebagai:

$$S = \sum (y - ax - b)^2 \quad (2.9)$$

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk dapat menghitung a dan b adalah minimisasi turunan persamaan di atas terhadap tetapan a dan b (dalam hal ini, a dan b dianggap sebagai variabel-variabel semu), sehingga membentuk persamaan – persamaan berikut :

$$(a). \frac{dS}{da} = 0; \text{ dan}$$

$$(b). \frac{dS}{db} = 0.$$

Untuk lebih jelasnya, kronologis penurunan kedua persamaan di atas adalah sebagai berikut :

$$(a). \frac{dS}{da} = \left[\sum (y - ax - b)^2 \right] = 0 \quad \text{Sehingga akan terbentuk persamaan}$$

$$\sum (y - ax - b)(-x) = 0, \quad \text{atau}$$

$$a \sum x^2 + b \sum x = \sum xy \quad (2.10)$$

$$(b). \frac{dS}{db} = \left[\sum (y - ax - b)^2 \right] = 0, \quad \text{sehingga kemudian terbentuk}$$

persamaan berikut :

$$\sum (y - ax - b)(-1) = 0, \quad \text{atau}$$

$$a\sum x + Nb = \sum y \quad (2.10)$$

Dengan menggunakan aturan cramer dengan membentuk persamaan matrik beroder 2 maka determinan matriks, konstanta a dan b adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \sum xy & \sum x \\ \sum y & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum xy \\ \sum y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$a = \frac{\det \begin{bmatrix} \sum xy & \sum x \\ \sum y & N \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum x \\ \sum x & N \end{bmatrix}}; \quad (2.12)$$

$$b = \frac{\det \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum xy \\ \sum x & \sum y \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum x \\ \sum x & N \end{bmatrix}}; \quad (2.13)$$

$$\det = \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum x \\ \sum x & N \end{bmatrix} = [\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2] \quad (2.14)$$

$$\det = \begin{bmatrix} \sum xy & \sum x \\ \sum x & N \end{bmatrix} = [\sum xy \cdot N - \sum x \cdot \sum y] \quad (2.15)$$

$$\det = \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum xy \\ \sum x & \sum y \end{bmatrix} = [\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum y] \quad (2.16)$$

sehingga, diperoleh solusi harga-harga a dan b:

$$a = \frac{[\sum xy \cdot N - \sum x \cdot \sum y]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]} \quad (2.17)$$

$$b = \frac{[\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]} \quad (2.18)$$

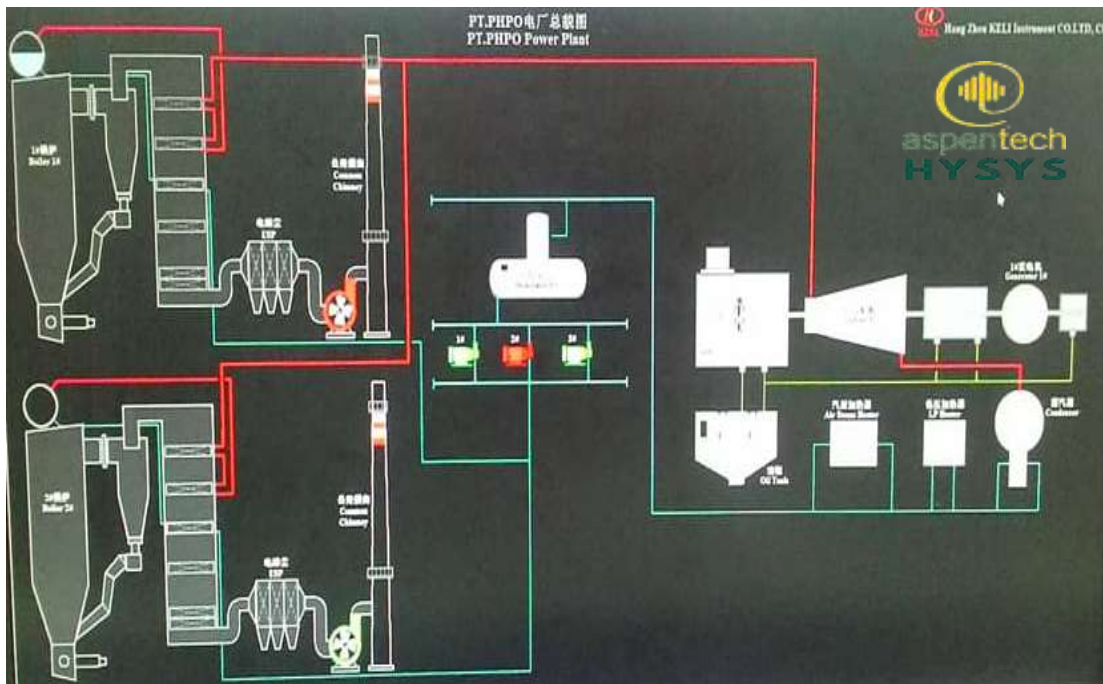
2.1.6. Simulasi HYSYS

Aplikasi Aspen HYSYS (*Hyphothetical System*) merupakan perangkat lunak yang saat ini dikembangkan oleh AspenTech yang digunakan untuk memodelkan proses kimia secara matematis, dari unit operasi hingga pabrik dan kilang kimia penuh [22]. HYSYS mampu melakukan banyak perhitungan inti teknik kimia, termasuk yang berkaitan dengan keseimbangan massa, keseimbangan energi, keseimbangan uap-cair, perpindahan panas, perpindahan massa, kinetika kimia, fraksinasi, dan penurunan tekanan [23].



Gambar 2.12. Software Aplikasi Hysys

Dalam melakukan simulasi, yang harus dibuat yaitu jenis bahan yang akan digunakan, *process flow diagram (PFD)*, menghitung keseimbangan massa dan energi. HYSYS juga dapat berfungsi menghitung kinerja suatu peralatan yang ada di plant. HYSYS mempunyai kelebihan seperti tampilan yang interaktif dan mudah dalam memasukkan data HYSYS digunakan secara luas di industri dan akademisi untuk simulasi keadaan-mapan dan dinamis, desain proses, pemodelan kinerja, dan pengoptimalan yang ada pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Software Aplikasi Hysy

2.2. Kajian Penelitian yang Relevan

Adapun kajian yang relevan pada penelitian ini yang berhubungan dengan analisis boiler dan energi pada pembangkit tenaga uap sebagai berikut :

1. *M. Rabadjiyski, Tz. Georgiev, M. Georgiev, Y. Dachev, St. Stojkov "Electrical Energy Management System" IFAC WS ESC'06 [24]*

Artikel ini berkaitan dengan desain, pembangunan dan realisasi praktis dari sistem untuk manajemen pengiriman dan konsumsi energi listrik dalam proses produksi pabrik berdasarkan metode peramalan. Struktur peralatan teknis dan perangkat lunak disajikan dan dibahas dalam artikel. Sistem manajemen yang disajikan memperkirakan konsumsi energi listrik untuk jangka menengah periode satu minggu. Sistem memperhitungkan dokumen hukum pemerintah yang membahas aturan komersial pasar energi listrik. Desain dan simulasi sistem dilakukan dalam lingkungan MATLAB.

2. *Afua Mohamed, Mohamed Tariq Khan, "A review of electrical energy management techniques: Supply and consumer side (industries)", Journal of Energy in Southern Africa, 2009 [25].*

Tinjauan teknik manajemen energi listrik di sisi suplai dan sisi permintaan disajikan. Artikel ini menunjukkan bahwa kontrol beban langsung, kontrol beban interupsi, dan waktu penggunaan (*Time Of Used*) adalah teknik manajemen beban utama yang digunakan di sisi suplai. Otoritas sisi penawaran biasanya merancang teknik ini dan menerapkannya pada konsumen sisi permintaan. Manajemen beban (*Load Management*) yang dimulai dari sisi permintaan mengarah pada pengisian lembah dan pemotongan puncak. Teknik koreksi faktor daya juga telah dianalisis dan diamati bahwa banyak utilitas listrik, terutama di negara berkembang, tidak mengembangkan atau menerapkan manajemen energi listrik mereka. Artikel ini mengusulkan bahwa teknik *Correction Power Faktor (PFC)* yang ada harus dievaluasi kembali terutama ketika beban nonlinier. Ini juga merekomendasikan metode kontrol permintaan otomatis untuk digunakan di sisi permintaan untuk mendapatkan konsumsi energi yang optimal. Ini akan mengarah pada peningkatan keandalan sisi pasokan dan dengan demikian mengurangi degradasi lingkungan.

3. *Gupta, Rahul, Ghai, Sudhir, "Energy Efficiency Improvement Strategies for Industrial Boilers: A Case Study" Journal of Engg & Technology, 2011 [26]*

Dalam artikel ini, temuan studi peningkatan efisiensi ruang ketel yang dilakukan di unit ruang ketel besar dari pabrik pulp dan kertas telah disajikan. Penyebab efisiensi boiler yang buruk adalah berbagai kehilangan panas seperti

kehilangan karena karbon yang tidak terbakar dalam sampah, kehilangan karena gas buang kering, kehilangan karena kelembaban dalam bahan bakar, kehilangan karena radiasi, kehilangan karena *blow down*, dan kehilangan karena pembakaran. hidrogen. Berbagai kehilangan panas dianalisis dan serangkaian rekomendasi dibuat untuk manajemen pabrik untuk implementasi, sehingga efisiensi boiler dapat ditingkatkan. Lima rekomendasi penting dilaksanakan oleh manajemen pabrik, dan terlihat bahwa ada peningkatan yang luar biasa dalam efisiensi boiler. Analisis ekonomi mengungkapkan bahwa pengeluaran pada sistem yang diusulkan akan dipulihkan dalam waktu singkat. Pekerjaan ini, dengan hanya lima rekomendasi yang diterapkan, telah menghasilkan peningkatan bersih sebesar 2% dalam efisiensi boiler secara keseluruhan dan penghematan tahunan sebesar Rs. 34.12.395. Selain itu, diamati bahwa kehati-hatian dalam pengoperasian boiler dapat sangat membantu dalam peningkatan efisiensi energi dalam boiler.

4. T. Javieda, T. Rackowa, J. Frankea, “*Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies*”. *Procedia CIRP*, 2015. [27].

Salah satu pilar utama industri modern adalah pasokan energi yang tidak terputus dengan harga yang wajar. Produksi energi sebagian besar didasarkan pada sumber daya energi tak terbarukan yang semakin mahal harganya. Kenaikan biaya energi ini mengakibatkan perusahaan memproduksi barang yang lebih mahal. Oleh karena itu telah ditetapkan bahwa efisiensi energi tidak

hanya sangat penting bagi lingkungan tetapi juga untuk produksi berkelanjutan di perusahaan manufaktur.

5. *Jovcevski, Milica, Lakovic, Mirjana, Banjac, Milos Improving the energy efficiency of a 110 MW thermal power plant by low-cost modification of the cooling system, Energy & Environment, 2015 [28].*

Sistem tenaga listrik Republik Serbia sebagian besar bergantung pada pembangkit listrik termal berbahan bakar lignit, dengan 70% dari total pembangkit listrik. Efisiensi energi pembangkit listrik tenaga batubara 110 MW di mana kondensor didinginkan oleh sistem menara pendingin basah draft mekanik dianalisis dalam artikel ini. Perhatian terutama ditujukan pada kondisi operasi ujung dingin pembangkit, yaitu hubungan timbal balik antara kondensor dan menara pendingin. Parameter terpenting yang mempengaruhi pengoperasian sistem menara pendingin adalah suhu udara dan kelembaban relatif, laju aliran massa spesifik, dan suhu air yang didinginkan. Dengan sistem pendingin yang ada, efisiensi energi keseluruhan pembangkit menjadi rendah, terutama di bulan-bulan musim panas, bahkan kurang dari 30%, karena kondisi cuaca buruk. Dengan meningkatkan sistem menara pendingin yang ada dengan mengadaptasi dua sel menara pendingin tambahan, efisiensi energi secara keseluruhan dapat ditingkatkan sebesar 1,5%. Periode pengembalian investasi rehabilitasi sistem menara pendingin diperkirakan kurang dari satu tahun. Metode statis untuk penilaian ekonomi dan keuangan digunakan.

6. *Akhtar, M, Qamar, Adnan, Farooq, Muhammad, Amjad, Muhammad, Asim, Muhammad, "Development Of An Effective Energy Management System In*

Power Plants Of Pakistan”, Journal of Faculty of Engineering & Technology, 2016.

Di banyak wilayah di dunia, pengelolaan penghematan energi merupakan tugas yang menantang. Banyak faktor termasuk ekonomi, lingkungan dan politik memiliki efek substansial pada praktik manajemen energi, yang mengarah ke berbagai reservasi dalam pengambilan keputusan yang tepat. Sistem Manajemen Energi (EnMS) menyediakan peta jalan standar untuk efisiensi, efektivitas, dan profitabilitas organisasi. Dengan menggunakan teknik EnMS, kerugian energi dapat dikurangi, dan ada penghematan besar bahan bakar yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik lebih lanjut. ISO50001:2011 adalah standar yang berhubungan dengan EnMS. Tujuan dari pekerjaan penelitian saat ini adalah untuk menentukan pendekatan yang optimal dalam pengembangan Sistem Manajemen Energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Siklus Gabungan (CCPP). Dalam penelitian ini CCPP dianalisis untuk jangka waktu enam bulan untuk pengembangan 6 EnMS. Hasil penelitian menunjukkan adanya penghematan energi sebesar $8,13 \times 10$ BTUs yang berarti penghematan sekitar USD.4500 per hari, yang akan terus meningkat sebagai akibat dari implementasi EnMS yang dikembangkan. Hasil yang diperoleh dari penelitian saat ini dapat digunakan sebagai panduan untuk aplikasi lebih lanjut dalam sistem manajemen energi industri.

7. Valencia, Guillermo, Rojas, Jhan, Avella, Juan, “Energy Optimization of Industrial Steam Boiler using Energy Performance Indicator”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2019 [29].

Artikel ini menunjukkan penerapan sistem manajemen energi dan perhitungan indikator efisiensi energi pada boiler *pyrotubular*, mengikuti pedoman standar ISO50001. Indikator konsumsi energi aktual, indeks konsumsi teoritis, baseline energi dan indeks efisiensi 100 dievaluasi berdasarkan data konsumsi gas dan produksi uap. Untuk tindakan penghematan, 20% pengurangan konsumsi gas dapat dicapai dengan mengurangi variabilitas operasional yang setara dengan 186.633 m³/bulan, sehingga mencapai penghematan bulanan sebesar \$70.920.717 COP dan pengurangan besar dalam gas alam yang setara dengan pengurangan emisi CO² (1.318.739.05 kg Co²/bulan). Juga, pembersihan yang saat ini dicatat dalam boiler lebih tinggi dari nilai yang direkomendasikan untuk peralatan ini, dan udara berlebih yang dilepaskan bervariasi antara 6% dan 11%, meningkatkan kerugian karena panas sensibel. Tiga implementasi utama diterapkan untuk meningkatkan kinerja energi ketel uap. Implementasi penghematan pertama adalah pengurangan tekanan pembangkitan dari 250 menjadi 180 psig, mencapai suhu gas yang lebih rendah dengan pengurangan kehilangan panas dari boiler, pipa dan kehilangan kebocoran uap, mencapai penghematan 2% dari konsumsi gas alam rata-rata. Implementasi kedua adalah otomatisasi pembersihan boiler, sesuai dengan nilai yang direkomendasikan UNE-9075/85, mencapai penghematan total 0,66%, dan pengukuran ketiga memungkinkan pembakaran pengukuran langsung CO² dan dibantu udara, yang mempertahankan nilai oksigen terukur pada 3%, yang merupakan nilai yang direkomendasikan. Dengan indikator kinerja energi metode praktis pada *boiler*.

8. *Fiorini, Laura, Aiello, Marco, "Energy management for user's thermal and power needs: A survey", Energy Reports, 2019 [30].*

Konsumsi energi dunia yang meningkat, keragaman sumber energi, dan tujuan lingkungan yang mendesak telah membuat keseimbangan pasokan-permintaan energi menjadi tantangan utama. Selain itu, karena pengurangan biaya energi merupakan target penting dalam jangka pendek, sementara keberlanjutan sangat penting dalam jangka panjang, tantangannya ada dua dan mengandung tujuan yang saling bertentangan. Sistem yang lebih berkelanjutan dan perilaku pengguna akhir dapat dipromosikan dengan menawarkan insentif ekonomi untuk mengelola penggunaan energi, sekaligus menghemat tagihan energi. Dalam artikel ini, kami mensurvei sistem manajemen energi mutakhir untuk penjadwalan operasi sumber daya energi terdistribusi dan memenuhi permintaan listrik dan termal pengguna akhir. Kami menjawab pertanyaan seperti: bagaimana masalah manajemen energi dapat dirumuskan? Manakah metode pengoptimalan yang paling umum dan bagaimana menangani ketidakpastian perkiraan? Secara kualitatif, perbaikan seperti apa yang bisa diperoleh. Hal ini memberikan gambaran umum baru tentang konsep, model, teknik, dan penghematan ekonomi dan emisi potensial untuk meningkatkan desain sistem manajemen energi.

2.3. Kerangka Berpikir / Konseptual

Kerangka konseptual dibutuhkan guna mendapatkan data yang mendukung untuk penelitian ini sehingga didapatkan gambaran yang akurat terkait dengan

efisiensi energi. Studi obeservasi dilakukan untuk mendapat gambaran dilapangan terkait permasalahan efisiensi. Pengolahan data awal bertujuan untuk mendapat gambaran untuk mencari peluang efisiensi yang dilakukan, sehingga bisa didapatkan angka peluang penghematan yang baik. Pengembangan dan perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan efisiensi dan metode regresi linier kuadrat terkecil dan merancang simulasi pembangkitan efisiensi boiler.

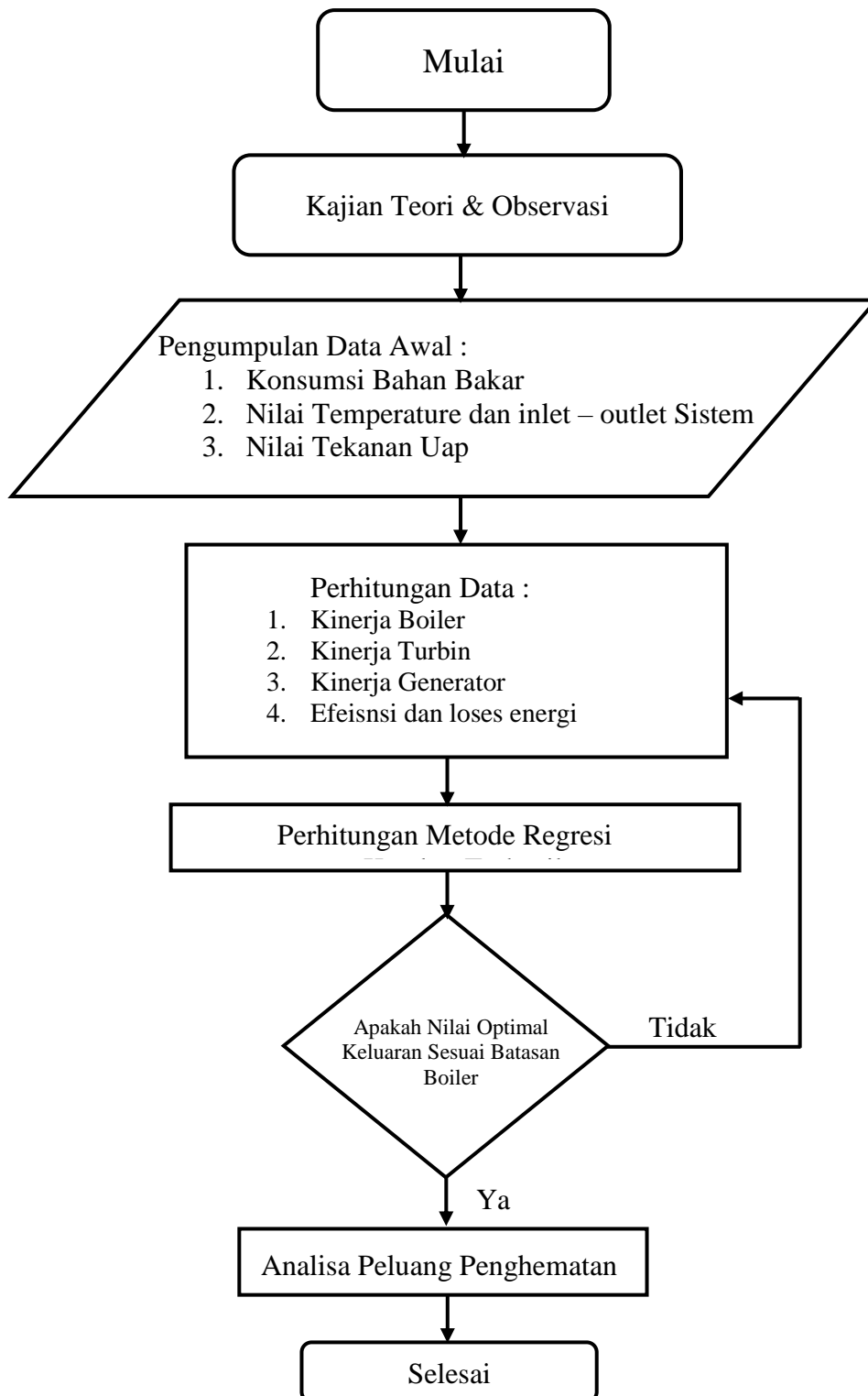
Pada penyusunan penelitian ini di perlukan kerangka berpikir yang jelas setiap tahapannya. Kerangka konseptual yang yang dilakukan dengan langkah – langkah yang berurutan dengan penyelesaian masalah yang akan dibahas. Adapun kerangka konseptual ini diuraikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kerangka Konsep Penelitian

KEGIATAN		KELUARAN
Studi Literature	→	Pemahaman teori dan konsep efisiensi Boiler pada pembangkit (PLTU)
Studi Observasi	→	Data dan informasi penggunaan bahan bakar boiler
Pengolahan Data Awal	→	Menemukan indentifikasi masalah dan peluang efisiensi
Pengembangan Sistem	→	Menggunakan Formula Efisiensi boiler dengan metode regresi linier metode kuadrat terkecil
Perancangan Sistem	→	Merancang Sistem simulasi dalam bentuk HMI
Analisis Efisiensi	→	Menemukan analisis efisiensi pada boiler

Flowchart penelitian ini dari awal sampai dengan hasil penelitian yang di lakukan nanti. Dimulai. dari dengan mendapatkan masukan nilai dari parameter nilai konstanta nilai aktual *boiler*, *turbine*, dan *genertor* 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 *boiler*. Adapun Gambar 2.10 merupakan flowchart penelitian yang sedang dilakukan.



Gambar 2.14. Flowchart Penelitian

2.4. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian pada penulisan tesis ini dapat diuraikan :

1. Melakukan peninjauan propertis bahan bakar, sehingga produksi uap boiler yang dihasilkan mendapatkan nilai efisiensi komponen PLTU.
2. Melakukan analisis efisiensi menggunakan metode regresi linner kuadrat terkecil pada boiler.
3. Membuat simulasi Aplikasi Hysys uuntuk mengetahui nilai analisis efisiensi yang di keluarkan pada pembangkit.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian kualitatif yang tertuju pada pendekatan deskriptif. Penelitian kualitatif termasuk jenis penelitian sistematis dan terstruktur dari awal hingga pembuatan desain penelitiannya, metode penelitian kuantitatif ini sebagai metode penelitian berlandaskan untuk meneliti pada populasi dan sampel tertentu. Pada pengambilan teknik sampel dilakukan secara random menggunakan instrument penelitian, analisis data bersifat kualitatif/statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Ada dasarnya, pendekatan kualitatif dilakukan pada penelitian inferensial (dalam rangka pengujian hipotesis) dan menyandarkan kesimpulan hasilnya pada suatu probabilitas kesalahan penolakan hipotesis nihil. Dengan metode kualitatif akan diperoleh signifikansi perbedaan kelompok atau signifikansi hubungan antar variabel yang diteliti. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan tujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian ataupun hasil penelitian.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PHPO (Permata Hijau Palm Oleo). Penelitian ini berlangsung dari bulan September 2021 hingga bulan Oktober 2021. PT. PHPO (Permata Hijau Palm Oleo) merupakan pabrik pengolahan CPO menjadi minyak

goreng dan margarine yang dijual ke berbagai negara. Saat ini PT. PHPO sedang melakukan ekspansi yaitu produksi Biodiesel.

3.3. Populasi dan Sampel

Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah pemakaian efisiensi yang dikeluarkan boiler dan di distribusikan ke bagian tertentu. Dan jumlah daya yang diterima oleh pengguna yang di gunakan yang bertujuan untuk mencari nilai analisis efisiensi.

Sample

Dalam penelitian ini, digunakan sampel data dengan mengambil data penggunaan tekanan, temperatur, energi listrik dan daya listrik selama bulan september s/d oktober 2021 dan data pemakaian energi boiler.

3.4. Defenisi Operasional Variabel

Operasional Variabel pada penelitian ini pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang di tetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut. Dari kesimpulan tersebut dapat ditarik variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas (x)

Variabel bebas atau variabel pengaruh dalam penelitian ini adalah nilai konstanta dari *turbin generator* yang digerakan oleh *boiler*.

2. Variabel terikat / tak bebas (y)

Variabel terikat atau variabel terpengaruh dalam penelitian ini adalah pemakaian daya yang di distribusikan ke bagian-bagian sistem daya listrik yang beroperasi.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian berlangsung ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk mencari data untuk penelitian ini. dimulai dari kajian studi pustaka, dimana saya mencari teori-teori dasar dari penelitian yang akan dilakukan. lalu melakukan observasi langsung untuk mencari data-data yang diperlukan dalam penelitian ini akan di jelaskan sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Studi Pustaka yaitu penelusuran literatur yang bersumber dari buku, media, pakar ataupun dari hasil penelitian orang lain yang bertujuan untuk menyusun dasar teori yang kita gunakan dalam melakukan penelitian. Sumber acuan peneliti dapat buku referensi, E-book dan penelitian sebelumnya.

2. Teknik Observasi.

Saya melakukan teknik observasi, untuk mengetahui data real yang ada dilapangan dan juga sebagai data penunjang untuk terlaksananya proses penelitian analisis efisiensi di PT. PHPO (Permata Hijau Palm Oleo).

3. Diskusi

Diskusi dilakukan dengan pembimbing dilapangan, yaitu Teknisi bagian *Plant plumb* dan bagian yang bertanggung jawab terhadap *system controller energy*.

Tahapan penelitian ini akan dijelaskan secara rinci apa saja yang saya lakukan selama melakukan penelitian tesis ini. Berikut akan diuraikan lebih jelas mengenai tahapan penelitian tersebut.

1. Tahap pertama

Adalah tahap dimana penulis menentukan tempat observasi analisis efisiensi pembangkit untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian ini, menentukan masalah apa yang akan dikaji, untuk mencari solusi dari penelitian yang akan dilakukan.

2. Tahap kedua

Yaitu tahap pelaksanaan. Di tahap ini penulis sudah memperoleh akses untuk melakukan observasi di PT. PHPO (Permata Hijau Palm Oleo). Data yang diperoleh dari kegiatan observasi, penelitian meliputi jumlah pemakaian efisiensi berdasarkan kondisi di lapangan.

3. Tahap ketiga

Selanjutnya adalah membuat yang telah ditemukan di lapangan menjadi tulisan sebuah Tesis, mulai dari judul, bab 1, sampai bab 5. Tahap ini dilakukan secara bertahap, dimulai dari bab 1, bab 2, sampai bab 5.

3.6. 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 observasi, pengukuran, dan perhitungan.

Pada penelitian ini, tahapan – tahapan akan di lakukan sub tahapan pada penelitian ini agar teknik analisa data diperlukan sebagai langkah menyatukan dan menyimpulkan data penelitian. Tahapan analisa data sebagai berikut :

a. Sistem Kelistrikan Pada PLTU Permata Hijau Palm Oleo

Proses investigasi sistem kelistrikan gedung perlu dilakukan. Sistem kelistrikan central melalui main transformer tegangan 6,3 KV dinaikkan menjadi 20 KV melalui trafo step–up, dimana generator unit pembangkit dihubungkan dengan sistem 20 KV melalui trafo Step – up.

Adapun data-data pada pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Data Boiler

Untuk penggunaan boiler pada pembangkit menggunakan 2 boiler yang dibuat secara swtiching (bergantian) untuk menjaga kestabilan dan daya tahan boiler

agar tidak mengalami kerusakan. Apabila produksi meningkat maka kedua boiler digunakan untuk operasional. Adapun spesifikasi boiler pada tabel 3.1 Spesifikasi Boiler.

Tabel 3.1. Spesifikasi Steam Boiler

DATA STEAM BOILER	KETERANGAN
Model	UG— 75/6.86 – M
Manufactured	Wuxi Huaguang Boiler Co.,LTD
Nominal Capacity	75 ton / jam
Nominal Steam Temperature	450 °C
Nominal Steam Pressure	6,86 Mpa

2. Data Turbin

Untuk turbin digunakan pada pembangkit menggunakan 1 *turbin* dan adapun spesifikasi *turbin* pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Spesifikasi Turbin

TURBIN	KETERANGAN
Capacity	12 MW
Model	C12-6.80/0.49
Manufacture	Qingdao Jieneng Steam Turbine Group Co.,Ltd
Rated Speed	3.000 Rpm
Steam Pressure	68 bar
Steam Temperature	435 °C
Extraction Pressure	4,9 bar
Extraction Flow	30 ton / jam

3. Data Generator

Untuk generator generator yang digunakan pada pembangkit ini tertera pada Tabel 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.3 Sfesifikasi Generator

Generator	Keterangan
Capacity	12 MW
Manufacture	Jinan Power Equipment Co.,Ltd of China
Type	QF-12-2
KVA	15.000 KVA
Power Factor	0,8
Voltage	6,3 KV
Frekuensi	50 Hz
Cooling Syistem	

4. Data Deaerator

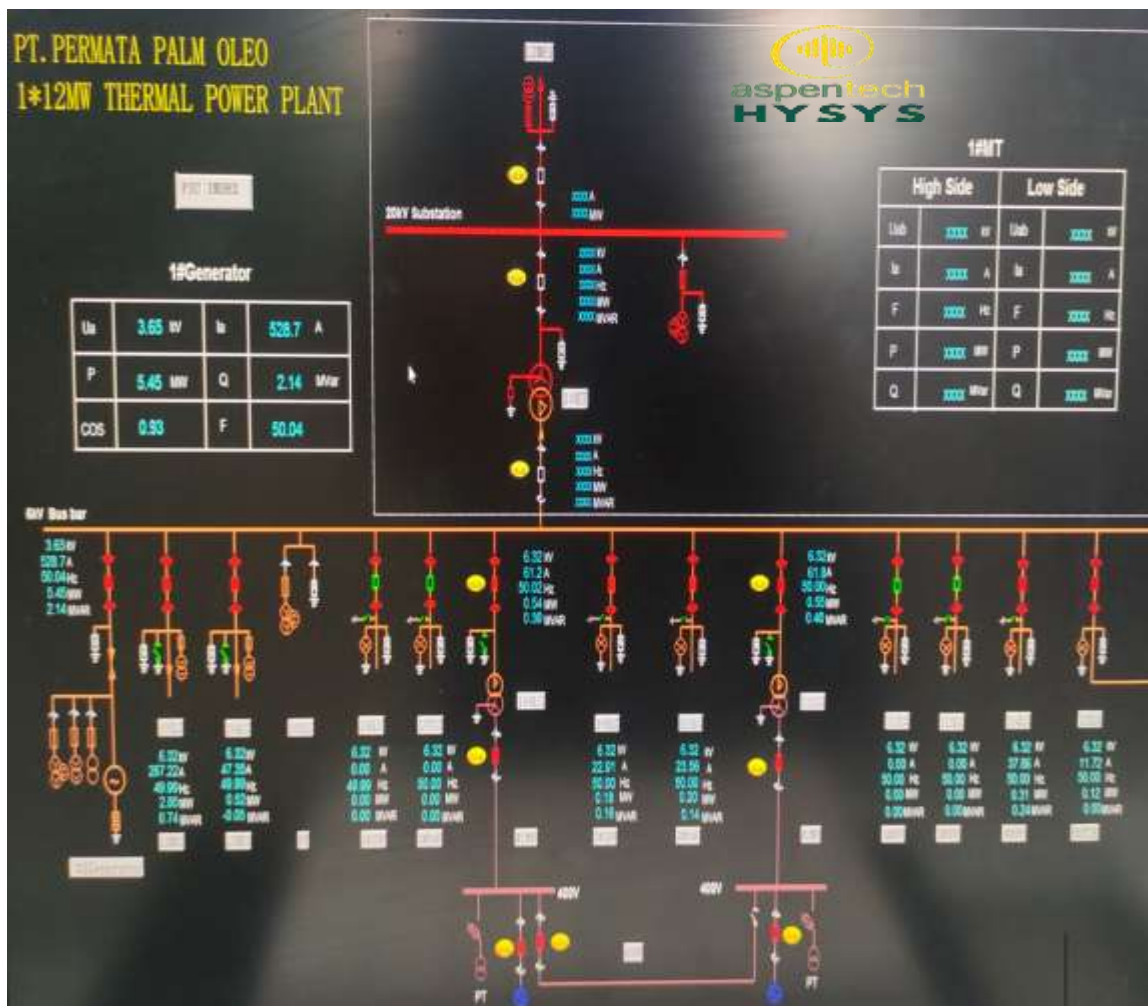
Air yang berasal dari LPH akan diteruskan dan ditampung ke bagian Deaerator dan akan dijaga normalisasinya. Adapun sfesifikasiya Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Sfesifikasi Deaerator

DATA DEAERATOR	KETERANGAN
Type	XMC – 150
Jumlah	1 / unit
Kapasitas maksimum	150 t / jam
Temperature condensate inlet	60 °C
Temperature feed outlet	105 °C
Jumlah feed water (inlet)	70 °C
Kandungan oksigen (outlet)	0,008 gr / l
Tekanan dan Jumlah steam pemanas	3 bar – 3 t / jam
Design tekanan dan temperature	0,2 Mpa – 250 °C
Test tekanan dengan hydrostatic	
Untuk feed water pump	9 Mpa
Berat kosong	15,72 ton
Berat kondisi operasi	55,72 ton
Berat kondisi berisi penuh	71,44 ton

b. Memahami Sistem Operasional Plant Unit PT. PHPO

Pada tahapan ini perlu didalami kembali sistem operasi plant perlu di lakukan karena perlu pengembangan untuk memahami sistem input – output daya yang dihasilkan.



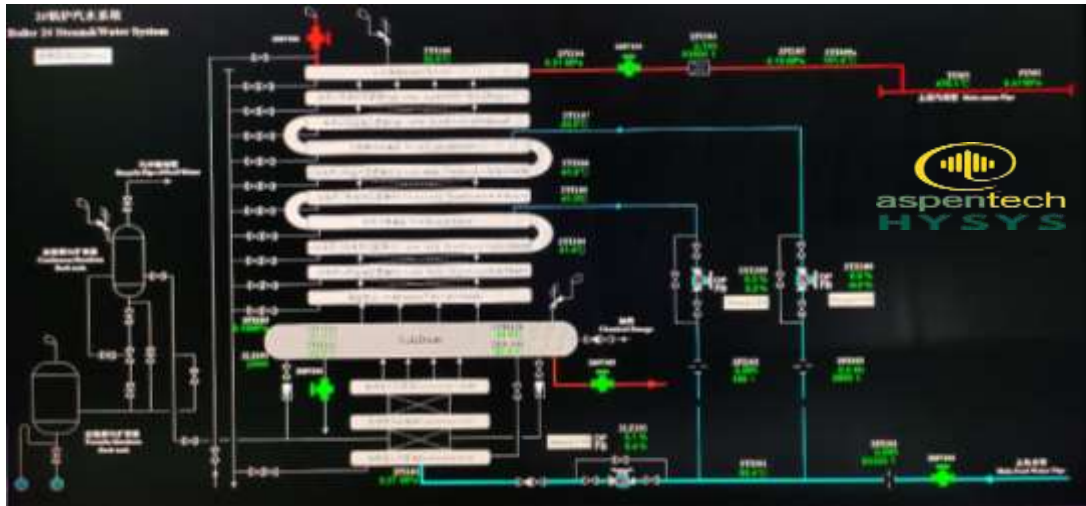
Gambar 3.1. Plant Unit PT. PHPO KIM

c. Melakukan sistem evaluasi efisiensi pada Unit Plant

Adapun proses berlangsungnya analisa data penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk simulasi aplikasi Hysys seperti yang sudah dijelaskan pada Bab II.

Penggunaan aplikasi Hysys ini sesuai dengan kriteria penulisan di bidang boiler pembangkit. Berikut penggunaan aplikasi Hysys pada penelitian ini.

1. Design Project Propertis Environment

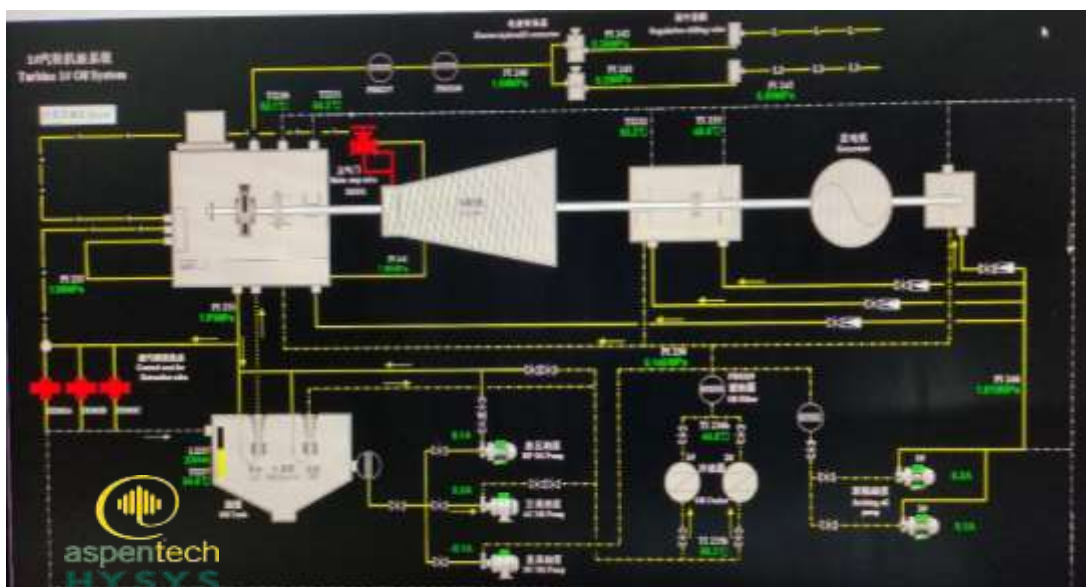


Gambar 3.2. Desain Project Propertis Environment

Penjelasan :

Membuat setting project untuk simulasi, dan dalam bentuk grafik dan lainnya terlebih dahulu.

2. Building The Model

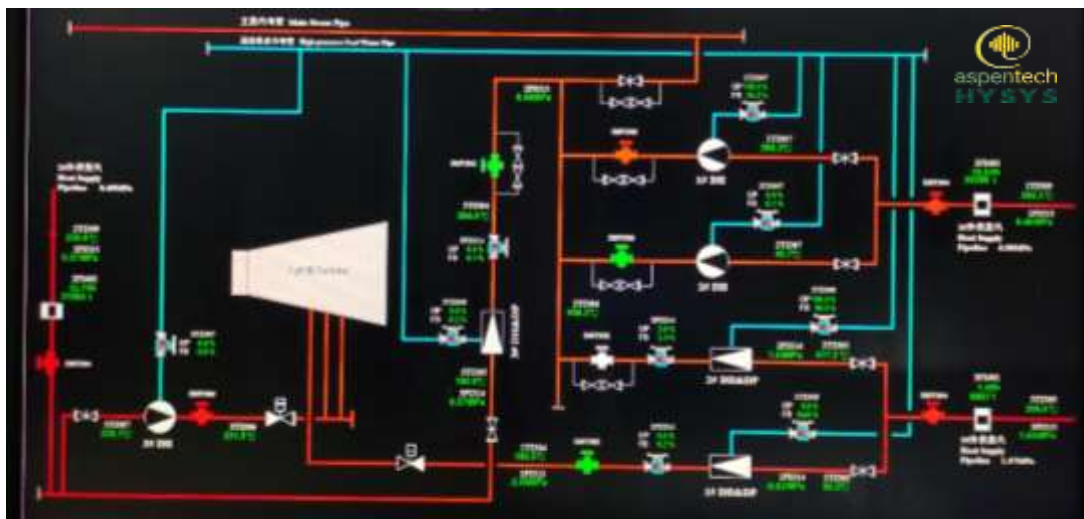


Gambar 3.3. Desain Project Building The Model

Penjelasan :

Membuat sistem rangkaian /instalasi sistem untuk modul rangkaian sistem simulasi project setting input nilai data yang ada pada observasi yang dilakukan dan disetting untuk nilai outputnya.

3. Inedentify Energy

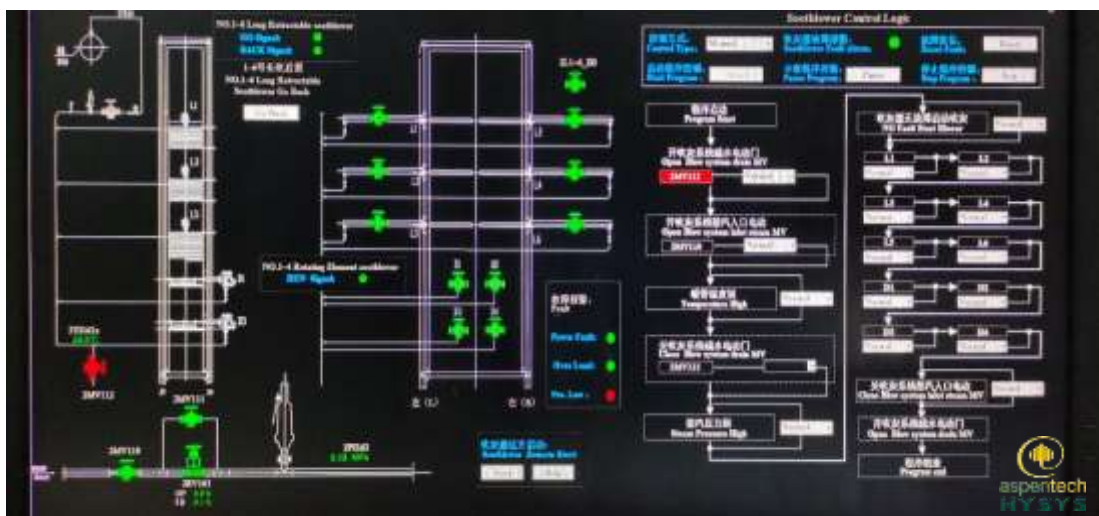


Gambar 3.4. Desain Project Inedentify Energy

Penjelasan :

Mengidentifikasi Energy pada sistem project (Nilai Input).

4. Optimation Energy

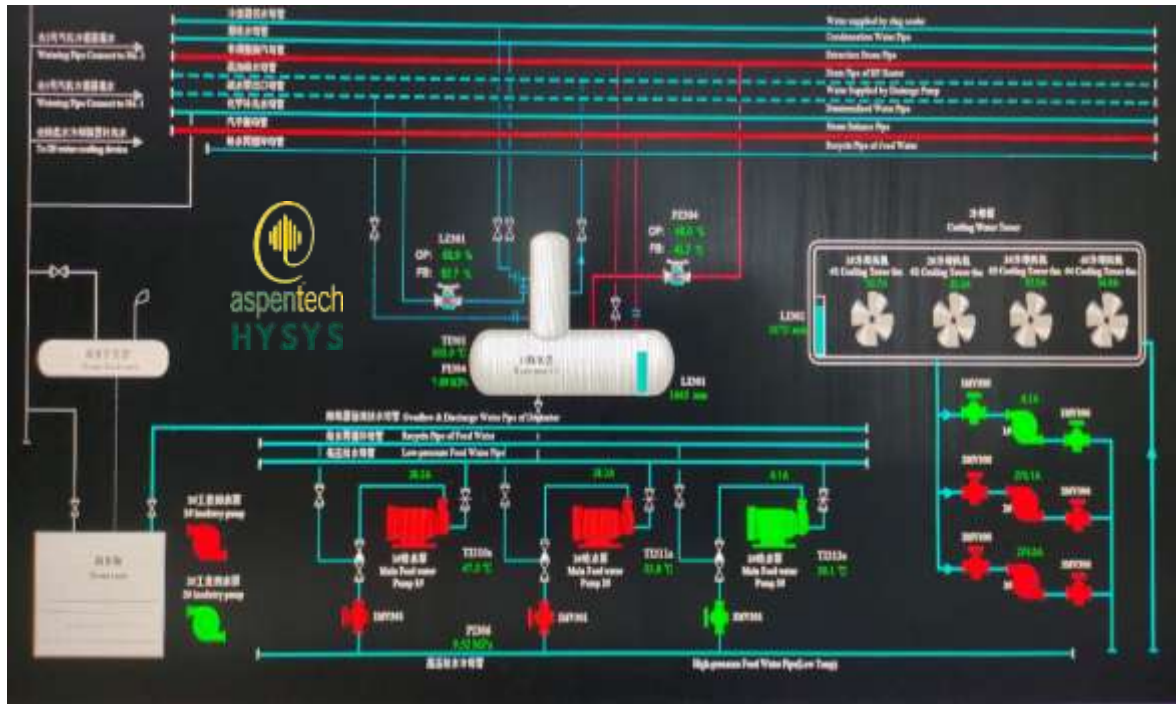


Gambar 3.5. Desain Project Optimation Energy

Penjelasan :

Mengolah data dan yang input untuk mendapatkan nilai optimasi bentuk ekonomisnya.

5. Simulation Hysys Project



Gambar 3.6. Simulation Hysys Project

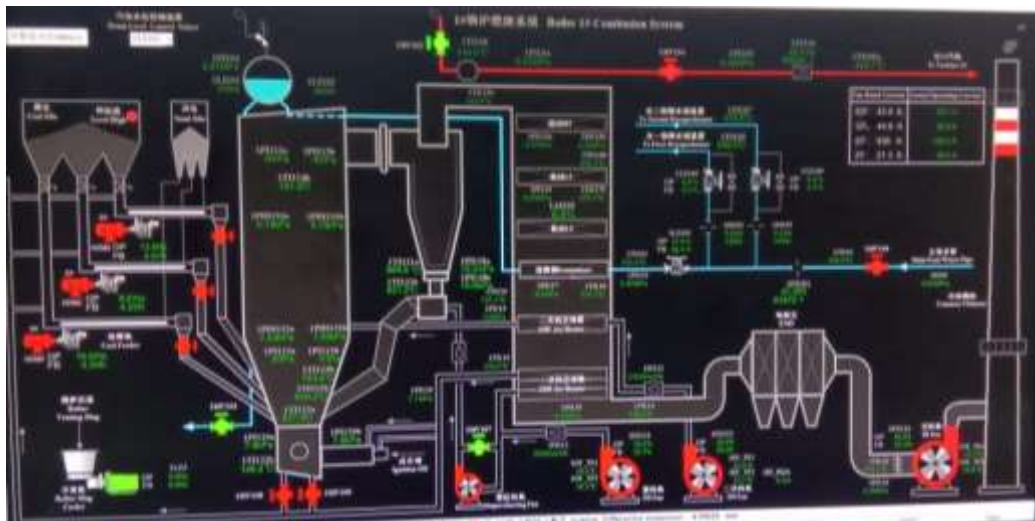
Penjelasan :

Bentuk hasil simulasi yang dilakukan dalam project penelitian yang dilakukan

d. Perhitungan Unjuk Kerja Komponen

Unjuk Kerja Boiler

Analisa ini dilakukan pada dua kondisi yaitu boiler saat startup berjalan dan saat normal. Pada Gambar 3.7 merupakan bentuk unjuk kerja pengoperasian boiler dimana tekanan boiler langsung dicatat dalam satuan bar yang terbaca pada meteran, suhu diukur dalam satuan celcius baik yang menggunakan infra red dan sebagai berikut :



Gambar 3.7 Bentuk unjuk kerja pengoperasian boiler

Pada tabel 3.5 Merupakan bentuk pengoperasian boiler dan analisa

Tabel 3.5. Kondisi boiler pada saat pengoperasian

Keterangan	Nilai	Satuan
Lower Temperature of bed (left)	845,37	$^{\circ}\text{C}$
Lower Temperature of bed (right)	839,85	$^{\circ}\text{C}$
Temperature of freeboard	800,11	$^{\circ}\text{C}$
Outlet Temperature of furnace	813,58	$^{\circ}\text{C}$
Inlet flue gas temperature of superheater	609,95	$^{\circ}\text{C}$
Outlet flue gas temperature of superheater	556,49	$^{\circ}\text{C}$
Outlet flue gas temperature of no.2 low temperature superheater	473,20	$^{\circ}\text{C}$
Desuperheating flow	0.00	t/h
Steam Temperature of no.2 desuperheater outlet header	377,39	$^{\circ}\text{C}$
Desuperheater feedback	0.51	%
Desuperheater control	0.00	%
Desuperheating flow	0,74	t/h
Desuperheating feedback	9,94	%
Mainstream temperature	426,20	$^{\circ}\text{C}$
Desuperheater control	10,00	%
Outlet fluegas of otonomizer	173,92	$^{\circ}\text{C}$
Outlet temperature of primary air	137,56	$^{\circ}\text{C}$
Exhaust gas temperature	120,50	$^{\circ}\text{C}$
Fluegas temperature before IPF	116,23	$^{\circ}\text{C}$
Front sootblower temperature	101,33	$^{\circ}\text{C}$
Outlet temperature of secondary air	127,30	$^{\circ}\text{C}$

Untuk hasil untuk kerja dari boiler dapat di lihat pada tabel 3.6 dan tabel 3.7 yang merupakan untuk kerja dari 2 boiler yang di gunakan secara bertahap pada pembangkit.

Tabel 3.6 Unjuk Kerja dari Boiler A

BOILER A						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
01/09/2021	418.05	141.60	128.77	268.40	534.65	1,433,955.50
02/09/2021	510.14	172.83	156.82	278.40	529.15	1,725,660.53
03/09/2021	517.31	172.68	156.33	278.44	525.20	1,744,517.45
04/09/2021	504.70	173.28	156.50	278.60	528.95	1,707,168.75
05/09/2021	535.42	183.03	166.29	281.52	530.20	1,812,913.45
06/09/2021	571.90	185.61	167.79	283.80	524.20	1,928,888.34
07/09/2021	391.04	140.25	127.96	267.68	535.80	1,342,862.21
08/09/2021	492.74	169.26	153.82	277.04	530.75	1,670,706.90
09/09/2021	559.23	182.49	164.67	283.12	527.05	1,888,472.43
10/09/2021	430.91	154.05	141.06	271.48	534.10	1,471,440.61
11/09/2021	492.86	171.18	156.19	278.36	532.70	1,672,449.10
12/09/2021	458.43	156.75	141.79	273.32	530.45	1,560,486.80
13/09/2021	453.12	156.45	142.52	273.16	534.10	1,546,508.57
14/09/2021	425.41	149.94	136.05	270.68	534.80	1,455,871.75

Tabel 3.6 Unjuk Kerja dari Boiler A

BOILER A						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
15/09/2021	404.22	142.56	129.83	268.28	535.20	1,386,642.87
16/09/2021	503.87	171.36	155.70	277.56	521.95	1,695,024.19
17/09/2021	555.52	183.72	165.90	283.36	530.85	1,881,709.10
18/09/2021	500.54	171.69	157.03	278.36	530.75	1,695,297.22
19/09/2021	514.88	174.03	158.47	278.48	529.55	1,741,253.81
20/09/2021	564.99	185.13	167.56	283.36	525.35	1,906,992.03
21/09/2021	455.10	157.74	143.42	273.40	530.80	1,548,719.92
22/09/2021	403.90	139.95	126.75	267.28	535.15	1,386,898.45
23/09/2021	496.83	172.56	157.33	278.28	532.30	1,684,696.65
24/09/2021	553.28	183.00	165.28	283.04	528.05	1,870,037.00
25/09/2021	564.93	184.92	166.89	283.36	525.90	1,907,175.01
26/09/2021	561.66	185.31	167.61	283.40	525.30	1,895,717.98
27/09/2021	565.82	182.73	164.85	282.88	523.90	1,906,314.36
28/09/2021	467.26	164.55	150.30	274.72	533.55	1,589,871.98
29/09/2021	465.73	155.61	141.15	272.96	527.45	1,581,886.52
30/09/2021	496.58	168.48	152.52	277.52	527.70	1,680,293.56

Tabel 3.6 Unjuk Kerja dari Boiler A

BOILER A						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
01/10/2021	566.87	169.92	168.34	275.95	525.19	1,808,183.65
02/10/2021	564.16	157.28	168.54	274.88	529.54	1,894,830.01
03/10/2021	467.06	157.15	142.96	268.94	533.81	1,729,771.36
04/10/2021	498.71	159.04	128.18	280.31	532.18	1,560,791.50
05/10/2021	494.92	160.48	142.60	276.11	526.48	1,510,577.45
06/10/2021	565.49	158.82	142.80	279.12	533.94	1,713,358.98
07/10/2021	563.54	158.69	144.77	285.06	523.96	1,667,948.56
08/10/2021	465.40	160.58	169.04	269.55	536.58	1,718,287.01
09/10/2021	496.25	162.02	144.41	280.35	527.77	1,941,111.34
10/10/2021	467.61	160.36	144.61	284.92	524.09	1,918,681.36
11/10/2021	563.83	160.23	146.58	279.18	526.36	1,853,258.36
12/10/2021	466.73	162.12	153.95	280.23	526.73	1,498,232.45
13/10/2021	566.04	163.56	146.22	286.15	529.06	1,491,405.56
14/10/2021	494.59	161.90	146.42	284.60	526.49	1,799,285.10
15/10/2021	565.16	161.77	148.39	281.97	530.84	1,907,197.01
16/10/2021	496.80	163.66	129.61	270.15	529.13	1,841,774.01
17/10/2021	465.07	165.10	148.03	285.83	530.35	1,906,336.36

Tabel 3.6 Unjuk Kerja dari Boiler A

BOILER A						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
18/10/2021	495.92	163.44	148.23	276.28	530.97	1,321,689.45
19/10/2021	467.28	163.31	150.20	271.21	535.24	1,821,860.19
20/10/2021	563.50	165.20	170.47	280.35	533.61	1,791,627.56
21/10/2021	466.40	166.64	149.84	277.51	531.64	1,614,892.56
22/10/2021	565.71	164.98	150.04	276.44	535.37	1,894,852.01
23/10/2021	494.26	164.85	152.01	281.89	525.39	1,729,793.36
24/10/2021	564.83	166.74	155.38	280.15	538.01	1,675,555.92
25/10/2021	496.47	168.18	151.65	277.67	532.93	1,621,911.45
26/10/2021	464.74	166.52	151.85	280.68	525.52	1,445,176.45
27/10/2021	495.59	166.39	153.82	271.81	527.79	1,779,282.56
28/10/2021	466.95	168.28	131.04	284.75	528.16	1,718,309.01
29/10/2021	563.17	169.72	153.46	281.91	534.22	1,908,400.98
30/10/2021	466.07	168.06	153.66	286.48	527.92	1,918,703.36
31/10/2021	565.38	167.93	155.63	282.01	532.27	1,853,280.36
JUMLAH	30,740.87	10,105.66	9,209.88	16,962.68	32,327.39	04,176,798.33

Tabel 3.7 Unjuk kerja dari Boiler B

BOILER B						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
01/09/2021	320.05	91.60	128.77	240.40	496.65	1,431,705.50
02/09/2021	458.64	129.63	126.84	238.64	494.99	1,430,676.50
03/09/2021	465.81	129.48	126.35	248.64	489.49	1,722,381.53
04/09/2021	453.20	130.08	126.52	248.68	485.54	1,741,238.45
05/09/2021	483.92	139.83	136.31	248.84	489.29	1,703,889.75
06/09/2021	520.40	142.41	137.81	251.76	490.54	1,809,634.45
07/09/2021	339.54	97.05	97.98	254.04	484.54	1,925,609.34
08/09/2021	441.24	126.06	123.84	237.92	496.14	1,339,583.21
09/09/2021	507.73	139.29	134.69	247.28	491.09	1,667,427.90
10/09/2021	379.41	110.85	111.08	253.36	487.39	1,885,193.43
11/09/2021	441.36	127.98	126.21	241.72	494.44	1,468,161.61
12/09/2021	406.93	113.55	111.81	248.60	493.04	1,669,170.10
13/09/2021	401.62	113.25	112.54	243.56	490.79	1,557,207.80
14/09/2021	373.91	106.74	106.07	243.40	494.44	1,543,229.57

Tabel 3.7 Unjuk kerja dari Boiler B

BOILER B						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
15/09/2021	352.72	99.36	99.85	240.92	495.14	1,452,592.75
16/09/2021	452.37	128.16	125.72	238.52	495.54	1,383,363.87
17/09/2021	504.02	140.52	135.92	247.80	482.29	1,691,745.19
18/09/2021	449.04	128.49	127.05	253.60	491.19	1,878,430.10
19/09/2021	463.38	130.83	128.49	248.60	491.09	1,692,018.22
20/09/2021	513.49	141.93	137.58	248.72	489.89	1,737,974.81
21/09/2021	403.60	114.54	113.44	253.60	485.69	1,903,713.03
22/09/2021	352.40	96.75	96.77	243.64	491.14	1,545,440.92
23/09/2021	445.33	129.36	127.35	237.52	495.49	1,383,619.45
24/09/2021	501.78	139.80	135.30	248.52	492.64	1,681,417.65
25/09/2021	513.43	141.72	136.91	253.28	488.39	1,866,758.00
26/09/2021	510.16	142.11	137.63	253.60	486.24	1,903,896.01
27/09/2021	514.32	139.53	134.87	253.64	485.64	1,892,438.98
28/09/2021	415.76	121.35	120.32	253.12	484.24	1,903,035.36
29/09/2021	414.23	112.41	111.17	244.96	493.89	1,586,592.98
30/09/2021	445.08	125.28	122.54	243.20	487.79	1,578,607.52

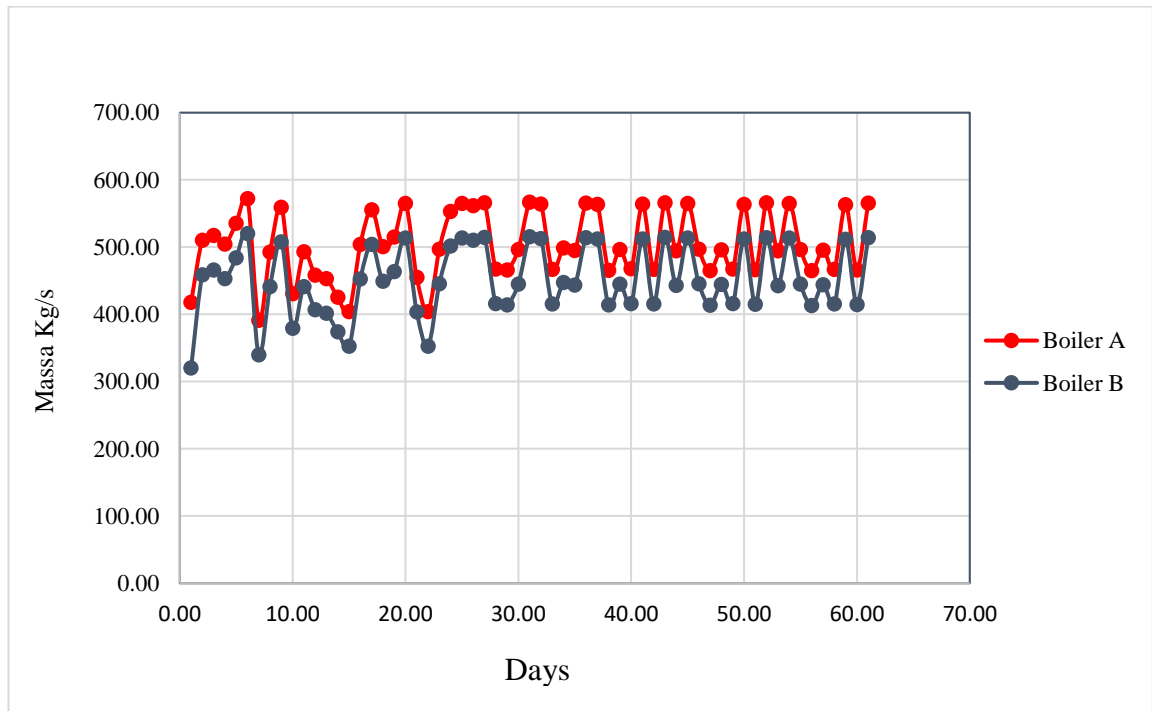
Tabel 3.7 Unjuk kerja dari Boiler B

BOILER B						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
01/10/2021	515.37	126.72	138.36	247.76	488.04	1,677,014.56
02/10/2021	512.66	114.08	138.56	246.19	485.53	1,804,904.65
03/10/2021	415.56	113.95	112.98	245.12	489.88	1,891,551.01
04/10/2021	447.21	115.84	98.20	239.18	494.15	1,726,492.36
05/10/2021	443.42	117.28	112.62	250.55	492.52	1,557,512.50
06/10/2021	513.99	115.62	112.82	246.35	486.82	1,507,298.45
07/10/2021	512.04	115.49	114.79	249.36	494.28	1,710,079.98
08/10/2021	413.90	117.38	139.06	255.30	484.30	1,664,669.56
09/10/2021	444.75	118.82	114.43	239.79	496.92	1,715,008.01
10/10/2021	416.11	117.16	114.63	250.59	488.11	1,937,832.34
11/10/2021	512.33	117.03	116.60	255.16	484.43	1,915,402.36
12/10/2021	415.23	118.92	123.97	249.42	486.70	1,849,979.36
13/10/2021	514.54	120.36	116.24	250.47	487.07	1,494,953.45
14/10/2021	443.09	118.70	116.44	256.39	489.40	1,488,126.56
15/10/2021	513.66	118.57	118.41	254.84	486.83	1,796,006.10
16/10/2021	445.30	120.46	99.63	252.21	491.18	1,903,918.01
17/10/2021	413.57	121.90	118.05	240.39	489.47	1,838,495.01

Tabel 3.7 Unjuk kerja dari Boiler B

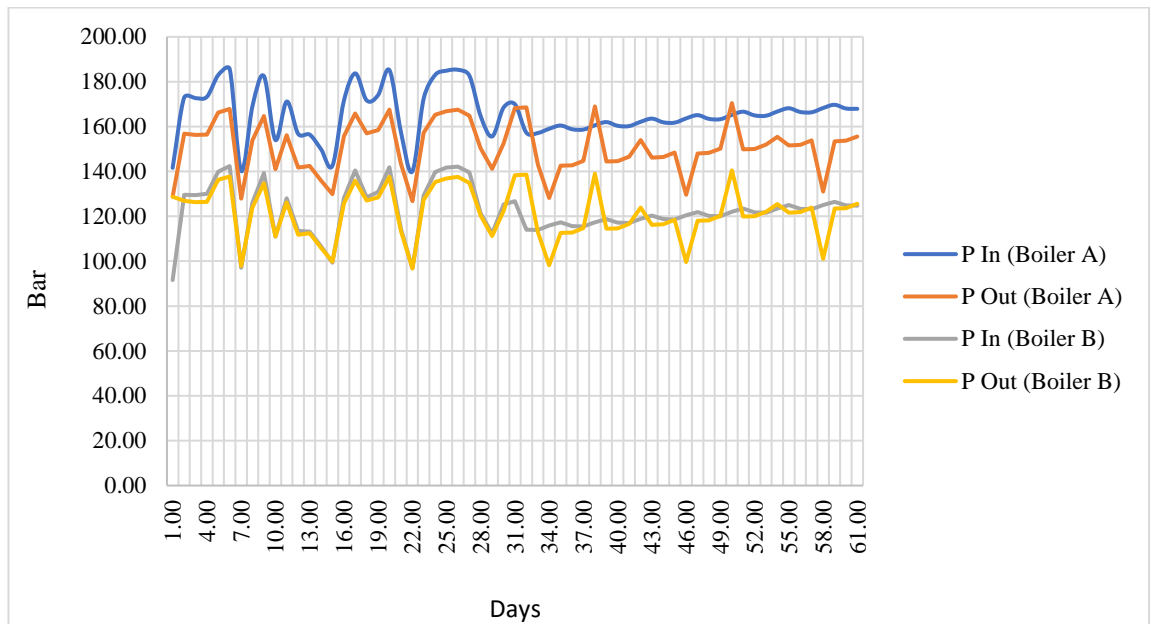
BOILER B						
TANGGAL	Batu Bara / M (kg/s)	P in (Bar)	P out (Bar)	T in (°C)	T out (°C)	Data yang dihasilkan W
18/10/2021	444.42	120.24	118.25	256.07	490.69	1,903,057.36
19/10/2021	415.78	120.11	120.22	246.52	491.31	1,318,410.45
20/10/2021	512.00	122.00	140.49	241.45	495.58	1,818,581.19
21/10/2021	414.90	123.44	119.86	250.59	493.95	1,788,348.56
22/10/2021	514.21	121.78	120.06	247.75	491.98	1,611,613.56
23/10/2021	442.76	121.65	122.03	246.68	495.71	1,891,573.01
24/10/2021	513.33	123.54	125.40	252.13	485.73	1,726,514.36
25/10/2021	444.97	124.98	121.67	250.39	498.35	1,672,276.92
26/10/2021	413.24	123.32	121.87	247.91	493.27	1,618,632.45
27/10/2021	444.09	123.19	123.84	250.92	485.86	1,441,897.45
28/10/2021	415.45	125.08	101.06	242.05	488.13	1,776,003.56
29/10/2021	511.67	126.52	123.48	254.99	488.50	1,715,030.01
30/10/2021	414.57	124.86	123.68	252.15	494.56	1,905,121.98
31/10/2021	513.88	124.73	125.65	256.72	488.26	1,915,424.36
JUMLAH	27,552.87	7,463.66	7,411.08	15,135.47	29,912.17	103,558,483.47

Dari hasil diatas didapatkan hasil dalam bentuk grafik untuk dapat menggambarkan hasil Gambar 3.8 sampai 3.9 sebagai berikut :



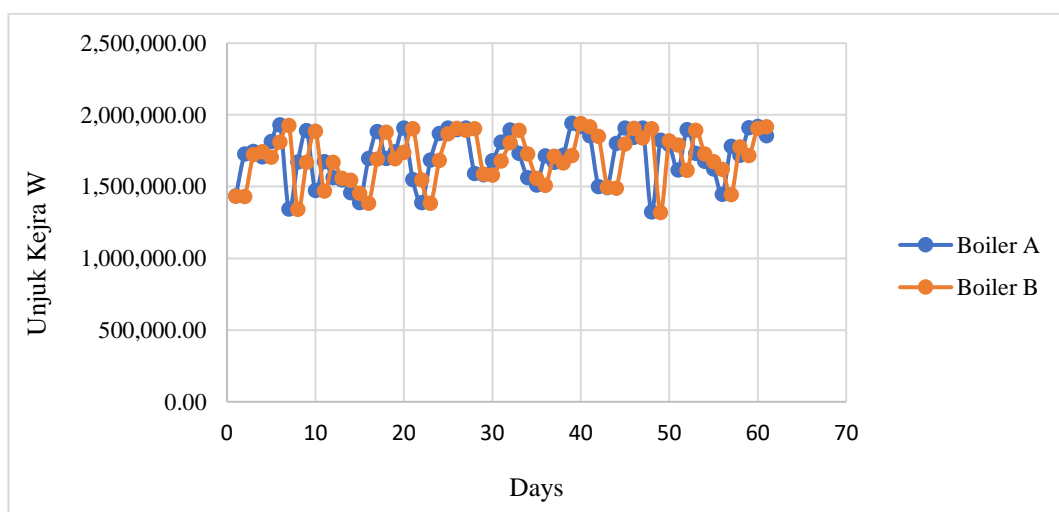
Gambar 3.8 Bahan Bakar Baru Bara Pada Boiler A dan B

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar baru bara pada boiler A dan B dengan jauh perbedaan hal ini dikarenakan boiler A selalu di operasional kan pada permulaan dan beroperasi penuh sedangkan pada boiler B sebagai pedamping saja. Adapun nilai dari boiler A dengan nilai 30.740,38 Kg/S dengan rata-rata 503,95 Kg/s sedangkan nilai boiler B dengan nilai 27.552,87 Kg/s dengan rata-rata 452,69 Kg/s.



Gambar 3.9 Grafik Pin-out Pada Boiler A dan B

Pada Gambar 3.9 [menunjukkan bahwa nilai Pin pada boiler A sebesar 10.105,66 bar dengan rata-rata 165,67.bar Sedangkan pada Pout pada boiler A sebesar 9.208,88 Bar atau dengan rata-rata 150,98. Pada Boiler B untuk nilai Pin sebesar 7.463,33 atau dengan rata-rata 122,36 Bar.



Gambar 3.10 Grafik Unjuk Kerja Boiler A dan B

Unjuk Kerja Turbin Uap

Untuk data operasional dengan kapasitas 100 % pada turbin maka di dapatkan nilai HP, IP dan LP Turbin A dan B pada tabel dibawah ini adalah :

Tabel 3.8 Data Operasional turbin A 100% Nilai HP

Uraian	Nilai	Satuan
P In	154,89	Bar
T In	530,99	°C
H In	3.392,26	kJ/Kg
P Out	37,81	Bar
T Out	328,54	°C
H Out	3.205,26	kJ/Kg
Massa Flow	532,46	Kg/s

Maka untuk mendapatkan nilai HP unjuk kerja turbin pada sebagai berikut :

$$W_{HP} = 532 (3.392,26 - 3.201,26)$$

$$W_{HP} = 99.569,65 \text{ kW}$$

Tabel 3.9 Data Operasional turbin A 100% Nilai LP

Uraian	Nilai	Satuan
P In	36,17	Bar
T In	528,08	°C
H In	3.560,68	kJ/Kg
P Out	5,62	Bar
T Out	238,75	°C
H Out	3.071,68	kJ/Kg
Massa Flow	455,23	Kg/s

Maka untuk mendapatkan nilai HP unjuk kerja turbin pada sebagai berikut :

$$W_{IP} = 455,23 (3.560,68 - 3.071,68)$$

$$W_{IP} = 222.608,11 \text{ kW}$$

Tabel 3.10 Data Operasional turbin A 100% Nilai LP

Uraian	Nilai	Satuan
P In	6,49	Bar
T In	241,29	°C
H In	3.016,41	kJ/Kg
P Out	0,08	Bar
T Out	47,46	°C
H Out	2.729,41	kJ/Kg
Massa Flow	185,00	Kg/s

Maka untuk mendapatkan nilai HP unjuk kerja turbin pada sebagai berikut :

$$W_{LP} = 185,00 (3.016,61 - 2.729,41)$$

$$W_{LP} = 53.096,04 \text{ kW}$$

Maka total unjuk kerja turbin uap dapat hitung dengan rumus :

$$W_{turbin\ total} = W_{HP} + W_{IP} + W_{LP}$$

$$W_{turbin\ total} = 99.569,65 + 222.608,11 + 53.096,04$$

$$W_{turbin\ total} = 375.273,80 \text{ kW}$$

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendekatan Penelitian - Uji Data

4.1.1. Efisiensi Komponen Pembangkit PLTU

Efisiensi Turbin Uap

Pada perhitungan untuk efisiensi pada turbin uap dilakukan dengan menggunakan efisiensi isentropis dengan rumus :

- High Pressure Turbine (HP) = $\frac{\text{Data W Aktual}}{\text{Data W Ideal}} 100 \%$

$$\eta_{\text{HP Turbin}} = \frac{(3.392 - 3.205)}{(3.392 - 3182)} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{HP Turbin}} = 87,27 \%$$

- Intermediate Pressure Turbin (IP) = $\frac{\text{Data W Aktual}}{\text{Data W Ideal}} 100 \%$

$$\eta_{\text{IP Turbin}} = \frac{(3.560,28 - 3071,68)}{(3.560,28 - 2982,2)} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{IP Turbin}} = 84,50 \%$$

- Low Pressure Turbin (LP) = $\frac{\text{Data W Aktual}}{\text{Data W Ideal}} 100 \%$

$$\eta_{\text{IP Turbin}} = \frac{(2995 - 2331)}{(2995 - 2247)} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{IP Turbin}} = 88,77 \%$$

Pada perhitungan untuk efisiensi pada turbin uap B dilakukan dengan menggunakan efisiensi isentropis dengan rumus :

- Low Pressure Turbin (LP) = $\frac{\text{Data W Aktual}}{\text{Data W Ideal}} 100 \%$

$$\eta_{\text{IP Turbin}} = \frac{(3016,41 - 2749,41)}{(3016,41 - 2679)} \times 100 \%$$

$$\eta \text{ IP Turbin} = 85,06 \%$$

Untuk mendapatkan besar total efisiensi turbin uap

$$\eta \text{ Turbin Uap} : \eta \text{ HP} \times \eta \text{ IP} \times \eta \text{ LP}$$

$$\eta \text{ Turbin Uap} : 84,50 \% \times 88,77 \% \times 85,06 \%$$

$$\eta \text{ Turbin Uap} : 63,08 \%$$

Efisiensi Operasional Generator

Untuk nilai efisiensi operasional dari generator maka dapat diketahui nilai efisiensi sebagai berikut :

$$\eta \text{ Generator} : \frac{(\text{Daya Output})}{(\text{Daya Input})} \times 100 \%$$

$$\eta \text{ Generator} : \frac{(12.000.000)}{(3.087.539,04)} \times 100 \%$$

$$\eta \text{ Generator} : 38,96 \%$$

Efisiensi Aktual Generator

Untuk nilai efisiensi aktual generator maka dapat diketahui nilai efisiensi sebagai berikut :

$$\eta \text{ Generator} : \frac{(12.000.000)}{(375.273,80)} \times 100 \%$$

$$\eta \text{ Generator} : 31,97 \%$$

Efisiensi Boiler

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta \text{ Boiler}) = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas uap}} \times 100\%$$

$$(\eta \text{ Boiler}) = \frac{W_s \times (h_u - h_a)}{W_f \times LHV} \times 100\%$$

$$(\eta \text{ Boiler}) = \frac{100.750 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \left(3359,4961 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 573,5307 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{23930 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 17.167,63191 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$(\eta \text{ Boiler}) = \frac{100.750 (2785,9654)}{592248965,6} \times 100\%$$

$$(\eta \text{ Boiler}) = 63,5987 = 63,6 \%$$

4.1.2. Analisa Perhitungan Regresi Linier Kuadrat Terkecil

Data perhitungan untuk regresi linier kuadrat terkecil pada boiler dalam penelitian selama september – oktober 2021. Dalam perhitungan ini menggunakan 2 boiler dengan Boiler A (x) dan Boiler B (y) pada tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier Kuadrat Terkecil

No.	X	Y	X ²	Y ²	XY	(Y-Yrata) ²	(Y-ax-b) ²
1	132	131	17424	17161	17292	1469,0255	0,6350834
2	134	133	17956	17689	17822	1319,7141	0,566578
3	138	138	19044	19044	19044	981,43537	2,7698906
4	138	138	19044	19044	19044	981,43537	2,7698906
5	143	143	20449	20449	20449	693,15668	2,414233
6	144	143	20736	20449	20592	693,15668	0,2826799
7	145	144	21025	20736	20880	641,50094	0,2596644
8	147	145	21609	21025	21315	591,8452	0,2858342
9	149	146	22201	21316	21754	544,18947	2,4927424
10	149	148	22201	21904	22052	454,87799	0,177374
11	151	149	22801	22201	22499	413,22225	0,3881907
12	154	150	23716	22500	23100	373,56651	7,2326611
13	154	154	23716	23716	23716	234,94356	1,7177753
14	156	154	24336	23716	24024	234,94356	0,5381222
15	156	155	24336	24025	24180	205,28783	0,0709859
16	158	155	24964	24025	24490	205,28783	3,1604861
17	158	157	24964	24649	24806	151,97635	0,0493837
18	161	158	25921	24964	25438	128,32061	3,400656
19	162	161	26244	25921	26082	69,3534	0,017905
20	166	161	27556	25921	26726	69,3534	15,638904

Tabel 4.1 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan
Regresi Linier Kuadrat Terkecil

No.	X	Y	X ²	Y ²	XY	(Y-Yrata) ²	(Y-ax-b) ²
21	167	166	27889	27556	27722	11,074711	0,0005425
22	167	166	27889	27556	27722	11,074711	0,0005425
23	167	166	27889	27556	27722	11,074711	0,0005425
24	168	167	28224	27889	28056	5,4189734	1,409E-06
25	168	167	28224	27889	28056	5,4189734	1,409E-06
26	169	168	28561	28224	28392	1,7632357	0,0004375
27	169	169	28561	28561	28561	0,107498	0,9586044
28	170	169	28900	28561	28730	0,107498	0,0018507
29	171	170	29241	28900	29070	0,4517603	0,0042411
30	171	171	29241	29241	29241	2,7960226	0,8739931
31	171	171	29241	29241	29241	2,7960226	0,8739931
32	172	171	29584	29241	29412	2,7960226	0,0076087
33	172	172	29584	29584	29584	7,1402849	0,8331532
34	172	172	29584	29584	29584	7,1402849	0,8331532
35	174	172	30276	29584	29928	7,1402849	1,2801455
36	174	173	30276	29929	30102	13,484547	0,0172752
37	177	174	31329	30276	30798	21,828809	4,8300889
38	179	177	32041	31329	31683	58,861596	1,5424492
39	179	178	32041	31684	31862	75,205859	0,0585416
40	180	179	32400	32041	32220	93,550121	0,0697264
41	181	180	32761	32400	32580	113,89438	0,0818882
42	182	180	33124	32400	32760	113,89438	1,7115572
43	184	181	33856	32761	33304	136,23865	5,5341263
44	185	183	34225	33489	33855	186,92717	1,8894595
45	185	184	34225	33856	34040	215,27143	0,1403073

Tabel 4.1 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan
Regresi Linier Kuadrat Terkecil

No.	X	Y	X ²	Y ²	XY	(Y-Yrata) ²	(Y-ax-b) ²
46	187	186	34969	34596	34782	277,95996	0,1753797
47	188	187	35344	34969	35156	312,30422	0,1943816
48	188	188	35344	35344	35344	348,64848	0,312607
49	189	189	35721	35721	35721	386,99274	0,2883787
50	189	189	35721	35721	35721	386,99274	0,2883787
51	189	189	35721	35721	35721	386,99274	0,2883787
52	190	190	36100	36100	36100	427,33701	0,2651274
53	190	190	36100	36100	36100	427,33701	0,2651274
54	190	190	36100	36100	36100	427,33701	0,2651274
55	190	190	36100	36100	36100	427,33701	0,2651274
56	190	190	36100	36100	36100	427,33701	0,2651274
57	190	191	36100	36481	36290	469,68127	2,294938
58	191	191	36481	36481	36481	469,68127	0,2428534
59	191	192	36481	36864	36672	514,02553	2,2284565
60	192	193	36864	37249	37056	560,36979	2,1629521
61	194	195	37636	38025	37830	659,05832	2,0348748
N	10387	10329	1786291	1767459	1776804	18471,443	78,250487

Maka didapat data sebagai berikut :

Nilai N = 61

Nilai $\sum X = 10.387$

Nilai $\sum Y = 10.329$

Nilai $\sum X^2 = 1.786.291$

Nilai $\sum Y^2 = 1.767.459$

Nilai $\sum XY = 1.776.804$

Nilai $\sum (Y - \bar{Y})^2 = 18.471,443$

Nilai $\sum (y - ax - b)^2 = 78,250487$

Jadi persamaan linier kuadrat terkecil di bawah ini menyebutkan :

Nilai a :

$$a = \frac{[\sum xy \cdot N - \sum x \cdot \sum y]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]}$$

$$a = \frac{(1.762.930 \times 61) - (10.387 \times 10.329)}{(1.786.291 \times 61) - (1.786.291)} :$$

$$a = \frac{18.385.044 - 107.287.323}{108.963.751 - 1.786.291} :$$

$$a = 1,0221$$

Nilai b :

$$b = \frac{[\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]}$$

$$b = \frac{(1.786.291 \times 10.329) - (10.387 \times 10.329)}{(1.786.291 \times 61) - (107.889.769)}$$

$$b = \frac{107.538.730 - 107.287.323}{108.963.751 - 107.889.769}$$

$$b = -4,7146$$

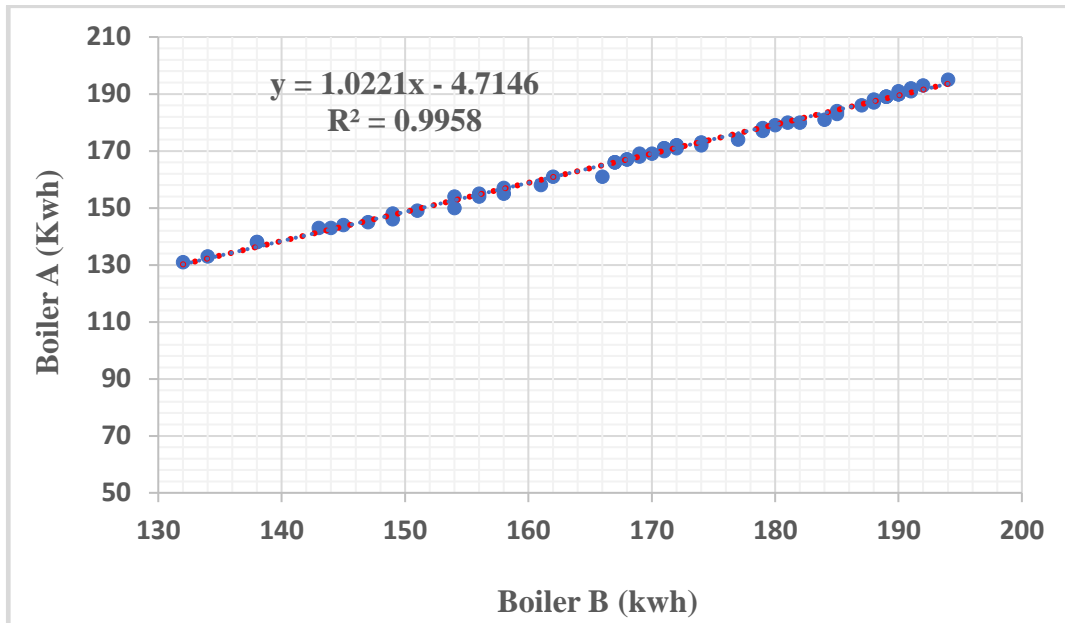
Sedangkan untuk persamaan Regresi Linier kuadrat terkecil dapat diperoleh :

$$R^2 = \frac{(18.471,443 - 78,250487)}{18.471,443} = 0,9958$$

Jadi persamaan regresi linier kuadrat terkecil seagai berikut :

$$Y = 1,02221x - 4,7146 \text{ dengan nilai } R^2 = 0,9958$$

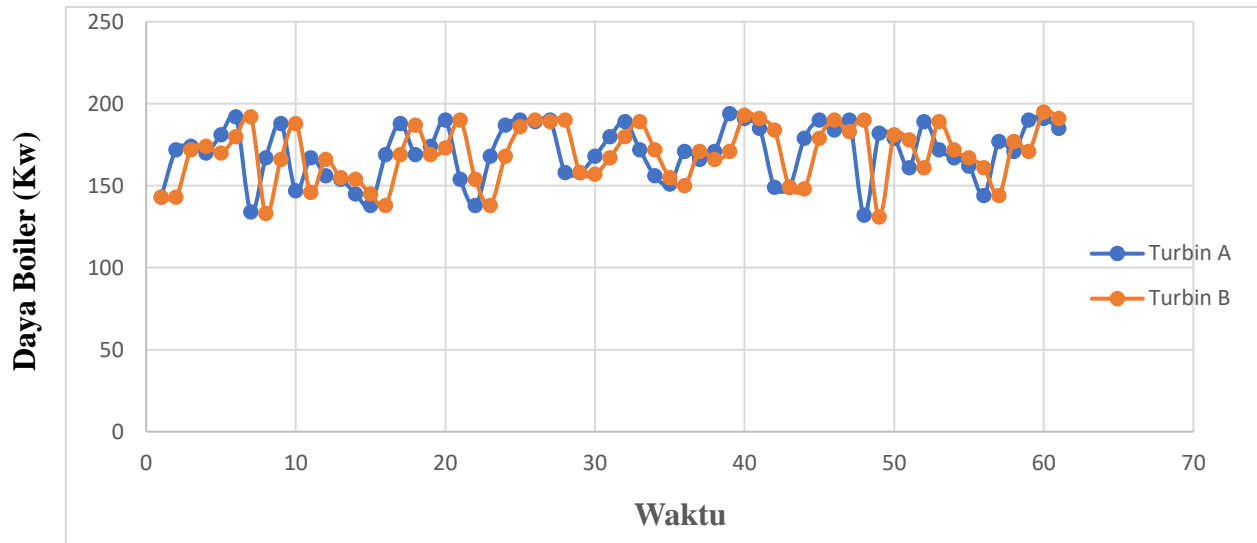
Untuk mendapatkan nilai grafik Regresi linier kuadrat terkecil pada Boiler A - B dibawah ini



Gambar 4.1 Grafik Regresi linier kuadrat terkecil pada Boiler A - B

Penjelasan dari gambar 4.1 merupakan daya yang dihasilkan oleh kedua boiler dengan menggunakan metode regresi linier kuadrat terkecil. Dari perhitungan menggunakan aplikasi software excel dan manual adalah sama yaitu didapatkan hasil sebesar nilai a : 1,0221 dan nilai b sebesar -4,7146..

Untuk mendapatkan nilai grafik daya output pada gambar di bawah 4.2 dibawah ini



Gambar 4.2 Grafik Daya Output Boiler A - B

Analisa Perhitungan Regresi Linier Turbin

Data Daya turbin dalam penelitian selama september – oktober 2022. Dalam perhitungan ini menggunakan 2 turbin dengan Turbin In (x) dan Turbin out (y) pada tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4.2 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier

No.	Turbin In (x)	Turbin Out (y)	x^2	y^2	Xy
1	66	152	4356	23104	10032
2	58	174	3364	30276	10092
3	65	174	4225	30276	11310
4	61	190	3721	36100	11590
5	94	177	8836	31329	16638
6	112	191	12544	36481	21392
7	54	202	2916	40804	10908
8	61	145	3721	21025	8845
9	109	174	11881	30276	18966
10	56	195	3136	38025	10920
11	63	155	3969	24025	9765

Tabel 4.2 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier

No.	Turbin In (x)	Turbin Out (y)	x^2	y^2	Xy
12	54	179	2916	32041	9666
13	57	163	3249	26569	9291
14	55	165	3025	27225	9075
15	53	160	2809	25600	8480
16	59	144	3481	20736	8496
17	109	176	11881	30976	19184
18	63	191	3969	36481	12033
19	62	174	3844	30276	10788
20	119	182	14161	33124	21658
21	56	195	3136	38025	10920
22	53	167	2809	27889	8851
23	63	144	3969	20736	9072
24	105	179	11025	32041	18795
25	109	196	11881	38416	21364
26	115	198	13225	39204	22770
27	107	196	11449	38416	20972
28	59	191	3481	36481	11269
29	55	168	3025	28224	9240
30	61	174	3721	30276	10614
31	105	174	11025	30276	18270
32	75	196	5625	38416	14700
33	115	196	13225	38416	22540
34	122	168	14884	28224	20496
35	59	168	3481	28224	9912
36	119	174	14161	30276	20706
37	61	174	3721	30276	10614
38	67	196	4489	38416	13132
39	75	196	5625	38416	14700
40	118	168	13924	28224	19824
41	122	168	14884	28224	20496
42	127	174	16129	30276	22098

Tabel 4.2 Daya Turbin untuk di masukan pada perhitungan Regresi Linier

No.	Turbin In (x)	Turbin Out (y)	x^2	y^2	xy
43	119	174	14161	30276	20706
44	72	196	5184	38416	14112
45	68	196	4624	38416	13328
46	73	168	5329	28224	12264
47	118	168	13924	28224	19824
48	87	174	7569	30276	15138
49	127	174	16129	30276	22098
50	134	196	17956	38416	26264
51	72	196	5184	38416	14112
52	132	168	17424	28224	22176
53	73	168	5329	28224	12264
54	80	174	6400	30276	13920
55	88	173	7744	29929	15224
56	130	196	16900	38416	25480
57	134	196	17956	38416	26264
58	139	168	19321	28224	23352
59	132	168	17424	28224	22176
60	84	173	7056	29929	14532
61	80	173	6400	29929	13840
N	5320	10822	512912	1932852	947558

Maka didapat hasil sebagai berikut :

Nilai n	61
Nilai $\sum X$	5.320
Nilai $\sum Y$	10.822
Nilai $\sum X^2$	512.912
Nilai $\sum y^2$	1.932.852
Nilai $\sum XY$	947.558

Jadi persamaan linier di bawah ini menyebutkan :

Nilai a :

$$a = \frac{[\sum xy \cdot N - \sum x \cdot \sum y]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]}$$

$$a = \frac{(947.558 \times 61) - (5.320 \times 947.558)}{(512.912 \times 61) - (512.912)} :$$

$$a = 0,74108$$

Nilai b :

$$b = \frac{[\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy]}{[\sum x^2 \cdot N - (\sum x)^2]}$$

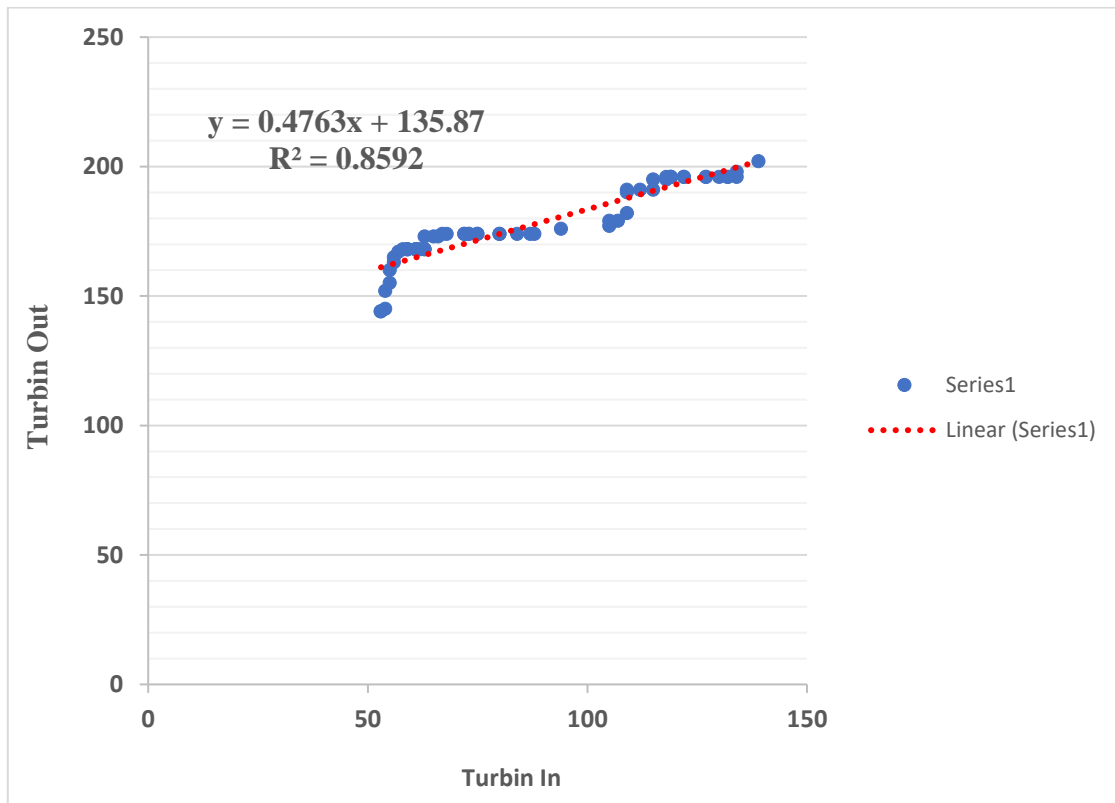
$$b = \frac{(512.912 \times 10.822) - (5.320 \times 10.329)}{(512.912 \times 61) - (512.912)}$$

$$b = 165,63$$

Jadi persamaan regresi linier kuadrat terkecil sebagai berikut :

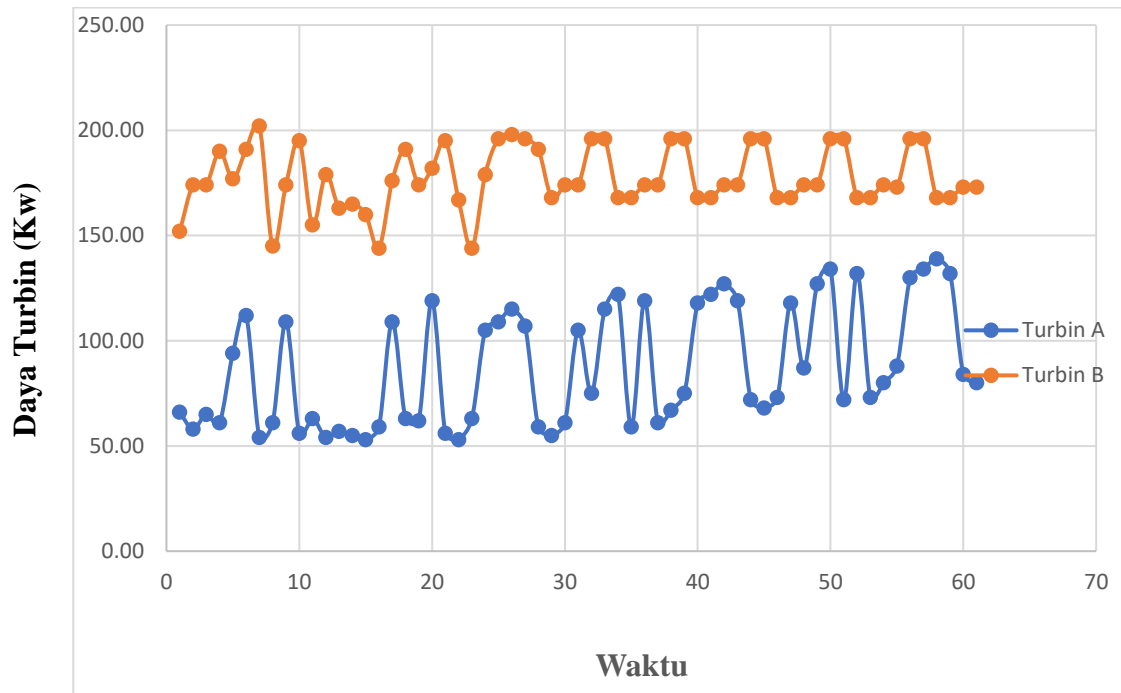
$$Y = 0,74108x + 165,63$$

Untuk mendapatkan nilai pada grafik, saya membuat suatu nilai untuk nilai grafik pada gambar di bawah 4.3 dibawah ini



Gambar 4.3 Grafik Regresi Linier Kuadrat Terkecil Pada Turbin (HP – LP)

Pada penjelasan gambar 4.3 menjelaskan bahwa tenaga turbin yang digunakan menggunakan 2 turbin yakni pada saat low pressure (LP) dan High Pressure (HP). Dari hasil perhitungan secara menggunakan aplikasi software excel terdapat nilai a : 0,4763x dan nilai b : 135,87. Pada hasil perhitungan terdapat nilai a : 0,74108x dan nilai b : 165,63. Dari hasil perhitungan menggunakan aplikasi excel dan manual tidak mengalami nilai selisih yang jauh berbeda.



Gambar 4.4 Grafik Daya Ouput LP – HP Turbin

4.2. Analisa Simulasi Data

4.2.1. Analisa Simulasi Aspen Hysys

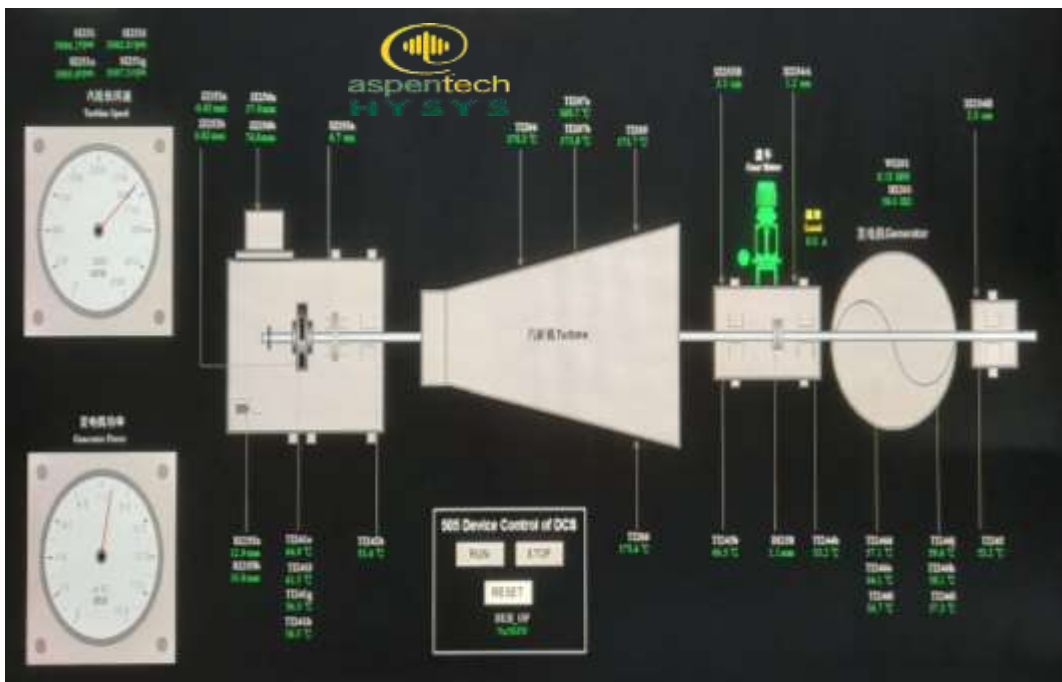
Pada penelitian ini dengan menggunakan aplikasi *Software Hysys*. Aplikasi ini tergolong besar dan berat kapasitasnya sehingga di lakukan di beberapa tempat dengan menggunakan kapasitas dan spesifikasi perangkat yang besar. Saya hanya bisa menampilkan layar gambar karena perangkat yang digunakan tidak mencukupi.

Pada saat melakukan simulasi, fluida yang akan digunakan yaitu air. Fluid package ini dapat menyelesaikan simulasi yang berhubungan dengan gas atau zat non polar, selain itu berfungsi menghitung properti fluida seperti (enthalpy, density, keseimbangan uap-cair). Yang terlihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Penyesuaian tools package aplikasi Hysys

Dalam memulai simulasi ini, membutuhkan material stream yang berfungsi mengetahui besarnya laju aliran massa yang masuk dan keluar, daya stream yang berfungsi mengetahui besarnya daya yang dibutuhkan atau dihasilkan yang dapat dilihat pada gambar 4.6



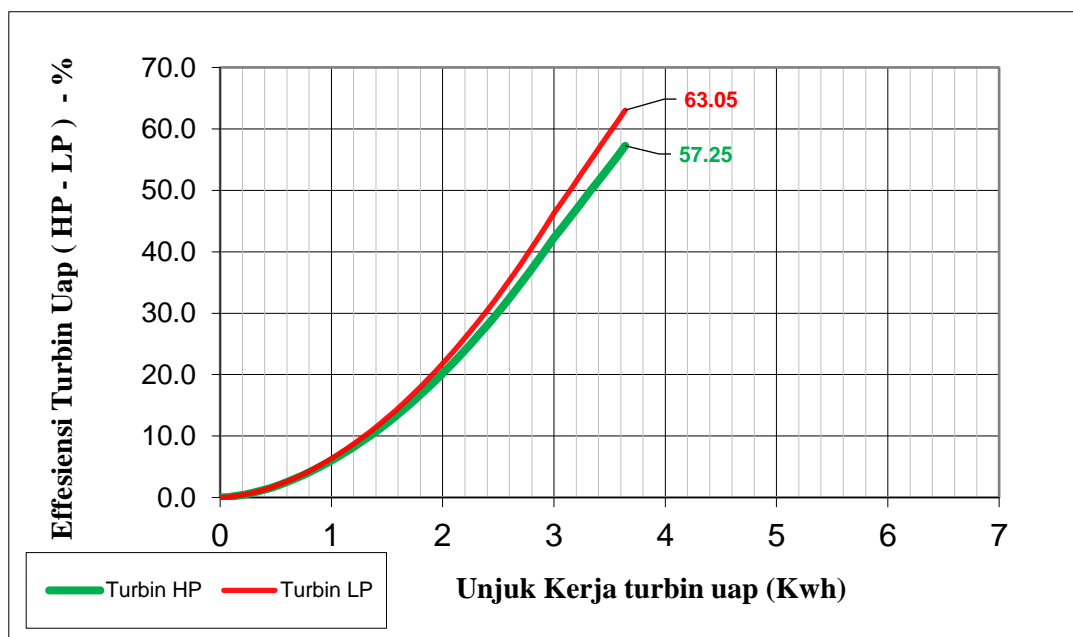
Gambar 4.6. Desain Awal Pembangkit PLTU pada aplikasi Hysys

Pada gambar 4.7 dibawah ini merupakan desain aplikasi dari pembangkit PLTU yang dirancang ini :



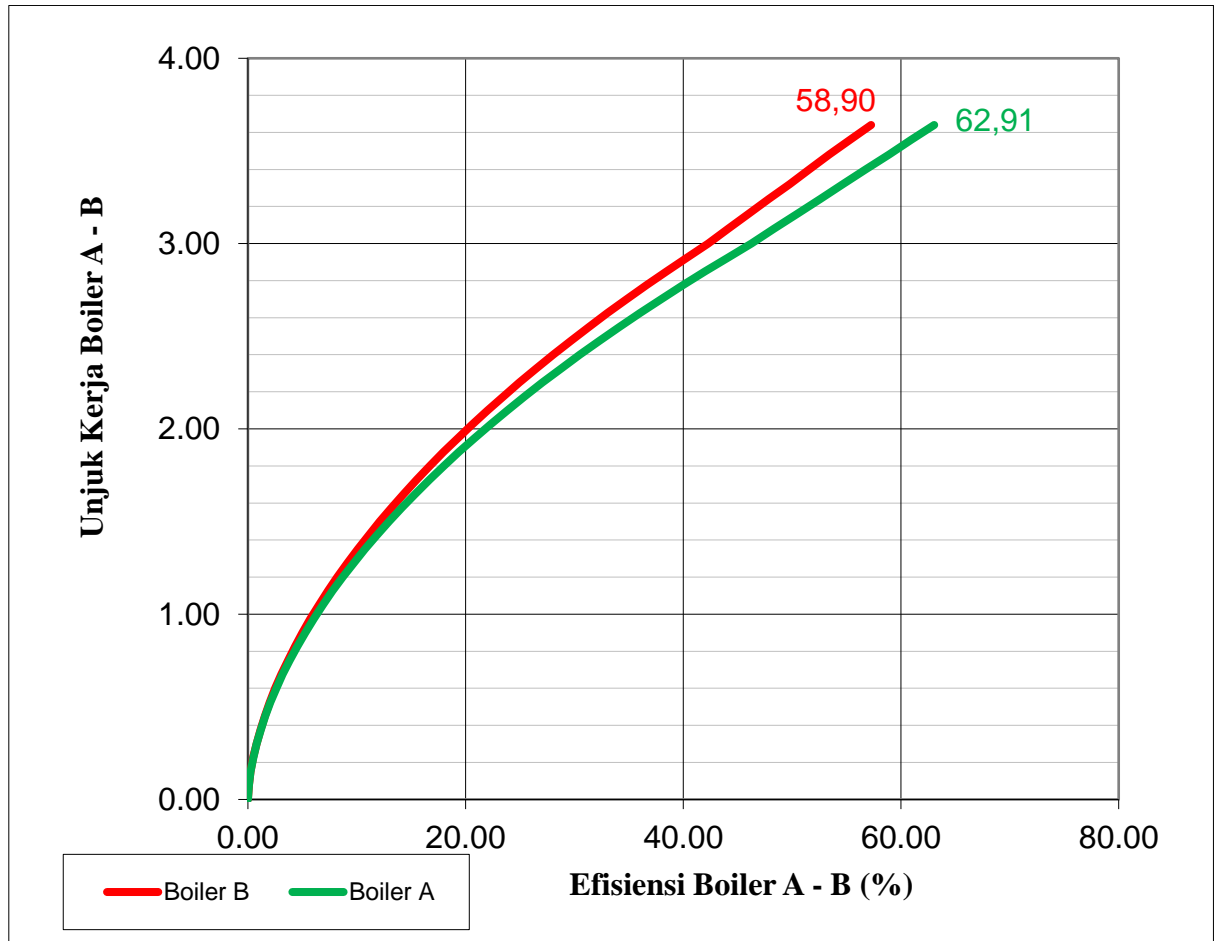
Gambar 4.7 Rangkaian Simulasi Aplikasi Hysys Pada Turbin dan Boiler

Pada hasil simulasi hysys yang dilakukan pada nilai efisiensi turbin dalam keadaan posisi HP (High Pressure) sebesar 63,05% dan posisi LP (Low Pressure) sebesar 57,25% yang terlihat pada gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.8 Grafik Nilai Efisiensi Turbin Keadaan HP - LP

Pada hasil simulasi hysys yang dilakukan pada nilai efisiensi boiler A sebesar 62,91% dan Boiler B sebesar 58,90% yang terlihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Efisiensi Boiler A - B

4.3. Perbandingan Uji Data – Analisa Simulasi Data

Pada akhir tahapan dilakukan perbandingan dari hasil data perhitungan uji data dan hasil simulasi. Untuk hasil uji data pada boiler didapat untuk efisiensi boiler A didapatkan nilai efisiensi sebesar 63,6 %. Sedangkan pada hasil simulasi di 62,91%. Hal ini dapat ditemukan selisih antara perhitungan dan simulasi sebesar 0,77 %.

Untuk perbandingan hasil uji pada perhitungan turbin HP sebesar 63,08% sedangkan pada simulasi Turbin HP sebesar 63,05 %. Hal ini didapat selisih nilai 0,3 %.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diambil pada penelitian ini dapat diuraikan sebagai

berikut :

1. Untuk efisiensi pada komponen pembangkit PLTU dapat diuraikan antaranya: untuk efisiensi boiler didapatkan nilai efisiensi sebesar 63,6 %. Untuk nilai efisiensi turbin sebesar 63,08 %. Sedangkan untuk efisiensi operasional generator sebesar 38,96 % dan sedangkan nilai efisiensi generator aktual sebesar 31,97 %.
2. Untuk nilai perhitungan regresi linier kuadrat terkecil pada boiler didapat nilai a sebesar 1,0221x dan nilai b sebesar -4,7146. Hal ini mendapatkan nilai $Y = 1,0221x - 4,7146$. Untuk nilai perhitungan regresi linier kuadrat terkecil pada turbin di dapatkan nilai a sebesar 1,0221 sedangkan nilai b sebesar -4,7146 dan didapat nilai $Y = 1,0221x - 4,7146$ dengan nilai $R^2 = 0,9958$ sedangkan perhitungan regresi linier kuadrat terkecil pada turbin didapat nilai a sebesar 0,7418x dan nilai b sebesar 165,63. Hal ini mendapatkan nilai $Y = 0,7418x + 165,63$. Untuk nilai perhitungan regresi linier kuadrat terkecil pada turbin di dapatkan nilai a sebesar 0,7418 sedangkan nilai b sebesar 165,63 dan didapat nilai $Y = 0,7418x + 165,63$ dengan nilai $R^2 = 0,8592$.
3. Pada hasil simulasi hysys yang dilakukan pada nilai efisiensi turbin dalam keadaan posisi HP (High Presurre) sebesar 63,05% dan posisi LP (Low Pressure) sebesar 57,25%. Sedangkan hasil simulasi hysys yang dilakukan

pada nilai efisiensi boiler A sebesar 62,91% dan Boiler B sebesar 58,90%. Untuk hasil uji data pada boiler didapat untuk efisiensi boiler A didapatkan nilai efisiensi sebesar 63,6 %. Sedangkan pada hasil simulasi di 62,91%. Hal ini dapat ditemukan selisih antara perhitungan dan simulasi sebesar 0,77 %. Untuk perbandingan hasil uji pada perhitungan turbin HP sebesar 63,08% sedangkan pada simulasi Turbine HP sebesar 63,05 % . Hal ini didapat selisih nilai 0,3 %

5.2.SARAN

Saran untuk dilakukan penelitian selanjutnya dapat duraikan sebagai berikut :

1. Para peneliti melakukan survei yang lebih lama untuk mendapat kan nilai data yang baik dan bagus.
2. Untuk penelitian ini selanjutnya disarankan menggunakan data data variasi beban di lapangan, untuk mendapatkan data yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. D. E. Nasional, “Outlook Energi Fosil 2016,” in *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, 2016, pp. 1–83.
- [2] S. N. RI, “UU No 30 tahun 2007, Tentang Energi,” in *ESDM*, 2007, p. 20.
- [3] B. P. dan P. Teknologi, “Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi 2012,” in *ESDM*, 2012.
- [4] Bureau, “Bureau of energy efficiency Guide books 1, 2, 3,4,” in *Energy Efficiency*, 2015.
- [5] R. Said and W. R. Hatiningrun, “Optimasi Penggunaan Bahan Bakar MFO Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Pada Fire Tube Boiler 53-B001 B,” *SNTEM*, vol. 1, no. 38, pp. 509–514, 2021.
- [6] M. Dongellini, “Energy efficiency of an industrial site: a case study,” *68th Conf. Ital. Therm. Mach. Eng. Assoc.*, vol. 65, pp. 424–433, 2013.
- [7] D. A. Putra, “Optimalisasi Suplai Uap Cogent Plant Terintegrasi Dengan Sistem Kendali PLC pada PT. MNA - Kuala Tanjung,” 2019.
- [8] M. Sagaf, “Boiler Feed Pump Dan Motor Induksi Pada Kondisi Start Up (Study Kasus : PLTU Tanjung Jati B Unit 3),” *J. SIMETRIS*, vol. 11, no. 2, 2020.
- [9] P. A. Hohne, K. Kusakana, and B. P. Numbi, “Improving energy efficiency of thermal processes in healthcare institutions: A review on the latest sustainable energy management strategies,” *Energies*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13030569.
- [10] I. M. A. Wiryawan, “Program Manajemen Energi Listrik Untuk Efektivitas

- Penggunaan Energi Listrik Di Politeknik Negeri Bali,” *J. MATRIX*, vol. 4, no. 2, pp. 99–105, 2014.
- [11] Dr. K. Shanti Swarup, “EMS LECTURE 1: INTRODUCTION 1. Introduction,” 2015. [Online]. Available: <https://nptel.ac.in/courses/108/106/108106022/>.
- [12] K. Hernawan, “Peluang Penghematan Energi pada Boiler di PT Indo Bharat Rayon,” *J. Tek. Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 19–23, 2021, doi: 10.35313/energi.v10i1.2314.
- [13] Djokostyoarjo MJ, “Ketel Uap,” in *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*, 1993, pp. 1–203.
- [14] F. Ramdhan and C. Rangkuti, “Analisa Eksergi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT X Unit 1 Babelan,” *Semin. Nas. Cendekiawan ke 5*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [15] H. Abbas, J. Jamaluddin, M. Arif, and A. Amiruddin, “Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di Pltu,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 14, no. 01, pp. 2024–2028, 2019, doi: 10.47398/iltek.v14i01.362.
- [16] R. Said and W. R. Hatiningrun, “Optimasi Penggunaan Bahan Bakar MFO Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Pada Fire Tube Boiler 53-B001 B,” *SNTEM*, vol. 1, no. 38, pp. 509–514, 2021.
- [17] L. A. Hamzah, “Analisa Pengaruh Produksi Energi Listrik Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) NII Tanasa,” *J. Fokus Elektroda Energi List. Telekomun. Komputer, Elektron. dan Kendali*, vol. 04, no. 02, pp. 1–5, 2019.

- [18] A. Freddy, L. K. Energi, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Riau, “Analisis Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dual Fuel Line 3 Pt . Riau Andalan Pulp and Paper Pangkalan Kerinci,” *JOM FTEKNIK*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [19] A. G. Vinchurkar, R. R. Lakhe, and R. L. Shrivastava, “Energy Management Approach To Improve Performance Of Thermal Power Plant,” *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 11, no. 11, pp. 63–80, 2015.
- [20] M. Syafruddin, L. Hakim, and D. Despa, “Metode Regresi Linier Untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung),” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terapan.*, vol. 2, no. 2, 2014, doi: 10.23960/jitet.v2i2.237.
- [21] C. T. Martiadhi, “Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Beban Puncak Elektris pada Wilayah Jakarta Pusat,” 2010.
- [22] H. E. G. Prasetya, “Sistem Pengendalian Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan Metode Plantwide Control,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 49–64, 2021, doi: 10.36055/setrum.v10i1.11225.
- [23] A. Sopotra, P. I. Siregar, and E. Ekawati, “Perancangan Sistem Simulasi HYSYS & Integrasi dengan Programmable Logic Controller-Human Machine Interface : Studi Kasus pada Plant Kolom Distilasi Etanol-Air,” *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2015, doi: 10.5614/joki.2014.6.1.1.
- [24] M. Rabadjiyski, T. Georgiev, M. Georgiev, Y. Dachev, and S. Stojkov,

- “Electrical Energy Management System,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 39, no. 19, pp. 159–164, 2006, doi: <https://doi.org/10.3182/20061002-4-BG-4905.00027>.
- [25] A. Mohamed and M. Khan, “A review of electrical energy management techniques: Supply and consumer side (industries),” *J. Energy South Africa*, vol. 20, pp. 14–21, Aug. 2009, doi: [10.17159/2413-3051/2009/v20i3a3304](https://doi.org/10.17159/2413-3051/2009/v20i3a3304).
- [26] R. Gupta and S. Ghai, “Energy Efficiency Improvement Strategies for Industrial Boilers: A Case Study,” *J. Engg Technol.*, vol. 1, Jan. 2011, doi: [10.4103/0976-8580.74541](https://doi.org/10.4103/0976-8580.74541).
- [27] T. Javied, T. Rackow, and J. Franke, “Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies,” *Procedia CIRP*, vol. 26, Dec. 2015, doi: [10.1016/j.procir.2014.07.057](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.057).
- [28] M. Jovcevski, M. Lakovic, and M. Banjac, “Improving the energy efficiency of a 110 MW thermal power plant by low-cost modification of the cooling system,” *Energy Environ.*, vol. 29, p. 0958305X1774742, Jan. 2018, doi: [10.1177/0958305X17747428](https://doi.org/10.1177/0958305X17747428).
- [29] G. Valencia, J. Rojas, and J. Avella, “Energy Optimization of Industrial Steam Boiler using Energy Performance Indicator,” *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 9, pp. 109–117, Oct. 2019, doi: [10.32479/ijeep.8188](https://doi.org/10.32479/ijeep.8188).
- [30] L. Fiorini and M. Aiello, “Energy management for user’s thermal and power needs: A survey,” *Energy Reports*, vol. 5, pp. 1048–1076, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.003>.