

**ANALISIS BOILER SUBCRITICAL DAN SUPERCRITICAL
BERBASIS ALGORITMA GENETIKA**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Magister Teknik pada Program Magister Teknik Elektro
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Oleh:

SUNARYO

NIM. 20601800027

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN
TESIS
ANALISIS BOILER SUBCRITICAL DAN SUPERCRITICAL
BERBASIS ALGORITMA GENETIKA

yang dipersiapkan dan disusun oleh
Sunaryo
20601800027

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 29 September 2020

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing I

Dr. Ir. H. Muhammad Haddin, M.T
NIDN : 0618066301

Pembimbing II

Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D
NIDN : 0628097501

Penguji I

Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si
NIDN : 0620026501

Penguji II

Imam Mueh Ibnu S., S.T., M.Sc., Ph.D
NIDN : 0613037301

Penguji III

Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D
NIDN : 0625036901

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik
Tanggal 29 September 2020



Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sunaryo
NIM : 20601800027
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan Judul:

“Analisis Boiler Subcritical dan Supercritical Berbasis Algoritma Genetika”

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi, dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, September 2020

Penulis

Sunaryo
20601800027

PRAKATA

Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala atas berkat rahmat dan hidayah-Nya tesis yang berjudul “Analisis Boiler Subcritical dan Supercritical Berbasis Algoritma Genetika” sebagai salah satu persyaratan memperoleh derajat Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang dapat selesai. Penyelesaian penulisan tesis ini merupakan atas dukungan berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si selaku Dekan Fakultas Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang;
2. Bapak Arief Marwanto, S.T., M.Eng, Ph.D selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang, sekaligus pembimbing pendamping atas segala arahan, petunjuk, dan bimbingannya;
3. Bapak Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T. selaku pembimbing utama yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk, masukan, dan sarannya;
4. Bapak Walikota beserta pejabat kepegawaian di lingkungan Pemerintah Kota Semarang yang telah memberikan ijin belajar untuk menempuh pendidikan lebih lanjut di Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang;
5. Bapak dan Ibu dosen di lingkungan FTI Unissula yang telah mencurahkan ilmunya, beserta seluruh civitas akademika yang mendukung proses perkuliahan;
6. Istriku Upik Handayani, SE, M.Si, anakku Clarine Lovena Sunaryo dan Quintana Avant Sunaryo, serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan selama proses menempuh perkuliahan;
7. Para sahabat di Unissula atas segala bantuan, kerjasama, dan dukungannya selama proses perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna dan banyak kekurangan oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari seluruh pihak sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan tesis ini.

Semarang, September 2020

Penulis

Sunaryo
20601800027

DAFTAR TABEL

| | |
|--------------------------------------------------|-----|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| PRAKATA | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| ABSTRAK | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.6 Keaslian Penelitian..... | 4 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.2 Landasan Teori..... | 10 |
| 2.2.1 Siklus Rankine..... | 10 |
| 2.2.2 Boiler Subcritical dan Supercritical | 12 |
| 2.2.3 Analisis Termodinamika | 15 |
| 2.2.4 Bahan Bakar Batubara..... | 19 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.5 Efisiensi Boiler | 20 |
| 2.2.6 Efisiensi Termal, THR, dan SFC | 21 |
| 2.2.7. Algoritma Genetika | 22 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 26 |
| 3.1 Model Penelitian | 26 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 26 |
| 3.3 Prosedur Penelitian | 30 |
| 3.4 Metodologi Algoritma Genetika | 32 |
| 3.4.1 Inisialisasi Populasi | 34 |
| 3.4.2 Pengkodean Kromosom | 35 |
| 3.4.3 Evaluasi Berdasar Nilai Fitness | 35 |
| 3.4.4 Elitisme | 36 |
| 3.4.5 Linear Fitness Ranking | 36 |
| 3.4.6 Pindah Silang | 36 |
| 3.4.7 Mutasi | 36 |
| 3.4.8 Pembentukan Generasi Baru..... | 36 |
| 3.5 Alur Penelitian | 37 |
| 3.6 Hipotesis Awal..... | 38 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN..... | 39 |
| 4.1 Analisis Termodinamika pada Pembangkit Tenaga Uap..... | 39 |
| 4.1.1 Perhitungan Fraksi Massa Ekstraksi | 39 |
| 4.1.2 Perhitungan Kalor yang Dibutuhkan Boiler | 47 |
| 4.1.3 Perhitungan Daya Turbin..... | 48 |
| 4.1.4 Perhitungan Daya yang Dibutuhkan Pompa | 50 |
| 4.1.5 Perhitungan Daya dan Efisiensi Pembangkit Tenaga Uap . | 50 |
| 4.1.6 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Batubara..... | 51 |
| 4.1.7 Perhitungan Turbine Heat Rate dan SFC | 51 |
| 4.2 Analisis Kondisi Supercritical | 52 |
| 4.2.1 Pengaruh Tekanan Steam terhadap Efisiensi Termal | 53 |
| 4.2.2 Pengaruh Tekanan Steam terhadap Konsumsi Batubara | 54 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Optimasi menggunakan Algoritma Genetika | 56 |
| 4.4. Running Program..... | 56 |
| 4.4.1 Perancangan Program | 56 |
| 4.4.2 <i>Running</i> Algoritma Genetika | 58 |
| 4.4.3 Analisis Pengaruh Variasi Parameter Algoritma Genetika. | 63 |
| | |
| BAB V PENUTUP..... | 65 |
| 5.1 Kesimpulan | 65 |
| 5.2 Saran | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |
| LAMPIRAN..... | |

DAFTAR TABEL

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Klasifikasi batubara | 19 |
| Tabel 3.1 Data aliran termodinamika PLTU | 28 |
| Tabel 3.2 Parameter Algoritma Genetika | 34 |
| Tabel 3.3 Perhitungan nilai fitness | 35 |
| Tabel 4.1 Perhitungan efisiensi termal dengan variasi tekanan steam | 53 |
| Tabel 4.2 Tabel hasil optimasi Algoritma Genetika | 57 |
| Tabel 4.3 Tabel validasi pemodelan termodinamika vs Algoritma Genetika... | 58 |
| Tabel 4.4 Hasil iterasi nilai fitness per generasi | 61 |
| Tabel 4.5 Tabel nilai efisiensi dari variasi running program..... | 62 |
| Tabel 4.6 Tabel nilai efisiensi dengan variasi nilai probabilitas mutasi | 63 |
| Tabel 4.7 Tabel nilai efisiensi dengan variasi nilai probabilitas pindah silang. | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Siklus Rankine Ideal | 11 |
| Gambar 2.2 Siklus uap subcritical | 13 |
| Gambar 2.3 Diagram temperatur-entropi PLTU subcritical..... | 14 |
| Gambar 2.4 Siklus uap kondisi supercritical | 14 |
| Gambar 2.5 Diagram temperatur-entropi PLTU supercritical..... | 15 |
| Gambar 2.6 Skema aliran energi pada turbin | 17 |
| Gambar 2.7 Skema aliran energi kondensor..... | 17 |
| Gambar 2.8 Skema aliran energi pompa..... | 18 |
| Gambar 2.9 Skema Boiler dan Reheater..... | 18 |
| Gambar 3.1 Skema Pemodelan Penelitian..... | 26 |
| Gambar 3.2 Skema <i>Heat Mass Balance</i> PLTU Tanjung Jati B Unit 3..... | 27 |
| Gambar 3.3 Diagram alir analisis termodinamika..... | 30 |
| Gambar 3.4 Diagram alir Algoritma Genetika | 33 |
| Gambar 3.5 Ilustrasi pembangkitan populasi random | 35 |
| Gambar 3.6 Diagram alir penelitian | 37 |
| Gambar 4.1 Skema fraksi massa ekstraksi pada HPH 7..... | 40 |
| Gambar 4.2 Skema fraksi massa ekstraksi pada HPH 6..... | 41 |
| Gambar 4.3 Skema fraksi massa ekstraksi pada HPH 5..... | 42 |
| Gambar 4.4 Skema fraksi massa ekstraksi pada Deaerator | 43 |
| Gambar 4.5 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 3 | 44 |
| Gambar 4.6 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 2 | 45 |
| Gambar 4.7 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 1 | 46 |
| Gambar 4.8 Grafik pengaruh tekanan steam boiler terhadap efisiensi termal.. | 54 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.9 Pengaruh tekanan steam terhadap konsumsi batubara..... | 55 |
| Gambar 4.10 Tampilan awal program | 57 |
| Gambar 4.11 Proses Algoritma Genetika dalam 1 generasi | 60 |
| Gambar 4.12 Proses iterasi Algoritma Genetika | 61 |

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik selalu meningkat dari waktu ke waktu, sehingga diperlukan pasokan yang memadai. Bahan bakar merupakan komponen biaya terbesar dalam operasional sebuah pembangkit listrik. Operasional pembangkit supercritical akan lebih efisien jika dibandingkan dengan subcritical, karena pembentukan uap membutuhkan waktu yang lebih cepat sehingga kebutuhan bahan bakar lebih efisien dan meningkatnya efisiensi termal pembangkit.

Penelitian dengan memodelkan pembangkit listrik tenaga uap acuan dengan parameter aliran massa, tekanan dan temperatur yang masih bekerja pada kondisi subcritical, disimulasikan dengan tekanan steam yang berbeda sampai dengan kondisi supercritical. Penerapan Algoritma Genetika untuk mendapatkan nilai efisiensi yang optimum pada pembangkit dengan parameter-parameter masukan temperatur feedwater, temperatur steam, dan temperatur reheater.

Hasil menunjukkan bahwa kondisi subcritical dengan tekanan steam 166,9 bar menghasilkan efisiensi termal 44,57%, sedangkan jika dinaikkan menjadi supercritical 240 bar efisiensi meningkat menjadi 47,11 %. Optimasi dengan Algoritma Genetika menghasilkan nilai efisiensi yang lebih baik yaitu pada tekanan 166,9 bar efisiensi meningkat menjadi 47,11 % dan pada tekanan 240 bar efisiensi menjadi 49,24 %.

Kata kunci: subcritical, supercritical, efisiensi, Algoritma Genetika

ABSTRACT

The need for electrical energy increases yearly, therefore adequate supply is needed. More than 50% of the electricity supply from power plants uses coal fuel. Fuel is the largest component in power plant operations. An inefficient use of coal impacts economic and environmental conditions, resulting in CO₂ emissions.

Thermodynamic analysis of a reference power plant that is still operating in subcritical conditions with a steam boiler pressure of 166,9 bar, simulated to supercritical conditions. To achieve the optimum efficiency at the power plant with the input parameters of the feedwater temperature, steam temperature, and reheat temperature, the Genetic Algorithm is applied.

In subcritical conditions with a steam pressure of 166,9 bar it produces a thermal efficiency of 44,57%, whereas increased to a supercritical 240 bar the efficiency rises to 47,11%. Meanwhile, the optimization has resulted in a better efficiency value, at steam pressure of 166,9 bar thermal efficiency rises to 47,11% and at steam pressure 240 bar thermal efficiency becomes 49,24%.

Keyword: subcritical, supercritical, efficiency, Genetic Algorithm

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri atas pembangkitan, penyaluran dan distribusi. Salah satu jenis pembangkit adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Komponen – komponen utama dalam PLTU adalah Boiler, Turbin, Kondenser dan Generator Sinkron. Boiler berperan mengubah panas dari sumber energi / bahan bakar untuk menghasilkan uap yang digunakan menggerakkan turbin. Kapasitas dan kualitas uap yang dihasilkan berpengaruh terhadap keluaran daya listrik PLTU.

Biaya bahan bakar merupakan komponen tertinggi dalam struktur biaya produksi tenaga listrik, untuk itu perlu di desain sebuah sistem pembangkit dengan yang efisien. Efisiensi penggunaan bahan bakar akan sangat ditentukan oleh kinerja boiler, karena pada bagian inilah yang berhubungan langsung dengan bahan bakar untuk proses produksi uap panas yang dibutuhkan untuk memutar turbin.

Upaya peningkatan efisiensi pembangkit dapat dilakukan dengan menurunkan rasio udara, temperatur gas buang, menaikkan tekanan/temperatur uap, menambah reheat dan menurunkan tekanan kondenser [1]. Salah satu upaya meningkatkan efisiensi pembangkit adalah dengan menerapkan teknologi supercritical.

Penggunaan teknologi supercritical akan meningkatkan efisiensi yang berakibat pada pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂, misalnya pada pembangkit subcritical emisi CO₂ adalah 850 kg/MWh, sedangkan di pembangkit supercritical emisi CO₂ sebesar 800 kg/MWh [2]. Simulasi dan studi empiris dari pembangkit berkapasitas 600 MW juga menunjukkan emisi CO₂ yang lebih kecil pada pembangkit listrik dengan teknologi supercritical [3][4]. PLTU subcritical dengan kapasitas 660 MW efisiensinya adalah 36,3%, 37,6% dan 38,9 %, sedangkan dengan aplikasi supercritical efisiensi menjadi 38,1%, 39,5% dan 40,9 % untuk masing-masing batubara jenis CV 3.300, 4100 dan 5.500 [1].

Beberapa tantangan dalam aplikasi teknologi supercritical adalah tentang material pipa yang khusus, persyaratan air umpan boiler yang ketat dan potensi

korosi semakin tinggi dan lainnya [1]. Saat ini PLTU batubara di Jawa telah mengaplikasikan teknologi supercritical antara lain PLTU Paiton III 865MW, PLTU Cirebon 700MW, PLTU Cilacap 1000MW dan PLTU Banten 2x1000MW, serta beberapa masih dalam tahap pengerjaan maupun persiapan operasi.

Solusi lain untuk mendapatkan pembangkit dengan efisiensi yang tinggi yaitu dengan melakukan optimasi dari parameter-parameter setting yang mempengaruhi nilai efisiensi, khususnya pada komponen boiler seperti kualitas batubara, suhu dan tekanan air umpan, suhu dan tekanan kerja boiler. Pada penelitian ini diterapkan sebuah teknik optimasi Algoritma Genetika yang sudah berbasis kecerdasan buatan.

Kelebihan dari penggunaan Algoritma Genetika ini adalah nilai fitness yang dicari dapat menyelesaikan pada masalah optimum global yang pada metode geometrik lebih sulit ditemukan atau sering terjebak pada optimum lokal dan pada beberapa kasus juga dapat mempersingkat waktu dalam pencarian optimum global dalam suatu optimasi parameter di metode pengolahan data [5]. Algoritma Genetika memenuhi kriteria dalam hal cakupan penelusuran dan intensifikasi solusi prospektif sehingga memiliki kemungkinan yang cukup baik untuk menemukan solusi optimum global dengan beban komputasi yang dapat diterima [6].

1.2 Perumusan Masalah

Dalam sebuah sistem nilai efisiensi merupakan parameter yang utama. Perbedaan prinsip kerja dari boiler subcritical dengan supercritical tentunya juga akan menghasilkan efisiensi yang berbeda. Efisiensi dapat ditingkatkan dengan pengaturan parameter-parameter yang paling optimum. Oleh karena itu dibuat perumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana melakukan analisis termodinamika pada pembangkit listrik berdasarkan data *heat mass balance*?
- b. Bagaimana perbandingan efisiensi pada pembangkit listrik dalam kondisi subcritical dengan supercritical?
- c. Bagaimana menentukan optimasi parameter-parameter untuk memperoleh nilai efisiensi yang optimum menggunakan Algoritma Genetika?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa batasan untuk menghindari pembahasan yang mengambang dan fokus pada masalah yang diteliti, yaitu:

- a. Perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung, perhitungan efisiensi pembangkit listrik dengan analisis termodinamika berdasarkan data *heat mass balance* penelitian terdahulu yang masih menggunakan teknologi subcritical.
- b. Perbandingan kinerja subcritical dan supercritical hanya berdasarkan perbedaan tekanan steam yang dihasilkan boiler.
- c. Kualitas batubara berdasarkan nilai kalornya, tanpa melihat jenis dan komposisi campuran.
- d. Pemodelan/simulasi sistem menggunakan software Matlab.
- e. Algoritma Genetika hanya diterapkan untuk optimasi parameter-parameter input-output khusus pada komponen boiler, yaitu temperatur feedwater, temperatur steam, dan temperatur reheater.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung efisiensi pembangkit listrik tenaga uap secara analisis termodinamika berdasarkan data *heat mass balance*.
- b. Mengetahui perbandingan efisiensi pembangkit listrik tenaga uap dalam kondisi subcritical dan supercritical.
- c. Melakukan optimasi dari berbagai parameter untuk menghasilkan nilai efisiensi yang optimum pada pembangkit listrik tenaga uap menggunakan Algoritma Genetika.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Memberikan gambaran dalam perencanaan sebuah PLTU batubara yang efisien, dengan diperoleh parameter-parameter setting yang paling optimum.

- b. Sebagai referensi untuk melakukan evaluasi dan modifikasi bagi pembangkit yang telah beroperasi.

1.7 Keaslian Penelitian

PLTU batubara dengan teknologi supercritical semakin menarik untuk dikembangkan karena efisiensi pembangkit meningkat, biaya bahan bakar berkurang dan beban emisi menurun. Sudah banyak studi dengan topik yang membahas teknologi boiler pada PLTU:

- a. Penelitian dengan simulasi menggunakan *EES (Engineering Equation Software)* untuk mengetahui pengaruh gas buang dan suhu udara masuk pada efisiensi termal untuk sistem boiler. Pemodelan dengan 7 macam skema optimasi, baik dari sisi teknologi komponen maupun penyesuaian parameter setting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur gas buang atau udara masuk sebesar 10-15°C, akan meningkatkan efisiensi termal sistem boiler 0,8%-1% [7].
- b. Penelitian tentang evaluasi sistem boiler untuk memastikan bahwa rancangan atau desain sistem boiler mampu bekerja dan menghasilkan pengkondisian udara yang direncanakan, serta mengevaluasi peluang penghematan energi [8]. Pengujian kinerja sistem boiler dilakukan dengan pengaturan berbagai variasi temperatur keluaran air panas, serta dengan melihat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur setting. Setelah itu, setiap kenaikan temperatur dihitung besar efisiensi yang dihasilkan.

Penelitian ini hanya mengevaluasi salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi yaitu suhu air umpan boiler, sehingga masih memungkinkan dilakukan penelitian lanjutan dengan tambahan evaluasi parameter.

- c. Penelitian untuk memperoleh nilai efisiensi termal maksimum pada pembakaran batubara di boiler dengan memvariasikan campuran bahan bakar batubara lignit dan kulit kacang mete [9]. Penelitian ini menganalisis komposisi campuran untuk memperoleh efisiensi yang optimum. Optimasi

hanya berdasarkan parameter masukan dari campuran bahan bakar untuk mendapatkan efisiensi paling optimum.

- d. Pemodelan sebuah pembangkit pada kondisi operasi normal menggunakan software *gate cycle*, dilakukan untuk mengetahui efisiensi termal dan daya supercritical dengan memvariasikan tekanan pada boiler dan tekanan reheater untuk mendapatkan nilai optimum. Sedangkan perhitungan manual menggunakan analisis termodinamika [10].

Penelitian ini membandingkan efisiensi pada kondisi eksisting subcritical menjadi supercritical, dan pengaruh variasi tekanan reheater.

- e. Analisis termodinamika pada pembangkit listrik, dan simulasi dengan memvariasikan temperatur uap panas lanjut dan pengaruh operasi Feedwater Heater terhadap daya dan efisiensi pembangkit [11].
- f. Penelitian untuk meningkatkan efisiensi boiler dengan memanfaatkan panas dari gas buang untuk pengeringan bahan bakar dan pemanasan awal udara pembakaran serta pengontrolan udara yang masuk ke sistem pembakaran menggunakan algoritma kendali logika fuzzy [12].

Penelitian ini akan melakukan analisis termodinamika pada sebuah pembangkit acuan. Pembangkit yang masih masih bekerja dalam kondisi subcritical akan disimulasi bekerja dengan berbagai variasi tekanan steam sampai dengan kondisi supercritical. Algoritma Genetika digunakan untuk mengoptimasi temperatur feedwater, temperatur steam boiler, dan temperatur reheater.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu dengan topik boiler dan efisiensi termal pembangkit listrik antara lain sebagai berikut:

- a. Pemodelan sebuah pembangkit dengan menggunakan *Cycle Tempo 5.0*. Simulasi dilakukan dengan membuat skema sesuai kondisi eksisting, kemudian memasukkan komponen dan parameter acuan [13]. Aplikasi kondisi operasi siklus turbin uap setelah disimulasikan mendapatkan nilai efisiensi termal sebesar 28,54%. Peluang menaikkan efisiensi termal disimulasikan menggunakan parameter sesuai dengan kondisi PLTU Lagisza dengan uap superkritis. Karena tekanan uap yang keluar steam generator adalah sebesar 60 bar maka kondisi tekanan pada simulasi menggunakan *Cycle Tempo 5.0* pada range tekanan 60, 120, 180 dan 271 (basis kondisi superkritis berdasarkan PLTU referensi), 335 , 413 bar dengan suhu yang sama dengan basis temperatur eksisting 530°C. Pada studi ini diberikan tekanan lebih dari tekanan fluida superkritis PLTU Lagisza untuk titik pengamatan, dimana mempunyai kondisi operasi uap 560°C dan tekanan 271 bar dengan efisiensi sebesar 43,3%.
- c. Sistem dinamis pada pembangkit supercritical menggunakan software Aspen Plus Dynamics® (APD), dengan membuat tiga sistem kontrol yaitu: pengontrolan pada suhu steam utama maupun reheater, pengujian kontrol servo dengan penurunan beban dari 100 % dengan bertahap setiap menit sebesar 3% sampai dengan mencapai 40 %, dan terakhir untuk pengujian gangguan pada sistem, dengan berbagai perubahan umpan masukan batubara [14]. Aplikasi sistem ini adalah pada jaringan yang sudah banyak variasi pasokan energinya, sehingga harus dapat menurunkan kapasitas produksi akibat penurunan beban, sehingga tidak terjadi pemborosan energi maupun emisi CO₂ yang berlebih.

- d. Pemodelan sistem pembangkit untuk menentukan optimasi termodinamika dari pembangkit listrik tenaga batubara superkritik [15]. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai perangkat lunak IPSEpro yang dikombinasikan dengan lingkungan MATLAB, yang ditujukan untuk optimalisasi berbagai kondisi dari siklus termal dalam jangka waktu yang relatif singkat. Untuk memverifikasi metodologi, perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan IPSEpro (mandiri) dan kombinasi IPSEpro-MATLAB dengan fungsi *fmincon*. Parameter yang diuji adalah: efisiensi termal, efisiensi daya kotor, dan beban daya total. Optimalisasi parameter termodinamik dari sampel pembangkit listrik ultra supercritical memungkinkan peningkatan daya output dari 900 MW menjadi 909,44 MW.
- e. Studi kasus aplikasi PLTU 660 MW subcritical digantikan supercritical maka potensi peningkatan efisiensi rata-rata $\pm 2,1\%$ penurunan faktor emisi CO₂ ± 42 kg/MWh dan konsumsi batubara $\pm 26,5$ kg/MWh, dengan asumsi kisaran nilai kalor 3.300-5.500 kcal/kg. Sedangkan jika digantikan dengan 1000 MW ultra supercritical, peningkatan efisiensi rata-rata $\pm 2,7\%$ penurunan faktor emisi CO₂ $\pm 59,3$ kg/MWh dan konsumsi batubara $\pm 37,4$ kg/MWh. Tapak proyek yang lebih ringkas, efisiensi pembangkit yang tinggi dan beban emisi yang lebih rendah dibandingkan subcritical menjadikan PLTU kapasitas besar 1000 MW ultrasupercritical sangat ideal ditempatkan di Jawa [1]. Penelitian ini juga menganalisis peluang, tantangan pengembangan PLTU supercritical dan dilengkapi pula dengan kajian keekonomian sebagai dasar pengambilan kebijakan.
- f. Efisiensi boiler menggunakan metode langsung, dengan sumber data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder dari *data log sheet Boiler Turbine Board* (BTB) PLTU [16]. Data yang digunakan adalah tekanan, temperatur masukan dan keluaran boiler serta jumlah uap per jam. Variabel data diukur setiap jam dimana data dalam sehari berjumlah 24 data dihitung setiap jam dari jam 00.00 s.d 24.00 WIB. Data tekanan, temperatur dan uap per jam dari boiler diolah melalui proses interpolasi data untuk memperoleh

nilai entalpi panas lanjut dan entalpi air umpan sehingga diperoleh kalor keluaran dari boiler. Nilai GCV rerata bahan bakar sebesar 12865,14 kJ/kg, berdasarkan hasil analisis uji ultimat diperoleh nilai efisiensi boiler sebesar 46%.

- g. Evaluasi *heat rate* dan efisiensi PLTU batu bara berkapasitas 300 MW yang menggunakan spesifikasi batubara yang berbeda dari spesifikasi rancangan setelah beroperasi sekitar dua tahun [17]. Hasil memperlihatkan bahwa efisiensi boiler pada pengujian aktual 100% LRC mengalami penurunan sebesar 3,25 % dan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 % MRC mengalami penurunan sebesar 2,91 % dibandingkan hasil komisioning. Pada beban maksimum, *Turbine Heat Rate* pada 2 pengujian aktual 100% LRC masing-masing sebesar 1.994,67 kcal/kWh dan 1.981,55 kcal/kWh sedangkan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 % MRC *Turbine Heat Rate* adalah 1.977,52 kcal/kWh. Nilai tersebut lebih rendah 4,47 % dan 3,78 % untuk pengujian 100 % LRC dan lebih rendah 3,45 % untuk pengujian 50 % LRC dan 50 % MRC dibandingkan hasil komisioning. Gross Plant Heat Rate (HHV Basis) pada 2 (dua) pengujian 100 % LRC masing-masing sebesar 2.320,60 kcal/kg dan 2.293,63 kcal/kg, sedangkan pengujian dengan 50% LRC dan 50 % MRC Gross Plant Heat Rate (HHV Basis) adalah 2.290,75 kcal/kg. Nilai ini lebih besar masing-masing sebesar 3,28%, 2,08% dan 1,95% dibandingkan hasil komisioning (2.246,84 kcal/kg).
- h. Pemodelan boiler PT. Petrokimia Gresik dan analisis performansi boiler [18]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berdasarkan kesetimbangan massa dan energi yang mengacu pada kondisi eksisting pada boiler, tahap ini untuk menentukan panas yang diserap oleh tiap komponen boiler. Setelah itu, dilakukan perhitungan efisiensi menggunakan metode *Indirect/heat loss* untuk mengetahui *losses* yang terjadi berdasarkan ASME PTC 4-1.
- i. Studi untuk mengetahui eksergi destruksi dan efisiensi eksergi dari setiap komponen, serta mengidentifikasi komponen dengan eksergi destruksi

terbesar yang terjadi pada sistem pembangkit uap [19]. Hasil menunjukkan bahwa kerugian utama terjadi pada boiler dengan eksergi destruksi sebesar 11,44 MW (50,67%), kemudian berturut-turut adalah turbin uap sebesar 4,14 MW (18,34%), kondensor sebesar 3,62 MW (16,06%), dan 3,77 MW (14,93%) dari komponen lainnya seperti fan, preaheater, FWH, pipa kondensat, CFWP dan deaerator. Sedangkan persentase efisiensi eksergi dari boiler sebesar 53,07 %, turbin uap sebesar 68,9 % dan kondensor sebesar 47,2%. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pembakaran di dalam boiler masih merupakan sumber irreversibilitas yang sangat signifikan terhadap eksergi destruksi pada sistem pembangkit uap di PLTU Palu.

- j. Analisis energi dan eksergi pada komponen-komponen PLTU Tanjung Jati B unit 3 dengan kapasitas 660 MW menggunakan software *cycle tempo* untuk membandingkan kondisi aktual dengan kondisi ideal. *Losses* energi terbesar adalah pada komponen boiler untuk kondisi ideal sebesar 228,37 MW dengan efisiensi energi 87,19 %. Sedangkan pada kondisi aktualnya sebesar *losses* energi sebesar 228,89 MW dengan efisiensi energi 87,17 % [20].
- k. Analisis termodinamika pada PLTU 3 Bangka Belitung untuk meneliti pengaruh variasi operasi feedwater heater dengan *on off service*. Pemodelan pembangkit dilakukan pada delapan kondisi variasi yaitu variasi 1 kondisi LPH 1 *off*, variasi 2 kondisi LPH 2 *off*, variasi 3 kondisi LPH 3 *off*, variasi 4 kondisi HPH 2 *off*, variasi 5 kondisi HPH 2 dan LPH 1 *off*, variasi 6 kondisi HPH 2 dan LPH 2 *off*, variasi 7 kondisi HPH 2 dan LPH 3 *off*, variasi 8 HPH 1 *off*. Hasil paling optimum terjadi pada kondisi variasi pertama dengan efisiensi 29,967 %, sedangkan paling rendah terdapat pada variasi ke delapan dengan efisiensi 29,585 % [11].
- l. Penelitian pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3, yaitu analisis *heat rate* berdasarkan *performance test* pada periode tertentu. Perhitungan *heat rate* pada siklus turbin uap menggunakan metode kesetimbangan massa uap “steam” dan energi dalam “entalpi” yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator [21].

- m. Penelitian untuk meningkatkan efisiensi boiler pada Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan dengan penambahan air heater. Hasil menunjukkan bahwa dengan penggunaan air heater diperoleh peningkatan efisiensi boiler sebesar 0,67% yang semula efisiensinya 77,56% menjadi 78,23% [22].

Dari penelitian-penelitian terdahulu secara umum menitikberatkan pada analisis termodinamika sebuah pembangkit listrik, audit boiler eksisting dibandingkan kondisi saat komisioning, analisis pengaruh parameter masukan masih secara parsial, misalnya hanya pengaruh suhu, tekanan, atau bahan bakar saja.

Penelitian ini memfokuskan tentang optimasi efisiensi dengan mengkombinasikan parameter – parameter masukan yang mempengaruhi efisiensi pembangkit yaitu temperatur feedwater, temperatur steam boiler, dan temperatur reheater dengan menggunakan Algoritma Genetika.

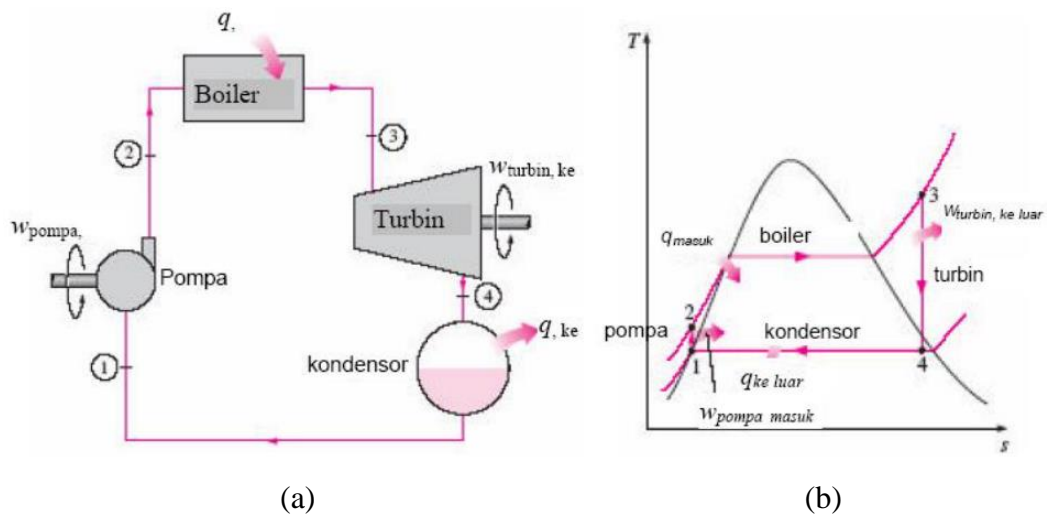
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus daya uap yang digunakan untuk menghitung atau memodelkan proses kerja turbin uap. Siklus ini bekerja menggunakan fluida kerja berupa air. Secara umum syarat air dapat digunakan sebagai umpan boiler adalah air yang tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan terjadinya endapan yang dapat membentuk kerak pada boiler dan air yang tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan korosi boiler.

Parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas air umpan boiler antara lain: kandungan oksigen terlarut, pH, kekeruhan, kesadahan (kandungan ion Ca dan Mg), serta kandungan Fe yang dapat menyebabkan air berwarna dan mengendap di saluran air dan boiler bila teroksidasi oleh oksigen.

PLTU bekerja berdasarkan prinsip kerja siklus Rankine, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus Rankine Ideal [23]

Secara umum diagram T-s pada Gambar 2.1 (b) menjelaskan sebagai berikut:

1. Garis horisontal menunjukkan air berubah menjadi uap (evaporasi) atau keadaan uap berubah menjadi air (kondensasi) pada temperatur konstan.
2. Garis miring menggambarkan fluida mendapatkan kenaikan temperatur pada tekanan konstan. Garis vertikal adalah perubahan dalam tekanan.
3. Garis saturasi merupakan titik air berubah menjadi uap (jika arah panah ke arah kanan) atau uap mulai terjadi kondensasi (jika arah panah ke kiri).

Gambar 2.1 (b) menjelaskan proses termodinamika adalah sebagai berikut:

- a. **1-2** Proses berlangsung pada pompa, fluida kerja dipompa dari tekanan rendah ke tinggi, dan pada proses ini fluida kerja masih berfase cair sehingga pompa tidak membutuhkan input tenaga yang terlalu besar. Proses ini dinamakan proses kompresi-isentropik karena saat dipompa, secara ideal tidak ada perubahan entropi yang terjadi.
- b. **2-3** Proses terjadi boiler, yaitu air bertekanan tinggi tersebut masuk ke boiler untuk mengalami proses pemanasan secara isobarik (tekanan konstan). Sumber panas didapatkan dari luar seperti pembakaran

batubara, solar, atau juga reaksi nuklir. Di boiler air mengalami perubahan fase dari cair, campuran cair dan uap, serta 100% uap kering.

- c. **3-4** Proses berlangsung pada turbin uap. Uap air kering dari boiler masuk ke turbin dan mengalami proses ekspansi secara isentropik. Energi yang tersimpan di dalam uap air dikonversi menjadi energi gerak pada turbin.
- d. **4-1** Proses pengeluaran panas pada tekanan konstan pada kondensor. Uap air yang keluar dari turbin uap masuk ke kondensor dan mengalami kondensasi secara isobarik. Uap air diubah fasanya menjadi cair kembali sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus.

2.2.2 Boiler Subcritical dan Supercritical

Pada boiler jenis subcritical air dipanaskan pada tekanan subcritical (di bawah 221 bar) dan temperaturnya akan naik hingga mulai menguap. Saat air mendidih terjadi dua fasa yaitu cair dan gas yang masing-masing memiliki densitas yang berbeda hingga temperatur konstan yang dikenal dengan temperatur saturasi. Jika seluruh cairan menguap berubah menjadi fasa gas maka temperatur uap akan terus naik pada tekanan tetap yang dikenal dengan uap panas lanjut (*superheated*).

Boiler subcritical masih terjadi pemisahan antara fasa cair dan gas sehingga memungkinkan untuk terjadi proses yang kontinyu. Proses separasi tersebut terjadi pada *steam drum* yang bagian dalamnya dilengkapi dengan rangkaian siklon dan *baffle* untuk pemisahan fasa cair dan gas. Fasa cair akan diresirkulasi ke *water wall*.

Pada kondisi boiler supercritical, air dipanaskan pada tekanan konstan di atas tekanan kritis sehingga tidak ada perbedaan antara gas dan cair, karena densitas massanya sama. Pada boiler supercritical tidak ada tahapan air berada dalam dua fasa yang membutuhkan separasi. Sehingga boiler tidak dilengkapi dengan drum.

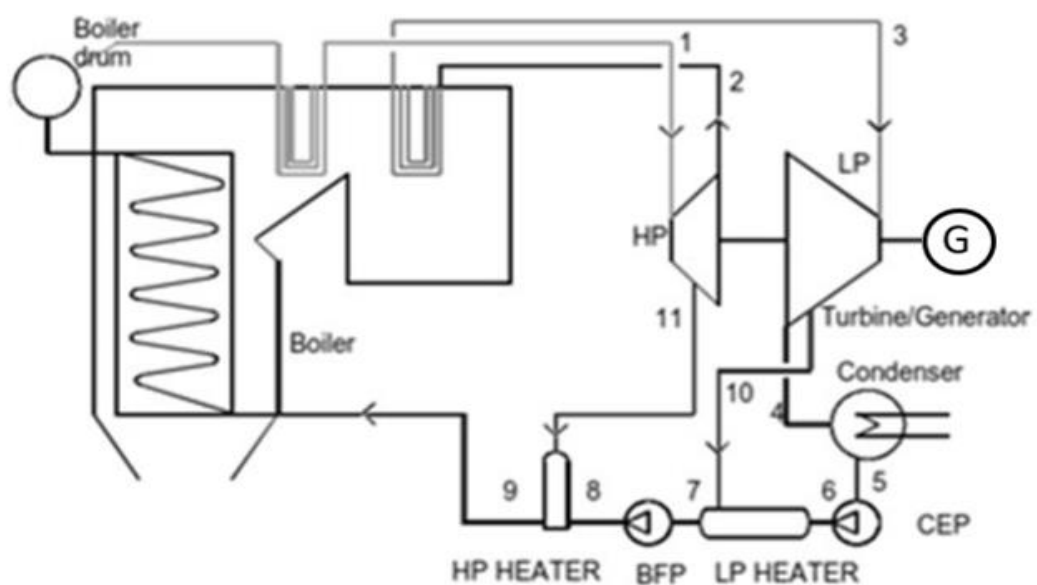
Boiler supercritical menggunakan boiler prinsip sekali lalu yaitu air umpan yang dipompa oleh boiler *feed pump* hingga air dapat melalui tahapan pemanasan

di boiler dan uap yang dihasilkan langsung dikirim ke turbin uap tanpa adanya resirkulasi.

Pada kondisi sebenarnya, transisi dari cair menjadi uap sekali lalu di dalam boiler supercritical bergerak bebas tergantung kondisi. Hal ini berarti perubahan beban boiler dan tekanan proses dapat mengoptimasi jumlah daerah cairan dan gas untuk perpindahan panas yang efisien.

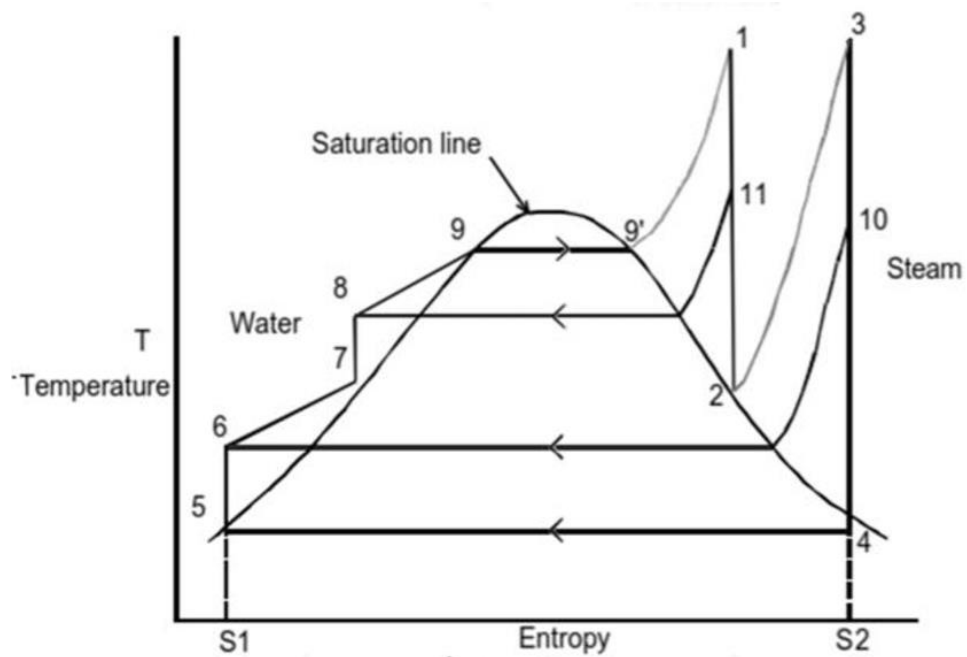
Untuk meningkatkan kekuatan *high pressure turbine* pada kondisi supercritical terdapat peningkatan komposisi chromium, sedangkan untuk *intermediate pressure turbine* tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi supercritical dan subcritical. *Low pressure turbine* pada kondisi supercritical dan subcritical memiliki spesifikasi yang sama. Boiler supercritical berbeda dengan boiler pada kondisi subcritical yaitu susunan *tube* pada boiler supercritical tersusun kombinasi spiral dan vertikal sedangkan pada kondisi subcritical tersusun vertikal [10].

Proses uap pada PLTU kondisi subcritical ditunjukkan pada Gambar 2.2.



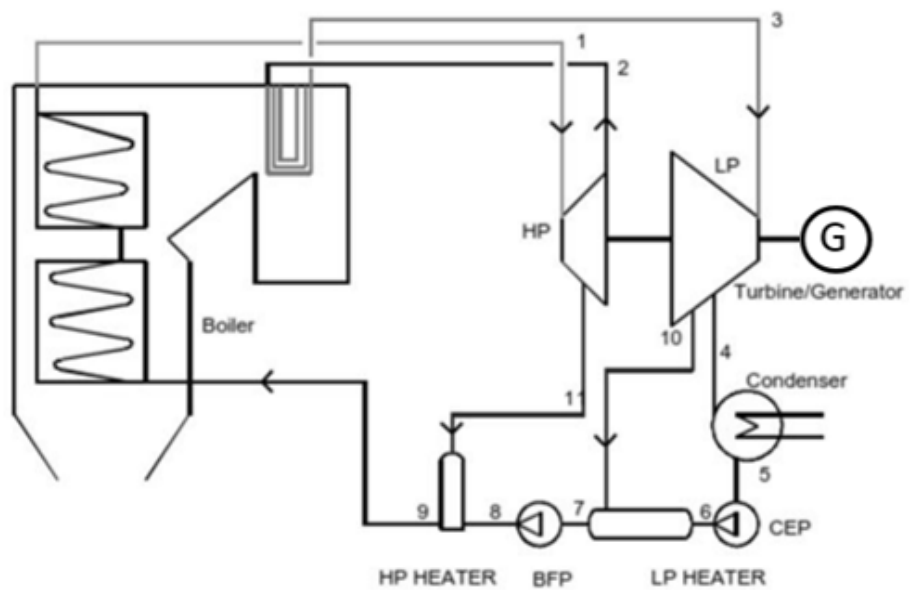
Gambar 2.2 Siklus uap subcritical [1]

Diagram temperatur-entropi PLTU subcritical ditunjukkan Gambar 2.3.



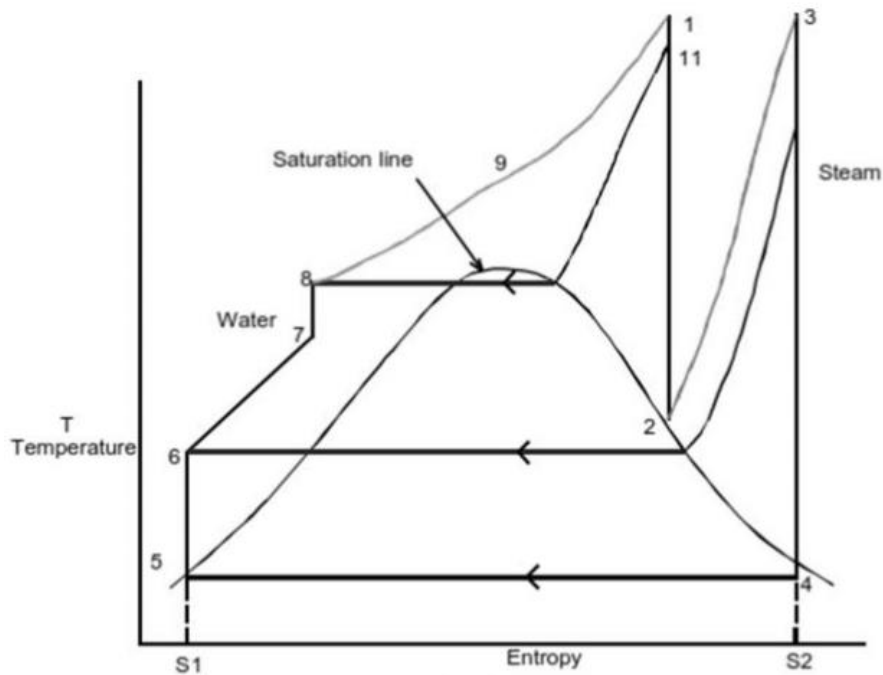
Gambar 2.3 Diagram temperatur-entropi PLTU subcritical [1]

Proses uap pada PLTU kondisi supercritical ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Siklus uap kondisi supercritical [1]

Diagram temperatur-entropi PLTU supercritical ditunjukkan Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram temperatur-entropi PLTU supercritical [1]

2.2.3 Analisis Termodinamika

Siklus Rankine menggabungkan perpindahan kalor antara komponen pembangkit dengan kondisi sekelilingnya. Sehingga energi kinetik dan potensial dapat diabaikan. Analisis kerja siklus Rankine beroperasi pada kondisi tunak (*steady state*). Prinsip kekekalan masa dan energi dapat digunakan menghitung perpindahan energi dari tiap-tiap komponen pembangkit.

Keadaan tunak merupakan keadaan yang ideal yang berarti semua sifat tidak berubah seiring dengan berubahnya waktu. Pada suatu volume atur dalam keadaan tunak, identitas dari zatnya berubah terus menerus, tetapi jumlah total yang ada pada setiap saat adalah konstan, sehingga laju massa pada volume atur [10]:

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = 0, \dots \dots \dots (2.1)$$

Begitu juga laju perpindahan energi oleh kalor dan kerja yang tetap konstan terhadap waktu [10], sehingga:

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = 0, \dots \dots \dots (2.2)$$

Hal ini dapat dilihat dari Persamaan Energi dengan hukum Termodinamika [10]:

$$\dot{m}(h + \frac{1}{2}V^2 + gz)_{in} - \dot{m}(h + \frac{1}{2}V^2 + gz)_{out} + q - \dot{W} = 0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan (2.3) menjelaskan bahwa energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan karena kecepatan aliran fluida yang masuk sama dengan kecepatan aliran fluida yang keluar. Sedangkan energi potensial diabaikan karena tidak ada pengaruh ketinggian antara fluida masuk dan fluida yang keluar di dalam sistem pada volume atur yang sama dan didalam ruang bakar tidak ada proses kerja yang dihasilkan sehingga didapatkan [10]:

$$\frac{W}{\dot{m}} = (h_{out} - h_{in})\dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

W = energi yang dihasilkan (kJ)

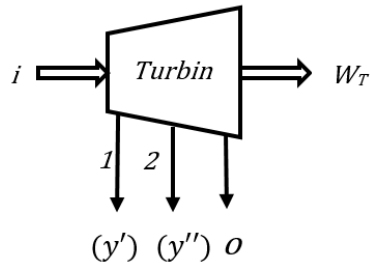
\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

h_{out} = entalpi sisi outlet (kJ/kg)

h_{in} = entalpi sisi inlet (kJ/kg)

a. Turbin

Turbin uap merupakan peralatan yang mengubah energi dari uap bertekanan yang dihasilkan oleh boiler menjadi energi mekanik untuk menggerakkan rotor. Prinsip kerja pada turbin uap yaitu fluida kerja berupa air yang mempunyai massa dan tekanan dinaikkan temperaturnya dalam boiler sehingga berubah ke fase uap panas lanjut (*superheated*) dan memiliki energi yang besar. Setelah diekspansikan oleh turbin, tekanan dan temperatur uap akan mengalami penurunan karena energinya digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin, seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema aliran energi pada turbin [10]

Kesetimbangan massa pada turbin adalah [10]:

$$\dot{m}_i = \dot{m}_i y' + \dot{m}_i y'' + \dot{m}_o = \dot{m} \dots\dots\dots(2.5)$$

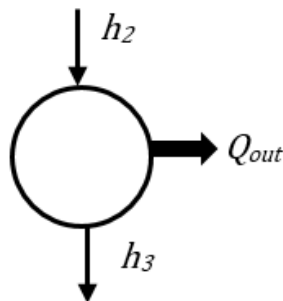
Persamaan energi untuk menghitung turbin adalah [10]:

$$0 = Q_{cv} - W_t + \dot{m}(h_1 - h_2) + \frac{1}{2}(V_1^2 - V_2^2) + g(z_1 - z_2) \dots\dots (2.6)$$

$$\frac{W_t}{\dot{m}} = (h_i) - (y')(h_1) - (1 - y')(h_2) + (1 - y' - y'')(h_o) \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar panas yang berfungsi mengubah fasa uap menjadi fasa cair. Dalam prakteknya kondensor terletak di luar ruangan sehingga tidak akan mengganggu proses pendinginan.



Gambar 2.7 Skema aliran energi kondensor [11]

Panas yang dilepas oleh kondensor dapat dihitung dengan persamaan (2.8)

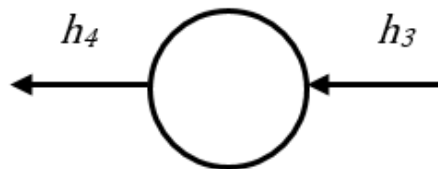
[11]:

$$\frac{Q_{out}}{\dot{m}} = (h_2 - h_3) \dots\dots\dots(2.8)$$

c. Pompa

Kondensat cair yang meninggalkan kondensor di pompa dari kondensor menuju *feedwater heater*. Kerja pompa dan kesetimbangan energi dapat dihitung dengan persamaan [11]:

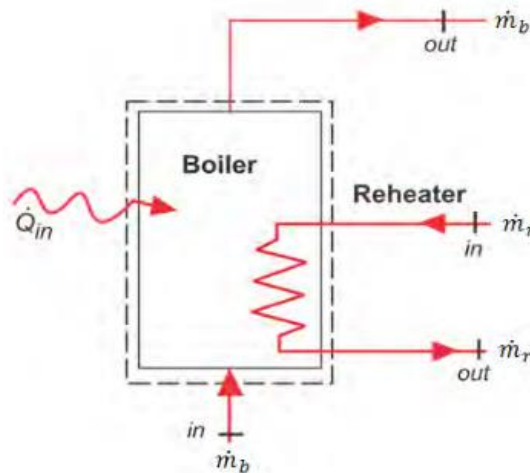
$$\frac{W_p}{\dot{m}} = (h_4 - h_3) \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2.8 Skema aliran energi pompa [11]

d. Boiler dan Reheater

Pada komponen boiler terjadi proses untuk mengubah fluida fasa cair menjadi fasa uap yang di dalamnya terjadi proses pembakaran bahan bakar. Sedangkan reheater adalah suatu komponen penukar panas pada boiler yang berfungsi menaikkan temperatur fluida kerja (uap) yang keluar dari turbin tekanan tinggi untuk dialirkan menuju turbin tekanan menengah atau rendah. Skema aliran energi pada boiler dan reheater ditunjukkan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema Boiler dan Reheater [10]

Sehingga persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi dapat dianalisis persamaan (2.10) dan (2.11) sebagai berikut [10]:

$$\frac{Q_{boiler}}{\dot{m}_b} = (h_{out} - h_{in}) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{Q_{reheater}}{\dot{m}_r} = (h_{out} - h_{in}) \dots\dots\dots(2.11)$$

2.2.4 Bahan Bakar Batubara

Batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai kalor dan kandungan karbon tetap. Hasil analisa kimia dan fisika batubara dapat memberikan gambaran pada proses pembakaran batubara di boiler PLTU.

Batubara dibagi ke dalam beberapa kategori dan subkategori berdasarkan nilai panas karbonnya, dimulai dari lignite yang karbon padatnya terendah, melalui berbagai tingkatan batubara muda, batubara sub-bituminous, batubara bituminous hingga batubara antrasit. Selain kalori yang dimilikinya mutu batubara juga ditentukan oleh tingkat kemurniannya. Batubara selalu diikuti oleh zat-zat lain seperti air dan unsur H, O, N, dan S. Tingkat kemurnian batubara selain karena faktor umurnya juga dipengaruhi oleh tambang asal tempat batubara tersebut diambil [24].

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi batubara [24]

| No | Jenis batubara | Kandungan (%) | | | | | Kalori (Kcal/kg) |
|----|----------------|---------------|---------|-----------|----------|----------|------------------|
| | | C | H | O | N | S | |
| 1 | Lignite | 63,3-70,5 | 5,0-5,5 | 18,0-27,5 | 0,5-17,5 | 0,3-6,5 | 2580-4100 |
| 2 | Sub-bituminous | 73,2-78,4 | 5,4-5,6 | 13,0-15,5 | 1,4-1,9 | 0,6-0,9 | 5400-6419 |
| 3 | Bituminous | 82,3-87,8 | 5,2-5,3 | 4,6-8,0 | 1,4-1,6 | 0,8-1,5 | 6600-7600 |
| 4 | Antracite | 91,8-93,7 | 2,3-3,6 | 2,3-2,6 | 0,8-1,38 | 0,71-0,8 | 7150-7721 |

Salah satu sifat termal batubara adalah nilai kalor, pengukuran nilai kalor dilakukan dengan pembakaran dalam kalorimeter. Penelitian yang dilakukan *Institute of Gas Technology* terhadap berbagai jenis batubara menghasilkan rumus

empiris yang menghubungkan nilai kalor dan presentase unsur-unsur pada analisis ultimat yaitu [1]:

$$\text{HHV}(\text{MJ/kg}) = 0,3417C + 1,3221H + 0,1232S - 0,0153A - 0,1198(O+N)\dots(2.12)$$

dimana C, H, S, A, O, N masing-masing adalah persen berat kering dari karbon, hidrogen, sulfur, abu, oksigen, dan nitrogen pada analisis ultimat. Data nilai kalor batubara berguna untuk menghitung kebutuhan laju aliran batubara bila diinginkan pengoperasian boiler pada kapasitas panas tertentu [1].

2.2.5 Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler didefinisikan sebagai perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut (*superheated*) dengan laju aliran energi bahan bakar. Metodologi ini disebut dengan metode langsung, atau dikenal juga sebagai metode “*input-output*” karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran /*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Persamaan efisiensi boiler (pemanas) adalah [25]:

$$\eta = \frac{\text{kalor output}}{\text{kalor input}} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{Q_{\text{uap}}}{Q_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Panas masuk merupakan energi yang dibutuhkan oleh boiler untuk menghasilkan energi. Energi masuk boiler didapat dari hasil pembakaran batubara. Sedangkan panas pembentukan uap merupakan energi yang dihasilkan oleh boiler yaitu merupakan jumlah keseluruhan energi dari superheater dan reheater, sehingga dengan mensubstitusi persamaan (2.10) dan (2.11) dapat dibentuk persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{m_s \cdot (h_s - h_w) + m_r \cdot (h_{hr} - cr)}{m_{bb} \cdot GCV} \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

m_s = Laju massa uap superheater (kg/s)

h_s = Entalpi uap superheater (kJ/kg)

h_w = Entalpi *Feedwater* (kJ/kg)

m_r = Laju massa uap reheater (kg/s)

h_{hr} = Entalpi uap hot reheater (kJ/kg)

h_{cr} = Entalpi cold reheater (kJ/kg)

m_{bb} = Laju massa bahan bakar (kg/s)

GCV = Nilai Kalor Pembakaran (kJ/kg)

Dengan menggunakan metode langsung maka parameter untuk efisiensi boiler mengabaikan aspek *losses* pada setiap kehilangan panasnya.

2.2.6 Efisiensi Termal, THR, dan SFC

Efisiensi termal Siklus Rankine merupakan ukuran banyaknya energi yang masuk ke dalam fluida kerja melalui boiler yang dikonversi menjadi keluaran kerja. Efisiensi termal siklus Rankine dapat sesuai persamaan (2.16) [11].

$$\eta = \frac{W_T - W_P}{Q_{in}} \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan:

W_T = Laju kerja yang dihasilkan turbin (kW)

W_P = Tenaga yang dibutuhkan oleh pompa (kW)

Q_{in} = Kalor yang masuk/diserap oleh boiler (kW)

W_T merupakan daya siklus total yang dibutuhkan oleh sistem pembangkit, yang dapat dihitung dengan persamaan (2.17).

$$W_{siklus} = \left((W_{HPT}/\dot{m} + W_{IPT}/\dot{m} + W_{LPT}/\dot{m}) - (W_{BFP}/\dot{m} + W_{CEP}/\dot{m}) \right) * \dot{m}_1 \dots \dots \dots (2.17)$$

sehingga:

$$\dot{m}_1 = W_{siklus} / \left((W_{HPT}/\dot{m} + W_{IPT}/\dot{m} + W_{LPT}/\dot{m}) - (W_{BFP}/\dot{m} + W_{CEP}/\dot{m}) \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan W_{HPT}/\dot{m} , W_{IPT}/\dot{m} , W_{LPT}/\dot{m} , W_{CEP}/\dot{m} , W_{BFP}/\dot{m} dan W_{CEP}/\dot{m} adalah daya per satuan massa pada masing-masing komponen, sedangkan \dot{m}_1 merupakan laju aliran fluida yang melalui boiler.

Selain efisiensi parameter-parameter untuk mengetahui kinerja sebuah pembangkit adalah dari nilai THR (*Turbine Cycle Heat Rate*) yang menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam kJ/KWh [26] yang dirumuskan persamaan (2.19):

$$THR = \frac{m_s*(h_s-h_w)+m_r*(h_{hr}-h_{cr})}{P_{gen}} \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan P_{gen} adalah daya yang dibangkitkan turbin ke generator.

Konsumsi spesifik bahan bakar (SFC) adalah ukuran dari suatu alat atau mesin yang membandingkan rasio antara jumlah pemakaian bahan bakar dengan energi listrik yang dihasilkan. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai konsumsi spesifik bahan bakar [27] :

$$SFC = Q_f/kWh, \dots\dots\dots(2.20)$$

dengan :

SFC = Konsumsi spesifik bahan bakar (Kg/kWh)

Q_f = Jumlah bahan bakar yang dipakai (T/h)

kWh = jumlah kWh yang dibangkitkan generator (kWh)

2.2.6 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika yang dikembangkan oleh Goldberg adalah algoritma komputasi yang diinspirasi teori evolusi Darwin yang menyatakan bahwa kelangsungan hidup suatu makhluk dipengaruhi aturan “yang kuat adalah yang menang”. Kelebihan metode Algoritma Genetika dibandingkan dengan metode optimasi lainnya adalah Algoritma Genetika merupakan algoritma berbasis populasi yang memungkinkan digunakan pada optimasi masalah dengan ruang pencarian (*search space*) yang sangat luas dan kompleks dan metode ini bisa diimplementasikan pada berbagai macam data seperti data yang dibangkitkan secara numerik atau menggunakan fungsi analitis [28].

Tujuan dari Algoritma Genetika adalah mencari nilai *fitness* dari individu di suatu populasi. Proses keseluruhan merupakan proses iterasi dari generasi ke

generasi, dimana setiap generasi menghasilkan keturunan atau *offspring*, dimana setiap keturunan mempunyai individu yang baik dibandingkan orang tua atau *parent*-nya. Keturunan individu yang terbaik akan terpilih lagi menjadi *parent* pada generasi berikutnya. Proses ini terus menerus sampai nilai fitness dapat ditemukan.

Parameter optimasi yaitu suatu nilai tertentu yang diperlukan di dalam proses optimasi. Sehingga optimasi dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Parameter yang digunakan dalam proses optimasi pada Algoritma Genetika adalah [29]:

1. Nvar adalah parameter yang menunjukkan jumlah variabel dalam fungsi yang dioptimisasi.
2. Nbit merupakan parameter yang menunjukkan jumlah total bit yang mengkodekan nilai satu variabel.
3. JumGen yaitu parameter yang menunjukkan jumlah gen dalam kromosom.
4. Rb adalah parameter yang menunjukkan batas bawah interval.
5. Ra adalah parameter yang menunjukkan batas atas interval.
6. UkPop adalah parameter yang menunjukkan jumlah kromosom dalam populasi.
7. Psilang adalah parameter yang menunjukkan probabilitas terjadinya pindah silang.
8. Pmutasi adalah parameter yang menunjukkan probabilitas terjadinya mutasi.
9. MaxG adalah parameter yang menunjukkan jumlah generasi atau banyaknya iterasi.
10. Accuracy adalah parameter yang menunjukkan nilai fitness terbaik yang bisa dicapai.

Terdapat 5 fase dalam Algoritma Genetika, yaitu Inisialisasi Populasi, *Fitness Function*, *Selection*, *Cross Over*, *Mutation* [5]. Setelah menentukan parameter, proses selanjutnya adalah inisialisasi populasi dan dilanjutkan penghitungan fitness dari populasi awal. Penghitungan fitness dibatasi dengan *range* antara *upper bound* dan *lower bound*.

Pada masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h , maka nilai fitness yang digunakan adalah nilai dari fungsi h tersebut, yaitu:

$$f = h \dots\dots\dots(2.21)$$

di mana f adalah nilai fitness.

Jika masalahnya adalah meminimalkan fungsi h , maka fungsi h tidak bisa digunakan secara langsung. Hal ini disebabkan adanya aturan bahwa individu yang memiliki nilai fitness tinggi lebih mampu bertahan hidup pada generasi selanjutnya. Oleh karena itu nilai fitness yang bisa digunakan adalah:

$$f = 1/h \dots\dots\dots(2.22)$$

yang artinya semakin kecil nilai h , semakin besar nilai f . Tetapi hal ini akan menjadi masalah jika h bisa bernilai 0, yang akan mengakibatkan f bisa bernilai tak hingga. Untuk mengatasinya, h perlu ditambah sebuah bilangan yang dianggap sangat kecil sehingga nilai fitnessnya menjadi [29]:

$$f = \frac{1}{h+a} \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana a adalah bilangan yang dianggap sangat kecil dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan.

Jika terdapat masalah yang bisa berakibat evolusi akan mencapai optimum lokal karena kecilnya perbedaan nilai-nilai fitness pada semua individu dalam populasi. Kecenderungan untuk konvergen pada optimum lokal dapat dikurangi dengan menggunakan persamaan (2.24). Dengan demikian diperoleh nilai fitness yang berada dalam interval $[f_{min}, f_{max}]$ [29].

$$f(i) = f_{max} - (f_{max} - f_{min}) \left(\frac{R(i)-1}{UkPop-1} \right) \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan:

f_{max} = Nilai fitness terbesar

f_{min} = Nilai fitness terkecil

$R(i)$ = Ranking populasi

$UkPop$ = Jumlah populasi

Penentuan fungsi fitness dapat berpengaruh pada performansi Algoritma Genetika secara keseluruhan. Dalam beberapa kasus, nilai fitness yang sangat sederhana bisa ditemukan dengan mudah. Tetapi dalam beberapa kasus lain diperlukan nilai fitness yang sangat kompleks dan sulit ditemukan.

Proses selanjutnya adalah proses *selection*, ada beberapa cara pada tahap ini yaitu metode seleksi roulette dan *Stochastic Universal Sampling*, populasi yang terdiri dari beberapa individu yang telah diinisialisasi, dilakukan seleksi untuk menjadi *parent*. Setelah seleksi dilakukan, proses selanjutnya adalah proses *cross over* atau pindah silang antara *parent*, pada bagian ini adalah bagian paling menitikberatkan keseluruhan proses algoritma genetika untuk mencari individu terbaik yaitu dengan ‘perkawinan silang’. Output dari proses ini adalah keturunan atau *offspring* dari *parent*. Setelah *offspring* terbuat, proses selanjutnya adalah mutasi. Pada proses ini dilakukan mutasi dengan probabilitas tertentu misalnya 0,05 artinya setiap individu akan terjadi mutasi pada gen-nya sebesar 5%.

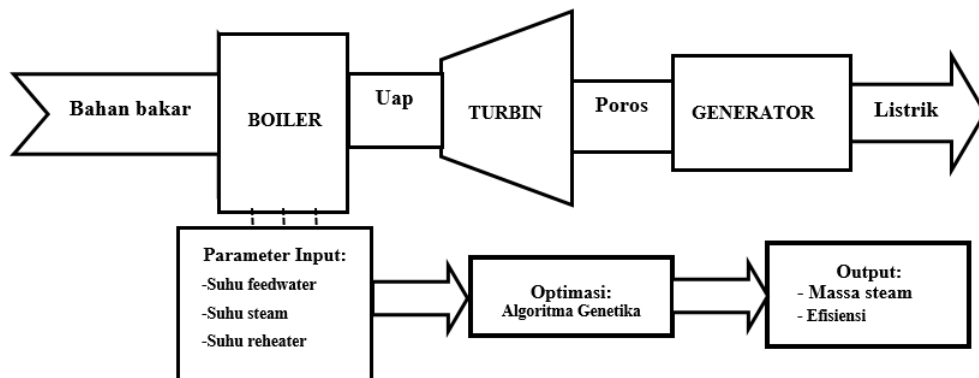
Target utama dalam sebuah optimasi adalah untuk memperoleh kondisi optimal solusi-solusi yang dihasilkan. Namun dalam algoritma optimasi, kondisi optimum lokal sering terjadi, yaitu suatu kondisi dimana algoritma mencapai nilai tertinggi atau terendah pada beberapa nilai kandidat solusi. Hal ini berlawanan dengan kondisi optimum global yaitu algoritma mencapai nilai tertinggi atau terendah untuk seluruh kandidat solusi dalam suatu masalah tertentu.

Optimum lokal dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh populasi yang mencapai format konvergensi terlalu dini. Salah satu cara untuk mencegah masalah konvergensi dini ini adalah dengan mempertahankan keragaman kromosom dari suatu populasi, yaitu dengan mengimplementasikan operator crossover dan mutasi. Penentuan ukuran populasi juga sangat berpengaruh terhadap keberhasilan algoritma untuk mendapatkan nilai maksimal global, namun nilai populasi yang terlalu besar dapat berimplikasi pada sejumlah individu yang menemukan nilai maksimal lokal [6].

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Boiler merupakan komponen yang sangat penting dalam mempengaruhi kinerja sebuah pembangkit. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan optimasi parameter pada boiler untuk menghasilkan nilai efisiensi yang paling optimum menggunakan Algoritma Genetika. Skema pemodelan optimasi boiler ditunjukkan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema pemodelan penelitian

Parameter-parameter pada boiler yang akan ditentukan nilai optimumnya adalah, temperatur *feedwater* boiler ($^{\circ}\text{C}$), temperatur *steam* boiler ($^{\circ}\text{C}$), temperatur *steam* keluaran reheater yang masuk ke turbin ($^{\circ}\text{C}$). Parameter keluaran adalah laju massa fluida yang melalui boiler atau produksi *steam* (kg/s). Optimasi dari beberapa parameter itu akan menghasilkan nilai efisiensi termal pembangkit yang paling optimum.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer/laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

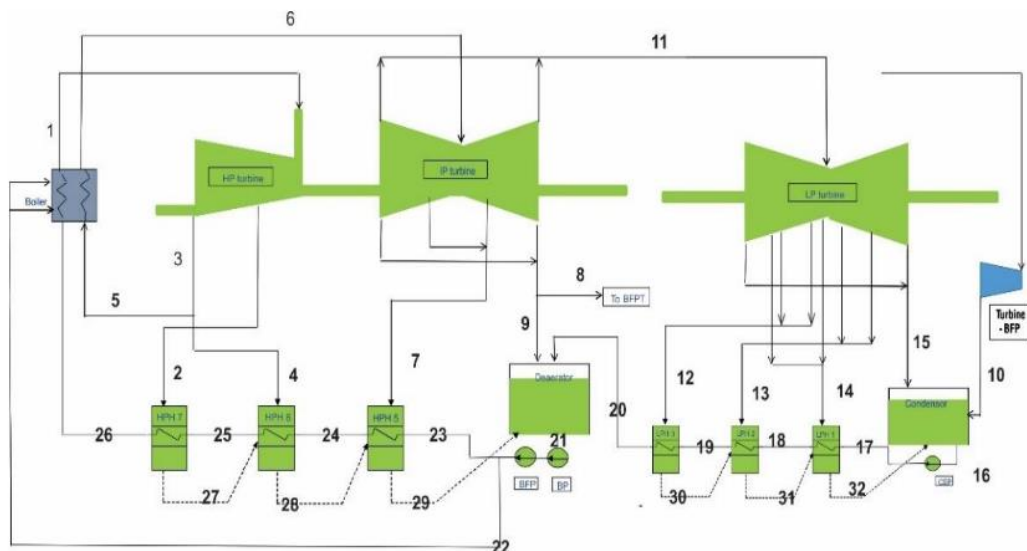
Nama Perangkat : LAPTOP-P0MVBGQO

| | |
|----------------|---------------------------------------------------------|
| Prosesor | : AMD A9-9420 RADEON R5,5 COMPUTE CORE 2C+3G 3,0 GHz |
| RAM | : 4 GHz |
| Sistem Operasi | : Windows 10 Home 64-Bit |

Optimasi komponen boiler dengan Algoritma Genetika dibuat menggunakan bahasa pemrograman Matlab versi R2013a. Untuk mengkonversi nilai entalpi dari data temperatur maupun tekanan menggunakan perangkat lunak *X Steam Table*. Pengolahan data hasil penelitian menggunakan program bantu Microsoft Excel 2013.

Bahan-bahan yang dibutuhkan adalah data-data boiler atau pembangkit dari penelitian sebelumnya maupun data spesifikasi produk dari pabrikan (khusus komponen boiler). Pada penelitian ini mengambil data dari PLTU Tanjung Jati B Unit 3 yang diperoleh dari penelitian sebelumnya [30]. PLTU Tanjung Jati B Unit 3 merupakan pembangkit dengan kapasitas terpasang 710 MW dan kapasitas beban 660 MW, dimana masih menggunakan boiler yang bekerja pada kondisi subcritical.

Data termodinamika berupa aliran massa, temperatur, dan tekanan pada masing-masing komponen PLTU berdasarkan diagram *heat mass balance* sesuai Gambar 3.2 ditunjukkan pada Tabel 3.1.



Gambar 3.2 Skema *heat mass balance* PLTU Tanjung Jati B Unit 3 [30]

Tabel 3.1 Data Aliran Termodinamika PLTU Tanjung Jati B Unit 3 [30]

| No | Komponen | | Aliran massa kg/s | P (bar) | T (°C) | Entalpi kJ/kg |
|----|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|------------|-----------|------------------|
| 1 | <i>Boiler</i> | <i>Inlet (26)</i> | 601,56 | 188,06 | 286,99 | 1266,9 |
| | | <i>Inlet deaerator (22)</i> | 5,7 | 204,87 | 173,24 | 744,2 |
| | | <i>Outlet (1)</i> | 607,26 | 166,92 | 529,8 | 3375,4 |
| 2 | <i>High Pressure Turbine</i> | <i>Inlet (1)</i> | 607,26 | 166,92 | 529,8 | 3375,4 |
| | | <i>Ekstraksi 1 (2)</i> | 57,2 | 72,35 | 413,55 | 3190,7 |
| | | <i>Ekstraksi 2 (4)</i> | 41,48 | 39,84 | 326,22 | 3033,1 |
| | | <i>Outlet (5)</i> | 508,58 | 40,31 | 328,27 | 3037,2 |
| 3 | <i>Reheater</i> | <i>Inlet (5)</i> | 508,58 | 40,31 | 328,27 | 3037,2 |
| | | <i>Outlet (6)</i> | 508,58 | 36,63 | 547,42 | 3557,5 |
| 4 | <i>Intermediate Pressure Turbine</i> | <i>Inlet (6)</i> | 508,58 | 36,63 | 547,42 | 3557,5 |
| | | <i>Ekstraksi 1 (7)</i> | 33,16 | 19,98 | 467,41 | 3396,3 |
| | | <i>Ekstraksi 2 (8)</i> | 22,23 | 7,78 | 332,24 | 3127,4 |
| | | <i>Ekstraksi 3 (9)</i> | 58,53 | 7,78 | 332,24 | 3127,4 |
| | | <i>Outlet (11)</i> | 394,66 | 7,78 | 332,24 | 3127,4 |
| 5 | <i>Low Pressure Turbine</i> | <i>Inlet (11)</i> | 394,66 | 7,78 | 332,24 | 3127,4 |
| | | <i>Ekstraksi 1 (12)</i> | 16,67 | 1,11 | 199 | 2873 |
| | | <i>Ekstraksi 2 (13)</i> | 23,89 | 1,09 | 102 | 2678,7 |
| | | <i>Ekstraksi 3 (14)</i> | 10,15 | 0,23 | 63,1 | 2614,2 |
| | | <i>Outlet (15)</i> | 343,95 | 0,172 | 56,8 | 2603,3 |
| 6 | <i>Condenser</i> | <i>Inlet 1 (15)</i> | 343,95 | 0,172 | 56,8 | 2603,3 |
| | | <i>Inlet 2 (10)</i> | 22,23 | 0,08 | 42,7 | 2578,5 |
| | | <i>Outlet (16)</i> | 416,89 | 0,07 | 41,62 | 2576,8 |
| 7 | <i>LPH 1</i> | <i>Inlet (17)</i> | 416,89 | 20,46 | 42,6 | 180,2 |
| | | <i>Outlet (18)</i> | 416,89 | 0,2 | 59,7 | 249,9 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (14)</i> | 10,15 | 0,23 | 63,1 | 2614,2 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (32)</i> | 50,71 | 0,11 | 47,2 | 197,6 |
| | | <i>Drain Inlet (31)</i> | 40,56 | 0,25 | 64,8 | 271,2 |

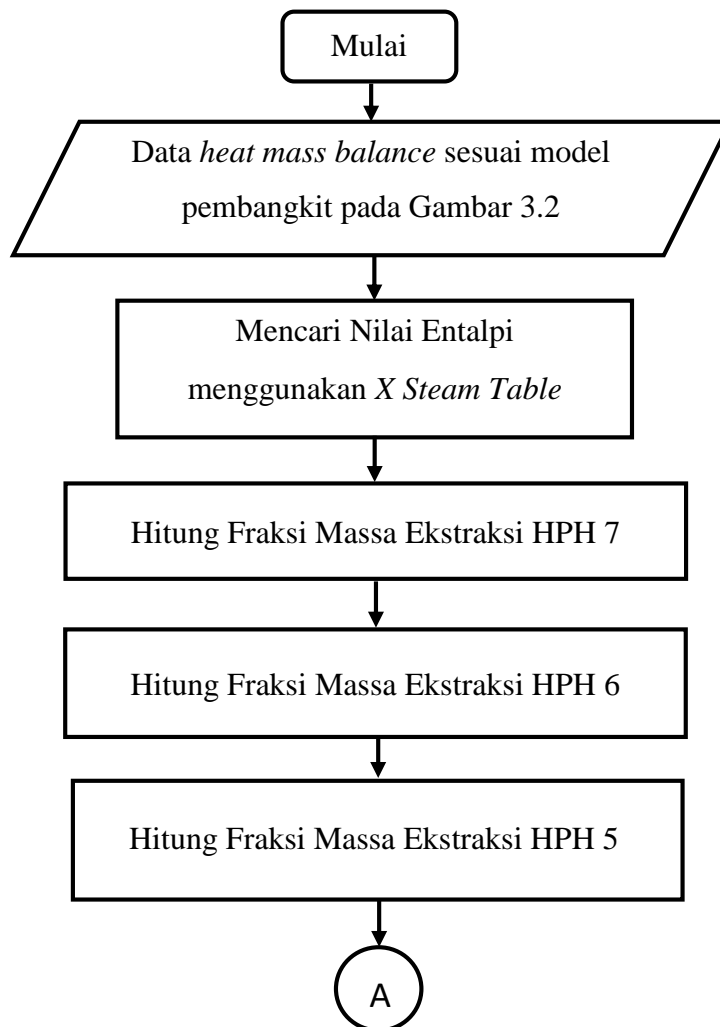
Tabel 3.1 (Lanjutan)

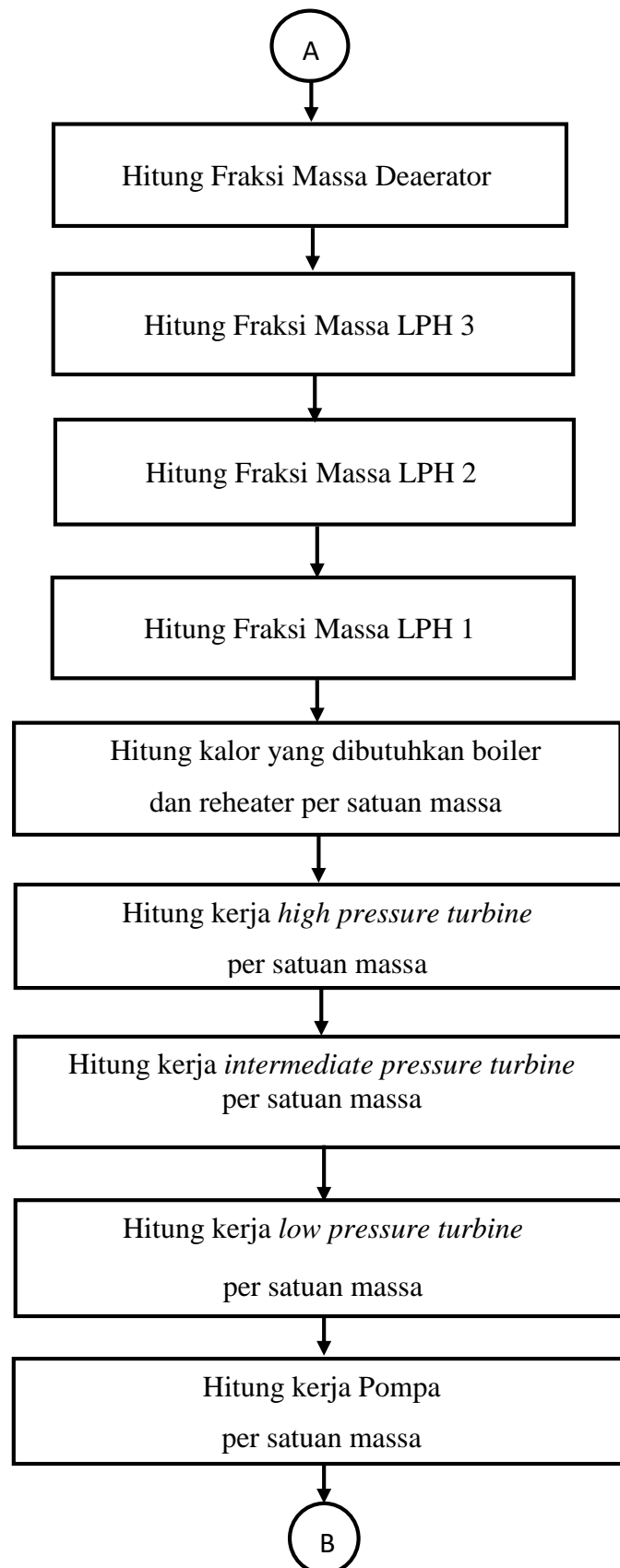
| No | Komponen | | Aliran massa kg/s | P (bar) | T (°C) | Entalpi kJ/kg |
|----|----------------------|------------------------------|----------------------|------------|-----------|------------------|
| 8 | <i>LPH 2</i> | <i>Inlet (18)</i> | 416,89 | 0,2 | 59,7 | 249,9 |
| | | <i>Outlet (19)</i> | 416,89 | 0,88 | 96 | 402,2 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (13)</i> | 23,89 | 1,09 | 102 | 2678,7 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (31)</i> | 40,56 | 0,25 | 64,8 | 271,2 |
| | | <i>Drain Inlet (30)</i> | 16,67 | 1,09 | 102,1 | 428 |
| 9 | <i>LPH 3</i> | <i>Inlet (19)</i> | 416,89 | 0,88 | 96 | 402,2 |
| | | <i>Outlet (20)</i> | 416,89 | 7,41 | 119,6 | 502,5 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (12)</i> | 16,67 | 1,11 | 199 | 2873 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (30)</i> | 16,67 | 1,09 | 102,1 | 428 |
| 10 | <i>Deaerator</i> | <i>Inlet (20)</i> | 416,89 | 7,41 | 119,6 | 502,5 |
| | | <i>Outlet (21)</i> | 607,26 | 7,63 | 169,09 | 712,5 |
| | | <i>Ekstraksi inlet (9)</i> | 58,53 | 7,78 | 332,24 | 3127,4 |
| | | <i>Drain inlet (29)</i> | 131,84 | 9,65 | 178,33 | 755,8 |
| 11 | <i>HPH 5</i> | <i>Inlet (23)</i> | 601,56 | 204,87 | 173,24 | 744,2 |
| | | <i>Outlet (24)</i> | 601,56 | 20,86 | 214,52 | 918,4 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (7)</i> | 33,16 | 19,98 | 467,41 | 3396,3 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (29)</i> | 131,84 | 9,65 | 178,33 | 755,8 |
| | | <i>Drain Inlet (28)</i> | 98,67 | 22,87 | 219,27 | 940,3 |
| 12 | <i>HPH 6</i> | <i>Inlet (24)</i> | 601,56 | 20,86 | 214,52 | 918,4 |
| | | <i>Outlet (25)</i> | 601,56 | 38,7 | 248,4 | 1077,9 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (4)</i> | 41,48 | 39,84 | 326,22 | 3033,1 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (28)</i> | 98,67 | 22,87 | 219,27 | 940,3 |
| | | <i>Drain Inlet (27)</i> | 57,2 | 43,72 | 255,68 | 1113,5 |
| 13 | <i>HPH 7</i> | <i>Inlet (25)</i> | 601,56 | 38,7 | 248,4 | 1077,9 |
| | | <i>Outlet (26)</i> | 601,56 | 188,06 | 286,99 | 1266,9 |
| | | <i>Ekstraksi Inlet (2)</i> | 57,2 | 72,35 | 413,55 | 3190,7 |
| | | <i>Ekstraksi Outlet (27)</i> | 57,2 | 43,72 | 255,68 | 1113,5 |
| 14 | <i>Pompa CEP</i> | <i>Inlet (16)</i> | 416,89 | 0,07 | 41,62 | 174,3 |
| | | <i>Outlet (17)</i> | 416,89 | 20,46 | 42,6 | 180,2 |
| 15 | <i>Pompa BFP</i> | <i>Inlet (21)</i> | 607,26 | 7,63 | 173,24 | 715,2 |
| | | <i>Outlet (23)</i> | 601,56 | 204,87 | 173,24 | 744,2 |

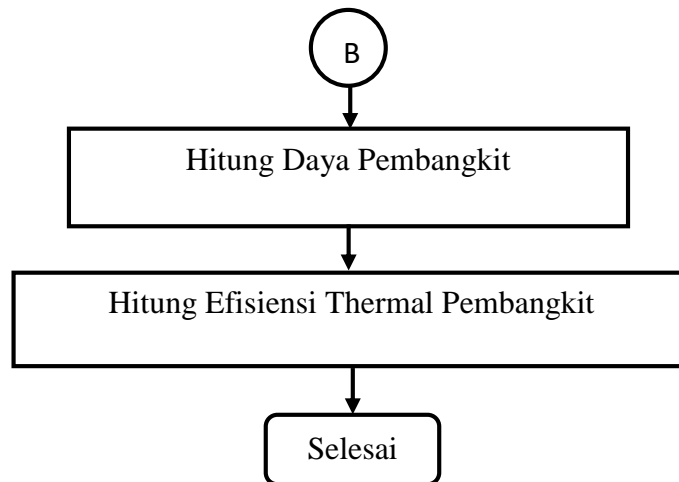
3.3 Prosedur Penelitian

Berdasarkan data *heat mass balance* akan dilakukan perhitungan manual untuk termodinamika sebagai acuan untuk membuat program simulasi. Hasil perhitungan secara manual akan dibandingkan dengan program simulasi yang telah dibuat untuk memvalidasi. Jika program yang dibuat sudah dinilai valid, dapat digunakan untuk melakukan simulasi dengan variasi parameter-parameter yang akan dianalisis.

Analisis termodinamika merupakan perhitungan aliran massa dan energi pada masing-masing komponen dalam sebuah siklus termodinamika. Penelitian ini melakukan analisis berdasarkan data aliran massa, serta tekanan dan temperatur yang dapat digunakan untuk menghitung nilai entalpi. Urutan analisis termodinamika pada sebuah pembangkit tenaga uap ditunjukkan Gambar 3.3.







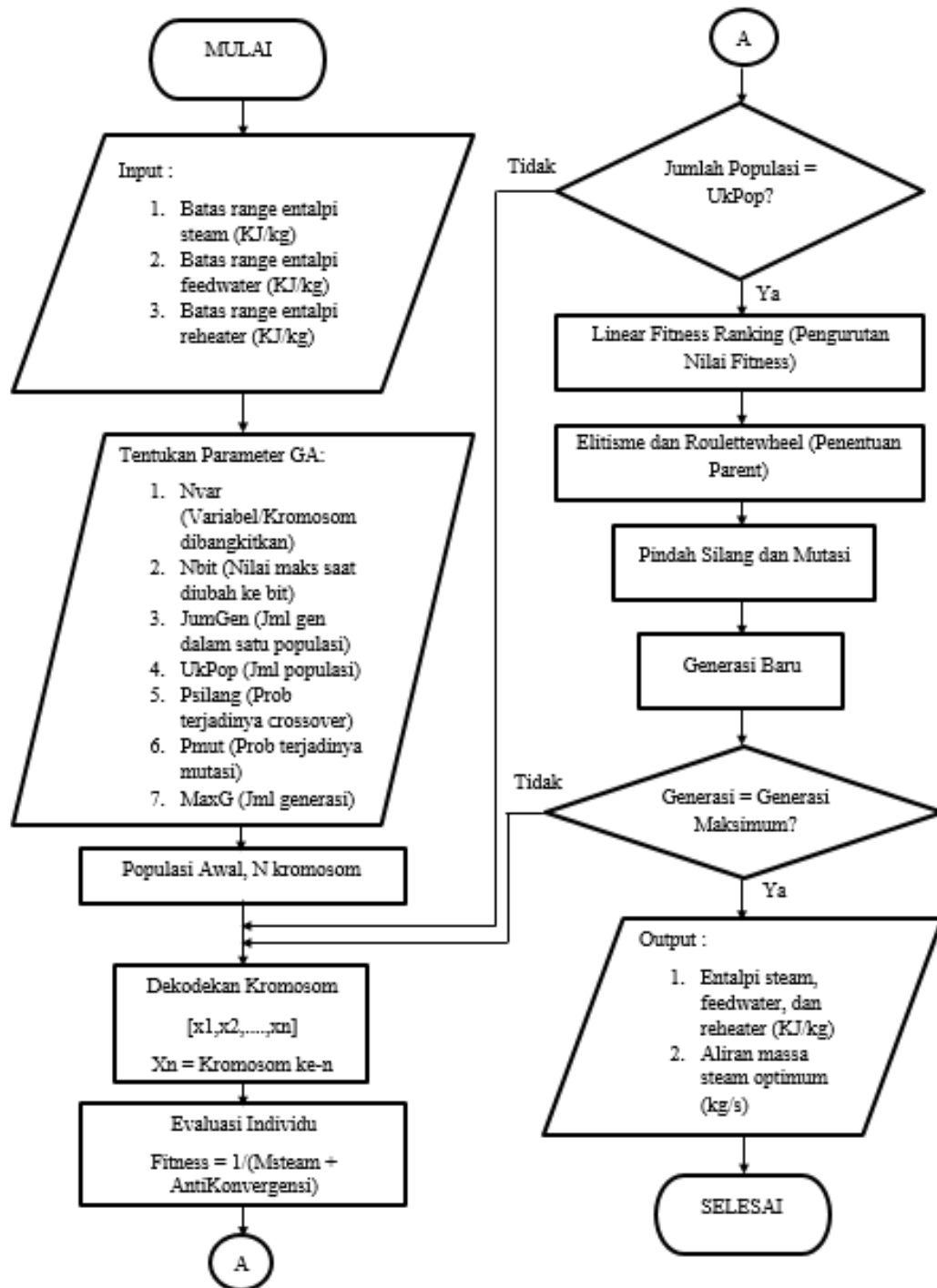
Gambar 3.3 Diagram alir analisis termodinamika

3.4 Metodologi Algoritma Genetika

Tujuan dari Algoritma Genetika adalah untuk mencari nilai fitness terbaik dari individu pada sebuah populasi. Hal penting yang harus dilakukan adalah penentuan fungsi fitness, karena akan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan proses. Fungsi fitness yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan persamaan (2.18).

Prinsip dari efisiensi adalah memaksimalkan output dan meminimalkan input, sehingga tujuan dari optimasi ini adalah dengan meminimumkan laju massa fluida \dot{m}_1 karena berdasar persamaan (2.16) efisiensi berbanding terbalik dengan laju energi pada boiler. Sesuai persamaan (2.22) dan (2.23) dimana jika \dot{m}_1 adalah sebagai h , karena tujuan adalah untuk meminimasi maka fungsi fitnessnya adalah $1/h$ atau $1/\dot{m}_1$.

Parameter optimasi yaitu suatu nilai tertentu yang diperlukan di dalam proses optimasi sehingga optimasi dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Urutan optimasi menggunakan Algoritma Genetika ditunjukkan Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram alir Algoritma Genetika

Dalam proses perhitungan yang digunakan adalah nilai entalpinya, karena dalam persamaan-persamaan termodinamika yang digunakan adalah nilai entalpi h . Nilai parameter ini perlu ditentukan batas bawah maupun batas atas berdasarkan kondisi fasa fluida pada masing-masing tahapan.

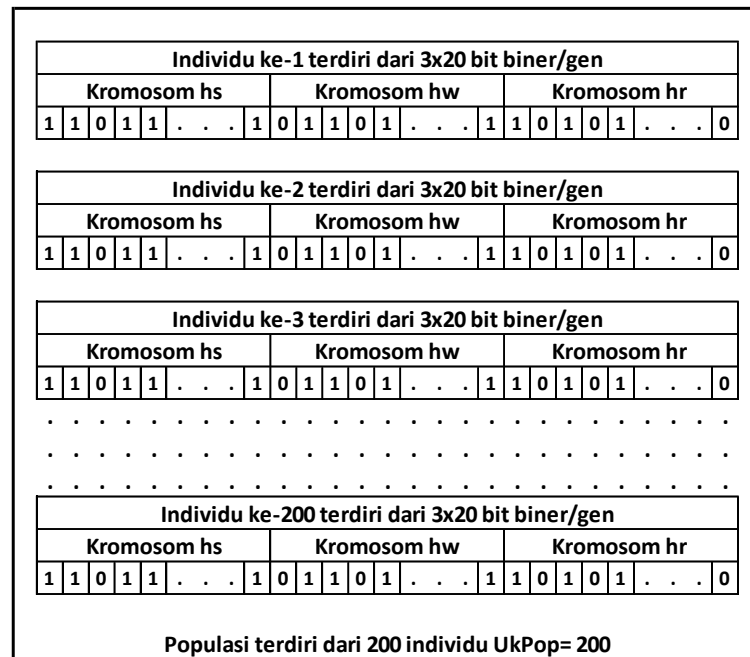
Langkah selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter dalam Algoritma Genetika yang ditunjukkan Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Algoritma Genetika

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|-----------|-------|------------------------------------------------|
| Nvar | 3 | Jumlah kromosom yang dibangkitkan |
| Nbit | 20 | Maksimum nilai bit variabel yg diubah ke biner |
| JumGen | 60 | Jumlah gen dalam 1 individu |
| Psilang | 0,8 | Probabilitas pindah silang |
| Pmutasi | 0,05 | Probabilitas mutasi |
| MaxG | 100 | Jumlah iterasi generasi yang dilakukan |
| UkPop | 200 | Jumlah populasi dalam 1 generasi saat iterasi |

3.4.1 Inisialisasi Populasi

Proses awal dilakukan dengan membangkitkan sejumlah populasi random sebanyak UkPop yang telah didefinisikan nilainya sebanyak 200 individu. Individu terdiri dari kromosom-kromosom yang masing-masing terdiri dari 20 bit, sehingga 1 individu memiliki panjang 60 bit bilangan biner. Bilangan biner pada tiap kromosom merepresentasikan nilai entalpi steam h_s , entalpi feedwater h_w , dan entalpi reheater h_r . Ilustrasi pembangkitan populasi ditunjukkan Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Ilustrasi pembangkitan populasi random

3.4.2 Pengkodean Kromosom

Pengkodean kromosom dilakukan dengan cara mengkodekan sebuah kromosom yang berisi sejumlah gen yang bernilai biner menjadi individu x yang bernilai real. Hal ini dilakukan agar bisa digunakan untuk menghitung nilai fitness dalam populasi tersebut. Contoh perhitungan nilai fitness ditunjukkan Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perhitungan nilai fitness

| Individu | X(1) | X(2) | X(3) | Fitness (x 10 ⁻³) |
|---------------|---------|---------|---------|--------------------------------|
| 1101100111... | 3483,6 | 1260,8 | 3388,2 | 1,5949 |
| 1010101111... | 3538,79 | 1300,63 | 3682,80 | 2,0126 |

3.4.3 Evaluasi Berdasarkan Nilai Fitness

Evaluasi Individu bertujuan untuk membandingkan nilai fitness dari suatu individu dalam populasi. Nilai fitness digunakan sebagai acuan dalam proses seleksi. Suatu individu apabila bernilai fitness tinggi maka akan dipertahankan, sedangkan jika individu bernilai fitness rendah maka akan dihilangkan.

3.4.4 Elitisme

Untuk menjaga agar individu bernilai fitness tertinggi tidak hilang selama proses evaluasi, maka perlu dilakukan prosedur elitisme, dengan cara membuat satu atau dua salinan dari individu bernilai fitness tertinggi tersebut. Pada kode program dilakukan suatu prosedur pencarian individu bernilai fitness tertinggi (MaxF) dan fitness terendah (MinF). Indeks dari individu bernilai fitness tertinggi disimpan dalam IndeksIndividuTerbaik. Agar tidak tertimpa, individu baru disimpan di dalam variabel TemPopulasi.

3.4.5 Linear Fitness Ranking

Fungsi ini digunakan untuk menghindari kecenderungan konvergen dini, maka digunakan penskalaan nilai fitness seperti pada persamaan (2.24) sehingga diperoleh nilai fitness baru yang lebih baik, yaitu yang memiliki variansi tinggi.

3.4.6 Pindah Silang

Pindah silang dilakukan untuk mendapatkan suatu anak atau individu yang diharapkan memiliki nilai fitness yang lebih baik dari orang tuanya. Orang tua Bapak dan Ibu dipilih menggunakan roulette-wheel yang dipindahsilangkan dengan titik potongnya dipilih secara acak sehingga dihasilkan dua anak atau individu baru.

3.4.7 Mutasi

Mutasi dapat dilakukan secara random pada setiap gen dalam kromosom yang diharapkan dapat membentuk populasi yang bernilai fitness tinggi. Gen yang terpilih nilainya diubah dari 0 menjadi 1, dan sebaliknya dari 1 menjadi 0. Pada proses ini dilakukan mutasi dengan probabilitas 0,05, yaitu setiap individu akan terjadi mutasi pada gen-nya sebesar 5%.

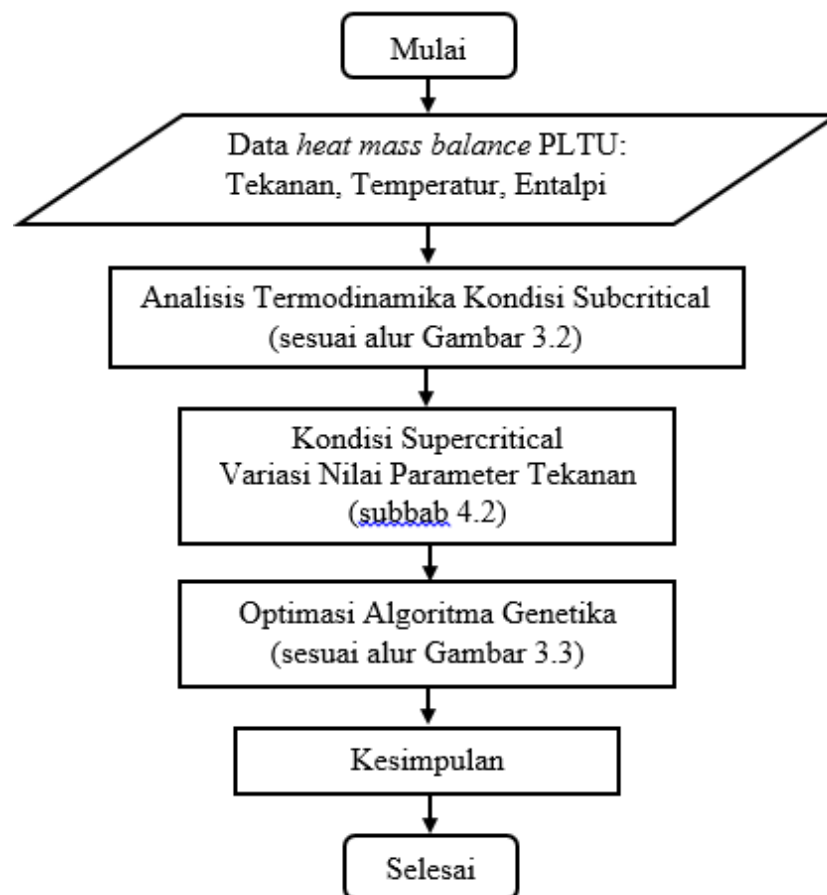
3.4.8 Pembentukan Generasi Baru

Merupakan proses penggantian populasi yang lama dengan populasi baru (TemPopulasi) hasil dari elitisme, roulettewheel, pindahsilang, dan mutasi untuk diseleksi sebagai populasi baru dalam generasi selanjutnya. Seleksi generasi ini dilakukan sampai generasi mencapai batas MaxG yang ditentukan yaitu 100 generasi atau iterasi.

3.5 Alur Penelitian

Untuk lebih menggambarkan alur penelitian maka dibuat diagram alir Gambar 3.6, yang menggambarkan urutan dan prosedur penelitian dari awal sampai dengan akhir.

Dimulai dengan menyusun perumusan masalah yang akan diteliti dilanjutkan dengan pengumpulan dan analisis data awal yaitu dari gambar *power flow diagram* dan *heat mass balance* pembangkit. Data awal berupa tekanan dan temperatur harus dikonversi dulu untuk mendapatkan nilai entalpi yang diperlukan untuk perhitungan dan analisis lebih lanjut.



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

Konversi nilai entalpi dapat diperoleh dari tabel propertis termodinamika, baik secara langsung dari nilai yang telah tersedia, maupun dengan cara melakukan interpolasi atau ekstrapolasi untuk nilai-nilai yang berada di rentang tertentu.

Namun untuk lebih praktis, penulis mengkonversi nilai entalpi menggunakan perangkat lunak yang telah tersedia, yaitu *X Steam Table*.

Analisis termodinamika dilakukan dengan melakukan perhitungan-perhitungan setiap komponen pembangkit. Hasil perhitungan termodinamika akan digunakan untuk pengujian dan validasi atas program simulasi yang telah dibuat. Apabila program yang dibuat sudah valid maka dapat digunakan untuk memodelkan dengan variasi parameter yang berbeda.

Perbedaan paling mendasar pada boiler subcritical dengan supercritical adalah pada tekanan steam boiler, yaitu supercritical berada di atas tekanan 221 bar. Sehingga pada penelitian ini, dari data pembangkit acuan yang masih bekerja pada kondisi subcritical akan disimulasikan untuk bekerja pada kondisi supercritical, dengan asumsi bahwa kondisi aliran termodinamika selain tekanan steam adalah konstan.

Selanjutnya akan dilakukan optimasi menggunakan Algoritma Genetika untuk mendapatkan nilai efisiensi termal pembangkit yang paling optimum dengan parameter yang dioptimasi adalah temperatur feedwater, temperatur reheater, dan temperatur steam.

3.6 Hipotesis awal

Penelitian ini dilakukan dengan kerangka berfikir dan hipotesis awal sebagai berikut:

1. Pengoperasian pembangkit pada kondisi supercritical akan lebih efisien dibandingkan operasi dalam kondisi subcritical.
2. Penggunaan Algoritma Genetika untuk optimasi parameter-parameter input boiler akan menghasilkan nilai efisiensi yang lebih baik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Termodinamika pada Pembangkit Tenaga Uap

Analisis daya dan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga uap secara termodinamika dilakukan bertujuan sebagai pembandingan hasil daya dan efisiensi yang didapatkan antara perhitungan secara termodinamika dan pemodelan dengan perangkat lunak. Sebagai acuan digunakan data properties dari PLTU Tanjung Jati B unit 3 dari penelitian terdahulu [30], yang skema *Heat Mass Balance* ditunjukkan Gambar 3.2.

Nilai entalpi dapat diperoleh secara langsung dengan menginputkan data tekanan dan temperatur yang diketahui dengan menggunakan perangkat lunak *X Steam Table*. Selain nilai entalpi juga dapat diketahui kondisi fasa fluida, sedang berada pada fase cair, gas, maupun campuran.

4.1.1 Perhitungan Fraksi Massa Ekstraksi

Pada pembangkit tenaga uap Tanjung Jati B Unit 3 tiap turbin diekstraksi untuk memanaskan fluida kerja masuk ke boiler dimana perpindahan panas antara water dan steam dari ekstraksi turbin terjadi di *feedwater heater*. Perhitungan fraksi massa ekstraksi dilakukan dengan menggunakan hukum termodinamika I dengan asumsi adiabatik, energi kinetik dan energi potensial diabaikan serta tidak terdapat kerja yang keluar masuk sistem.

a. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater 7 (HPH 7)*

Untuk menghitung fraksi massa steam masuk *feedwater heater 7* y'_1 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:

$$h_2 = 3109,7 \text{ kJ/kg}$$

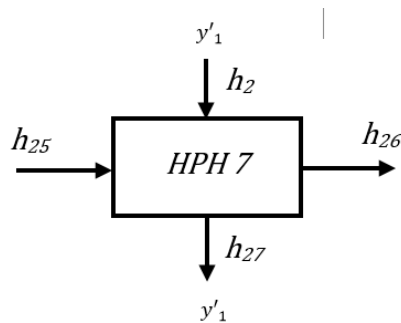
$$h_{27} = 1113,5 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi *water*:

$$h_{25} = 1077,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{26} = 1266,9 \text{ kJ/kg}$$

Skema inlet outlet pada *Feedwater Heater 7* (HPH 7) ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema fraksi massa ekstraksi pada HPH 7

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa steam masuk *feedwater heater 7* adalah:

$$y'_{1}(h_{2} - h_{27}) = (h_{26} - h_{25})$$

$$y'_{1} = \frac{(h_{26} - h_{25})}{(h_{2} - h_{27})}$$

$$y'_{1} = \frac{(1266,9 - 1077,9)}{(3109,7 - 1113,5)}$$

$$y'_{1} = 0,0947$$

b. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater 6* (HPH 6)

Untuk menghitung fraksi massa steam masuk *feedwater heater 6* y'_{2} diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:

$$h_{4} = 3033,1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{27} = 1113,5 \text{ kJ/kg}$$

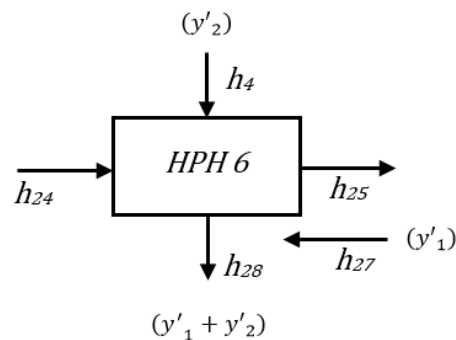
$$h_{28} = 940,3 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi *water*:

$$h_{24} = 918,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{25} = 1077,9 \text{ kJ/kg}$$

Gambar 4.2 adalah skema inlet outlet pada *Feedwater Heater 6* (HPH 6).



Gambar 4.2 Skema fraksi massa ekstraksi HPH 6

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa steam yang masuk ke dalam *feedwater heater 6* adalah:

$$y'_2(h_4 - h_{28}) + y'_1(h_{27} - h_{28}) = (h_{25} - h_{24})$$

$$y'_2 = \frac{(h_{25} - h_{24}) - y'_1(h_{27} - h_{28})}{(h_4 - h_{28})}$$

$$y'_2 = \frac{(1077,9 - 918,4) - 0,0947(1113,5 - 940,3)}{(3033,1 - 940,3)}$$

$$y'_2 = 0,0684$$

c. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater 5* (HPH 5)

Untuk menghitung fraksi massa steam masuk *feedwater heater 5* y'_3 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:

$$h_7 = 3396,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{28} = 940,3 \text{ kJ/kg}$$

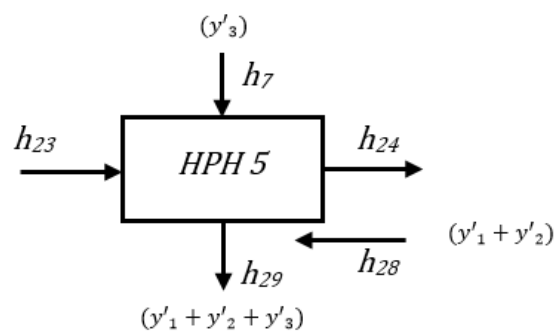
$$h_{29} = 755,8 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi *water*:

$$h_{24} = 918,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{23} = 744,2 \text{ kJ/kg}$$

Gambar 4.3 adalah skema inlet outlet pada *Feedwater Heater 5* (HPH 5).



Gambar 4.3 Skema fraksi massa ekstraksi pada HPH 5

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa steam masuk *feedwater heater 5* adalah:

$$y'_3(h_7 - h_{29}) + (y'_1 + y'_2)(h_{28} - h_{29}) = (h_{24} - h_{23})$$

$$y'_3 = \frac{(h_{24} - h_{23}) - (y'_1 + y'_2)(h_{28} - h_{29})}{(h_7 - h_{29})}$$

$$y'_3 = \frac{(918,4 - 744,2) - (0,0947 + 0,0684)(1113,5 - 940,3)}{(3396,3 - 755,8)}$$

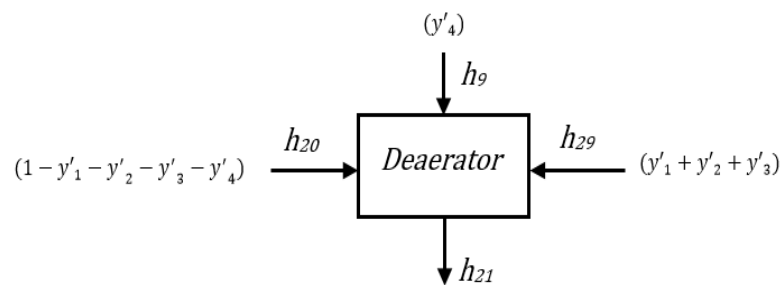
$$y'_3 = 0,0546$$

d. Penentuan Fraksi Massa pada *Deaerator*

Untuk menghitung fraksi massa steam masuk *deaerator* y'_4 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:
 $h_9 = 3127,4 \text{ kJ/kg}$
 $h_{21} = 712,5 \text{ kJ/kg}$
 $h_{29} = 755,8 \text{ kJ/kg}$
- Sisi *water*:
 $h_{20} = 502,5 \text{ kJ/kg}$

Skema inlet outlet pada deaerator ditunjukkan Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Skema fraksi massa ekstraksi pada Deaerator

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa steam masuk *dearator* adalah:

$$(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)h_{20} + y'_4 h_9 + (y'_1 + y'_2 + y'_3)h_{29} - h_{21} = 0$$

$$(1 - (y'_1 + y'_2 + y'_3) - y'_4)h_{20} + y'_4 h_9 + ((y'_1 + y'_2 + y'_3)h_{29} - h_{21}) = 0$$

$$y'_4 = \frac{(h_{21} - h_{20}) - (y'_1 + y'_2 + y'_3)(h_{29} - h_{20})}{(h_9 - h_{20})}$$

$$y'_4 = \frac{(712,5 - 502,5) - (0,0947 + 0,0684 + 0,0546)(755,8 - 502,5)}{(3127,4 - 502,5)}$$

$$y'_4 = 0,0590$$

e. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater 3* (LPH 3)

Untuk menghitung fraksi massa *steam* yang masuk *feedwater heater 3* y'_5 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:

$$h_{12} = 2873 \text{ kJ/kg}$$

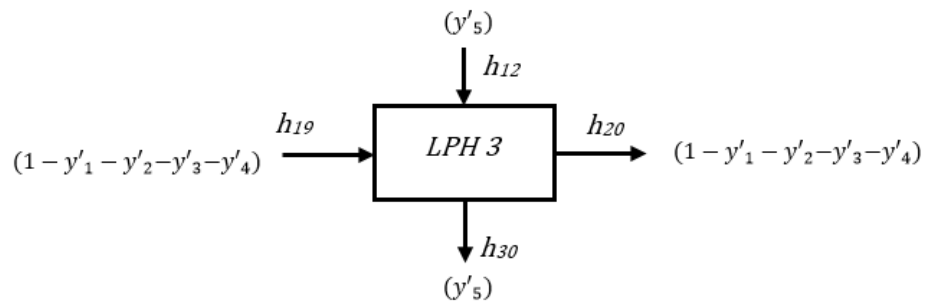
$$h_{30} = 428 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi *water*:

$$h_{19} = 402,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{20} = 502,5 \text{ kJ/kg}$$

Skema *inlet outlet* pada *Feedwater Heater 3* (LPH 3) ditunjukkan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 3

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa *steam* masuk *feedwater heater 3* adalah:

$$y'_5(h_{12} - h_{30}) = (1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_{20} - h_{19})$$

$$y'_5 = \frac{(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_{20} - h_{19})}{(h_{12} - h_{30})}$$

$$y'_5 = \frac{(1 - 0,0947 - 0,0684 - 0,0546 - 0,0590)(502,5 - 402,2)}{(2873 - 428)}$$

$$y'_5 = 0,0297$$

f. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater* (LPH 2)

Untuk menghitung fraksi massa steam masuk feedwater heater 2 y'_6 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:

$$h_{13} = 2678,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{31} = 271,2 \text{ kJ/kg}$$

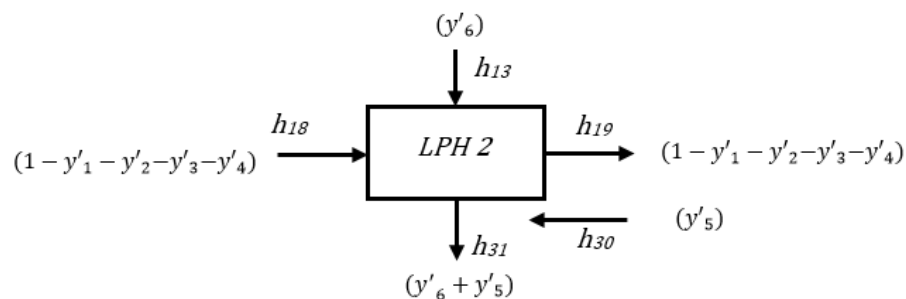
$$h_{30} = 428 \text{ kJ/kg}$$

- Sisi *water*:

$$h_{19} = 402,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{18} = 249,9 \text{ kJ/kg}$$

Gambar 4.6 adalah skema inlet outlet pada *Feedwater Heater* 2 (LPH 2).



Gambar 4.6 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 2

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa steam masuk *feedwater heater* 2 adalah:

$$y'_6(h_{13} - h_{31}) + y'_5(h_{30} - h_{31}) = (1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_{19} - h_{18})$$

$$y'_6 = \frac{(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_{19} - h_{18}) - y'_5(h_{30} - h_{31})}{(h_{13} - h_{31})}$$

$$y'_6 = \frac{(1 - 0,0947 - 0,0684 - 0,0546 - 0,0590)(402,2 - 249,9) - 0,0297(428 - 271,2)}{(2678,7 - 271,2)}$$

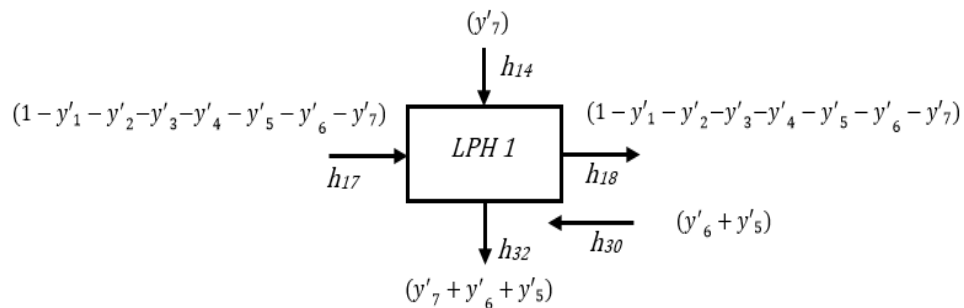
$$y'_6 = 0,0438$$

g. Penentuan Fraksi Massa pada *Feedwater Heater* (LPH 1)

Untuk menghitung fraksi massa *steam* yang masuk ke *feedwater heater* 1 y'_7 diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1, yaitu:

- Sisi *steam*:
 - $h_{14} = 2614,2 \text{ kJ/kg}$
 - $h_{31} = 271,2 \text{ kJ/kg}$
 - $h_{32} = 197,6 \text{ kJ/kg}$
- Sisi *water*:
 - $h_{17} = 180,2 \text{ kJ/kg}$
 - $h_{18} = 249,9 \text{ kJ/kg}$

Gambar 4.7 menampilkan skema inlet outlet pada *Feedwater Heater* 1 (LPH1).



Gambar 4.7 Skema fraksi massa ekstraksi pada LPH 1

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya fraksi massa *steam* masuk *feedwater heater* 1 adalah:

$$y'_7 = \frac{(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4 - y'_5)(h_{18} - h_{17}) - (y'_5 + y'_6)(h_{31} - h_{32})}{(h_{14} - h_{32}) - (h_{18} - h_{17})}$$

$$y'_7 = \frac{(1 - 0,0947 - 0,0684 - 0,0546 - 0,059 - 0,0297)(249,9 - 180,2) - (0,0297 + 0,0438)(271,2 - 197,6)}{(2614,2 - 197,6) - (249,9 - 180,2)}$$

$$y'_7 = 0,0183$$

4.1.2 Perhitungan Kalor yang Dibutuhkan Boiler

Pada boiler terjadi proses pembakaran untuk mengubah fluida air yang dipompa menjadi uap (*steam*) bertekanan untuk menggerakkan turbin. Boiler pada sistem pembangkit ini juga terdapat pemanas ulang (*reheater*). Untuk menghitung kalor yang dibutuhkan boiler dan reheater diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut:

Entalpi fluida kerja pada sisi *inlet* dan *outlet* boiler :

$$h_{26} = 1266,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 3375,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_5 = 3037,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 = 3557,5 \text{ kJ/kg}$$

Dari data awal yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi besarnya kalor yang dibutuhkan boiler dan reheater dapat dihitung.

Boiler:

$$\frac{\dot{Q}_{boiler}}{\dot{m}} = (h_1 - h_{26})$$

$$\frac{\dot{Q}_{boiler}}{\dot{m}} = (3375,4 - 1266,9)$$

$$\frac{\dot{Q}_{boiler}}{\dot{m}} = 2108,5 \text{ kJ/kg}$$

Reheater:

$$\frac{\dot{Q}_{reheater}}{\dot{m}} = (1 - y'_1)(h_6 - h_5)$$

$$\frac{\dot{Q}_{reheater}}{\dot{m}} = (1 - 0,0947)(3557,5 - 3037,2)$$

$$\frac{\dot{Q}_{reheater}}{\dot{m}} = 0,9053 * (3557,5 - 3037,2)$$

$$\frac{\dot{Q}_{reheater}}{\dot{m}} = 472,95 \text{ kJ/kg}$$

4.1.3 Perhitungan Daya Turbin

Turbin pada sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan komponen yang sangat penting karena kerja dari turbin digunakan untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Daya turbin perlu dihitung supaya kebutuhan daya dari generator terpenuhi serta tidak melebihi kapasitas yang dimiliki generator.

a. *High Pressure Turbine*

Untuk menghitung daya pada *high pressure turbine* diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

$$h_1 = 3375,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3190,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 3037,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 3033,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{W_{HPT}}{\dot{m}} = (h_1 - h_2) + (h_2 - h_4) + (h_3 - h_4)$$

$$\frac{W_{HPT}}{\dot{m}} = (3375,4 - 3190,7) + (3190,7 - 3033,1) + (3037,2 - 3033,1)$$

$$\frac{W_{HPT}}{\dot{m}} = 346,4 \text{ kJ/kg}$$

b. *Intermediate Pressure Turbine*

Untuk menghitung daya pada *intermediate pressure turbine* diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

$$h_6 = 3557,5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_7 = 3396,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_8 = 3127,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_9 = 3127,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{11} = 3127,4 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{W_{IPT}}{\dot{m}} = (1 - y'_2)(h_6 - h_7) + (1 - y'_2 - y'_3)(h_7 - h_8) + (1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_9 - h_{11})$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{IPT}}{\dot{m}} &= (1 - 0,0684)(3557,5 - 3396,3) + (1 - 0,0684 - 0,0546)(3396,3 - 3127,4) + (1 \\ &\quad - 0,0684 - 0,0546 - 0,059)(3127,4 - 3127,4) \end{aligned}$$

$$\frac{W_{IPT}}{\dot{m}} = 386,01 \text{ kJ/kg}$$

c. Low Pressure Turbine

Untuk menghitung daya pada low pressure turbine diperlukan beberapa data awal pada tabel 4.1 sebagai berikut:

$$h_{11} = 3127,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{12} = 2873 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{13} = 2678,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14} = 2614,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{15} = 2603,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{LPT}}{\dot{m}} &= (1 - y'_3 - y'_4)(h_{11} - h_{12}) + (1 - y'_3 - y'_4 - y'_5)(h_{12} - h_{13}) + (1 - y'_3 - y'_4 - y'_5 \\ &\quad - y'_6)(h_{13} - h_{14}) + (1 - y'_3 - y'_4 - y'_5 - y'_6 - y'_7)(h_{14} - h_{15}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{LPT}}{\dot{m}} &= (1 - 0,0546 - 0,059)(3127,4 - 2873) \\ &\quad + (1 - 0,0546 - 0,059 - 0,0297)(2873 - 2678,7) \\ &\quad + (1 - 0,0546 - 0,059 - 0,0297 - 0,0438)(2678,7 - 2614,2) \\ &\quad + (1 - 0,0546 - 0,059 - 0,0297 - 0,0438 - 0,0183)(2614,2 \\ &\quad - 2603,3) \end{aligned}$$

$$\frac{W_{LPT}}{\dot{m}} = 453,07 \text{ kJ/kg}$$

4.1.4 Perhitungan Daya yang Dibutuhkan Pompa

Pompa juga merupakan komponen penting pada sistem pembangkit tenaga uap, sehingga kerja yang dibutuhkan pompa perlu diperhitungkan supaya tidak terjadi rasio kerja balik. Rasio kerja balik terjadi ketika kerja yang dibutuhkan pompa lebih besar daripada kerja yang dihasilkan turbin.

a. Perhitungan Daya Pompa CEP

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan pompa CEP diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1 yaitu $h_{17} = 180,2 \text{ kJ/kg}$ dan $h_{16} = 174,3 \text{ kJ/kg}$, sehingga:

$$\frac{W_{CEP}}{\dot{m}} = h_{17} - h_{16}$$

$$\frac{W_{CEP}}{\dot{m}} = 180,2 - 174,3$$

$$\frac{W_{CEP}}{\dot{m}} = 5,9 \text{ kJ/kg}$$

b. Perhitungan Daya Pompa BFP

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan pompa BFP diperlukan beberapa data awal pada Tabel 3.1 yaitu $h_{23} = 744,2 \text{ kJ/kg}$ dan $h_{21} = 715,2 \text{ kJ/kg}$, sehingga:

$$\frac{W_{BFP}}{\dot{m}} = h_{23} - h_{21}$$

$$\frac{W_{BFP}}{\dot{m}} = 744,2 - 715,2$$

$$\frac{W_{BFP}}{\dot{m}} = 29 \text{ kJ/kg}$$

4.1.5 Perhitungan Daya dan Efisiensi Pembangkit Tenaga Uap

Untuk menghitung daya netto dari sistem pembangkit tenaga uap dibutuhkan data laju aliran massa pada boiler yaitu $\dot{m}_1 = 607,26 \text{ kg/s}$, sehingga:

$$W_{siklus} = \left((W_{HPT}/\dot{m} + W_{IPT}/\dot{m} + W_{LPT}/\dot{m}) - (W_{CEP}/\dot{m} + W_{CEP}/\dot{m}) \right) * \dot{m}_1$$

$$W_{siklus} = ((346,4 + 386,01 + 453,01) - (5,9 + 29)) * 607,26$$

$$W_{siklus} = 698.700 \text{ kW}$$

$$W_{siklus} = 698,7 \text{ MW}$$

Sehingga efisiensi termal menjadi:

$$\eta = \frac{(W_{HPT}/\dot{m} + W_{IPT}/\dot{m} + W_{LPT}/\dot{m}) - (W_{CEP}/\dot{m} + W_{BFP}/\dot{m})}{Q_{boiler}/\dot{m} + Q_{reheater}/\dot{m}}$$

$$\eta = \frac{(346,4 + 386,01 + 453,07) - (5,9 + 29)}{2108,5 + 472,95}$$

$$\eta = 1150,52/2581,45$$

$$\eta = 44,57 \%$$

4.1.6 Menentukan Konsumsi Bahan Bakar Batubara

Untuk menentukan konsumsi batubara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran, menggunakan persamaan (2.15), sehingga dengan efisiensi boiler adalah sebesar 87,17 % dan nilai GCV 24306,98 kJ/kg maka:

$$m_{bb} = \frac{607,26 * (3375,4 - 1266,9) + 508,58 * (3557,5 - 3037,2)}{0,8717 * 24306,98}$$

$$m_{bb} = 72,8 \text{ kg/s atau } 262,08 \text{ ton/jam}$$

4.1.7 Menghitung Turbine Heat Rate dan SFC

Turbine Heat Rate dihitung dengan persamaan (2.19).

$$THR = \frac{607,26 * (3375,4 - 1266,9) + 508,58 * (3557,5 - 3037,2)}{698,7}$$

$$THR = 2211,4 \text{ kJ/kWh}$$

Nilai tersebut berarti dibutuhkan energi panas sebesar 2211,4 kJ untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh.

Specific Fuel Consumption dihitung dengan persamaan (2.19) sebagai berikut:

$$SFC = 262,08 / 698,7$$

$$SFC = 0,375$$

yang berarti bahwa untuk membangkitkan listrik 1 kWh dibutuhkan bahan bakar 0,375 kg.

4.2 Analisis Kondisi Supercritical

Kondisi supercritical adalah kondisi dimana tekanan steam berada di atas titik kritis air, yaitu tekanan 221 bar dan temperatur 374°C. Perbedaan secara prinsip antara subcritical dengan supercritical adalah pada tekanan uap superheater yang dihasilkan komponen boiler. Apabila terjadi perubahan nilai tekanan fluida, maka akan berpengaruh terhadap nilai entalpi fluida tersebut.

Jika pada pembangkit acuan kita ubah nilai tekanan uap superheaternya pada kondisi supercritical, misalnya pada tekanan 240 bar dengan temperatur naik 20°C menjadi sebesar 549,8°C, maka nilai entalpi outlet boiler akan berubah dari 3375,4 kJ/kg menjadi 3412,6 kJ/kg. Sehingga panas yang diserap boiler per aliran massa sesuai persamaan (2.6) menjadi:

$$\frac{Q_{boiler}}{\dot{m}} = (h_{out} - h_{in})$$

$$\frac{Q_{boiler}}{\dot{m}} = (3412,6 - 1266,9)$$

$$\frac{Q_{boiler}}{\dot{m}} = 2145,7$$

Dengan perhitungan termodinamika sebagaimana pada bagian sebelumnya, maka efisiensi siklus termal pembangkit menjadi:

$$\eta = \frac{(W_{HPT}/\dot{m} + W_{IPT}/\dot{m} + W_{LPT}/\dot{m}) - (W_{CEP}/\dot{m} + W_{BFP}/\dot{m})}{Q_{boiler}/\dot{m} + Q_{reheater}/\dot{m}}$$

$$\eta = \frac{(383,6 + 383,23 + 471,07) - (5,9 + 29)}{2145,7 + 555,9}$$

$$\eta = \frac{1272,8}{2701,6}$$

$$\eta = 0,4711$$

$$\eta = 47,11 \%$$

Dari perhitungan tersebut dapat dibuktikan bahwa operasi pembangkit pada kondisi supercritical akan meningkatkan efisiensi termal pembangkit daripada kondisi subcritical. Pada kondisi subcritical dengan tekanan steam sebesar 166,92 bar menghasilkan efisiensi sebesar 44,57%, dan pada tekanan supercritical 240 bar efisiensi meningkat menjadi 47,11 %.

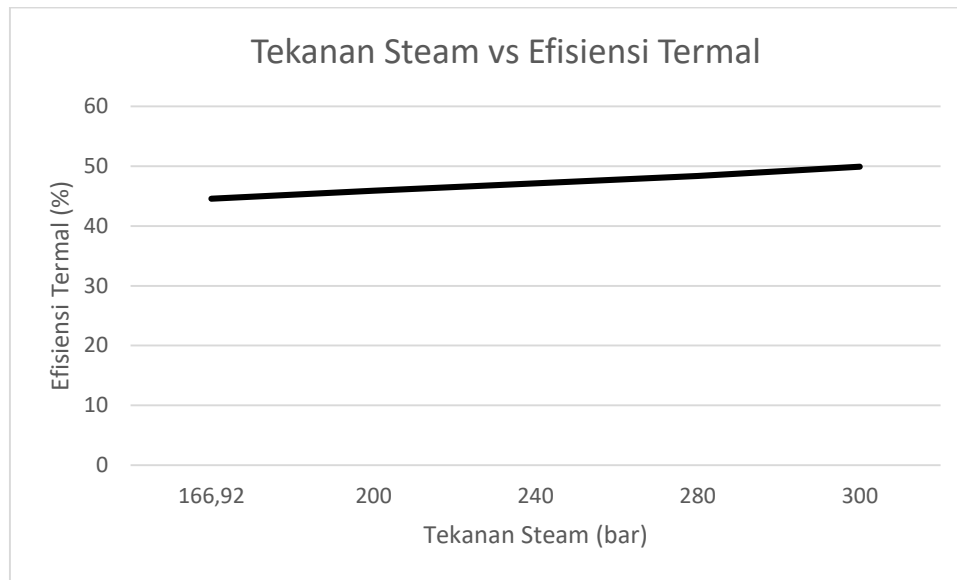
Hasil simulasi perhitungan untuk beberapa variasi nilai tekanan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perhitungan efisiensi termal dengan variasi tekanan steam

| No | Daya (MW) | P _{steam} (bar) | T _w (°C) | T _s (°C) | T _{rh} (°C) | Efisiensi Termal (%) |
|----|--------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 698,7 | 166,92 | 287 | 529,8 | 547,4 | 44,57 |
| 2 | 698,7 | 200 | 287 | 549,8 | 567,4 | 45,91 |
| 3 | 698,7 | 240 | 287 | 569,8 | 587,4 | 47,11 |
| 4 | 698,7 | 280 | 287 | 589,8 | 607,4 | 48,35 |
| 5 | 698,7 | 300 | 287 | 609,8 | 627,4 | 49,94 |

4.2.1 Pengaruh Tekanan Steam terhadap Efisiensi Termal

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dibuat grafik hubungan tekanan steam dengan efisiensi termal pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik pengaruh tekanan steam boiler terhadap efisiensi termal

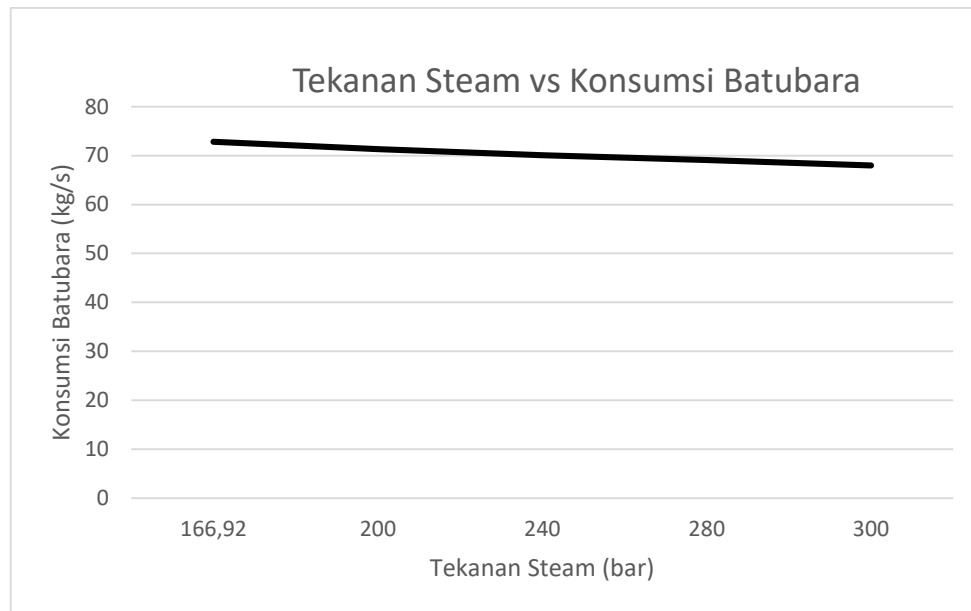
Efisiensi termal pembangkit akan meningkat seiring dengan peningkatan tekanan steam yang keluar dari boiler, hal ini terjadi karena pada saat tekanan steam bertambah, pada temperatur tetap nilai entalpi akan semakin kecil. Pada persamaan (2.10), dengan turunnya nilai entalpi *steam* (h_{out}) maka panas yang diserap boiler akan semakin kecil, sehingga akan meningkatkan efisiensi termal pada persamaan (2.16).

4.2.2 Pengaruh Tekanan Steam terhadap Konsumsi Batubara

Pada kondisi supercritical dimana tekanan *steam* berada di atas titik kritis air, air umpan yang masuk ke boiler akan langsung menjadi uap panas tanpa melalui fase campuran antara uap jenuh dan air, sehingga tidak ada lagi pemisahan antara uap jenuh dengan air lagi. Hal itu berarti proses pembentukan steam yang menuju turbin membutuhkan waktu yang lebih cepat, sehingga akan berakibat pada konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit.

Konsumsi bahan bakar dapat dinyatakan sebagai konsumsi spesifik bahan bakar (*SFC*), yang menggambarkan kebutuhan bahan bakar untuk membangkitkan energi listrik. Pada kondisi subcritical tekanan steam 166,9 bar laju konsumsi bahan bakar adalah 72,8 kg/s. Konsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,375 kg/kWh, yang

berarti untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh membutuhkan batubara sebanyak 0,375 kg. Pengaruh nilai tekanan steam terhadap konsumsi bahan bakar ditunjukkan Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pengaruh tekanan steam terhadap konsumsi batubara

Kebutuhan bahan bakar akan menurun ketika tekanan steam dinaikkan ke kondisi supercritical. Pada tekanan supercritical 240 bar, konsumsi bahan bakar turun menjadi 70,1 kg/s dengan nilai konsumsi spesifik bahan bakar menjadi 0,361 kg/kWh. Peningkatan efisiensi itu akan berakibat pada penghematan penggunaan bahan bakar sebesar 9,72 ton/jam, yang berarti dalam 1 tahun terjadi penghematan sebesar 83.980 ton. Jika mengacu pada harga tertinggi atau *ceiling price* batu bara untuk pembangkit yang diatur dalam Keputusan Menteri ESDM No. 1395 K/30/MEM/2018 tentang Harga Batu Bara untuk Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum sebesar US\$ 70 per ton, maka potensi penghematan biaya bahan bakar sebesar US\$ 5.878.656 atau sekitar 82 milyar rupiah per tahun (dengan asumsi kurs dolar Rp 14.000/ US\$).

4.3 Optimasi menggunakan Algoritma Genetika

Efisiensi sebuah pembangkit listrik merupakan parameter yang sangat penting untuk menilai kinerjanya. Karena selain menguntungkan secara teknis operasional, efisiensi yang optimal juga akan memberikan keuntungan secara ekonomis karena biaya bahan bakar merupakan komponen tertinggi dalam struktur biaya produksi tenaga listrik. Upaya peningkatan efisiensi dapat dilakukan dari sisi penerapan teknologi maupun pengaturan parameter yang lebih optimum. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan sebuah teknik optimasi untuk mendapatkan parameter-parameter operasi yang lebih optimum.

Prinsip sebuah optimasi adalah untuk memperoleh nilai yang paling optimum dari suatu fungsi obyektif, dapat berupa nilai minimum atau maksimumnya. Mengimplementasikan Algoritma Genetika pada software Matlab untuk mencari nilai optimum efisiensi pembangkit listrik pada kondisi tertentu, dengan mendapatkan nilai pada masing-masing parameter yang akan menghasilkan nilai efisiensi paling maksimum.

Parameter-parameter yang akan dilakukan optimasi pada Algoritma Genetika adalah kondisi temperatur fluida kerja pada feedwater, temperatur steam yang dihasilkan boiler, dan temperatur steam yang keluar dari reheater.

4.4 *Runing* Program

4.4.1 Penyusunan Program

Program disusun menggunakan perangkat lunak Matlab R2013a, berupa m file, serta dilengkapi dengan GUI (*Graphical User Interface*) untuk lebih mempermudah penggunaan program. Program yang disusun akan berfungsi untuk menghitung termodinamika pembangkit listrik tenaga uap acuan, berdasarkan kondisi eksisting dan simulasi dengan berbagai variasi tekanan steam agar dapat membandingkan kinerja pembangkit yang bekerja dalam kondisi subcritical dengan supercritical.

Tabel 4.1 merupakan hasil running untuk perhitungan termodinamika berdasarkan kondisi aktual dan simulasi berbagai kenaikan tekanan sampai dengan

kondisi supercritical. Tampilan awal program yang buat apabila dijalankan ditunjukkan Gambar 4.10.

Scheme Heat Mass Balance PLTU

Input Data

| | | |
|-----------------------|--------|-------------|
| Target Eff Boiler | 87.17 | Percent |
| Population Size | 200 | Populations |
| Maximal Generation | 100 | Generations |
| Probability Mutation | 5 | Percent |
| Probability Crossover | 80 | Percent |
| GCVfuel | 5800 | Kcal/kg |
| Power Output 1 | 698700 | Kw |
| Power Output 2 | 700000 | Kw |
| Power Output 3 | 710000 | Kw |
| Power Output 4 | 712000 | Kw |
| Power Output 5 | 720000 | Kw |

| | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|------------------|--------|-----|---------------------|-------|-----|
| Pressure Water 1 | 188.06 | Bar | Pressure Steam 1 | 166.92 | Bar | Pressure Reheater 1 | 36.63 | Bar |
| Pressure Water 2 | 188.06 | Bar | Pressure Steam 2 | 200.00 | Bar | Pressure Reheater 2 | 36.63 | Bar |
| Pressure Water 3 | 188.06 | Bar | Pressure Steam 3 | 240.00 | Bar | Pressure Reheater 3 | 36.63 | Bar |
| Pressure Water 4 | 188.06 | Bar | Pressure Steam 4 | 280.00 | Bar | Pressure Reheater 4 | 36.63 | Bar |
| Pressure Water 5 | 188.06 | Bar | Pressure Steam 5 | 300.00 | Bar | Pressure Reheater 5 | 36.63 | Bar |

Gambar 4.10 Tampilan awal program

Tampilan pada Gambar 4.10 merupakan parameter-parameter *default* yang ada dalam program m file. Nilai-nilai parameter dapat diubah oleh pengguna untuk menentukan variabel-variabel yang ingin dianalisis. Pada penelitian ini dilakukan analisis variasi pada nilai probabilitas mutasi 5% sampai dengan 25% dan pindah silang dari setting awal 80% sampai dengan 60%.

Tombol Running Program akan menampilkan data keluaran berupa grafik proses iterasi nilai fitness untuk setiap kondisi tekanan (sebanyak 5 variasi kondisi). Tombol Output akan menampilkan perbandingan parameter-parameter dan nilai efisiensi termal berdasarkan pemodelan termodinamika dengan nilai efisiensi termal hasil optimasi menggunakan Algoritma Genetika seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Selain tampilan dengan GUI, pada command window juga dapat diperoleh nilai-nilai hasil *running* program secara lebih lengkap antara lain nilai *Turbin Heat Rate*, nilai fitness per generasi, konsumsi batubara, laju masa steam, serta parameter-parameter baru hasil optimasi Algoritma Genetika, maupun berdasarkan pemodelan termodinamika.

4.4.2 Running Algoritma Genetika

Hasil *running* Algoritma Genetika ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel hasil optimasi Algoritma Genetika

| No | Daya | P_{steam} (bar) | T_w (°C) | T_s (°C) | T_{rh} (°C) | m_s kg/s | Efisiensi Termal (%) | Nilai Fitness |
|----|-------|-----------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|-------------------------|------------------|
| 1 | 698,7 | 166,92 | 293,8 | 552,4 | 558,5 | 563,3 | 47,11 | 1,7751 |
| 2 | 698,7 | 200 | 294,1 | 578,5 | 576 | 530,3 | 48,67 | 1,8855 |
| 3 | 698,7 | 240 | 292,6 | 598,7 | 584,8 | 515,3 | 49,24 | 1,9402 |
| 4 | 698,7 | 280 | 293,9 | 617,5 | 593,6 | 500,8 | 50,09 | 1,9858 |
| 5 | 698,7 | 300 | 294,1 | 629,8 | 602 | 487,5 | 50,79 | 2,0517 |

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa optimasi menggunakan Algoritma Genetika dapat memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan proses sebelum menggunakan optimasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Perbandingan nilai parameter input yaitu temperatur steam, temperatur feedwater dan temperatur reheater, sebagai validasi antara proses dari pemodelan termodinamika dan dengan penggunaan Algoritma Genetika ditunjukkan Tabel 4.3.

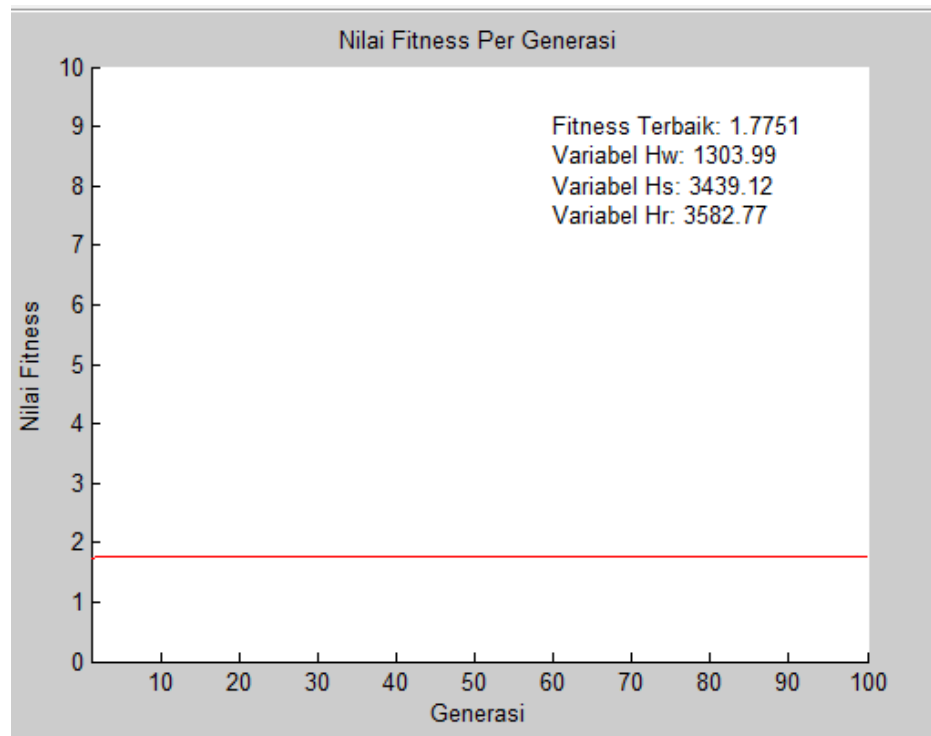
Tabel 4.3. Tabel validasi pemodelan termodinamika vs Algoritma Genetika

| No | P_{steam} (bar) | T_w (°C) | T_s (°C) | T_{rh} (°C) | Efisiensi Termal (%) |
|----|--------------------------|------------|------------|---------------|----------------------|
| 1 | 166,92 | 287 | 529,8 | 547,4 | 44,57 |
| 2 | 166,92 | 293,8 | 552,4 | 558,5 | 47,11 |
| 3 | 200 | 287 | 549,8 | 567,4 | 45,91 |
| 4 | 200 | 294,1 | 578,5 | 576 | 48,67 |
| 5 | 240 | 287 | 569,8 | 587,4 | 47,11 |
| 6 | 240 | 292,6 | 598,7 | 584,8 | 49,24 |
| 7 | 280 | 287 | 589,8 | 607,4 | 48,35 |
| 8 | 280 | 293,9 | 617,5 | 593,8 | 50,09 |
| 9 | 300 | 287 | 609,8 | 627,4 | 49,94 |
| 10 | 300 | 294,1 | 629,8 | 602 | 50,79 |

Perbandingan pada Tabel 4.3 adalah perbandingan untuk masing-masing kondisi tekanan steam boiler yaitu 166,9 , 200, 240, 280, dan 300 bar. Nomor baris ganjil berdasarkan pemodelan termodinamika sedangkan nomor baris genap berdasarkan hasil Algoritma Genetika. Berdasarkan Tabel 4.3 terlihat bahwa untuk meningkatkan efisiensi termal adalah dengan meningkatkan temperatur feedwater dan steam, dan menurunkan temperatur pada keluaran reheater. Hal ini karena temperatur feedwater yang lebih tinggi akan lebih mempercepat waktu pembentukan steam yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin.

Gambar 4.11 menunjukkan ilustrasi seluruh proses Algoritma Genetika dari pembangkitan populasi awal sampai dengan diperoleh populasi baru dalam 1 generasi. Proses dalam Algoritma Genetika akan sangat tergantung pada penentuan parameter algoritma itu sendiri, sebagai contoh apabila pembangkitan nilai random lebih besar dari probabilitas pindah silang, maka tidak akan dilakukan proses pindah silang. Demikian pula pada proses mutasi, mutasi akan dilakukan jika probabilitas mutasi lebih besar dari nilai pembangkitan bilangan random.

Populasi baru yang terbentuk akan menjadi populasi awal pada generasi berikutnya. Nilai fitness pada suatu generasi tidak akan mungkin lebih kecil daripada generasi sebelumnya karena telah melalui proses elitisme, dimana individu dengan nilai fitness terbaik pada populasi awal akan langsung menjadi individu pada populasi akhir dalam generasi tersebut.



Gambar 4.12 Proses iterasi Algoritma Genetika

Hasil iterasi nilai fitness dari generasi ke generasi pada kondisi tekanan steam 166,9 bar ditunjukkan Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil iterasi nilai fitness per generasi

| Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) | Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) | Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
| 1 | 1,7524 | 16 | 1,7709 | 31 | 1,7731 |
| 2 | 1,7645 | 17 | 1,7709 | 32 | 1,7731 |
| 3 | 1,7645 | 18 | 1,771 | 33 | 1,7731 |
| 4 | 1,7645 | 19 | 1,7721 | 34 | 1,7731 |
| 5 | 1,7645 | 20 | 1,7721 | 35 | 1,7731 |
| 6 | 1,7645 | 21 | 1,7721 | 36 | 1,7731 |
| 7 | 1,7645 | 22 | 1,7721 | 37 | 1,7731 |
| 8 | 1,7653 | 23 | 1,7723 | 38 | 1,7731 |
| 9 | 1,7653 | 24 | 1,773 | 39 | 1,7731 |
| 10 | 1,7671 | 25 | 1,773 | 40 | 1,7731 |
| 11 | 1,7671 | 26 | 1,7731 | 41 | 1,7731 |
| 12 | 1,7671 | 27 | 1,7731 | 42 | 1,7731 |
| 13 | 1,7681 | 28 | 1,7731 | 43 | 1,7731 |
| 14 | 1,7681 | 29 | 1,7731 | 44 | 1,7731 |
| 15 | 1,7709 | 30 | 1,7731 | 45 | 1,7731 |

Tabel 4.4 (lanjutan)

| Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) | Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) | Generasi ke- | Fitness ($\times 10^{-3}$) |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
| 46 | 1,7731 | 61 | 1,7741 | 76 | 1,7751 |
| 47 | 1,7731 | 62 | 1,7741 | 77 | 1,7751 |
| 48 | 1,7731 | 63 | 1,7741 | 78 | 1,7751 |
| 49 | 1,7731 | 64 | 1,7741 | 79 | 1,7751 |
| 50 | 1,7737 | 65 | 1,7741 | 80 | 1,7751 |
| 51 | 1,7737 | 66 | 1,7741 | . | 1,7751 |
| 52 | 1,7737 | 67 | 1,7741 | . | 1,7751 |
| 53 | 1,7737 | 68 | 1,7741 | . | 1,7751 |
| 54 | 1,7737 | 69 | 1,7741 | . | 1,7751 |
| 55 | 1,7737 | 70 | 1,7741 | . | 1,7751 |
| 56 | 1,7737 | 71 | 1,7751 | . | 1,7751 |
| 57 | 1,7737 | 72 | 1,7751 | . | 1,7751 |
| 58 | 1,7737 | 73 | 1,7751 | . | 1,7751 |
| 59 | 1,7737 | 74 | 1,7751 | . | 1,7751 |
| 60 | 1,7737 | 75 | 1,7751 | 100 | 1,7751 |

Sesuai Tabel 4.4 terlihat bahwa Algoritma Genetika dapat menghasilkan nilai fitness yang konvergen pada generasi ke-71 yaitu nilai fitness sebesar $1,7751 \times 10^{-3}$ dan iterasi tetap terus berlangsung sampai dengan generasi ke-100. Kondisi ini sesuai dengan konsep Algoritma Genetika, dimana pada generasi tertentu hasil dari proses menuju pada suatu nilai yang konvergen, dan ini merupakan salah satu indikator bahwa proses Algoritma Genetika yang dilakukan berhasil dan operator genetika dalam Algoritma Genetika telah dapat berfungsi dengan baik.

Pengujian program juga dilakukan untuk beberapa kali running program. Nilai efisiensi dari beberapa kali running ditunjukkan Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel nilai efisiensi dari variasi running program

| No | Tekanan (bar) | Efisiensi Termal (%) | | | | |
|----|---------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Running ke-1 | Running ke-2 | Running ke-3 | Running ke-4 | Running ke-5 |
| 1 | 166,9 | 47,11 | 47,15 | 47,12 | 47,13 | 47,15 |
| 2 | 200 | 48,67 | 48,85 | 48,56 | 48,61 | 48,65 |
| 3 | 240 | 49,24 | 49,26 | 49,41 | 49,35 | 49,41 |
| 4 | 280 | 50,09 | 50,07 | 50,07 | 50,09 | 50,11 |
| 5 | 300 | 50,79 | 50,79 | 50,82 | 50,78 | 50,79 |

Hasil pengujian sebanyak 5 kali running menunjukkan hasil yang relatif hampir sama, hal ini juga menunjukkan bahwa algoritma yang dibangun dapat berfungsi dengan baik.

4.4.3 Analisis Pengaruh Variasi Parameter Algoritma Genetika

Analisis juga dapat dilakukan dengan memvariasikan nilai parameter dari Algoritma Genetika, salah satunya adalah nilai probabilitas mutasi. Proses mutasi terhadap suatu individu hanya dilakukan jika nilai bilangan pembangkitan lebih kecil dari probabilitas mutasi. Jika tidak dibatasi, proses mutasi akan dilakukan terhadap seluruh individu. Hal ini justru dapat berakibat buruk karena individu hasil mutasi justru memiliki nilai fitness yang kecil. Tabel 4.6 menunjukkan nilai efisiensi yang dihasilkan dengan variasi nilai probabilitas mutasi.

Tabel 4.6 Tabel nilai efisiensi dengan variasi nilai probabilitas mutasi

| No | Tekanan (bar) | Efisiensi Termal (%) | | | | |
|----|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Prob. Mutasi 5% | Prob. Mutasi 10% | Prob. Mutasi 15% | Prob. Mutasi 20% | Prob. Mutasi 25% |
| 1 | 166,9 | 47,11 | 47,02 | 47,07 | 46,86 | 46,94 |
| 2 | 200 | 48,67 | 48,62 | 48,62 | 48,31 | 47,79 |
| 3 | 240 | 49,24 | 49,39 | 49,21 | 48,9 | 49,4 |
| 4 | 280 | 50,09 | 50,07 | 49,97 | 50,01 | 49,92 |
| 5 | 300 | 50,79 | 50,39 | 50,6 | 50,2 | 50,49 |

Nilai efisiensi dengan variasi nilai probabilitas pindah silang ditunjukkan Tabel 4.6.

Tabel 4.7 Tabel nilai efisiensi dengan variasi nilai probabilitas pindah silang

| No | Tekanan (bar) | Efisiensi Termal (%) | | | | |
|----|------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Crossover 80% | Crossover 75% | Crossover 70% | Crossover 65% | Crossover 60% |
| 1 | 166,9 | 47,11 | 47,14 | 47,03 | 47,14 | 47,13 |
| 2 | 200 | 48,67 | 48,65 | 48,68 | 48,65 | 48,62 |
| 3 | 240 | 49,24 | 49,4 | 49,41 | 49,41 | 49,38 |
| 4 | 280 | 50,09 | 50,00 | 50,1 | 50,12 | 50,07 |
| 5 | 300 | 50,79 | 50,56 | 50,77 | 50,81 | 50,82 |

Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 terlihat bahwa rata-rata nilai efisiensi yang diperoleh relatif hampir sama pada pengujian dengan variasi nilai parameter Algoritma Genetika. Hal ini disebabkan oleh fungsi fitnessnya merupakan sebuah fungsi sederhana dan populasi yang dibangkitkan banyak, sehingga proses iterasi menuju nilai yang paling optimum akan relatif lebih mudah dan cepat diperoleh.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan termodinamika pembangkit listrik tenaga uap akan dapat mengetahui kinerjanya dari nilai efisiensi, *turbine heat rate*, serta *specific fuel consumption*, yang masing-masing nilainya adalah 44,57%, 2211,4 kJ/kg dan 0,375 kg/kWh.
2. Simulasi pengoperasian pembangkit dari kondisi subcritical menjadi supercritical akan meningkatkan efisiensi termal, yang berakibat pada penghematan penggunaan bahan bakar. Pada tekanan steam boiler subcritical 166,9 bar efisiensi termal sebesar 44,57 % sedangkan pada tekanan supercritical 240 bar, efisiensi meningkat menjadi 47,11 %.
3. Penerapan Algoritma Genetika dapat mengoptimasi nilai efisiensi termal, yaitu pada pada tekanan steam boiler subcritical 166,9 bar efisiensi termal yang semula 44,57% meningkat menjadi 47,11% dan pada tekanan supercritical 240 bar, efisiensi meningkat dari 47,11 % menjadi 49,24 % seperti ditunjukkan Tabel 4.3.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penelitian dapat dilanjutkan dengan metode optimasi lain untuk membandingkan efektifitasnya.
2. Penelitian dapat dilakukan lebih lanjut dengan berbagai masukan variabel yang berbeda.
3. Dapat dilakukan analisis lebih lanjut dari sisi ekonomi untuk penggunaan batubara dengan nilai kalor yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Murti *et al.*, *PLTU Batubara Superkritikal Yang Efisien*. Tangerang Selatan, Banten: Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2015.
- [2] S. Moazzem, M. . Rasul, dan M. M. . Khan, “A Review on Technologies for Reducing CO2 Emission from Coal Fired Power Plants,” in *Thermal Power Plants*, vol. 11, no. A Review on Technologies for Reducing CO2 Emission from Coal Fired Power Plants, 2012, hal. 227–254.
- [3] S. Rezvani, Y. Huang, D. McIlveen-Wright, N. Hewitt, dan Y. Wang, “Comparative assessment of sub-critical versus advanced super-critical oxyfuel fired PF boilers with CO2 sequestration facilities,” *Fuel*, vol. 86, no. 14 SPEC. ISS., hal. 2134–2143, 2007.
- [4] Y. Honghai, W. Zhi, C. Li, dan W. Jianan, “CO2 Emission Calculation and Emission Characteristics Analysis of Typical 600MW Coal-fired Thermal Power Unit,” *E3S Web Conf.*, vol. 165, hal. 1–4, 2020.
- [5] M. G. Agusta, “Algoritma Genetika,” INSTITUT PERTANIAN BOGOR, 2018.
- [6] A. Ulinuha, “Ukuran Optimal Populasi Algoritma Genetika dan Unjuk Kerjanya dalam Perolehan Solusi Global Optimal,” *Simp. Nas. RAPI XIV-2015FT UMS*, hal. 121–127, 2015.
- [7] L. Chao, L. Ke, W. Yongzhen, M. Zhitong, dan G. Yulie, “The Effect Analysis of Thermal Efficiency and Optimal Design for Boiler System,” in *Energy Procedia*, 2017, vol. 105, hal. 3045–3050.
- [8] M. Nuriyadi dan F. Faldian, “Optimasi Sistem Boiler dengan Variasi Pengaturan Temperatur (Boiler System Optimization by Temperature Setting Variation),” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 3, no. 2, hal. 60–65, 2019.
- [9] N. Novarini dan S. Sukadi, “Efisiensi Termal Boiler Menggunakan Bahan Bakar Campuran Batubara Lignit dan Cangkang Biji Jambu Mete,” *Semesta Tek.*, vol. 22, no. 1, hal. 73–78, 2019.
- [10] M. Mirza Aminudin, “Analisis Termodinamika Pengaruh Tekanan dan Temperatur pada Reheater terhadap PLTU Supercritical dengan Pemodelan Gate Cycle,” Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2016.
- [11] E. F. Ansori, “Analisis Termodinamika Pengaruh Operasi Feedwater Heater Pada Performa PLTU 3 Bangka Belitung Menggunakan Software Cycle Tempo,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.

- [12] R. Suntivarakorn dan W. Treedet, "Improvement of Boiler's Efficiency Using Heat Recovery and Automatic Combustion Control System," *Energy Procedia*, vol. 100, no. September, hal. 193–197, 2016.
- [13] D. B. Syahna, D. Priambodo, E. Dewita, dan I. D. Irianto, "APLIKASI KONDISI FLUIDA SUPERKRITIS PADA HTGR-10 MWth," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, 2016, hal. 913–920.
- [14] P. Sarda, E. Hedrick, K. Reynolds, D. Bhattacharyya, S. E. Zitney, dan B. Omell, "Development of a dynamic model and control system for load-following studies of supercritical pulverized coal power plants," *Processes*, vol. 6, no. 11, 2018.
- [15] W. Elsner, M. Marek, dan Ł. Kowalczyk, "Evaluation of IPSEpro extended by MATLAB applied to steam turbine cycle analysis," *J. Power Technol.*, vol. 95, no. 3, hal. 192–200, 2015.
- [16] Y. Pravitasari, M. B. Malino, dan M. Novitasari, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *Prism. Fis.*, vol. V, no. 01, hal. 9–12, 2017.
- [17] A. Aziz dan A. Rinaldi Hasan, "Evaluasi Heat Rate dan Efisiensi Suatu PLTU dengan menggunakan Batubara yang Berbeda dari Spesifikasi Design," *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 11, hal. 1–6, 2015.
- [18] I. Santiatma, "Pemodelan dan Analisa Boiler menggunakan Kesetimbangan Massa dan Energi," 2017.
- [19] K. Anwar, M. H. Basri, dan I. Tobe, "Analisis Eksergi pada Sistem Pembangkit Daya Tenaga Uap (PLTU) Palu," *Proceeding SNTTM XII*, no. Snttm Xii, hal. 314–320, 2013.
- [20] M. S. K. T. S. Utomo, E. Yohana, dan I. A. M, "Exergy and Energy Analysis of a Steam Power Plant Unit 3 at Tanjung Jati B with a Capacity of 660 MW," *Pros. SNTTM XVIII*, no. KE02, hal. 9–10, 2019.
- [21] Sunarwo dan Supriyo, "Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3," *Tek. Energi*, vol. 11, no. 3, hal. 61–68, 2015.
- [22] A. Sinaga, "Pengaruh Air Heater terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pada Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan," Universitas Medan Area, 2019.
- [23] R. Subagyo, "Turbin Uap Hmkb760," 2018.
- [24] W. Mustofa, "Bab II PLTU Tanjung Jati," Unissula, 2017.

- [25] Bambang Winardi, “ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (STUDI KASUS DI PT. INDONESIA POWER SEMARANG) Bambang,” *Semin. Nas. Electr. Informatics, It’S Educ.*, no. 2, hal. 34–37, 2009.
- [26] Jamaludin dan I. Kurniawan, “Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan Dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 2 Di Pt. Indonesia Power Uboh Ujp Banten 3 Lontar,” *J. Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Tangerang*, hal. 1–8, 2004.
- [27] F. Sihombing, Karnoto, dan B. Winardi, “Tenaga Uap Studi Kasus PT . PLN Pembangkitan Tanjung Jati,” *Transient*, vol. 4, no. 4, 2015.
- [28] N. Tiandini, “PENERAPAN METODE KOMBINASI ALGORITMA GENETIKA DAN TABU SEARCH DALAM OPTIMASI ALOKASI KAPAL PETI KEMAS (STUDI KASUS : PT. XYZ),” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.
- [29] A. N. Putra, “ANALISA PENJADWALAN UNIT PEMBANGKIT DENGAN METODE MICRO-GENETIC ALGORITHM TERHADAP MASALAH ECONOMIC DISPATCH (Studi Kasus di PLTG Tambak Lorok Semarang),” 2019.
- [30] M. S. K. Tony Suryo U, E. Yohana, S. D. Priyanto, M. Ignatius Apriyanto, dan Tauviqirrahman, “Energy and Exergy Analysis of Steam Power Plant 3rd Unit PT PLN (PERSERO) Centre Unit Generation Tanjung Jati B Use BFP-T Modification Cycle,” *E3S Web Conf.*, vol. 125, no. 201 9, 2019.

LAMPIRAN

1. Susunan Program Matlab

```
clc
%clear all
global Target
global Population
global Generation
global Mutation
global Crossover
global GCVfuel
global Power1
global Power2
global Power3
global Power4
global Power5
global PressWater1
global PressWater2
global PressWater3
global PressWater4
global PressWater5
global PressSteam1
global PressSteam2
global PressSteam3
global PressSteam4
global PressSteam5
global PressReheater1
global PressReheater2
global PressReheater3
global PressReheater4
global PressReheater5

setting = str2num(Target);
populasi = str2num(Population);
generation = str2num(Generation);
mutasi = str2num(Mutation);
crossover = str2num(Crossover);
gcv = str2num(GCVfuel);
power1 = str2num(Power1);
power2 = str2num(Power2);
power3 = str2num(Power3);
power4 = str2num(Power4);
power5 = str2num(Power5);
water1 = str2num(PressWater1);
water2 = str2num(PressWater2);
water3 = str2num(PressWater3);
water4 = str2num(PressWater4);
water5 = str2num(PressWater5);
steam1 = str2num(PressSteam1);
steam2 = str2num(PressSteam2);
steam3 = str2num(PressSteam3);
steam4 = str2num(PressSteam4);
steam5 = str2num(PressSteam5);
```

```

reheater1 = str2num(PressReheater1);
reheater2 = str2num(PressReheater2);
reheater3 = str2num(PressReheater3);
reheater4 = str2num(PressReheater4);
reheater5 = str2num(PressReheater5);

Mass2 = 57.2;%aliran massa ekstraksi HPT1 (kg/s)
Mass3 = 550.06;%aliran massa outlet HPT(kg/s)
Mass4 = 41.48;%aliran massa ekstraksi HPT2 (kg/s)
Mass5 = 508.8;%aliran massa inlet reheater (kg/s)
Mass6 = 508.8;%aliran massa outlet reheater (kg/s)
Mass7 = 33.16;%aliran massa ekstraksi IPT1 (kg/s)
Mass8 = 22.23;%aliran massa ekstraksi IPT2 (kg/s)
Mass9 = 58.53;%aliran massa ekstraksi IPT3 (kg/s)
Mass10 = 22.23;%aliran massa inlet condenser1 (kg/s)
Mass11 = 394.66;%aliran massa outlet IPT (kg/s)
Mass12 = 16.67;%aliran massa ekstraksi LPT1 (kg/s)
Mass13 = 23.89;%aliran massa ekstraksi LPT2 (kg/s)
Mass14 = 10.15;%aliran massa ekstraksi LPT3 (kg/s)
Mass15 = 343.95;%aliran massa inlet condenser2 (kg/s)
Mass16 = 416.89;%aliran massa outlet condenser (kg/s)
Mass17 = 416.89;%aliran massa inlet LPH1 (kg/s)
Mass18 = 416.89;%aliran massa outlet LPH1 (kg/s)
Mass19 = 416.89;%aliran massa outlet LPH2(kg/s)
Mass20 = 416.89;%aliran massa outlet LPH3(kg/s)
Mass21 = 607.26;%aliran massa outlet daerator (kg/s)
Mass22 = 5.7;%aliran massa inlet daerator (kg/s)
Mass23 = 601.56;%aliran massa inlet HPH5 (kg/s)
Mass24 = 601.56;%aliran massa outlet HPH5 (kg/s)
Mass25 = 601.56;%aliran massa outlet HPH6 (kg/s)
Mass26 = 601.56;%aliran massa outlet feedwater (kg/s)
Mass27 = 57.2;%aliran massa drain inlet HPH6 (kg/s)
Mass28 = 98.67;%aliran massa drain inlet HPH5 (kg/s)
Mass29 = 131.84;%aliran massa drain inlet daerator (kg/s)
Mass30 = 16.67;%aliran massa drain inlet LPH2 (kg/s)
Mass31 = 40.56;%aliran massa drain inlet LPH1 (kg/s)
Mass32 = 50.71;%aliran massa ekstraksi outlet LPH1 (kg/s)

Press1 = 166.92;%tekanan main steam (bar)
Press2 = (Press1-((56.65/100)*Press1));%tekanan ekstraksi HPT1
Press3 = (Press1-((75.85/100)*Press1));%tekanan outlet HPT
Press4 = (Press3-((1.16/100)*Press3));%tekanan ekstraksi HPT2
Press5 = Press3;%tekanan inlet reheater steam (bar)
Press6 = 36.63;%tekanan outlet reheater steam (bar)
Press7 = (Press6-((45.45/100)*Press6));%tekanan ekstraksi IPT1
Press8 = (Press6-((78.76/100)*Press6));%tekanan ekstraksi IPT2
Press9 = Press8;%tekanan ekstraksi IPT3
Press11 = Press9;%tekanan outlet IPT
Press10 = (Press11-((98.97/100)*Press11));%tekanan inletcondenser1
Press12 = (Press11-((85.73/100)*Press11));%tekanan ekstraksi LPT1
Press13 = (Press11-((85.98/100)*Press11));%tekanan ekstraksi LPT2
Press14 = (Press11-((97.04/100)*Press11));%tekanan ekstraksi LPT3
Press15 = (Press11-((97.78/100)*Press11));%tekanan inletcondenser2
Press16 = (Press10-((12.5/100)*Press10));%tekanan outlet condenser
Press17 = (Press16+((29080/100)*Press16));%tekanan inlet LPH1
Press18 = (Press17-((99.02/100)*Press17));%tekanan outlet LPH1

```

```

Press19 = (Press18+((340/100)*Press18));%tekanan outlet LPH2
Press20 = (Press19+((742.04/100)*Press19));%tekanan outlet LPH3
Press21 = (Press9-((1.92/100)*Press9));%tekanan outlet daerator
Press22 = (Press21+((2585.05/100)*Press21));%inlet daerator
Press23 = Press22;%tekanan inlet HPH5
Press24 = (Press23-((89.81/100)*Press23));%tekanan outlet HPH5
Press25 = (Press24+((85.52/100)*Press24));%tekanan outlet HPH6
Press26 = 188.06;%tekanan outlet feedwater
Press27 = (Press2-((39.57/100)*Press2));%tekanan drain inlet HPH6
Press28 = (Press4-((42.59/100)*Press4));%tekanan drain inlet HPH5
Press29 = (Press7-((51.7/100)*Press7));%drain inlet daerator
Press30 = (Press12-((1.8/100)*Press12));%tekanan drain inlet LPH2
Press31 = (Press13-((77.06/100)*Press13));%tekanan draininlet LPH1
Press32 = (Press14-((52.17/100)*Press14));%ekstraksi outlet LPH1

```

```

dataY1 = 100;
dataY2 = 1000;
DataVariasi = 5;
dataX1 = power1/1000;
dataX2 = power5/1000;
dataX3 = steam1-10;
dataX4 = steam5+10;
Setting = setting/100;

```

```

%Grafik Hasil Optimasi Effisiensi Boiler & Thermal Thd Daya
hfig1 = figure;
hold on
title('Hasil Optimasi GA Effisiensi Boiler & Thermal')
set(hfig1, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig1, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([(dataX1-5) (dataX2+5) 0 dataY1]);
Effplot1 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
Effplot2 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
htext1 = text(10+dataX1,0.3*dataY1,sprintf('Biru ~ Effisiensi
Boiler %3.2f', 0.00));
htext2 = text(10+dataX1,0.2*dataY1,sprintf('Hijau ~ Effisiensi
Thermal %3.2f', 0.00));
xlabel('Power (MW)');
ylabel('Efficiency (%)');
hold off
drawnow;

```

```

%Inisialisasi Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
Effisiensi Thermal Thd Tekanan
hfig2 = figure;
hold on
title('Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap Effisiensi
Thermal')
set(hfig2, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig2, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([dataX3 dataX4 0 dataY1]);
Effplot3 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
Effplot4 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
htext3 = text(25+dataX3,0.3*dataY1,sprintf('Hijau ~ Effisiensi
Thermal GA %3.2f', 0.00));

```

```

htext4 = text(25+dataX3,0.2*dataY1,sprintf('Merah ~ Effisiensi
Thermal Data %3.2f', 0.00));
xlabel('Pressure Steam (Bar)');
ylabel('Efficiency (%)');
hold off
drawnow;

%Inisialisasi Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
Effisiensi Boiler Thd Tekanan
hfig3 = figure;
hold on
title('Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap Effisiensi
Boiler')
set(hfig3, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig3, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([dataX3 dataX4 0 dataY1]);
Effplot5 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
Effplot6 = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
htext5 = text(25+dataX3,0.3*dataY1,sprintf('Hijau ~ Effisiensi
Boiler GA %3.2f', 0.00));
htext6 = text(25+dataX3,0.2*dataY1,sprintf('Merah ~ Effisiensi
Boiler Data %3.2f', 0.00));
xlabel('Pressure Steam (Bar)');
ylabel('Efficiency (%)');
hold off
drawnow;

%Inisialisasi Grafik Suhu Steam Terhadap Daya
hfig4 = figure;
hold on
title('Hasil Optimasi GA Suhu Steam Terhadap Daya')
set(hfig4, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig4, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([(dataX1-5) (dataX2+5) 300 800]);
Tempplot = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
xlabel('Power (MW)');
ylabel('Suhu Steam (Celcius)');
hold off
drawnow;

%Inisialisasi Grafik Aliran Massa Steam Terhadap Daya
hfig5 = figure;
hold on
title('Hasil Optimasi GA Aliran Massa Terhadap Daya')
set(hfig5, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig5, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([(dataX1-5) (dataX2+5) 0 1000]);
Flowplot = plot(zeros(1,DataVariasi),zeros(1,DataVariasi));
xlabel('Power (MW)');
ylabel('Mass Flow (Kg/s)');
hold off
drawnow;

```

```

%Inisialisasi Grafik Daya Output Pembangkitan
hfig6 = figure;
hold on
title('Daya Output Pembangkitan')
set(hfig6, 'position', [1000,350,400,300]);
set(hfig6, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([0.5 DataVariasi 0 dataY2]);
Powerplot = plot(1:DataVariasi,zeros(1,DataVariasi));
xlabel('Banyak Daya Di Bangkitkan');
ylabel('Power (MW)');
hold off
drawnow;

%Mulai Perhitungan Optimasi Data Dengan GA
for Loop=1:DataVariasi,

    PowerGenerator =
    updatePower(Loop,power1,power2,power3,power4,power5);
    PressWater =
    updatePressWater(Loop,water1,water2,water3,water4,water5);
    PressSteam =
    updatePressSteam(Loop,steam1,steam2,steam3,steam4,steam5);
    PressReheater =
    updatePressReheater(Loop,reheater1,reheater2,reheater3,reheater4,r
eheater5);

    GCV = gcv*4.2;
    Daya = PowerGenerator/1000;

    Nvar = 3;%jml kromosom/variabel yang dibangkitkan di GA
    Nbit = 20;%maks nilai bit variabel yg diubah ke biner
    JumGen = Nbit*Nvar;%jml gen dlm satu populasi
    AntiKonvergensi = 10^-1;%agar tdk terjadi konvergensi dini
    if ((steam1 ~= steam2) && (steam1 ~= steam5)),
        batasAtasHs = updatebatasHs1(PressSteam);
        batasAtasHr = updatebatasHw1(PressSteam);
    else
        batasAtasHs = updatebatasHs2(PowerGenerator);
        batasAtasHr = updatebatasHw2(PowerGenerator);
    end
    batasAtasHw = 1304.4;
    batasBawahHs = 3165.9;
    batasBawahHw = 1133.8;
    batasBawahHr = 3317.0;
    Psilang = crossover/100;%prob terjadinya pindahsilang pada skala 1
    Pmutasi = mutasi/100;%prob terjadinya mutasi pada skala 1
    MaxG = generation;%jml iterasi generasi yang dilakukan
    UkPop = populasi;%jml populasi dalam 1 generasi saat iterasi

%Inisialisasi Grafik Fitness Terhadap Generasi
hfig7 = figure;
hold on
title('Nilai Fitness Per Generasi')
set(hfig7, 'position', [1000,250,550,400]);
set(hfig7, 'DoubleBuffer', 'on');

```

```

axis([1 MaxG 0 10]);
hbestplot = plot(1:MaxG, zeros(1,MaxG));
htextA = text(0.6*MaxG,9.0,sprintf('Fitness Terbaik: %1.4f',
0.0));
htextB = text(0.6*MaxG,8.5,sprintf('Variabel Hw: %7.2f',
0.0));
htextC = text(0.6*MaxG,8.0,sprintf('Variabel Hs: %7.2f',
0.0));
htextD = text(0.6*MaxG,7.5,sprintf('Variabel Hr: %7.2f',
0.0));
xlabel('Generasi');
ylabel('Nilai Fitness');
hold off
drawnow;

Populasi = InisialisasiPopulasi(UkPop,JumGen);
for generasi=1:MaxG,

    x =
DekodekanKromosom(Populasi(1,:),Nvar,Nbit,batasAtasHs,batasBawahHs
,batasAtasHw,batasBawahHw,batasAtasHr,batasBawahHr);

    Fitness(1) =
EvaluasiIndividu2(x,AntiKonvergensi,PowerGenerator);
    MaxF = Fitness(1);
    MinF = Fitness(1);
    IndeksIndividuTerbaik = 1;

    for ii=2:UkPop,
        Kromosom = Populasi(ii,:);
        x =
DekodekanKromosom(Kromosom,Nvar,Nbit,batasAtasHs,batasBawahHs,bata
sAtasHw,batasBawahHw,batasAtasHr,batasBawahHr);
        Fitness(ii) =
EvaluasiIndividu2(x,AntiKonvergensi,PowerGenerator);

        if (Fitness(ii)>MaxF),
            MaxF = Fitness(ii);
            IndeksIndividuTerbaik = ii;
            BestX = x;

        end
        if (Fitness(ii)<MinF),
            MinF = Fitness(ii);
        end
    end

    %Grafik Fitness Terhadap Generasi
    fitness = MaxF*10^3;
    plotvector = get(hbestplot,'YData');
    plotvector(generasi) = fitness;
    set(hbestplot,'YData',plotvector);
    set(htextA,'String',sprintf('Fitness Terbaik: %1.4f',
fitness));

```

```

        set(htextB, 'String', sprintf('Variabel Hw: %7.2f',
BestX(2)));
        set(htextC, 'String', sprintf('Variabel Hs: %7.2f',
BestX(1)));
        set(htextD, 'String', sprintf('Variabel Hr: %7.2f',
BestX(3)));
        set(hbestplot, 'Color', 'red');
        drawnow

%Menghitung Fraksi Massa Ekstraksi
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 7
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h2 = 3109.7;
h27 = 1113.5;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h25 = 1077.9;
h26 = BestX(2);
y1 = (h26-h25)/(h2-h27);
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 6
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h4 = 3033.1;
h27 = 1113.5;
h28 = 940.3;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h24 = 918.4;
h25 = 1077.9;
y2 = ((h25-h24)-(y1*(h27-h28)))/(h4-h28);
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 5
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h7 = 3396.3;
h28 = 940.3;
h29 = 755.8;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h23 = 744.2;
h24 = 918.4;
y3 = ((h24-h23)-((y1+y2)*(h28-h29)))/(h7-h29);
%Fraksi Massa Feedwater Pada Daerator
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h9 = 3127.4;
h21 = 712.5;
h29 = 755.8;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h20 = 502.5;
y4 = ((h21-h20)-((y1+y2+y3)*(h29-h20)))/(h9-h20);
%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 3
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h12 = 2873;
h30 = 428;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h19 = 402.2;
h20 = 502.5;
y5 = ((1-y1-y2-y3-y4)*(h20-h19))/(h12-h30);
%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 2
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h13 = 2678.7;
h30 = 428;

```

```

h31 = 271.2;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h18 = 249.9;
h19 = 402.2;
y6 = ((1-y1-y2-y3-y4)*(h19-h18)-(y5*(h30-h31)))/(h13-h31);
%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 1
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h14 = 2614.2;
h31 = 271.2;
h32 = 197.6;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h17 = 180.2;
h18 = 249.9;
y7 = ((1-y1-y2-y3-y4-y5)*(h18-h17)-((y5+y6)*(h31-
h32)))/((h14-h32)-(h18-h17));

%Menentukan Daya Yang Dibutuhkan Pompa
%Daya Pompa CEP (kJ/kg)
h16 = 174.3;
h17 = 180.2;
Wcep = h17-h16;
%Daya Pompa BFP (kJ/kg)
h21 = 715.2;
h22 = 744.2;
Wbfp = h22-h21;

%Menentukan Daya Masing Masing Turbin
%High Pressure Turbin (kJ/kg)
h1 = BestX(1);
h2 = 3190.7;
h3 = 3037.2;
h4 = 3033.1;
Whpt = (h1-h2)+(h2-h4)+(h3-h4);
%Intermediate Pressure Turbin (kJ/kg)
h5 = 3037.2;
h6 = BestX(3);
h7 = 3396.3;
h8 = 3127.4;
h9 = 3127.4;
h11 = 3127.4;
Wipt = (1-y2)*(h6-h7)+(1-y2-y3)*(h7-h8)+(1-y2-y3-y4)*(h9-
h11);
%Low Pressure Turbin (kJ/kg)
h10 = 2578.5;
h11 = 3127.4;
h12 = 2873;
h13 = 2678.7;
h14 = 2614.2;
h15 = 2603.3;
Wlpt = (1-y3-y4)*(h11-h12)+(1-y3-y4-y5)*(h12-h13)+(1-y3-
y4-y5-y6)*(h13-h14)+(1-y3-y4-y5-y6-y7)*(h14-h15);

if MaxF>=(1/AntiKonvergensi),
    %Menghentikan iterasi program jika nilai fitness
%bernilai 0
    break;

```

```

end

TemPopulasi = Populasi;

if mod(UkPop,2)==0,
    IterasiMulai = 3;
    TemPopulasi(1,:) = Populasi(IndeksIndividuTerbaik,:);
    TemPopulasi(2,:) = Populasi(IndeksIndividuTerbaik,:);
else
    IterasiMulai = 2;
    TemPopulasi(1,:) = Populasi(IndeksIndividuTerbaik,:);
end

LinearFitness =
LinearFitnessRanking(UkPop,Fitness,MaxF,MinF);

for jj=IterasiMulai:2:UkPop,
    IP1 = RouletteWheel(UkPop,LinearFitness);
    IP2 = RouletteWheel(UkPop,LinearFitness);
    if (rand<Psilang),
        Anak =
PindahSilang(Populasi(IP1,:),Populasi(IP2,:),JumGen);
        TemPopulasi(jj,:) = Anak(1,:);
        TemPopulasi(jj+1,:) = Anak(2,:);
    else
        TemPopulasi(jj,:) = Populasi(IP1,:);
        TemPopulasi(jj+1,:) = Populasi(IP2,:);
    end
end

for kk=IterasiMulai:UkPop,
    TemPopulasi(kk,:) =
Mutasi(TemPopulasi(kk,:),JumGen,Pmutasi);
end
Populasi = TemPopulasi;
end

Ms = PowerGenerator/((Whpt+Wipt+Wlpt)-(Wcep+Wbfp));
Qboiler = h1-h26;
Qreheater = (1-0.091)*(h6-h5);
THR = ((Ms*(h1-h26)+Mass6*(h6-h5))/PowerGenerator);
THRdlmKcalperKwh = THR*1000;
Mbb = (THR*PowerGenerator)/(GCV*Setting);
EffTurbin = (((Whpt+Wipt+Wlpt)-(Wcep+Wbfp))/(Qboiler+Qreheater))*100;
EffBoiler = ((Ms*(h1-h26)+Mass6*(h6-h5))/(Mbb*GCV))*100;

Temp1 = XSteam('T_ph',PressSteam,h1); %suhu main steam
Temp2 = XSteam('T_ph',Press2,h2); %suhu ekstraksi HPT1
Temp3 = XSteam('T_ph',Press3,h3); %suhu outlet HPT
Temp4 = XSteam('T_ph',Press4,h4); %suhu ekstraksi HPT2
Temp5 = XSteam('T_ph',Press5,h5); %suhu inlet reheater
Temp6 = XSteam('T_ph',PressReheater,h6); %suhu outlet reheater
Temp7 = XSteam('T_ph',Press7,h7); %suhu ekstraksi IPT1
Temp8 = XSteam('T_ph',Press8,h8); %suhu ekstraksi IPT2

```

```

Temp9 = XSteam('T_ph', Press9, h9);           %suhu ekstraksi IPT3
Temp10 = XSteam('T_ph', Press10, h10);        %suhu outlet IPT
Temp11 = XSteam('T_ph', Press11, h11);        %suhu inlet condenser1
Temp12 = XSteam('T_ph', Press12, h12);        %suhu ekstraksi LPT1
Temp13 = XSteam('T_ph', Press13, h13);        %suhu ekstraksi LPT2
Temp14 = XSteam('T_ph', Press14, h14);        %suhu ekstraksi LPT3
Temp15 = XSteam('T_ph', Press15, h15);        %suhu inlet condenser2
Temp16 = XSteam('T_ph', Press16, h16);        %suhu outlet condenser
Temp17 = XSteam('T_ph', Press17, h17);        %suhu inlet LPH1
Temp18 = XSteam('T_ph', Press18, h18);        %suhu outlet LPH1
Temp19 = XSteam('T_ph', Press19, h19);        %suhu outlet LPH2
Temp20 = XSteam('T_ph', Press20, h20);        %suhu outlet LPH3
Temp21 = XSteam('T_ph', Press21, h21);        %suhu outlet daerator
Temp22 = XSteam('T_ph', Press22, h22);        %suhu inlet daerator
Temp23 = XSteam('T_ph', Press23, h23);        %suhu inlet HPH5
Temp24 = XSteam('T_ph', Press24, h24);        %suhu outlet HPH5
Temp25 = XSteam('T_ph', Press25, h25);        %suhu outlet HPH6
Temp26 = XSteam('T_ph', PressWater, h26);     %suhu outlet feedwater
Temp27 = XSteam('T_ph', Press27, h27);        %suhu drain inlet HPH6
Temp28 = XSteam('T_ph', Press28, h28);        %suhu drain inlet HPH5
Temp29 = XSteam('T_ph', Press29, h29);        %suhu drain inlet
daerator
Temp30 = XSteam('T_ph', Press30, h30);        %suhu drain inlet LPH2
Temp31 = XSteam('T_ph', Press31, h31);        %suhu drain inlet LPH1
Temp32 = XSteam('T_ph', Press32, h32);        %suhu ekstraksi outlet
%LPH1

RunGA = '-----'
Data0 = ['Daya', ' EffisiensiBoiler', ' EffisiensiThermal']
Data0 = [Daya, EffBoiler, EffTurbin]
Data1 = ['EnergiKalorBoiler', ' EnergiKalorReheater', '
AliranMassa', ' TurbinHeatRate', ' MassaBahanBakar']
Data1 = [Qboiler, Qreheater, Ms, THRdlmKcalperKwh, Mbb]
Data2 = ['T.Feedwater', ' E.Feedwater', ' T.Steam', ' E.Steam', '
T.Reheater', ' E.Reheater']
Data2 = [Temp26, h26, Temp1, h1, Temp6, h6]

%Grafik Daya Output Pembangkitan
plotvectorpower = get(Powerplot, 'YData');
plotvectorpower(Loop) = Daya;
set(Powerplot, 'YData', plotvectorpower);
set(Powerplot, 'Color', 'cyan');
set(Powerplot, 'Marker', 'o');
drawnow

%Grafik Suhu Steam Terhadap Daya
plotvectortemp = get(Tempplot, 'XData');
plotvectortemp(Loop) = Daya;
set(Tempplot, 'XData', plotvectortemp);
plotvectortemp = get(Tempplot, 'YData');
plotvectortemp(Loop) = Temp1;
set(Tempplot, 'YData', plotvectortemp);
set(Tempplot, 'Color', 'cyan');
set(Tempplot, 'Marker', 'o');
drawnow

```

```

%Grafik Aliran Massa Steam Terhadap Daya
plotvectorsteam = get(Flowplot, 'XData');
plotvectorsteam(Loop) = Daya;
set(Flowplot, 'XData', plotvectorsteam);
plotvectorsteam = get(Flowplot, 'YData');
plotvectorsteam(Loop) = Ms;
set(Flowplot, 'YData', plotvectorsteam);
set(Flowplot, 'Color', 'cyan');
set(Flowplot, 'Marker', 'o');
drawnow

%Grafik Hasil Optimasi Effisiensi Boiler & Thermal Thd Daya
plotvectoreff1 = get(Effplot1, 'XData');
plotvectoreff1(Loop) = Daya;
set(Effplot1, 'XData', plotvectoreff1);
plotvectoreff1 = get(Effplot1, 'YData');
plotvectoreff1(Loop) = EffBoiler;
set(Effplot1, 'YData', plotvectoreff1);
%-----%
plotvectoreff2 = get(Effplot2, 'XData');
plotvectoreff2(Loop) = Daya;
set(Effplot2, 'XData', plotvectoreff2);
plotvectoreff2 = get(Effplot2, 'YData');
plotvectoreff2(Loop) = EffTurbin;
set(Effplot2, 'YData', plotvectoreff2);
%-----%
set(Effplot1, 'Color', 'blue');
set(Effplot1, 'Marker', 'o');
set(Effplot2, 'Color', 'green');
set(Effplot2, 'Marker', 'o');
set(htext1, 'String', sprintf('Biru ~ Effisiensi Boiler
%3.2f', EffBoiler));
set(htext2, 'String', sprintf('Hijau ~ Effisiensi Thermal
%3.2f', EffTurbin));
drawnow

%Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
Effisiensi Thermal Thd Tekanan
plotvectoreff3 = get(Effplot3, 'XData');
plotvectoreff3(Loop) = PressSteam;
set(Effplot3, 'XData', plotvectoreff3);
plotvectoreff3 = get(Effplot3, 'YData');
plotvectoreff3(Loop) = EffTurbin;
set(Effplot3, 'YData', plotvectoreff3);
%-----%
set(Effplot3, 'Color', 'green');
set(Effplot3, 'Marker', 'o');
set(htext3, 'String', sprintf('Hijau ~ Effisiensi Thermal GA
%3.2f', EffTurbin));
drawnow

%Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
%Effisiensi Boiler Thd Tekanan
plotvectoreff5 = get(Effplot5, 'XData');
plotvectoreff5(Loop) = PressSteam;
set(Effplot5, 'XData', plotvectoreff5);

```

```

plotvectoreff5 = get(Effplot5, 'YData');
plotvectoreff5(Loop) = EffBoiler;
set(Effplot5, 'YData', plotvectoreff5);
%-----%
set(Effplot5, 'Color', 'green');
set(Effplot5, 'Marker', 'o');
set(htext5, 'String', sprintf('Hijau ~ Effisiensi Boiler GA
%3.2f', EffBoiler));
drawnow
end

%Mulai Perhitungan Data Sesuai Data Lapangan
for Loops=1:DataVariasi,

    GCVdata = 24360;
    PowerGeneratordata = 698700;
    Daya = PowerGeneratordata/1000;
    PressWater =
updatePressWater(Loops, water1, water2, water3, water4, water5);
    PressSteam =
updatePressSteam(Loops, steam1, steam2, steam3, steam4, steam5);
    PressReheater =
updatePressReheater(Loops, reheater1, reheater2, reheater3, reheater4,
reheater5);
    EntalpiSteam = updateEntalpiSteam(PressSteam);
    EntalpiReheater = updateEntalpiReheater(PressSteam);

    %Mass1data = 607.26;           %aliran massa main steam (kg/s)
    %Temp1data = 529.8;           %suhu main steam (celcius)
    %Temp6data = 547.42;         %suhu outlet reheater steam
    %Temp26data = 286.99;        %suhu outlet feedwater (celcius)
    Mass6data = 508.8;           %aliran massa outlet reheater(kg/s)
    Temp2data = 413.55;          %suhu ekstraksi HPT1 (celcius)
    Temp3data = 328.27;          %suhu outlet HPT(celcius)
    Temp4data = 326.22;          %suhu ekstraksi HPT2 (celcius)
    Temp5data = 328.27;          %suhu inlet reheater steam
    Temp7data = 467.41;          %suhu ekstraksi IPT1 (celcius)
    Temp8data = 332.24;          %suhu ekstraksi IPT2 (celcius)
    Temp9data = 332.24;          %suhu ekstraksi IPT3 (celcius)
    Temp10data = 42.7;           %suhu outlet IPT (celcius)
    Temp11data = 332.24;         %suhu inlet condenser1 (celcius)
    Temp12data = 199;            %suhu ekstraksi LPT1 (celcius)
    Temp13data = 102;            %suhu ekstraksi LPT2 (celcius)
    Temp14data = 63.1;           %suhu ekstraksi LPT3 (celcius)
    Temp15data = 56.8;           %suhu inlet condenser2 (celcius)
    Temp16data = 41.62;          %suhu outlet condenser (celcius)
    Temp17data = 42.6;           %suhu inlet low pressure heater1
    Temp18data = 59.7;           %suhu outlet low pressure heater1
    Temp19data = 96;             %suhu outlet low pressure heater2
    Temp20data = 119.6;          %suhu outlet low pressure heater3
    Temp21data = 169.09;         %suhu outlet daerator (celcius)
    Temp22data = 173.24;         %suhu inlet daerator (celcius)
    Temp23data = 173.24;         %suhu inlet high pressure heater5
    Temp24data = 214.52;         %suhu outlet high pressure heater5
    Temp25data = 248.4;          %suhu outlet high pressure heater6
    Temp27data = 255.68;         %suhu drain inlet HPH6

```

```

Temp28data = 219.27;      %suhu drain inlet HPH5
Temp29data = 178.33;      %suhu drain inlet daerator
Temp30data = 102.1;       %suhu drain inlet LPH2
Temp31data = 64.8;        %suhu drain inlet LPH1
Temp32data = 47.2;        %suhu ekstraksi outlet LPH1

```

```
%Menghitung Fraksi Massa Ekstraksi
```

```
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 7
```

```
%Entalpi Steam (kJ/kg)
```

```
h2 = 3109.7;
```

```
h27 = 1113.5;
```

```
%Entalpi Water (kJ/kg)
```

```
h25 = 1077.9;
```

```
h26 = 1266.9;
```

```
y1 = (h26-h25)/(h2-h27);
```

```
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 6
```

```
%Entalpi Steam (kJ/kg)
```

```
h4 = 3033.1;
```

```
h27 = 1113.5;
```

```
h28 = 940.3;
```

```
%Entalpi Water (kJ/kg)
```

```
h24 = 918.4;
```

```
h25 = 1077.9;
```

```
y2 = ((h25-h24)-(y1*(h27-h28)))/(h4-h28);
```

```
%Fraksi Massa Feedwater Pada High Pressure Heater 5
```

```
%Entalpi Steam (kJ/kg)
```

```
h7 = 3396.3;
```

```
h28 = 940.3;
```

```
h29 = 755.8;
```

```
%Entalpi Water (kJ/kg)
```

```
h23 = 744.2;
```

```
h24 = 918.4;
```

```
y3 = ((h24-h23)-((y1+y2)*(h28-h29)))/(h7-h29);
```

```
%Fraksi Massa Feedwater Pada Daerator
```

```
%Entalpi Steam (kJ/kg)
```

```
h9 = 3127.4;
```

```
h21 = 712.5;
```

```
h29 = 755.8;
```

```
%Entalpi Water (kJ/kg)
```

```
h20 = 502.5;
```

```
y4 = ((h21-h20)-((y1+y2+y3)*(h29-h20)))/(h9-h20);
```

```
%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 3
```

```
%Entalpi Steam (kJ/kg)
```

```
h12 = 2873;
```

```
h30 = 428;
```

```
%Entalpi Water (kJ/kg)
```

```
h19 = 402.2;
```

```
h20 = 502.5;
```

```
y5 = ((1-y1-y2-y3-y4)*(h20-h19))/(h12-h30);
```

```

%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 2
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h13 = 2678.7;
h30 = 428;
h31 = 271.2;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h18 = 249.9;
h19 = 402.2;
y6 = ((1-y1-y2-y3-y4)*(h19-h18)-(y5*(h30-h31)))/(h13-h31);

%Fraksi Massa Feedwater Pada Low Pressure Heater 1
%Entalpi Steam (kJ/kg)
h14 = 2614.2;
h31 = 271.2;
h32 = 197.6;
%Entalpi Water (kJ/kg)
h17 = 180.2;
h18 = 249.9;
y7 = ((1-y1-y2-y3-y4-y5)*(h18-h17)-((y5+y6)*(h31-h32)))/((h14-
h32)-(h18-h17));
%Menentukan Daya Yang Dibutuhkan Pompa
%Daya Pompa CEP (kJ/kg)
h16 = 174.3;
h17 = 180.2;
Wcep = h17-h16;
%Daya Pompa BFP (kJ/kg)
h21 = 715.2;
h22 = 744.2;
Wbfp = h22-h21;
%Menentukan Daya Masing Masing Turbin
%High Pressure Turbin (kJ/kg)
h1 = EntalpiSteam;
h2 = 3190.7;
h3 = 3037.2;
h4 = 3033.1;
Whpt = (h1-h2)+(h2-h4)+(h3-h4);
%Intermediate Pressure Turbin (kJ/kg)
h5 = 3037.2;
h6 = EntalpiReheater;
h7 = 3396.3;
h8 = 3127.4;
h9 = 3127.4;
h11 = 3127.4;
Wipt = (1-y2)*(h6-h7)+(1-y2-y3)*(h7-h8)+(1-y2-y3-y4)*(h9-h11);
%Low Pressure Turbin (kJ/kg)
h11 = 3127.4;
h12 = 2873;
h13 = 2678.7;
h14 = 2614.2;
h15 = 2603.3;
Wlpt = (1-y3-y4)*(h11-h12)+(1-y3-y4-y5)*(h12-h13)+(1-y3-y4-y5-
y6)*(h13-h14)+(1-y3-y4-y5-y6-y7)*(h14-h15);

Wt = PowerGeneratordata;
Massldata = Wt/((Whpt+Wipt+Wlpt)-(Wcep+Wbfp));
WtperMassadata = ((Whpt+Wipt+Wlpt)-(Wcep+Wbfp));

```

```

Temp1data = XSteam('T_ph', PressSteam, h1);
Temp6data = XSteam('T_ph', PressReheater, h6);
Temp26data = XSteam('T_ph', PressWater, h26);
Qboiler = h1-h26;
Qreheater = (1-0.091)*(h6-h5);
THR = ((Mass1data*(h1-h26)+Mass6data*(h6-
h5))/PowerGeneratordata);
THRdlmKcalperKwh = THR*1000;
Mbb = (THR*PowerGeneratordata)/(GCVdata*Setting);

EffBoilerman = ((Mass1data*(h1-h26)+Mass6data*(h6-
h5))/(Mbb*GCVdata))*100;
EffTurbinman = ((WtperMassadata)/(Qboiler+Qreheater))*100;

RunManual = '-----'
Data0 = ['Daya', ' EffisiensiBoiler', ' EffisiensiThermal']
Data0 = [Daya, EffBoilerman, EffTurbinman]
Data1 = ['EnergiKalorBoiler', ' EnergiKalorReheater', '
AliranMassa', ' TurbinHeatRate', ' MassaBahanBakar']
Data1 = [Qboiler, Qreheater, Mass1data, THRdlmKcalperKwh, Mbb]
Data2 = ['T.Feedwater', ' E.Feedwater', ' T.Steam', ' E.Steam', '
T.Reheater', ' E.Reheater']
Data2 = [Temp26data, h26, Temp1data, h1, Temp6data, h6]

%Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
Effisiensi Thermal Thd Tekanan
plotvectoreff4 = get(Effplot4, 'XData');
plotvectoreff4(Loops) = PressSteam;
set(Effplot4, 'XData', plotvectoreff4);
plotvectoreff4 = get(Effplot4, 'YData');
plotvectoreff4(Loops) = EffTurbinman;
set(Effplot4, 'YData', plotvectoreff4);
%-----%
set(Effplot4, 'Color', 'red');
set(Effplot4, 'Marker', 'o');
set(htext4, 'String', sprintf('Merah ~ Effisiensi Thermal Data
%3.2f', EffTurbinman));
drawnow

%Grafik Perbandingan Hasil Data & Optimasi GA Terhadap
Effisiensi Boiler Thd Tekanan
plotvectoreff6 = get(Effplot6, 'XData');
plotvectoreff6(Loops) = PressSteam;
set(Effplot6, 'XData', plotvectoreff6);
plotvectoreff6 = get(Effplot6, 'YData');
plotvectoreff6(Loops) = EffBoilerman;
set(Effplot6, 'YData', plotvectoreff6);
%-----%
set(Effplot6, 'Color', 'red');
set(Effplot6, 'Marker', 'o');
set(htext6, 'String', sprintf('Merah ~ Effisiensi Boiler Data
%3.2f', EffBoilerman));
drawnow
end

```

2. Hasil Uji Anti Plagiasi dengan Turnitin

Turnitin Originality Report

Processed on: 10-Oct-2020 3:23 PM +08
 ID: 1410983779
 Word Count: 15925
 Submitted: 1

Supercritical boiler By Sunaryo Sunaryo

Document Viewer

| Similarity Index | Similarity by Source |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 11% | Internet Sources: 12% Publications: 0% Student Papers: 5% |

[exclude quoted](#) [exclude bibliography](#) [excluding matches < 1%](#)

[print](#) [refresh](#) [download](#)

mode: quickview (classic) report ▼ Change mode

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <p>3% match (Internet from 02-Dec-2019) https://www.scribd.com/document/390458733/PLTU-Batubara-Superkritikal-Yang-Efisien-pdf</p> | ✕ |
| <p>1% match () http://repository.its.ac.id</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 06-Oct-2020) https://id.123dok.com/subject/heat-transfer-rate</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 21-Nov-2019) http://prosiding.bkstm.org</p> | ✕ |
| <p>1% match () http://repository.its.ac.id</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 08-May-2019) https://id.123dok.com/document/ky6p5og0-penjadwalan-perkuliahan-dengan-menggunakan-algoritma-genetika-studi-kasus-s-1-ilmu-komputer-universitas-sumatera-utara.html</p> | ✕ |
| <p>1% match () http://jurnal.untan.ac.id</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 14-Dec-2019) https://docplayer.info/47168338-1-pendahuluan-eksergi-jurnal-teknik-energi-vol-11-no-3-september-2015-61-68.html</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 29-Jan-2019) https://docplayer.info/52407604-Analisis-peforma-pltu-versus-variasi-beban-pada-turbine-uap-menggunakan-software-cycle-tempo-dosen-pembimbing-dr-ir-budi-utomo-kukuh-widodo-me.html</p> | ✕ |
| <p>1% match (Internet from 19-Apr-2019) https://edoc.pub/ketel-uap-fix-pdf-free.html</p> | ✕ |
| <p>1% match (student papers from 13-Feb-2018) Submitted to Universitas Negeri Padang on 2018-02-13</p> | ✕ |

ACC,
Telah memenuhi syarat
anti plagiarisme <24,99%
Ka Prodi MTE UNISSULA

Arief Marwanto, Ph. D

ANALISIS BOILER SUBCRITICAL DAN SUPERCRITICAL BERBASIS ALGORITMA GENETIKA TESIS diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang Oleh: SUNARYO NIM. 20601800027 PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG 2020 i HALAMAN PERSETUJUAN TESIS ANALISIS BOILER SUBCRITICAL DAN SUPERCRITICAL BERBASIS ALGORITMA GENETIKA yang dipersiapkan dan disusun oleh Sunaryo 20601800027 telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Pada tanggal

Susunan Dewan Penguji Pembimbing I Pembimbing II Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T NIDN : 0618066301 Penguji I Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D NIDN : 0628097501 Penguji II Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si NIDN : 0620026501 Imam Much Ibnu S, S.T., M.Sc., Ph.D NIDN : 0613037301 Penguji III Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D NIDN : 0625036901 Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Tanggal..... Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro ii

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS Saya yang bertanda tangan di bawah ini: Nama : Sunaryo NIM : 20601800027 Program Studi : Magister Teknik Elektro Fakultas : Teknologi Industri Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan Judul: "Analisis Boiler Subcritical dan Supercritical Berbasis Algoritma Genetika" Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada univesitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi, dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya. Semarang, September 2020 Penulis Sunaryo 20601800027 iii PRAKATA Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala atas berkat rahmat dan hidayah-Nya tesis yang berjudul "Analisis Boiler Subcritical dan Supercritical Berbasis Algoritma Genetika" sebagai salah satu persyaratan memperoleh derajat Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang dapat selesai. Penyelesaian penulisan tesis ini merupakan atas dukungan berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada: 1. Ibu Dr. Dra. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si selaku Dekan Fakultas Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang; 2. Bapak Arief Marwanto, S.T., M.Eng, Ph.D selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang, sekaligus pembimbing pendamping atas segala arahan, petunjuk, dan bimbingannya; 3. Bapak Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T. selaku pembimbing utama yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk, masukan, dan sarannya; 4. Bapak Walikota beserta pejabat kepegawaian di lingkungan Pemerintah Kota Semarang yang telah memberikan ijin belajar untuk menempuh pendidikan lebih lanjut di Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang; 5. Bapak dan Ibu dosen di lingkungan FTI

