

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA SISTEM PLTGU BLOK 2 SENGKANG
DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER***

Disusun dan diajukan oleh

AFIF FADHLULLAH NURSYAM

D041 17 1301



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA SISTEM PLTGU BLOK 2 SENGKANG
DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER***

Disusun dan diajukan oleh:

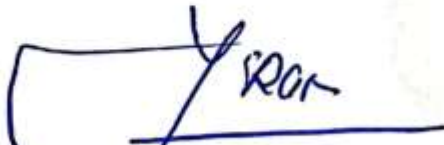
AFIF FADHLULLAH NURSYAM

D041 17 1301


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 02 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing I


Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.
NIP. 19750404 200012 1 001

Pembimbing II


Yusri Svam Akil, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19770322 200501 1 001

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afif Fadhlullah Nursyam
NIM : D041171301
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Analisis Kinerja Sistem PLTGU Blok 2 Sengkang dengan Penambahan *Preheater*)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 02 Maret 2022

Yang Menyatakan



(Afif Fadhlullah Nursyam)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Salam sejahtera bagi kita semua, *Shalom, Om Swastyatsu, Namo Buddhaya*, Salam Kebajikan.

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang dengan limpahan kasih setia, bimbingan, dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “ANALISIS KINERJA SISTEM PLTGU BLOK 2 SENGKANG DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada penulisan skripsi ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah senantiasa memberikan kesempatan, berkat, akal budi, pengetahuan, dan segala yang tak terhitung jumlahnya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Muhammad Nursyam dan Iriyani Mallarangen atas segala doa, jasa, motivasi dan dukungan yang telah diberikan dan yang senantiasa mengingatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi secepatnya.
3. Enam adik tercinta dan seluruh keluarga penulis atas segala semangat, nasehat dan bantuan yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Yusran, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing II serta Ibu Dr. Ir. Hasniaty A., S.T., M.T. selaku penguji I dan Bapak Ir. Gassing, M.T. selaku penguji II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan tugas akhir.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

6. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas pengabdianya.
7. Ibu Salmiati selaku Staf Akademik Program Studi S1 yang tiada letih membantu mahasiswa dalam pengurusan administrasi.
8. PT. Consolidated Electric Power Asia yang telah membantu dalam proses pengumpulan data dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Annisa Salsabila atas bantuan yang luar biasa kepada penulis dalam membantu saya menyelesaikan tugas akhir.
10. Teman-teman kos saya, khususnya Fanandi Noor Ilmi, Muhammad Kahrul Sikande, Abidzar Al Ghiffary, Muhammad Fitra Al-Faiyed, dan adinda Samuel Marto Parerungan atas bantuan yang luar biasa kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. Saudara Ahmad Jayadi Maulid yang menjadi rekan seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir.
12. Teman-teman Equalizer 2017 atas cerita, canda tawa dan kenangannya selama ini.
13. Kakak-kakak dan adik-adik yang telah melengkapi perjalanan hidup penulis selama menempuh bangku kuliah.
14. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Makassar, 02 Maret 2022

Hormat Saya

Penulis

ABSTRAK

AFIF FADHLULLAH NURSYAM. Analisis Kinerja Sistem PLTGU Blok 2 Sengkang dengan Penambahan *Preheater* (dibimbing oleh Yusran dan Yusri)

PLTGU Blok 2 Sengkang memiliki daya kapasitas generator yaitu sebesar 180 MW. Adapun daya generator pada blok 2 ini terdiri dari 60 MW pada 2 siklus gas dan 60 MW pada siklus uap. Dari total daya yang dibangkitkan PLTGU Sengkang sebesar 315 MVA, tetapi yang disalurkan ke jaringan PLN hanya sebesar 270 MVA sesuai kontrak dengan PLN. Sehingga dilakukan simulasi untuk meningkatkan daya yang dibangkitkan PLTGU. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan simulasi dengan penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang yang menghasilkan keluaran daya generator yang optimal menggunakan program Cycle Tempo serta mengetahui pengaruh perubahan tekanan pada *preheater*. Adapun pada penelitian ini untuk mengetahui proyek penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang itu layak dilaksanakan berdasarkan dengan analisis perhitungan ekonominya. Simulasi yang dirancang yaitu 1 *preheater* pada HRSG 21, 1 *preheater* pada HRSG 22, dan masing-masing 1 *preheater* pada HRSG 21 dan HRSG 22 menggunakan inputan perubahan tekanan yang berbeda-beda. Pengolahan data menggunakan data sistem pembangkit listrik saat kondisi beban puncak yang diambil pada tanggal 06 Juli 2020. Hasil pengujian menunjukkan simulasi dengan daya yang optimal terjadi pada simulasi penambahan masing-masing 1 *preheater* pada HRSG 21 dan HRSG 22. *Preheater* pada HRSG 21 dengan perubahan tekanan 26 bar dan *preheater* pada HRSG 22 dengan perubahan tekanan 22 bar menghasilkan total keluaran daya generator sebesar 178,743 MW. Modifikasi simulasi ini berhasil menaikkan total keluaran daya generator sebesar 93,28 kW dari simulasi aktualnya. Dibutuhkan 1,42 MW untuk mencapai daya kapasitas yaitu sebesar 180 MW, sehingga tingkat peningkatan daya pembangkit tersebut sebesar 6,57 %. Selain itu, perhitungan analisis ekonomis menunjukkan NPV > 0, serta IRR melebihi tingkat bunga 8 % sehingga proyek pemasangan *preheater* pada PLTGU Blok 2 Sengkang layak dilaksanakan.

Kata Kunci: PLTGU, *Preheater*, Modifikasi Simulasi, Cycle Tempo

ABSTRACT

AFIF FADHLULLAH NURSYAM. Performance Analysis of Sengkang Block 2 PLTGU System with Addition of Preheater (supervised by Yusran and Yusri)

Sengkang Block 2 Combined Cycle Power Plant has a generator capacity of 180 MW. The generator power in block 2 consists of 60 MW in 2 gas cycles and 60 MW in the steam cycle. Of the total power generated by the Sengkang Combined Cycle Power Plant of 315 MVA, only 270 MVA is channeled to the PLN network according to the contract with PLN. So that a simulation is carried out to increase the power generated by the Combined Cycle Power Plant. The purpose of this study was to obtain a simulation with the addition of a preheater in the Sengkang Block 2 Combined Cycle Power Plant system which produces optimal generator power output using the Cycle Tempo program and to determine the effect of pressure changes on the preheater. As for this research, to find out the project of adding a preheater to the Sengkang Block 2 Combined Cycle Power Plant system is feasible based on the analysis of its economic calculations. The simulations designed are 1 preheater on HRSG 21, 1 preheater on HRSG 22, and each 1 preheater on HRSG 21 and HRSG 22 using different input pressure changes. Data processing uses data from the power generation system during peak load conditions taken on July 6, 2020. The test results show that the simulation with optimal power occurs in the simulation of adding 1 preheater to HRSG 21 and HRSG 22 Preheater to HRSG 21 with a change in pressure 26 bar and preheater on HRSG 22 with a pressure change of 22 bar produces a total generator power output of 178,743 MW. This simulation modification succeeded in increasing the total generator power output by 93.28 kW from the actual simulation. It takes 1.42 MW to reach a power capacity of 180 MW, so that the rate of increase in power generation is 6.57%. In addition, the calculation of the economic analysis shows $NPV > 0$, and the IRR exceeds the interest rate of 8% so that the preheater at Sengkang Block 2 Combined Cycle Power Plant is feasible.

Keywords: PLTGU, Preheater, Simulation Modification, Cycle Tempo

DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU).....	5
2.2 Prinsip Kerja PLTGU.....	5
2.2.1 Sistem Generator Turbin Gas	6
2.2.2 <i>Heat Recovery Steam Generator (HRSG)</i>	8
2.2.3 Sistem Generator Turbin Uap	10
2.3 <i>Preheater</i>	11

2.4	Parameter Kinerja	12
2.5	Program Cycle Tempo	15
2.5.1	<i>Working Area</i> Cycle Tempo.....	16
2.5.2	Hasil dari Program Cycle Tempo	17

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1	Data Penelitian.....	19
3.1.1	Teknik Pengambilan Data.....	19
3.1.2	Data yang Digunakan.....	19
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	19
3.4	Kerangka Penelitian.....	20

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Gambaran Umum PLTGU Blok 2 Senggang.....	22
4.2	Data-data yang Diperlukan Untuk Simulasi.....	22
4.2.1	Data Unit-Unit Pembangkit.....	22
4.2.2	Data Desain Unit-Unit Pembangkit	25
4.3	Simulasi Sistem Pembangkit Listrik.....	27
4.3.1	Simulasi Sistem Turbin Gas	27
4.3.2	Simulasi Sistem <i>Heat Recovery Steam Generator</i> (HRSG)	28
4.3.3	Simulasi Sistem Turbin Uap	30
4.3.2	Simulasi Sistem PLTGU	30
4.4	Proses Simulasi dan Validasi	31
4.4.1	Proses Simulasi.....	31
4.4.2	Proses Validasi	32
4.5	Modifikasi Simulasi Sistem Pembangkit Listrik.....	33

4.5.1	Modifikasi <i>Preheater</i> di HRSG 21	33
4.5.2	Modifikasi 1 <i>Preheater</i> di HRSG 22	37
4.5.3	Modifikasi 1 <i>Preheater</i> di HRSG 21 dan HRSG 22	41
4.6	Perbandingan Simulasi Setelah Modifikasi	45
4.7	Penambahan <i>Preheater</i> Berdasarkan Kondisi Pembeban	45
4.8	Analisa Simulasi Sebelum dan Setelah Penambahan <i>Preheater</i>	48
4.9	Analisis Kelayakan Ekonomi Pemasangan <i>Preheater</i>	50
4.9.1	Perhitungan Pendapatan	50
4.9.2	Perhitungan Biaya	50
4.9.3	Analisis Keuntungan Investasi	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		58

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2. 1 PLTGU Blok 2 Sengkang	5
Gambar 2. 2 Prinsip kerja PLTGU	6
Gambar 2. 3 Turbin Gas	8
Gambar 2. 4 <i>Heat Recovery Steam Generator</i>	10
Gambar 2. 5 Desain dan Tahapan Proses HRSG.....	14
Gambar 2. 6 Program Cycle Tempo	16
Gambar 2. 7 <i>Working Area</i> Cycle Tempo.....	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4. 1 Desain Sistem GT21	25
Gambar 4. 2 Desain Sistem GT 22	25
Gambar 4. 3 Desain Sistem HRSG21	16
Gambar 4. 4 Desain Sistem HRSG22	17
Gambar 4. 5 Desain Sistem ST28.....	27
Gambar 4. 6 Simulasi GT21	28
Gambar 4. 7 Simulasi GT22.....	28
Gambar 4. 8 Simulasi HRSG21.....	16
Gambar 4. 9 Simulasi HRSG22.....	17
Gambar 4. 10 Simulasi ST28	30
Gambar 4. 11 Simulasi Sistem PLTGU Blok 2 Sengkang.....	31
Gambar 4. 12 Tampilan Simulasi pada Cycle Tempo	33
Gambar 4. 13 Penambahan 1 <i>Preheater</i> di HRSG 21	35

Gambar 4. 14 Nilai Komponen <i>Preheater</i> HRSG 21	36
Gambar 4. 15 Grafik Daya Generator 1 <i>Preheater</i> HRSG 21.....	38
Gambar 4. 16 Penambahan 1 <i>Preheater</i> di HRSG 22	39
Gambar 4. 17 Nilai Komponen <i>Preheater</i> HRSG 22	40
Gambar 4. 18 Grafik Daya Generator 1 <i>Preheater</i> HRSG 22.....	42
Gambar 4. 19 Penambahan 1 <i>Preheater</i> di HRSG 22 dan HRSG 21	43
Gambar 4. 20 Grafik Daya Generator 1 <i>Preheater</i> HRSG 21 dan HRSG 22	46

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Data Unit GT 21	23
Tabel 4.2 Data Unit GT 22.....	23
Tabel 4.3 Data Unit HRSG 21.....	23
Tabel 4.4 Data Unit HRSG 22.....	24
Tabel 4.5 Data Unit ST 28	24
Tabel 4.6 Perbandingan Daya Eksisting dan Hasil Simulasi	32
Tabel 4.7 Daya Keluaran Generator 1 <i>Preheater</i> di HRSG 21	35
Tabel 4.8 Daya Keluaran Generator 1 <i>Preheater</i> di HRSG 22.....	39
Tabel 4.9 Daya Keluaran Generator 1 <i>Preheater</i> di HRSG 21 dan HRSG 22.....	43
Tabel 4.10 Daya Generator Setelah Penambahan <i>Preheater</i>	45
Tabel 4.11 Daya Generator Setiap Kondisi Pembebanan	46
Tabel 4.12 Daya Generator Setiap Kondisi Pembebanan dengan <i>Preheater</i>	46
Tabel 4.13 Data Sebelum dan Setelah Penambahan <i>Preheater</i>	48
Tabel 4.14 Program Pemasangan <i>Preheater</i>	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai macam aspek kehidupan saat ini dalam menunjang segala kebutuhan dan kegiatan manusia. Konsumsi energi listrik tiap tahun selalu meningkat. Indonesia saat ini kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun terus meningkat. Seiring dengan peningkatan kebutuhan energi listrik tersebut, produksi tenaga listrik juga harus meningkat. Untuk memenuhi hal tersebut, maka dibangunlah berbagai macam pembangkit di Indonesia. Salah satu pembangkit listrik itu adalah pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU).

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah kombinasi antara PLTG dan PLTU, dimana PLTG adalah pembangkit listrik yang menggunakan gas alam/bahan bakar minyak untuk menggerakkan turbin gas yang dikopel dengan generator, sehingga generator tersebut dapat menghasilkan energi listrik. Untuk memanfaatkan gas buang yang berasal dari turbin gas pada PLTG maka gas buang dialirkan untuk memanaskan air di *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator. Siklus ini biasa disebut dengan *combined cycle*.

Turbin gas dan turbin uap memiliki pertimbangan tersendiri dalam menggunakannya. Turbin gas memiliki efisiensi termal yang lebih rendah dibanding turbin uap apabila digunakan secara terpisah. Turbin gas memiliki keunggulan waktu *start-up* yang lebih cepat, yaitu sekitar 2 jam, sedangkan turbin uap membutuhkan waktu sekitar 12 jam untuk *start-up*. Untuk PLTGU Sengkang yang berkapasitas relatif besar dan memegang porsi besar dalam memasok kebutuhan listrik di Sulsel, gas turbin dan turbin uap beroperasi sepanjang waktu (Fathoni, 2016).

PT. Energi Sengkang telah mengoperasikan PLTGU baru yakni PLTGU Blok 2 Sengkang di tahun 2013. PLTGU ini terdiri dari 2 turbin gas, 2 HRSG, dan 1 turbin uap. Mesin yang digunakan pada pembangkit ini diproduksi oleh

perusahaan bernama Siemens. Desain dari mesin pada blok 2 berbeda dengan desain pada blok 1.

PLTGU Blok 2 Sengkang memiliki daya kapasitas generator yaitu sebesar 180 MW. Tambahan dari blok 2 ini membuat kapasitas total dari PLTGU Sengkang menjadi 315 MW yang dimana sebelumnya blok 1 hanya berkapasitas 135 MW. Adapun daya generator pada blok 2 ini terdiri dari 60 MW pada 2 siklus gas dan 60 MW pada siklus uap. Total daya yang dibangkitkan PLTGU Sengkang sebesar 315 MVA, tetapi yang disalurkan ke jaringan PLN hanya sebesar 270 MVA sesuai kontrak dengan PLN.

Tujuan penelitian ini membahas mengenai analisis dan simulasi dari pembangkit listrik tersebut menggunakan program Cycle Tempo agar produksi daya PLTGU mengalami peningkatan. Penggunaan program Cycle Tempo dipilih dalam melakukan simulasi ini karena dinilai lebih efektif dan mudah. Data yang digunakan untuk penyusunan tugas akhir ini diambil dari data pada perusahaan PT Consolidated Electric Power Asia.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana mengetahui simulasi penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang yang menghasilkan keluaran daya generator yang optimal?
2. Bagaimana mengetahui pengaruh perubahan tekanan pada *preheater* ketika ditambahkan pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *preheater* mampu meningkatkan daya kapasitas PLTGU Blok 2 Sengkang?
4. Bagaimana mengetahui proyek penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang itu layak dilaksanakan berdasarkan dengan analisis perhitungan ekonominya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir

ini adalah:

1. Mendapatkan simulasi penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang yang menghasilkan keluaran daya generator yang optimal menggunakan program Cycle Tempo.
2. Mendapatkan pengaruh perubahan tekanan pada *preheater* ketika ditambahkan pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang.
3. Mengetahui pengaruh penambahan *preheater* mampu meningkatkan daya kapasitas PLTGU Blok 2 Sengkang.
4. Mengetahui proyek penambahan *preheater* pada sistem PLTGU Blok 2 Sengkang itu layak dilaksanakan berdasarkan dengan analisis perhitungan ekonominya.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan adalah:

1. Penjelasan tentang kinerja dari PLTGU ketika ditambahkan *preheater* menggunakan program Cycle Tempo.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan masukan untuk PT Consolidated Electric Power Asia.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian adalah PLTGU Blok 2 Sengkang.
2. Analisis berdasarkan data operasi dan *heat balance* PLTGU Blok 2 Sengkang.
3. Data yang digunakan pada saat beban puncak.
4. Kondisi operasi adalah tunak (*steady state*).
5. Rugi-rugi panas pada instalasi pipa diabaikan.
6. Energi potensial dan energi kinetik diabaikan.
7. Aplikasi untuk simulasi menggunakan program Cycle Tempo.
8. Harga jual listrik Rp 873,53/kWh

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penelitian ini dapat diketahui sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan dan manfaat, metodologi penelitian, tinjauan pustaka dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang digunakan dalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai prosedur penelitian, peralatan yang digunakan, objek yang diteliti, dan diagram alur penelitian.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang bagaimana pengaruh penambahan *preheater* pada PLTGU Blok 2 Sengkang dengan daya yang dihasilkan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU)

PLTGU merupakan kombinasi dari PLTG dengan PLTU. Gas buang dari PLTG yang biasanya mempunyai suhu di atas 400° akan dimanfaatkan ke dalam ketel uap PLTU sehingga menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap. Dengan cara ini, daya yang didapat PLTU sebesar 50% daya PLTG. Ketel uap yang digunakan untuk memanfaatkan gas buang PLTG didesain khusus untuk memanfaatkan gas di mana biasa disebut *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) (Harun, 2011).



Gambar 2. 1 PLTGU Blok 2 Sengkang

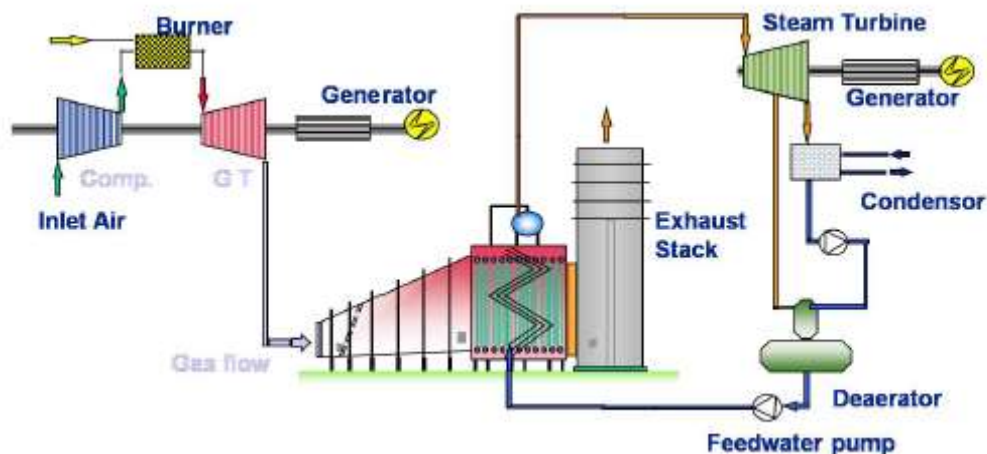
PT. Consolidated Electric Power Asia adalah perusahaan yang terdaftar Indonesia yang bergerak dalam penyediaan yang mendukung *Operation & Maintenance* (O&M) untuk pembangkit listrik uap dan gas. PT. CEPA telah mengoperasikan PLTGU Blok 2 Sengkang dengan kapasitas 180 MW sejak tahun 2012. Terletak di Desa Patila, Kecamatan Pammana, Kabupaten Wajo, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.

2.2 Prinsip Kerja PLTGU

Gas panas hasil pembakaran bahan bakar dialirkan untuk memutar turbin

gas sehingga energi mekanik yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator. Sisa gas dari turbin gas yang masih mengandung energi panas yang tinggi akan dialirkan ke HRSG untuk memanaskan air sehingga dihasilkan uap. Setelah memberi panasnya, sisa gas di buang ke atmosfer dengan temperatur yang jauh lebih rendah dari sebelumnya.

Uap dari HRSG dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan agar memutar turbin uap yang dikopel dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Uap bekas keluar turbin uap didinginkan dengan kondensor sehingga menjadi air kembali. Air dari kondensator ini dipompakan sebagai air pengisi HRSG untuk dipanaskan kembali agar berubah menjadi uap dan begitu seterusnya (Rakhman, 2013).



Gambar 2. 2 Prinsip kerja PLTGU (Masruri, 2016)

2.2.1 Sistem Generator Turbin Gas

Turbin gas memperoleh tenaganya dengan memanfaatkan energi gas dan udara yang terbakar, yang berada pada temperatur dan tekanan tinggi dengan mengembang melalui beberapa ring sudu yang tetap dan bergerak. Sehingga menyerupai turbin uap. Untuk mendapatkan tekanan tinggi (dari urutan 4 sampai 10 bar) fluida kerja, yang penting untuk keperluan ekspansi kompresor.

Kuantitas fluida kerja dan kecepatan yang dibutuhkan lebih banyak, jadi pada umumnya, kompresor sentrifugal atau aksial yang digunakan. Turbin

menggerakkan kompresor dan kemudian digabungkan ke poros turbin. Jika setelah kompresi fluida kerja akan diperluas dalam gelombang, maka dengan asumsi bahwa tidak ada kerugian di salah satu komponen, daya yang dikembangkan oleh turbin akan sama dengan yang diserap oleh kompresor dan pekerjaan yang dilakukan akan menjadi nol. Namun peningkatan volume fluida kerja pada tekanan konstan, atau sebaliknya meningkatkan tekanan pada volume konstan dapat meningkatkan daya yang dikembangkan oleh turbin. Menambah panas sehingga suhu fluida kerja meningkat setelah kompresi dapat melakukan salah satu dari ini. Untuk mendapatkan temperatur fluida kerja yang lebih tinggi diperlukan ruang bakar dimana terjadi pembakaran udara dan bahan bakar sehingga terjadi kenaikan temperatur pada fluida kerja. Jadi, sistem generator turbin gas terdiri dari (Harun, 2011) :

1. Generator

Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik di mana di dalamnya terjadi proses perubahan energi mekanis menjadi energi listrik.

2. Kompresor

Kompresor berfungsi menaikkan tekanan udara untuk keperluan pembakaran

3. Ruang Bakar (*Combuster*)

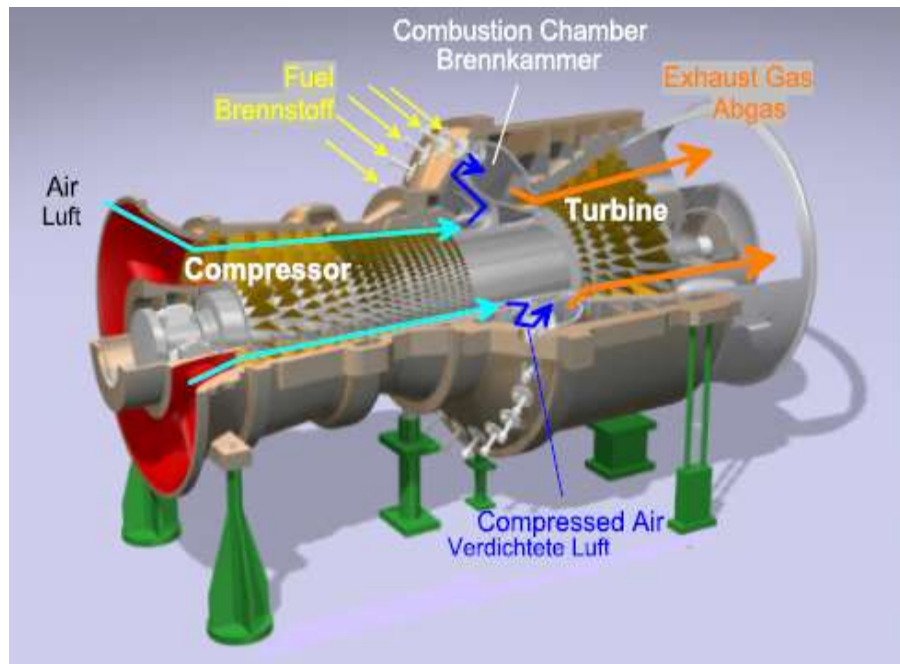
Ruang bakar berfungsi sebagai tempat pembakaran di dalam sistem turbin gas. Pada ruang bakar akan dihasilkan gas bertekanan dengan kecepatan tinggi/

4. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengekspansi gas panas hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator.

Karena kompresor digabungkan dengan poros turbin, ia menyerap sebagian daya yang dihasilkan oleh turbin dan karenanya menurunkan efisiensi. Oleh karena itu, jaringan adalah perbedaan antara kerja turbin dan pekerjaan yang dibutuhkan oleh kompresor untuk menggerakkannya.

Turbin gas telah dibangun untuk mengerjakan hal-hal berikut ini: minyak bumi, gas alam, gas batu bara, gas penghasil, tanur sembur dan batu bara bubuk (Raja, 2006).



Gambar 2. 3 Turbin Gas (Lowell, 1940)

2.2.2 Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Energi panas yang terkandung dalam gas buang/saluran keluaran turbin gas yang temperaturnya masih cukup tinggi (sekitar 5630°C) dialirkan masuk ke dalam HRSG untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa pemanas (*evaporator*), selanjutnya keluar melalui cerobong dengan temperatur sekitar 1500°C. Air di dalam pipa-pipa pemanas yang berasal dari drum mendapat pemanasan dari gas panas tersebut, sebagian besar akan berubah menjadi uap dan yang lain masih berbentuk air. Campuran air dan uap selanjutnya masuk kembali ke dalam drum. Di dalam drum, uap dipisahkan dari air dengan menggunakan pemisah uap yang disebut *separator*. Uap yang sudah terpisah dari air selanjutnya dipanaskan lebih lanjut, sehingga kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan turbin uap, sedangkan air yang tidak menjadi uap disirkulasikan kembali ke pipa-pipa pemanas, bersama-sama dengan air pengisi yang baru. Demikian proses ini berlangsung terus menerus selama unit beroperasi. Adapun komponen dari HRSG yaitu sebagai berikut (Husen et al., 2020) :

1. *Superheater*

Superheater merupakan alat penukar kalor pada HRSG yang menghasilkan uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan menuju turbin uap.

2. *Economizer*

Economizer merupakan alat penukar kalor untuk memanaskan awal air pengisi drum sebelum masuk ke *evaporator*. Pada bagian ini jika dimungkinkan terjadi korosi yang tergantung dari besarnya temperatur air pengisi yang masuk.

3. *Evaporator*

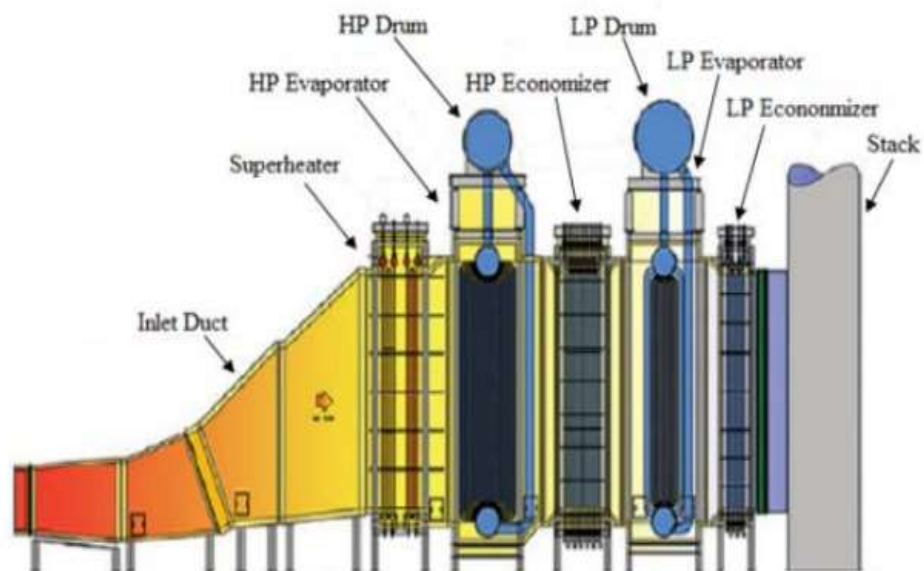
Evaporator merupakan alat penukar kalor yang menghasilkan uap jenuh (*saturated*) dari air pengisi drum yang terletak diantara *economizer* dan *superheater*.

4. Drum

Drum uap merupakan bejana penampung air yang datang dari *economizer* dan terletak di bagian atas HRSG. Di bagian dalam drum, setengah dari drum berisi uap dan setengahnya lagi berisi air.

5. *Stack*

Stack adalah cerobong asap dari gas bekas dari turbin uap setelah melalui HRSG.



Gambar 2. 4 *Heat Recovery Steam Generator* (Burlian and Ghafara, 2013)

Performa dari HRSG dipengaruhi dari siklus brayton pada sisi PLTG. Siklus brayton ini dapat diketahui dengan menghitung efisiensi termal dengan

menggunakan persamaan sebagai berikut (Sukadana, 2015):

$$\eta_{th,brayton} = 1 - \frac{1}{rp^{(k-1/k)}} \quad (2.1)$$

$$rp = \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (2.2)$$

Efisiensi thermis siklus brayton sangat tergantung pada : Rasio Tekanan (rp) dan Panas Spesifik (k). Efisiensi brayton tergantung pada rasio tekanan dan panas spesifik dari fluida kerja. Efisiensi thermis akan meningkat dengan meningkat tekanan dan panas spesifik dari fluida kerja. Sehingga mempengaruhi daya yang dihasilkan dari turbin gas. Siklus Rankine dan siklus Brayton dikombinasikan menggunakan komponen *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang berperan sebagai *boiler* pada siklus Rankine dan memanfaatkan panas dari gas buang turbin gas siklus Brayton, Dikarenakan memiliki efisiensi yang cukup besar, penggunaan siklus kombinasi sudah diaplikasikan sebagai pembangkit listrik yang banyak dipakai di seluruh dunia (Lestari, 2019).

2.2.3 Sistem Generator Turbin Uap

Siklus PLTGU merupakan gabungan antara PLTG dengan PLTU sehingga komponen utama PLTGU adalah PLTU beserta sistem dan peralatan bantuannya. Turbin uap digunakan sebagai penggerak mula yang mengubah energi panas menjadi energi mekanis yang berupa putaran poros turbin. Kemudian poros turbin dikopel dengan poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Selain penggerak generator listrik, turbin uap dapat juga digunakan untuk memutar pompa, transportasi dan sebagainya. Energi panas yang digunakan untuk memutar turbin dapat diperoleh dari uap panas bumi, *boiler* berbahan bakar fosil, *boiler* nuklir atau sisa gas pada PLTG. Komponen utama dalam sistem generator turbin uap adalah sebagai berikut (Rakhman, 2013) :

1. Generator

Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik di mana di dalamnya terjadi proses perubahan energi mekanis dari poros turbin uap menjadi energi listrik.

2. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk menghasilkan energi mekanis menggunakan uap panas dan kering dari *superheater* untuk menggerakkan generator.

3. Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai tempat pendinginan uap bekas hasil ekspansi turbin uap dimana media air seperti air laut, sungai atau danau yang digunakan sebagai media pendinginnya.

4. Tangki air pengisi (*Feed Water Tank*)

Tangki ini berisi air murni sebagai tandon untuk mengisi air kondensor.

5. Pompa air pengisi (*Feed Water Pump*)

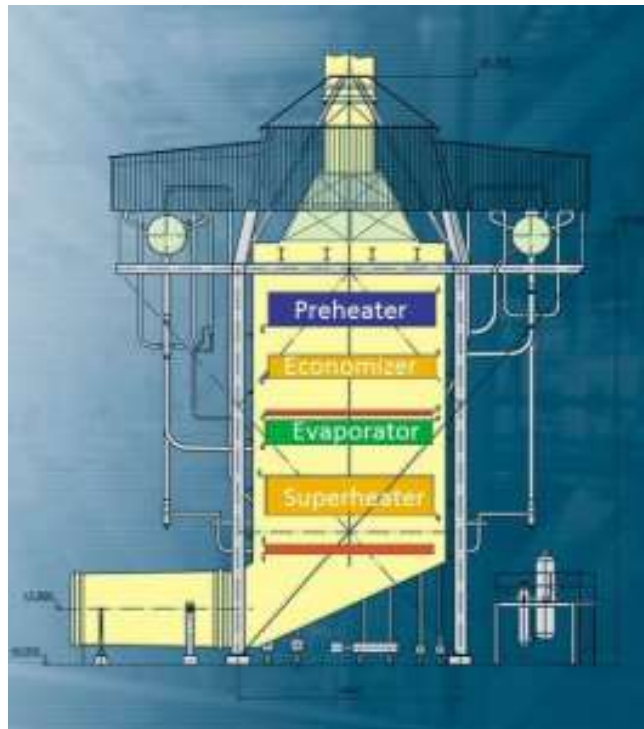
Pompa ini berfungsi untuk memindahkan air pengisi dari tangki air pengisi ke kondensor dan menjaga level kondensor tetap pada kondisi normal.

6. *Service Ejector*

Service ejector berfungsi untuk membuang uap yang terperangkap di dalam kondensor agar menjaga kondensor tetap dalam keadaan vakum.

2.3 *Preheater*

Aliran sisa gas panas dari pembakaran gas turbin melewati HRSG dan dibuang melalui *stack*. Temperatur sisa gas panas terbesar berada pada daerah *exhaust* dari turbin gas, sedangkan temperatur terendah berada pada daerah *stack* seperti pada Gambar 2.4. Aliran air dari *feedback water* memiliki arah yang terbalik dari arah sisa gas buang turbin gas, sehingga air akan melalui daerah *stack* terlebih dahulu dan mengalir menuju ke daerah *exhaust* dari turbin gas untuk proses pemanasan yang terus menerus hingga air berubah menjadi uap panas lanjut (*superheated vapor*) (Putro, 2017).



Gambar 2. 5 Desain dan tahapan proses HRSG (Putro, 2017)

Proses *preheater* memegang peranan dalam HRSG, yaitu sebagai pemanasan awal air. Jika proses *preheating* dapat memiliki nilai efisiensi yang tinggi, maka tahap *economizer* dapat diminimalisasikan. Selain itu peranan *preheater* adalah sebagai arah aliran utama air dari *feedwater drum*, sehingga bila ada kegagalan seperti penipisan pada pipa dan menyebabkan kebocoran, seluruh sistem turbin uap dapat mengalami *shutdown*.

2.4 Parameter Kinerja

Dalam proses pada turbin adapun daya yang akan dihasilkan. Adapun rumus daya yang dihasilkan turbin adalah (Jamaludin & Kurniawan, 2017) :

$$WT = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_2(h_3 - h_4) + \dot{m}_3(h_4 - h_5) \quad (2.3)$$

$$WT = WHP_{Turbine} + WIP_{Turbine} + WLP_{Turbine} \quad (2.4)$$

$$WT_{Aktual} = \eta_{Turbine} \times WT \quad (2.5)$$

Keterangan :

WT = Daya yang dihasilkan turbin (MW)

WT_{Aktual} = Daya aktual pada turbin (MW)

$\eta_{Turbine}$ = Efisiensi turbin (%)

\dot{m}_1 = *Main Steam Flow* (kg/h)

\dot{m}_2 = *Cold Reheat Steam Flow at Preheater inlet* (kg/h)

\dot{m}_3 = *Hot Reheat Steam Flow* (kg/h)

h_1 = *Main Steam Enthalpy* (kJ/kg)

h_2 = *Cold Reheat Enthalpy* (kJ/kg)

h_3 = *Preheater Steam Enthalpy* (kJ/kg)

h_4 = *LP Turbine Exhaust Enthalpy* (kJ/kg)

h_5 = *Condense Water Deaerator Outlet* (kJ/kg)

Sedangkan efisiensi turbin yang merupakan parameter keberhasilan suatu turbin mendekati desain atau proses ideal dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{Turbine} = \frac{860}{Heat\ Rate\ Turbine} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana 1 kWh = 860 Kilokalori (kcal)

Heat rate merupakan parameter dalam menganalisis kinerja PLTGU dimana menunjukkan seberapa besar energi panas yang akan dikonversi menjadi keluaran kerja. Untuk nilai *heat rate turbine* yang digunakan untuk memutar turbin dengan energi listrik yang akan dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan :

$$HRT = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 \times \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f \times \dot{m}_2 \times h_2 \times \dot{m}_s \times h_s)}{p_g - p_{ex}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

HRT = *Heat rate turbine* (kJ/kWh)

\dot{m}_1 = Laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*) (kg/h)

h_1 = Entalpi *main steam* (uap keluaran *superheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_3 = Laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *Preheater*) (kg/h)

h_3 = Entalpi *hot reheat steam* (uap keluaran *preheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_f = Laju aliran massa *feed water* (air umpan *boiler*) (kg/h)

h_f = Entalpi *feed water* (air umpan *boiler*) (kJ/kg)

\dot{m}_2 = Laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *preheater*) (kg/h)

h_2 = Entalpi *cold reheat* (uap masuk ke *preheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_s = Laju aliran massa *superheater spray* (kg/h)

h_s = Entalpi *superheater spray* (kJ/kg)

p_g = *Turbine generator output* (MW)

p_{exc} = *Generator excitation power* (MW)

Agar laju aliran massa *main steam* (\dot{m}_1), laju aliran massa *cold reheat* (\dot{m}_2), dan laju aliran massa *hot reheat* (\dot{m}_3) dapat diketahui, persamaannya adalah :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_f + \dot{m}_s + \dot{m}_{mu} \quad (2.8)$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_2 - G_{s2} - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2} \quad (2.9)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_r \quad (2.10)$$

Keterangan :

\dot{m}_f = aliran massa *feed water* (air umpan *boiler*) (kg/h)

\dot{m}_s = Laju aliran massa *superheater spray* (kg/h)

\dot{m}_{mu} = Total aliran massa (kg/h)

G_{s2} = Kebocoran pada sisi *casing* pompa dengan poros pompa (kg/h)

\dot{m}_{ex1} = Ekstraksi aliran uap ke pemanas 1 (kg/h)

\dot{m}_{ex2} = Ekstraksi aliran uap ke pemanas 2 (kg/h)

\dot{m}_r = Aliran semprot *preheater* (kg/h)

Adapun nilai *gross rate* sistem pembangkit dapat diketahui dengan persamaan :

$$Gross\ Plant\ Heat\ Rate = \frac{(\dot{m}_{fuel} \times LHV)}{\dot{W}_{gross}} \quad (2.11)$$

Keterangan :

\dot{m}_{fuel} = *Mass flow rate* bahan bakar (kg/h)

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

\dot{W}_{gross} = Daya yang dihasilkan pembangkit sebelum dikurangi pemakaian sendiri (kW)

2.5 Program Cycle Tempo

Cycle Tempo adalah program yang dapat digunakan untuk mendesain dan menganalisis kinerja dari suatu sistem pembangkit. Dalam proses perhitungan dan simulasi, Cycle Tempo menggunakan asas termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas. Program yang akan digunakan adalah versi *release 5.1*. Cycle Tempo dikembangkan untuk menghitung variabel termodinamika, kesetimbangan kimia, dan komposisi dari laju aliran campuran dari suatu proses atau kombinasi sebagai berikut (Girsang, 2016) :

- *Steam turbine power plants*
- *Gas turbines*
- *Combined cycle plants*
- *Combustion and gasification systems*
- *Heat transfer systems*
- *Fuel cell systems (with low temperatur as well as high temperatur fuel cells)*
- *Organic Rankine cycle (ORC) power plants*
- *Refrigeration systems (compression and absorption)*
- *Heat pumps.*



Gambar 2. 6 Program Cycle Tempo

Dengan menggunakan program ini, kita bisa membuat suatu rangkaian sistem pembangkit listrik sesuai dengan desain yang kita inginkan, atau sesuai yang sudah disediakan. Setelah itu, kita juga dapat menentukan nilai parameter operasional pembangkit yang akan dipakai dalam menyusun sistem pembangkit listrik. Manfaat dari penggunaan Cycle Tempo antara lain: kita dapat memperoleh nilai efisiensi, *heat rate* dan daya yang dihasilkan sistem pembangkit, mengetahui kinerja dari sistem pembangkit secara keseluruhan maupun tiap peralatan saja, serta memprediksi dampak dari perubahan atau modifikasi pada suatu peralatan sistem pembangkit.

2.5.1 *Working Area* Cycle Tempo

Working area mempunyai beberapa fitur yang bisa digunakan. Ada beberapa fitur yang bisa digunakan, yaitu :

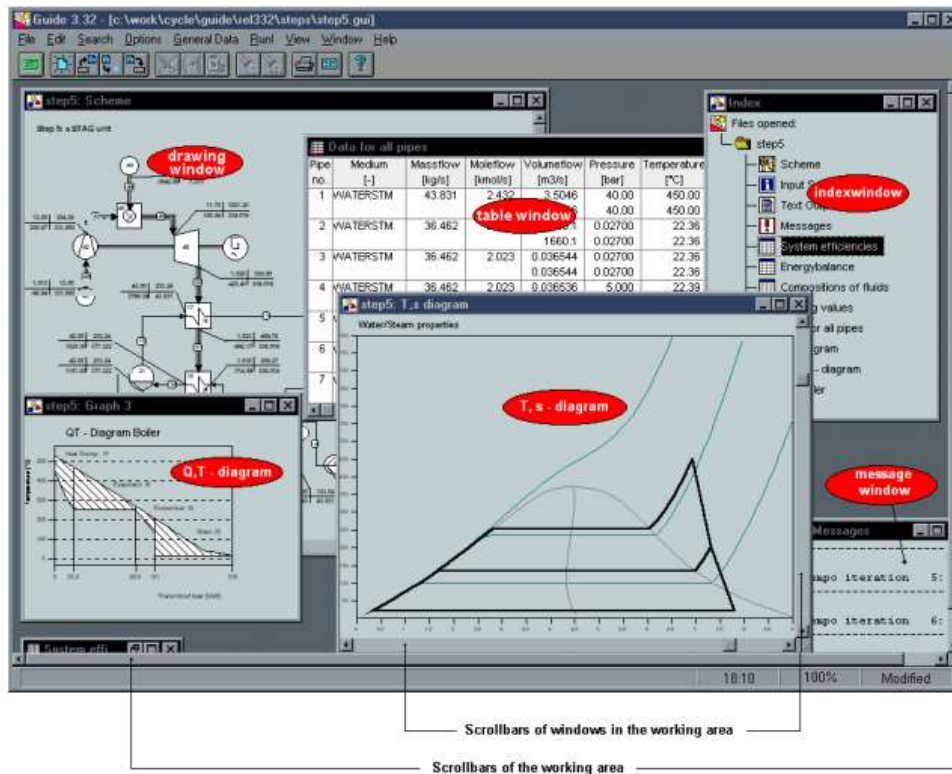
1. *Index-window*

Index-window dirancang agar memberi data yang tersedia saat bekerja pada program ini. *Index-window* memberikan gambaran umum tentang berkas yang terbuka dan isi didalamnya. Data dalam berkas tersebut termasuk data tentang diagram, tabel, dan grafik yang dikerjakan.

2. *Drawing windows*

Rancangan akhir dari diagram dibuat di *drawing windows*. *Drawing windows* digunakan untuk menggambar simulasi yang sudah dirancang untuk

dihubungkan satu sama lain. Simulasi juga dapat ditambahkan teks dan mengaktifkan jendela properti untuk setiap objek yang digambar. Hasil perhitungan juga bisa ditampilkan di jendela ini (Woudstra, 2002).



Gambar 2. 7 Working Area Cycle Tempo

2.5.2 Hasil dari Program Cycle Tempo

Setelah data input dimasukkan dalam setiap *apparatus* dan dilakukan proses “run”, maka program Cycle Tempo akan mengeluarkan beberapa data keluaran hasil dari simulasi sistem yang telah disusun. Beberapa data keluaran yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah (Girsang, 2016):

1. Efisiensi Sistem
Efisiensi sistem yang didapatkan yaitu :
 - *Power production*
 - *Input energy*
 - *Energy consumption*
2. Data Pipa

Data-data yang terdapat dalam setiap pipa penyusun simulasi sistem, yaitu

:

- *Temperature*
- *Volume flow*
- *Mass flow*
- *Enthalpy*
- *Entropy*