



TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *GAS TURBINE GENERATOR* BERBASIS SISTEM PAKAR

RIFKI ZULKIFLI
NRP. 0231154000090

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - TF181801

DESIGN OF DIAGNOSIS SYSTEM OF GAS TURBINE GENERATOR OPERATION CONDITION BASED ON EXPERT SYSTEM

Rifki Zulkifli
NRP. 0231154000090

Supervisor
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Rifki Zulkifli
NRP : 0231154000090
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan Rek. Sistem
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Sistem Diagnosis Kondisi Operasi *Gas Turbine Generator* berbasis Sistem Pakar ” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 25 Januari 2020

Ya, aan,
METERAI
TEMPEL
1013EAHF238467402
6000
ENAM RIBURUPIAH
Rifki Zulkifli

NRP. 0231154000090

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI
OPERASI GAS TURBINE GENERATOR BERBASIS
SISTEM PAKAR**

Oleh:


Rifki Zulkifli

NRP. 0231154000090

Surabaya, 25 Januari 2020

Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIP 19650309 199002 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS



LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI GAS TURBINE GENERATOR BERBASIS SISTEM PAKAR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rek. Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rifki Zulkifli

NRP. 0231154000090

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA (Pembimbing)
2. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT (Ketua Penguji)
3. Hendra Cordova, ST, MT (Penguji 1)
4. Lizda Johar Mawarani, ST, MT (Penguji 2)
5. Moh. Kamalul Wafi, ST, Msc.DIC (Penguji 3)

SURABAYA
25 Januari, 2020

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI GAS *TURBINE GENERATOR* BERBASIS SISTEM PAKAR

Nama Mahasiswa : Rifki Zulkifli
NRP : 0231154000090
Departemen : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRAK

Gas turbine generator terdiri dari tiga komponen utama yang saling berkaitan satu sama lain yang terdiri dari (kompresor, *combustor*, dan turbin). Kondisi operasi dari tiap komponen yang berubah – ubah dipengaruhi oleh parameter input – output tiap *section*. Untuk mengetahui kinerja dari tiap *section* tersebut perlu sebuah sistem diagnosis mengenai kondisi operasi dari *gas turbine generator* dengan basis sistem pakar. Sistem pakar terdiri dari *database* dan mesin penalar. *Database* berupa analisa kondisi operasi oleh ahli *gas turbine generator* dan mesin penalar berfungsi untuk membandingkan input berupa data monitoring parameter dari tiap komponen dengan *database* yang ada. Input parameter harus di-*scoring* terlebih dahulu agar bisa dibandingkan oleh mesin penalar. *Scoring* dilakukan dengan cara diskusi dengan ahli *gas turbine generator* yang ada di PT. SIPL. Hasil diagnosis dari *gas turbine generator* menggunakan simulasi sistem pakar yang telah dibuat pada Simulink Matlab untuk pengujian saat kondisi operasi normal saat jam operasional 15979 diperoleh kinerja kompresor, *combustor* dan turbin beroperasi pada keadaan operasional normal untuk beban sebesar 50%, tetapi daya total yang dihasilkan berada dibawah nilai dari ekspektasi. Pengujian sistem pakar yang dilakukan pada saat operasional abnormal *gas turbine generator* saat jam operasional 16036 diperoleh kesimpulan bahwa kinerja kompresor, *combustor* dan turbin beroperasi pada keadaan operasional abnormal dan berada dibawah standar *range* operasional. Kompresor memiliki nilai PCD yang kecil (203,4 kPa) dan kesalahan baca dari nilai input T5 yang

dibuktikan dengan nilai T5 yang kecil (37,2°C) , tetapi daya keluaran turbin bernilai 1645 kW yang tidak mungkin terjadi.

Kata kunci: *Diagnosis, Kondisi Operasi, Gas Turbine Generator, Sistem Pakar*

**DESIGN OF DIAGNOSIS SYSTEM OF GAS TURBINE
GENERATOR OPERATION CONDITION BASED ON
EXPERT SYSTEM**

Name : Rifki Zulkifli
NRP : 0231154000090
Department : Engineering Physics
Supervisor : 1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRACT

Gas turbine generators consist of three main components which are interrelated to each other which consist of (compressor, combustor, and turbine). The changing operating conditions of each component are affected by the input - output parameters of each section. To find out the performance of each section, we need a diagnosis system based on an expert system. The expert system consists of database and a inference engine. The database in the form of an analysis of operating conditions by a gas turbine generator expert and a inference engine functions to compare the input in the form of monitoring data parameters of each component with an existing database. Input parameters must be scored beforehand so they can be compared by the inference engine. Scoring is done by discussion with gas turbine generator experts in PT. SIPL. The results of the diagnosis of the gas turbine generator using an expert system simulation that was made on Simulink Matlab for testing during normal operating conditions when engine fired hours 15979 obtained the performance of the compressor, combustor and turbine operating under normal operational conditions for a load of 50%, but the total power generated is below the value of expectations. Expert system testing conducted during the operational abnormal gas turbine generator when engine fired hours 16036 concluded that the performance of the compressor, combustor and turbine operates in abnormal operational conditions and is below the standard operating range. The compressor has a small PCD value (203.4 kPa) and a read

error of the T5 input value as evidenced by a small T5 value (37.2 ° C), but the turbine output power is 1645 kW which is not possible.

Keywords: Diagnose, Operation Condition, Gas Turbine Generator, Expert System

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis diberikan kekuatan yang luar biasa dan pencerahan yang membuat penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik - baiknya dengan judul:

“Perancangan Sistem Diagnosis Kondisi Operasi *Gas Turbine Generator* berbasis Sistem Pakar”

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, penulis tidak akan mampu untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Suyanto, ST. MT. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS. Serta segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika - ITS.
2. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang membimbing saya dengan sabar dan selalu memberi saya semangat dan pencerahan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT, Hendra Cordova, ST, MT Lizda Johar Mawarani, ST, MT, dan Moh. Kamalul Wafi, ST, Msc.DIC selaku penguji pada sidang tugas akhir yang telah memberikan banyak saran terhadap tugas akhir penulis.
4. Pak Kusnadi, selaku pembimbing tugas akhir dari PT. SIPL yang telah membantu banyak dalam proses pengerjaan tugas akhir.
5. Ayah, Ibu dan segenap keluarga besar penulis yang ada di Sumatera Barat dan perantauan yang selalu memberi penulis semangat dan dukungan untuk menyelesaikan studi.
6. I Gusti Agung Krisna Manggala Putra, sebagai teman seperjuangan dari Laboratorium Workshop Instrumentasi

yang menjadi teman diskusi selama penyelesaian tugas akhir ini.

7. Teman-teman baik di dalam maupun di luar kampus yang selalu memotivasi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Dengan penuh rasa kerendahan hati penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan yang penulis buat dalam tulisan ini. Semoga laporan tugas akhir yang saya tulis ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membaca dan membawa berkah.

Surabaya, 25 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Gas Turbine Generator</i>	5
2.2 Sistem Pakar.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Mengidentifikasi Parameter Kondisi Operasi <i>Gas Turbine Generator</i>	20
3.2 Pengumpulan Data Operasional <i>Gas Turbine Generator</i>	21
3.3 Analisa Data untuk Perancangan Database dan Mesin Penalar.....	29
3.4 Merancang <i>Database</i> dan <i>Mesin Penalar</i>	33
3.5 Membuat Sistem Pakar	45
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Analisis Data dan Pembahasan	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	69
BIODATA PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Gas Turbine Generator Solar Taurus 60</i>	5
Gambar 2.2	Section pada <i>Gas Turbine Engine</i> Konvensional...	6
Gambar 2.3	Kompresor <i>Axial</i>	7
Gambar 2.4	Kurva Operasional Kompresor <i>Axial</i> sesuai dengan Rasio Tekanan dan Laju Aliran Massa Udara	8
Gambar 2.5	Pengaruh Temperature Lingkungan terhadap Kinerja Gas Turbine Generator	9
Gambar 2.6	Hubungan Tekanan dengan Volume Gas dengan Variasi Temperatur.....	9
Gambar 2.7	<i>Combustor</i>	11
Gambar 2.8	Pengaruh T5 terhadap Daya yang Dihasilkan oleh <i>Gas Turbine Generator</i>	12
Gambar 2.9	Pengaruh <i>Fuel to Air Ratio</i> terhadap Kenaikan Temperatur	13
Gambar 2.10	Turbin	14
Gambar 2.11	Kecepatan Kritis dari <i>Blade</i> Rotor Turbin.....	15
Gambar 2.12	Hubungan TIT dengan Bebab (<i>Load</i>) pada Turbin	16
Gambar 2.13	Skematik dari Sebuah Sistem Pakar	17
Gambar 2.14	Mekanisme Penyusunan Database.....	18
Gambar 2.15	Proses Penalaran pada Mesin Penalar untuk Menghasilkan suatu Kesimpulan.....	18
Gambar 3.1	Alur Metodologi Penelitian.....	19
Gambar 3.2	Blok Diagram Kompresor.....	21
Gambar 3.3	Blok Diagram Combustor	24
Gambar 3.4	Blok Diagram Turbin.....	27
Gambar 3.5	Diagram Alir Penyusunan Sistem Pakar	46
Gambar 3.6	Database Kompresor pada Matlab.....	47
Gambar 3.7	Flowchart Sistem Pakar Kompresor	48
Gambar 3.8	Block Kompresor	49
Gambar 3.9	Simulasi Sistem Pakar untuk Kompresor pada Simulink.....	49
Gambar 3.10	Flowchart Sistem Pakar Combustor	50

Gambar 3.11	Database Combustor pada Matlab	51
Gambar 3.12	Block Combustor.....	51
Gambar 3.13	Simulasi Sistem Pakar untuk Combustor pada Simulink.....	52
Gambar 3.14	Database Turbin pada Matlab	52
Gambar 3.15	Flowchart Sistem Pakar Turbin.....	53
Gambar 3.16	Block Turbin	54
Gambar 3.17	Simulasi Sistem Pakar untuk Turbin pada Simulink.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Kondisi Operasi <i>Gas Turbine Generator</i> .	20
Tabel 3.2	Sampel Data Kondisi Operasi Kompresor.....	22
Tabel 3.3	Pasangan Data Kondisi Operasi Kompresor dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar.	22
Tabel 3.4	Sampel Data Kondisi Operasi <i>Combustor</i>	24
Tabel 3.5	Pasangan Data Kondisi Operasi <i>Combustor</i> dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar.....	25
Tabel 3.6	Sampel Data Kondisi Operasi Turbin.....	27
Tabel 3.7	Pasangan Data Kondisi Operasi Turbin dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar	28
Tabel 3.8	Scoring Parameter <i>Gas Turbine Generator</i>	30
Tabel 3.9	Skenario Database berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja Kompresor	34
Tabel 3.10	Skenario Database berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja <i>Combustor</i>	36
Tabel 3.11	Skenario Database berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja Turbin	38
Tabel 3.12	Label Untuk Tiap Range Nilai Parameter.....	40
Tabel 3.13	Mesin Penalar untuk Uji Kinerja Kompresor	43
Tabel 3.14	Mesin Penalar untuk Uji Kinerja <i>Combustor</i>	44
Tabel 3.15	Mesin Penalar untuk Uji Kinerja Turbin	44
Tabel 4.1	Data Normal dan Abnormal Operasional Kompresor	55
Tabel 4.2	Data Normal dan Abnormal Operasional Combustor	56
Tabel 4.3	Data Normal dan Abnormal Operasional Turbin	56
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Data Normal untuk Kompresor.....	57
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Data Normal untuk Combustor.....	57
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Data Normal untuk Turbin.....	58
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Kompresor ..	59
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Combustor ..	60
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Turbin.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas turbine generator merupakan pembangkit daya yang memanfaatkan kalor hasil pembakaran campuran bahan bakar gas dengan udara bertekanan untuk menggerakkan Turbin. Turbin yang berputar akan menghasilkan energi mekanik yang dapat dirubah menjadi energi listrik [1]. *Gas turbine generator* terdiri dari 3 komponen utama yaitu kompresor, *combustor*, dan turbin. Ketiga komponen ini terhubung secara seri sehingga perubahan kondisi operasi yang terjadi pada suatu komponen akan mempengaruhi kinerja dari komponen lain yang secara keseluruhan akan mempengaruhi kinerja total dari *gas turbine generator* [2].

Operasional dari suatu *gas turbine generator* membutuhkan pemahaman mengenai kondisi operasi dari tiap komponen tersebut agar *gas turbine generator* dapat beroperasi secara stabil. Pemahaman mengenai kondisi operasi dari suatu *gas turbine generator* ini berguna untuk mendiagnosa kondisi operasi tersebut sehingga kinerja dari *gas turbine generator* dapat diketahui. Proses diagnosa ini hanya dapat dilakukan oleh seorang ahli *gas turbine generator* yang berpengalaman yang memiliki pengetahuan mengenai kondisi operasi dari *gas turbine generator*. Ahli *gas turbine generator* yang memiliki kualifikasi seperti ini jumlahnya terbatas sehingga hal ini menjadi permasalahan pada operasional dari suatu *gas turbine generator*.

Kenyataan yang ditemukan di lapangan pada *control room* hanya ada nilai dari kondisi operasi saja tanpa disertai informasi mengenai kondisi operasi dari komponen bersangkutan. Keadaan ini mempersulit operator yang tidak memiliki pemahaman mengenai kondisi operasi dari *gas turbine generator* untuk dapat mengetahui kinerja dari tiap komponen tanpa bantuan dari seorang ahli *gas turbine generator*.

Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan membuat suatu sistem diagnosis mengenai kondisi operasi *gas turbine generator*. Operator yang memiliki pengetahuan terbatas mengenai

operasional *gas turbine generator* dapat mengetahui kinerja dari tiap komponen *gas turbine generator* dengan bantuan pengetahuan yang dimiliki oleh ahli *gas turbine generator* tanpa harus didampingi secara langsung.

Sistem diagnosis yang dapat digunakan untuk membantu operator untuk mengetahui kinerja dari *gas turbine generator* yaitu dengan membuat sistem diagnosis berbasis sistem pakar (*expert system*). Sistem pakar adalah suatu sistem yang dibangun atas dasar pengetahuan yang dimiliki oleh seorang ahli yang didesain untuk dapat digunakan secara mudah dan efektif bagi pengguna yang bukan ahli [3], yaitu operator *gas turbine generator*.

Sistem Pakar terdiri dari dua komponen utama berupa *database* dan mesin menalar (*inference engine*). *Database* berupa kondisi operasi dan parameter yang mempengaruhinya dari ketiga komponen utama pada *gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin) dikorelasikan antar komponen dan diberikan penilaian (*scoring*) tertentu berdasarkan penilaian pakar untuk membentuk pasangan data. Pasangan data ini digunakan untuk dapat menginformasikan keadaan dari tiap area tersebut. Berdasarkan *database* yang ada, data *input* dari *control room* berupa data kondisi operasi beserta parameter yang mempengaruhi kinerja *gas turbine generator* akan diproses oleh mesin penalar (*inference engine*) dan dicocokkan. Hasil output dari mesin penalar berupa penilaian pakar terhadap kondisi operasi *Gas Turbine Generator* ini akan ditampilkan pada sebuah antarmuka (GUI).

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu melakukan perancangan sistem diagnosis kondisi operasi dari *gas turbine generator* untuk membantu operator memahami kondisi operasi dari suatu *gas turbine generator*. Dengan memahami kondisi operasi dari suatu *gas turbine generator*, operator dapat melakukan langkah - langkah yang lebih tepat saat mengoperasikan *gas turbine generator*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pada tugas akhir ini berdasarkan pemaparan latar belakang adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimanakah data kondisi operasi beserta parameter input - output yang mempengaruhinya dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin) beserta data penilaian pakar *gas turbine generator*?
- b. Bagaimanakah analisa data kondisi operasi beserta parameter input - output yang mempengaruhinya dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)?
- c. Bagaimanakah perancangan *database* beserta mesin penalar yang akan disusun menjadi sistem pakar beserta simulasinya untuk mendiagnosa kinerja dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)?
- d. Bagaimanakah kinerja dari simulasi sistem pakar dalam mendiagnosis kinerja dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini berdasarkan perumusan masalah adalah sebagai berikut

- a. Memperoleh data kondisi operasi beserta parameter input - output yang mempengaruhinya dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin) berdasarkan penilaian pakar *gas turbine generator*
- b. Menganalisa data kondisi operasi beserta parameter input - output yang mempengaruhinya dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)
- c. Merancang *database* beserta mesin penalar yang akan disusun menjadi sistem pakar untuk mendiagnosa kinerja dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)
- d. Menguji kinerja sistem pakar untuk mendiagnosis kinerja dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin)

1.4 Batasan Masalah

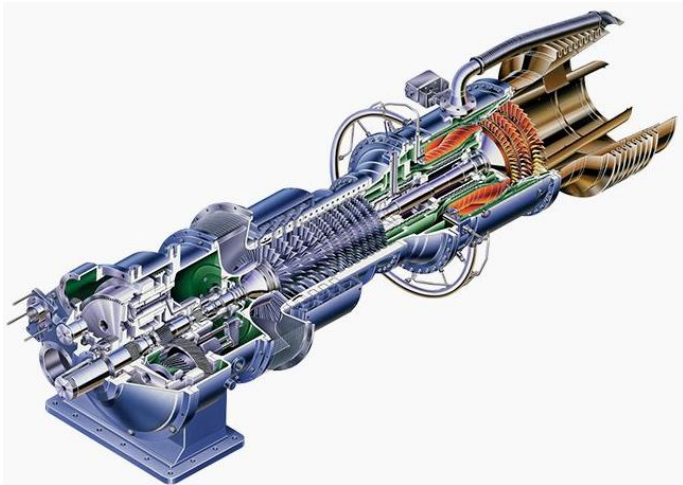
Batasan masalah pada pengerjaan penelitian tugas akhir ini antara lain:

- a. Unit *gas turbine generator* yang yang diteliti yaitu unit gas turbine generator Solar Taurus 60 di PT. SIPL
- b. Database disusun dari pasangan data kondisi operasi yang telah dikorelasikan dan di-*scoring* berdasarkan penilaian ahli dan dijadikan sebagai dasar bagi mesin penalar mencocokkan untuk menghasilkan output berupa hasil diagnosis kondisi operasi dari tiap *section gas turbine generator* (kompresor, *combustor*, dan turbin
- c. Perancangan *database* dan mesin penalar menggunakan bantuan *toolbox* Simulink pada software Matlab.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

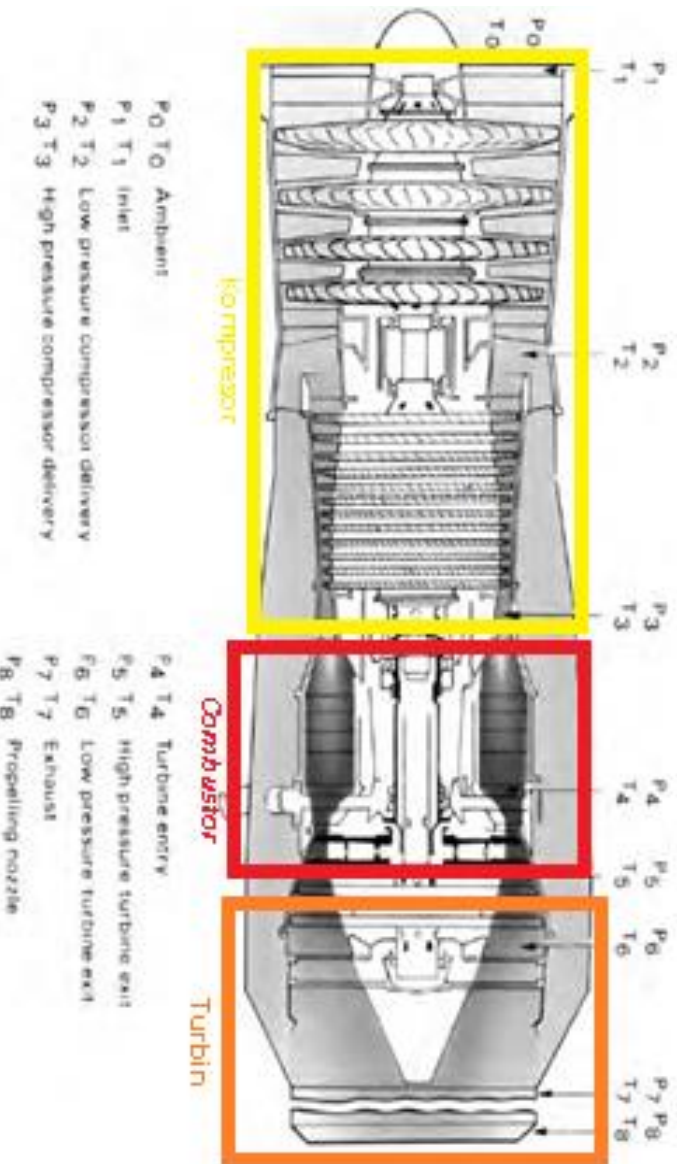
2.1 *Gas Turbine Generator*

Gas turbine generator adalah sebuah pembangkit daya yang memanfaatkan kalor hasil pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk memutar sebuah turbin. Output dari sebuah *Gas Turbine Generator* berupa daya listrik dimanfaatkan sebagai suplai daya untuk peralatan - peralatan pada suatu *plant* yang ada di pabrik. [1]



Gambar 2.1 *Gas Turbine Generator Solar Taurus 60* [4]

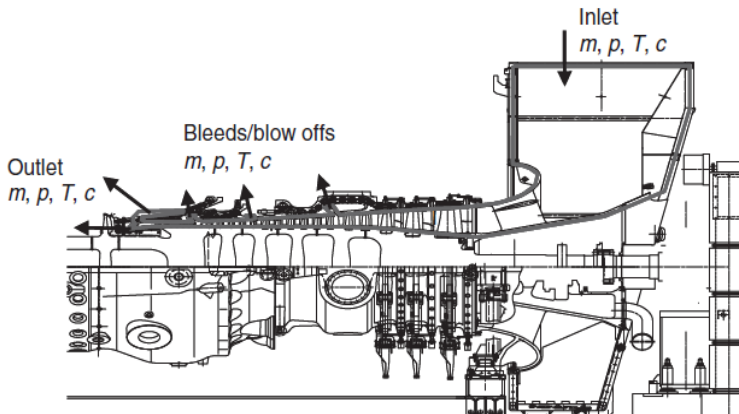
Terdapat 3 komponen utama pada *gas turbine generator* yang menyatu dan saling berhubungan satu sama lain, yaitu kompresor, *combustor*, dan turbin. Tiap komponen memiliki kondisi operasi sesuai dengan fungsi masing - masing yang nilainya dipengaruhi oleh beberapa parameter operasional yang ada. Perubahan parameter operasional dari suatu komponen akan mempengaruhi kondisi operasinya dan memiliki pengaruh terhadap kondisi operasi komponen lain dikarenakan ketiga komponen tersebut tersusun secara seri. [2].



Gambar 2.2 Section pada Gas Turbine Engine Konvensional [5]

2.1.1 Kompresor

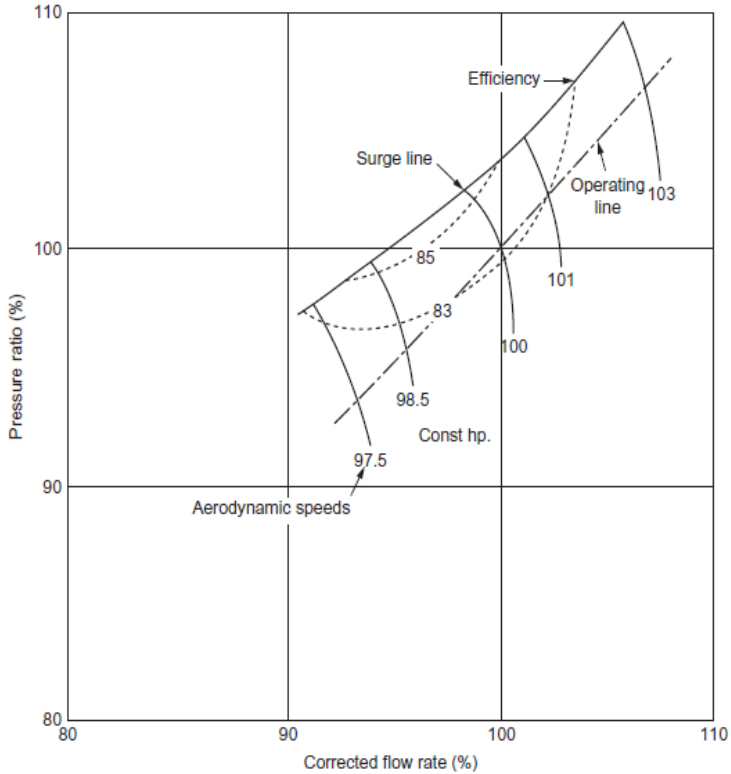
Kompresor adalah komponen yang terdapat pada *gas turbine generator* yang berfungsi untuk menekan udara luar sebelum masuk menuju *combustor* [6]. Kompresi udara dilakukan untuk meningkatkan laju aliran massa udara (\dot{m}_{air}) yang akan dicampur dengan bahan bakar.



Gambar 2.3 Kompresor *Axial* [7]

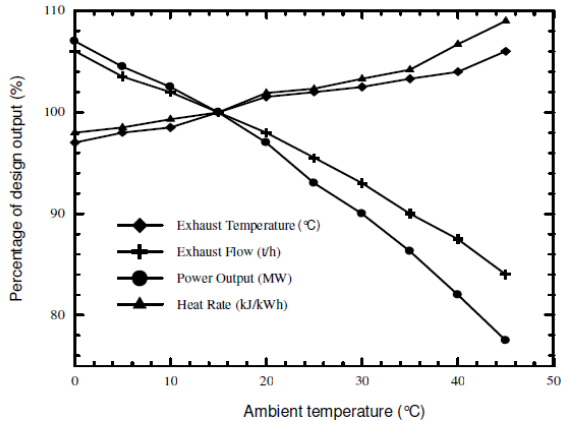
Kinerja dari suatu kompresor ditentukan berdasarkan plot kurva kecepatan putar kompresor sebagai fungsi dari laju aliran massa udara dan rasio tekanan yang dihasilkan oleh kompresor [5]. Nilainya bervariasi terhadap kecepatan putar kompresor dan memiliki efisiensi terbesar saat berada pada kecepatan 100% dan berada pada titik tengahnya.

Laju aliran massa udara pada kompresor ini nilainya harus dijaga agar tidak melewati nilai batas atas dan batas bawahnya. Jika nilainya melebihi batas atasnya, dapat menyebabkan kompresor berada pada keadaan *choke condition* dimana laju aliran massa udara terlalu tinggi dan menyebabkan *shaft* kompresor berputar dengan sangat cepat. Jika terlalu rendah, kompresor mengalami *surge condition* dimana rasio tekanan nilainya terlalu tinggi dan menyebabkan kompresor kelebihan tekanan. Kedua kondisi ini dapat merusak komponen mekanik dari kompresor [5].



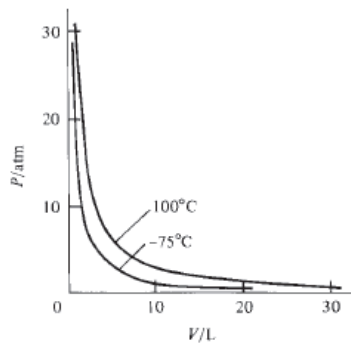
Gambar 2.4 Kurva Operasional Kompresor *Axial* sesuai dengan Rasio Tekanan dan Laju Aliran Massa Udara [5]

Nilai dari kondisi operasi kompresor ini dipengaruhi oleh beberapa parameter operasional kompresor, yaitu parameter input kompresor berupa T_1 (temperatur inlet kompresor), P_1 (tekanan inlet kompresor) yang diukur pada inlet kompresor yang nilainya sesuai dengan keadaan udara luar dan parameter output kompresor berupa PCD (*Pressure Discharge Compressor*) yang diukur pada outlet kompresor. Ketiga parameter ini mempengaruhi nilai kondisi operasi kompresor berupa laju aliran massa udara [7].



Gambar 2.5 Pengaruh Temperatur Lingkungan terhadap Kinerja *Gas Turbine Generator* [8]

Laju aliran massa udara menurun saat terjadi kenaikan temperatur lingkungan dan menyebabkan udara mengembang sehingga volumenya menjadi lebih besar. Hal ini berseberangan dengan kenaikan tekanan lingkungan dari udara, dimana volume udara akan turun saat terjadi kenaikan tekanan. Volume dengan densitas udara memiliki hubungan yang berkebalikan dimana kenaikan volume udara akan mengakibatkan penurunan densitas.



Gambar 2.6 Hubungan Tekanan dengan Volume Gas dengan Variasi Temperatur [9]

P_1 dan T_1 saling berhubungan sesuai dengan pendekatan Hukum Gas Kombinasi Boyle-Charles-Gay Lussac [9] mengenai sifat dari suatu Gas Ideal yang mengemukakan hubungan antara tekanan, temperatur, dan volume gas untuk massa gas tetap sebagai berikut:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{constant} \quad (2.1)$$

Dimana:

P_1 = Tekanan gas pada keadaan 1 (kPa)

P_2 = Tekanan gas pada keadaan 2 (kPa)

V_1 = Volume gas pada keadaan 1 (m^3)

V_2 = Volume gas pada keadaan 2 (m^3)

T_1 = Temperatur gas pada keadaan 1 (K)

T_2 = Temperatur gas pada keadaan 2 (K)

Konsekuensi dari hukum ini akan menyebabkan densitas dari udara akan berubah – ubah sesuai dengan tekanan dan temperatur yang dikenakan pada udara tersebut, sehingga akan mempengaruhi nilai dari laju aliran massa udara kompresor dikarenakan persamaan dari aliran kompresibel [10] sebagai berikut:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \dot{m} = \text{constant} \quad (2.2)$$

Dimana:

ρ_1 = Massa Jenis Udara pada Inlet Kompresor (kg/m^3)

ρ_2 = Massa Jenis Udara pada Outlet Kompresor (kg/m^3)

v_1 = Laju Udara pada Inlet Kompresor (m/s)

v_2 = Laju Udara pada Outlet Kompresor (m/s)

A_1 = Luas Penampang Inlet Kompresor (m^2)

A_2 = Luas Penampang Outlet Kompresor (m^2)

\dot{m} = Laju Aliran Massa Udara Kompresor (kg/s)

Parameter lain yang menjadi tolak ukur dari kinerja suatu kompresor yaitu rasio tekanan (P_r). Rasio tekanan adalah perbandingan antara tekanan pada outlet kompresor dengan tekanan pada inlet kompresor [11]. Nilainya menyesuaikan dengan desain dari Kompresor itu sendiri. dihitung dengan cara berikut

$$P_r = \frac{p_2}{p_1} \quad (2.3)$$

Dimana:

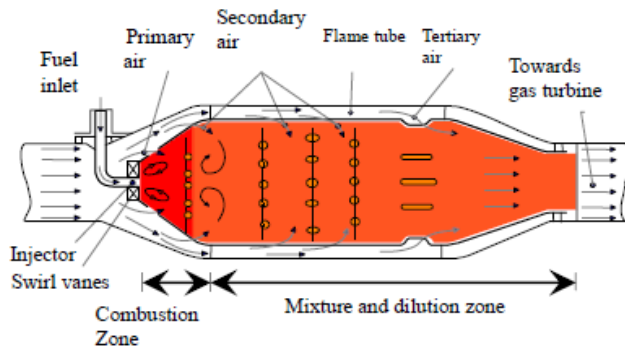
P_r = Rasio Tekanan

P_2 = Tekanan Outlet Kompresor / PCD (kPa)

P_1 = Tekanan Inlet Kompresor (kPa)

2.1.2 Combustor

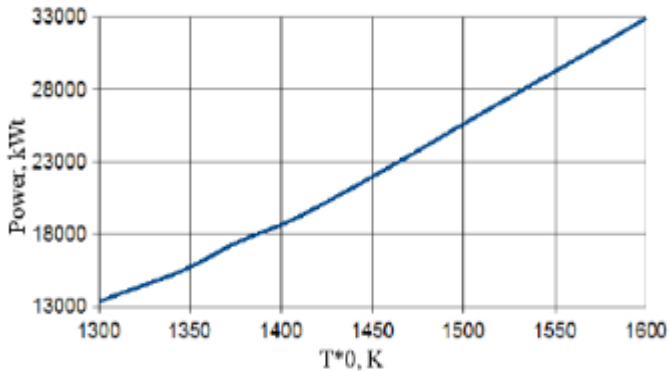
Combustor adalah komponen yang terdapat pada *gas turbine generator* yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pencampuran dan pembakaran bahan bakar dengan udara untuk menghasilkan kalor. Kalor yang dihasilkan melalui udara panas bertekanan akan digunakan untuk menggerakkan turbin. [12]



Gambar 2.7 Combustor [13]

Kinerja dari suatu *combustor* ditentukan berdasarkan nilai dari temperatur udara hasil pembakaran. Parameter ini disebut juga sebagai *turbine inlet temperature* (TIT) yang nilainya menentukan seberapa besar daya yang mampu dihasilkan oleh suatu *gas turbine*

generator. Daya yang dihasilkan akan semakin besar seiring dengan peningkatan nilai dari TIT ini.

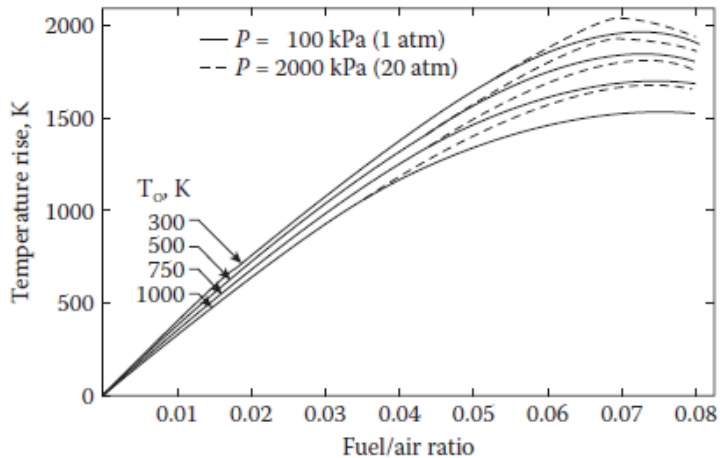


Gambar 2.8 Pengaruh T5 terhadap Daya yang Dihasilkan oleh *gas turbine generator* [14]

Temperatur ini nilainya harus dijaga agar tidak melewati nilai batas atas dan batas bawahnya. Jika nilainya melebihi batas atasnya, dapat menyebabkan *combustor* mengalami *overheating* yang dapat melelehkan *fuel injector* dan komponen lainnya [15]. Jika terlalu rendah, maka kalor yang dihasilkan tidak optimal, hal ini akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh Turbin. Nilai bawah ini juga dapat mengindikasikan bahwa kinerja *combustor* dibawah performa yang diharapkan.

Parameter yang digunakan untuk menjaga nilai dari TIT tetap berada pada batas operasional yaitu dengan mengatur jumlah bahan bakar yang dibakar pada *combustor* [16]. Bahan bakar yang digunakan harus tercampur dengan udara yang cukup agar proses pembakaran yang terjadi berlangsung secara sempurna sehingga kalor yang dihasilkan optimal dengan kadar emisi yang kecil. Parameter yang digunakan untuk menilai rasio campuran bahan bakar dengan udara ini yaitu dengan menghitung nilai AFR(*air to fuel ratio*) atau FRA (*fuel to air ratio*) [17]. Semakin besar nilai

FRA, nilai dari kenaikan TIT akan semakin besar, tetapi pada titik tertentu nilainya akan stagnan karena jumlah udara yang bercampur dengan bahan bakar mencapai titik jenuh sehingga bahan bakar yang tersisa tidak akan terbakar.



Gambar 2.9 Pengaruh *Fuel to Air Ratio* terhadap Kenaikan Temperatur [16]

Persamaan dari AFR sebagai berikut:

$$AFR = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (2.4)$$

Dimana:

AFR = Air to Fuel Ratio

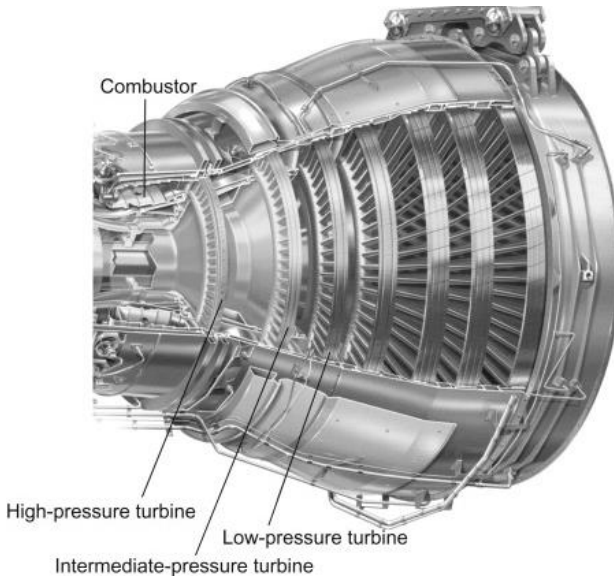
m_{air} = massa udara

m_{fuel} = massa bahan bakar

2.1.3 Turbin

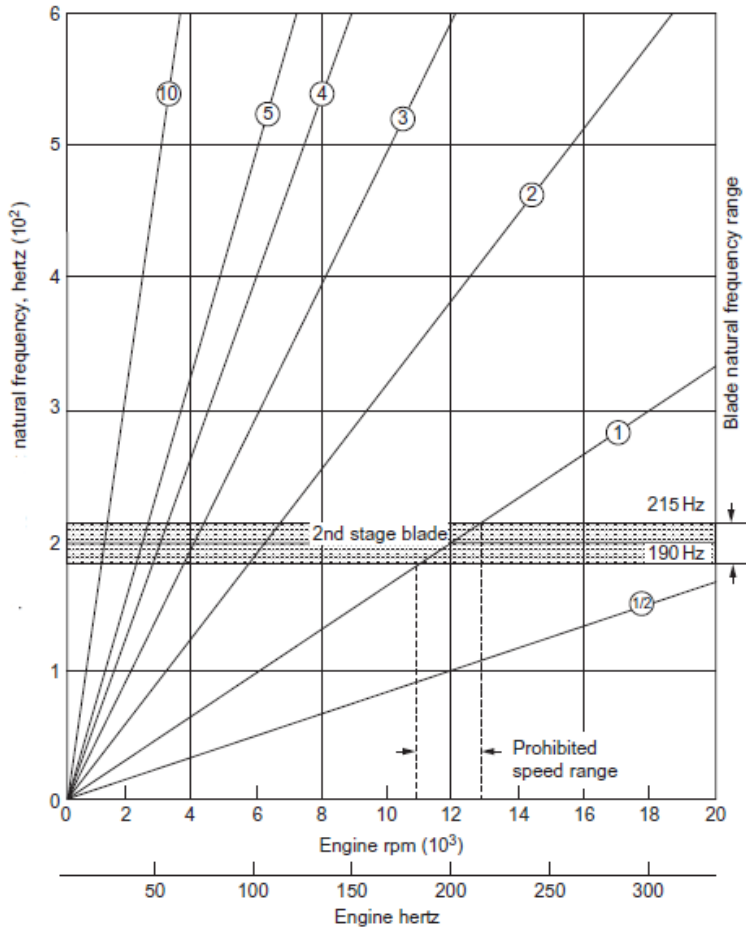
Turbin adalah komponen yang terdapat pada *gas turbine generator* yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses mekanik dimana *blade* pada rotor turbin yang ada diputar oleh udara panas bertekanan tinggi dari *combustor*. Energi mekanik rotor ini sebesar 60% digunakan untuk menggerakkan kompresor dan sisanya

digunakan untuk menggerakkan *generator* yang dapat menghasilkan daya listrik [18].



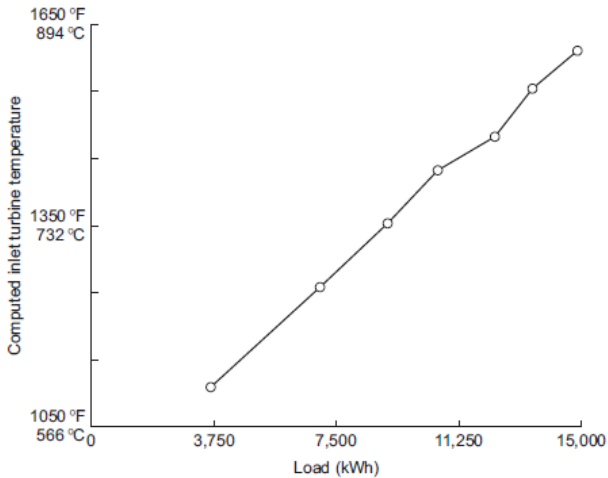
Gambar 2.10 Turbin *Axial* [12]

Kecepatan putaran *shaft* per menit per (RPM) dari rotor turbin nilainya harus dijaga agar tidak melewati nilai batas atas dan batas bawahnya dan harus dijaga konstan untuk menghasilkan frekuensi listrik yang stabil [19]. Jika nilainya melebihi batas atasnya, dapat menyebabkan usia komponen *rotating parts* dari *gas turbine generator* menjadi singkat. Jika terlalu rendah sampai mendekati kecepatan kritis (*critical speed*) sudu turbin dapat menyebabkan getaran yang kuat pada *shaft gas turbine generator*



Gambar 2.11 Kecepatan kritis dari Blade Rotor Turbin [5]

Operasional dari sebuah turbin menyesuaikan dengan beban (*load*) yang dibutuhkan. Variasi dari nilai beban ini akan mengakibatkan nilai TIT yang dihasilkan dari pembakaran pada *combustor* akan berbeda untuk tiap level beban yang dibutuhkan. Semakin besar nilai beban, maka akan semakin besar nilai dari TIT.

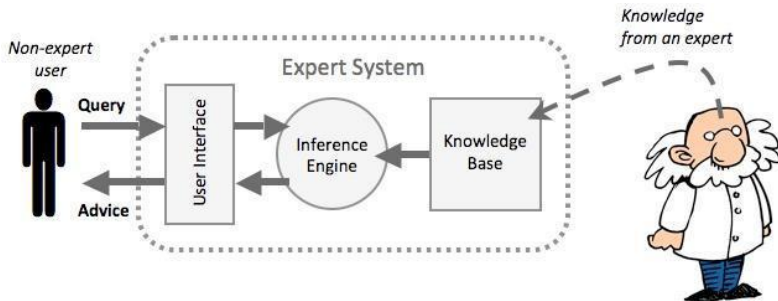


Gambar 2.12 Hubungan TIT dengan Beban pada Turbin

Parameter eksternal lain yang mempengaruhi nilai putaran *Shaft* Turbin yaitu parameter lubrikasi berupa temperatur oli . Temperatur oli penting dijaga pada temperatur desainnya untuk mencegah nilai *Turbine Shaft Displacement* melebihi batas [20]

2.2 Sistem Pakar

Sistem pakar (*expert system*) adalah sebuah program komputer, yang dirancang untuk menyediakan beberapa keterampilan seorang ahli untuk digunakan oleh non ahli. Sistem ini mampu untuk menjembatani pengetahuan yang dimiliki oleh seorang pakar dalam bentuk *database* dan membandingkannya dengan suatu input oleh suatu mesin penalar (*inference engine*) untuk menghasilkan suatu output berupa keputusan (*decision*) [3]

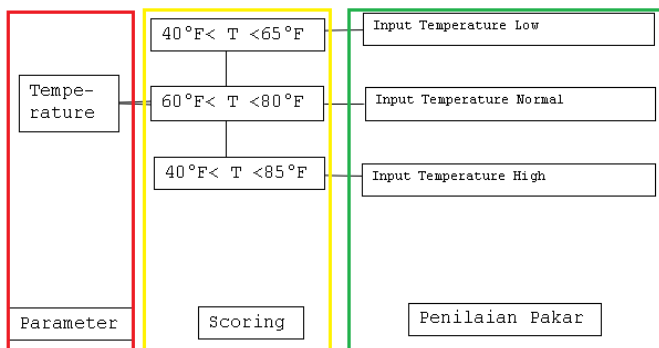


Gambar 2.13 Skematik dari Sebuah Sistem Pakar [21]

Komponen sebuah Sistem Pakar terdiri 2 komponen utama, yaitu *database* dan mesin penalar (*inference engine*).

2.2.1 Database

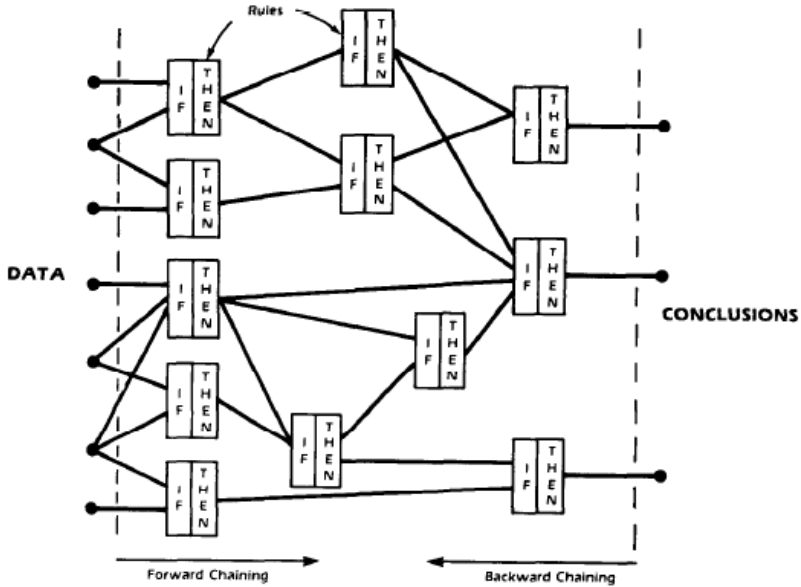
Pada bagian *database*, terdapat 3 tahapan untuk membangun sebuah *database*. Tahapan pertama yaitu identifikasi parameter yang akan jadi input data. Parameter ini lalu akan di-*scoring* nilainya menjadi beberapa rentang nilai tertentu sesuai dengan *range* operasi yang ada. Tiap rentang nilai ini akan dipasangkan dengan penilaian pakar mengenai kondisinya dalam bentuk *knowledge base* [22] yang disusun menjadi pasangan data bersama.



Gambar 2.14 Mekanisme Penyusunan Database [23]

2.2.2 Mesin Penalar (*Inference Engine*)

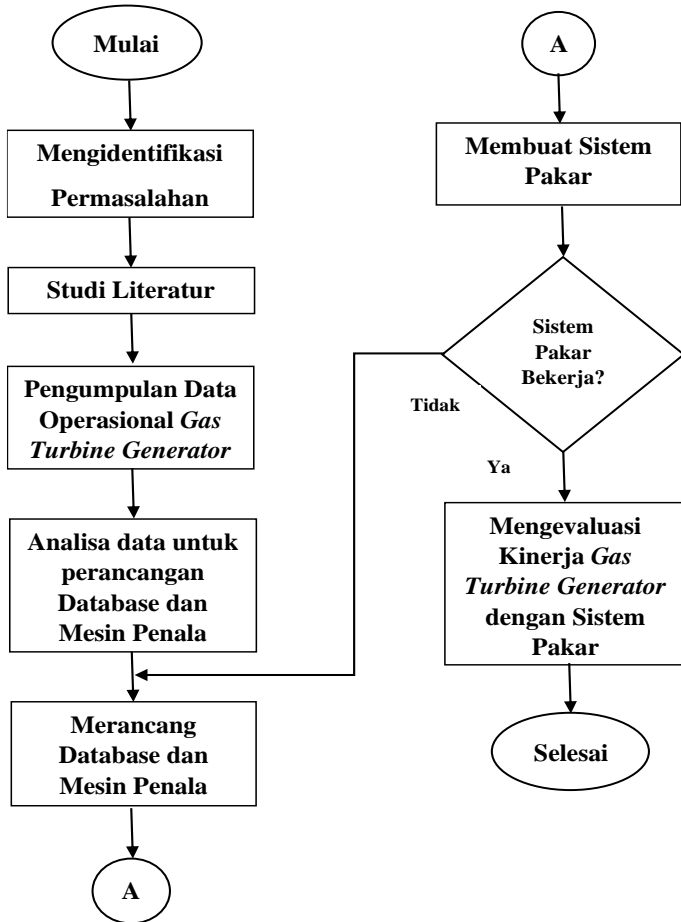
Pada *inference engine* proses yang dilakukan adalah proses penarikan kesimpulan yang dilakukan berdasarkan *database* yang telah dibuat. *Inference engine* berbentuk sebuah *logic solver* yang berfungsi untuk menarik kesimpulan yang berasal dari perbandingan input dengan *database* yang ada. Mesin penalar akan mengolah data input dan membandingkannya dengan *database* yang ada. Output berupa kesimpulan (*conclusions*) dihasilkan melalui beberapa tahap perbandingan sesuai aturan yang dibuat dalam bentuk logika kondisi bersyarat (*if-then*).



Gambar 2.15 Proses Penalaran pada Mesin Penalar untuk Menghasilkan suatu Kesimpulan [24]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian

3.1 Mengidentifikasi Parameter Kondisi Operasi *Gas Turbine Generator*

Parameter kondisi operasi dari *gas turbine generator* diidentifikasi berdasarkan sumber berupa wawancara langsung kepada ahli yang ada di PT. SIPL dan mengadopsi referensi yang telah tertuang pada subbab 2.1 - 2.2 dan penelitian yang ada [25] kondisi operasi dari suatu *gas turbine generator*.

Berdasarkan sumber tersebut, kondisi operasi dan parameter - parameter yang berpengaruh pada komponen *gas turbine generator* yang dijadikan sebagai dasar acuan dalam membangun sistem diagnosis berbasis sistem pakar ini dibagi menjadi parameter – parameter pada 3 komponen utama *gas turbine generator* sesuai pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter Kondisi Operasi *Gas Turbine Generator*

No.	Komponen	Parameter Kondisi Operasi	Parameter Input	Parameter Output
1.	Kompresor	\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	T1 (Temperature Inlet Compressor), P1 (Pressure Inlet Compressor)	PCD (Pressure Compressor Discharge), Pr (Pressure Ratio)
2.	Combustor	T5 (HP Turbine Exit Temperature)	\dot{m}_{air} (Air Flow Rate), \dot{m}_f (Fuel Flow Rate), T_f (Fuel Temperature), P_f (Fuel Pressure), AFR	T5 (HP Turbine Exit Temperature)
3.	Turbin	RPM (Gas Producer Turbine Shaft Speed / NGP)	T5 (HP Turbine Exit Temperature)	P (Power), T_{br} (Bearing Temperature), T_1 (Lube Temperature), P_1 (Lube Pressure)

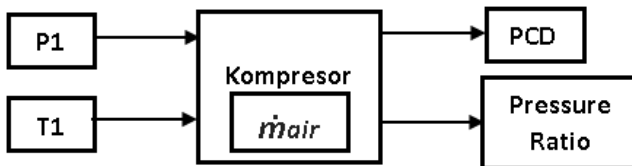
3.2 Pengumpulan Data Operasional Gas Turbine Generator

Data yang dikumpulkan terdiri dari 2 data , yaitu data sekunder berupa *data record* kondisi operasional *gas turbine generator* Solar Taurus 60 di PT. SIPL selama 1 tahun. Selain *data record* tersebut, data panduan operasional dan *datasheet gas turbine generator* Solar Taurus 60 juga dikumpulkan untuk mengetahui desain spesifikasi, skematik dari tiap komponen, dan *range* operasionalnya sebagai dasar dalam melakukan *scoring* terhadap kondisi operasi beserta parameter - parameter yang mempengaruhinya. Data – data ini akan disusun menjadi *rule-based* mesin penalar pada sistem pakar.

Data berikutnya yaitu berupa wawancara dan diskusi dengan ahli *gas turbine generator* PT. SIPL mengenai informasi masalah – masalah operasional yang ditemui apabila nilai – nilai dari kondisi operasi dan parameter input - output tiap *section* komponen *gas turbine generator* melewati batas tertentu . Data berupa penilaian pakar ini akan disusun sebagai *knowledge-based database* pada sistem pakar dan dipasangkan dengan *rule-based* pada mesin penalar untuk membentuk sistem pakar.

3.2.1 Pengumpulan Data Kompresor

Data yang dikumpulkan pada *section* kompresor yaitu data kondisi operasi dan parameter *input – output* yang berpengaruh beserta data penilaian pakar mengenai informasi kondisi yang terjadi saat nilai parameter tersebut berada pada *range* diluar nilai operasional tersebut.



Gambar 3.2 Blok Diagram Kompresor

Berikut data operasional parameter – parameter tersebut yang diperoleh dari *Data Record Gas Turbine Generator Solar Taurus 60* yang ada di PT. SIPL

Tabel 3.2 Sampel Data Kondisi Operasi Kompresor

Kompresor				
Kondisi Operasi	Input		Output	
Outlet Airflow	Air Inlet Temp	Air Inlet Pressure	PCD	Pressure Ratio
kg/s	°C	kPa	kPa	
17,7	28.3	99,02044	868.8	8,8
17,7	27.7	98,07192	868.8	8,8
17,4	34.8	99,11239	855.0	8,6
17,6	32.2	99,10805	868.8	8,7

Data berikutnya yaitu data hasil diskusi dengan ahli *gas turbine generator* yang ada di PT. SIPL. Data ini memuat penilaian ahli *gas turbine generator* mengenai kondisi - kondisi yang dapat terjadi saat nilai parameter - parameter tersebut berada diluar dari nilai operasional normal akan ada konsekuensi yang terjadi Berikut hasil diskusi dengan pakar terhadap kondisi tersebut:

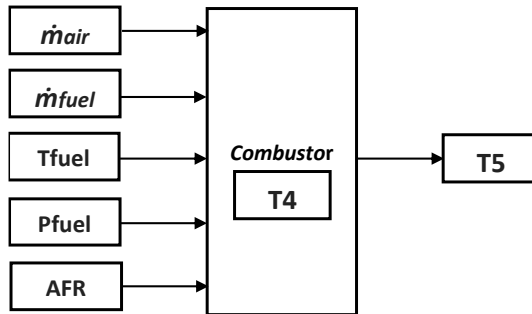
Tabel 3.3 Pasangan Data Kondisi Operasi Kompresor dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar.

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Kondisi Operasi	\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	15.1-21.5 kg/s	Penurunan Inlet Air flowrate disebabkan oleh turunnya nilai PCD atau saringan udara kompresor yang kotor

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Input	T1 (Temperature Inlet Compressor)	25-35°C	Nilai T1 sesuai dengan nilai T_{amb} . Semakin besar Nilai T1, Nilai <i>Heat Rate</i> akan meningkat yang akan mengakibatkan <i>fuel consumption</i> ikut bertambah besar.
	P1 (Pressure Inlet Compressor)	98-100 kPa	Nilai P1 sesuai dengan nilai P_{amb} . Semakin besar nilai P1, maka efisiensi kompresor akan semakin turun dan sebaliknya
Output	PCD (Pressure Compressor Discharge)	0.8-0.9 mPa	Penurunan PCD dapat disebabkan oleh adanya <i>Compressor Fouling</i> , kerusakan <i>compressor stage blade</i> , atau kebocoran pada <i>compressor housing</i>
	Pr (Pressure Ratio)	8:1 –10.6:1 <i>based on PCD value</i>	Semakin besar nilai P_r maka akan semakin besar efisiensi mesin, tetapi kompresor akan memakan daya yang lebih besar untuk memperbesar PCD.

3.2.2 Pengumpulan Data *Combustor*

Data yang dikumpulkan pada *section combustor* yaitu data kondisi operasi dan parameter *input – output* yang berpengaruh: beserta data penilaian pakar mengenai informasi kondisi yang terjadi saat nilai parameter tersebut berada pada *range* diluar nilai operasional tersebut



Gambar 3.3 Blok Diagram *Combustor*

Berikut data operasional parameter – parameter tersebut yang diperoleh dari *Data Record Gas Turbine Generator Solar Taurus 60* yang ada di PT. SIPL

Tabel 3.4 Sampel Data Kondisi Operasi *Combustor*

<i>Combustor</i>					
Kondisi Operasi		Input		Output	
T5	Air Flow Rate	Fuel Flow Rate	Fuel Temperature	Fuel Pressure	AFR
°C	kg/s	kg/s	°C	kPa	
435,6	17,7	0,185	35,4	1792,7	23,9
425,0	17,7	0,184	35,5	1792,7	24,0
452,2	17,4	0,188	35,4	1785,8	23,1
458,3	17,6	0,169	35,5	1785,8	26,1

Data berikutnya yaitu data hasil diskusi dengan ahli *gas turbine generator* yang ada di PT. SIPL. Data ini memuat penilaian ahli *gas turbine generator* mengenai kondisi - kondisi yang dapat terjadi saat nilai parameter - parameter tersebut berada diluar dari nilai operasional normal akan ada konsekuensi yang terjadi Berikut hasil diskusi dengan pakar terhadap kondisi tersebut:

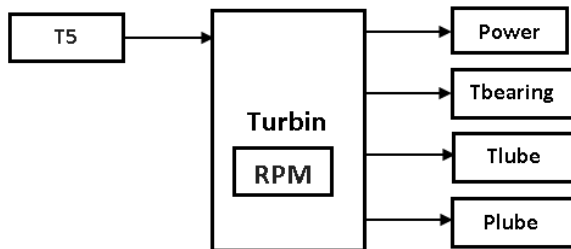
Tabel 3.5 Pasangan Data Kondisi Operasi *Combustor* dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Kondisi Operasi	T4 based on T5 (HP Turbine Exit Temperature)	550 – 650 °C (100% Load) 475 – 550 °C (75% Load) 400 – 475°C (50% Load) 325 – 400°C (25% Load)	T5 yang terlalu besar berdampak pada <i>Combustor Overheat</i> dan melelehkan <i>fuel injector</i> .
Input	\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	15.1– 21.5 kg/s	Jikai <i>Air Mass Flow Rate</i> kecil, mengakibatkan pembakaran tidak sempurna. Jika Terlalu tinggi, dapat mengakibatkan <i>Combustor Overheat</i>
	\dot{m}_f (Fuel Flow Rate)	0.234 – 0.277 kg/s (100% Load) 0.194 – 0.234 kg/s (75% Load) 0.161 – 0.234 kg/s (50% Load) 0.133 – 0.161 kg/s (25% Load)	Penurunan <i>flowrate</i> dapat disebabkan oleh macetnya <i>fuel injector</i> , <i>main fuel control valve</i> , dan kegagalan <i>fuel pump</i> memompa bahan bakar.

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Input	T_f (Fuel Temperature)	-40 - 93°C	<i>Fuel temperature</i> harus berada pada range operasional untuk menjaga proses pembakaran berlangsung optimal
	P_f (Fuel Pressure),	1170 – 2068 kPa	<i>Fuel Pressure</i> harus berada pada range operasional untuk menjaga agar pasokan bahan bakar normal
Output	AFR (Air to Fuel Ratio)	18:1-32:1	Jika AFR terlalu besar, campuran kering akan terbentuk dan menyebabkan ruang bakar terlalu panas, sebaliknya jika terlalu kecil akan menyebabkan boros bahan bakar dan menghasilkan deposit pada <i>combustor</i> .

3.2.3 Pengumpulan Data Turbin

Data yang dikumpulkan pada *section* turbin yaitu data kondisi operasi an parameter *input – output* yang berpengaruh beserta data penilaian pakar mengenai informasi kondisi yang terjadi saat nilai parameter tersebut berada pada *range* diluar nilai operasional tersebut



Gambar 3.4 Blok Diagram Turbin

Berikut data operasional parameter – parameter tersebut yang diperoleh dari *Data Record Gas Turbine Generator Solar Taurus 60* yang ada di PT. SIPL.

Tabel 3.6 Sampel Data Kondisi Operasi Turbin

Turbin					
Kondisi Operasi	Input	Output			
RPM	T5	Power	Bearing Temperature	Lube Temperature	Lube Pressure
°C	°C	kW	°C	°C	kPa
15000	435,6	2175,0	71,7	56,1	339,2
15000	425,0	2063,0	70,2	57,2	339,9
14850	452,2	2178,0	78,3	63,3	337,9
15000	458,3	2369,0	79,0	60,0	339,9

Data berikutnya yaitu data hasil diskusi dengan ahli *gas turbine generator* yang ada di PT. SIPL. Data ini memuat penilaian ahli *gas turbine generator* mengenai kondisi - kondisi yang dapat terjadi saat nilai parameter - parameter tersebut berada diluar dari nilai operasional normal akan ada konsekuensi yang terjadi Berikut hasil diskusi dengan pakar terhadap kondisi tersebut:

Tabel 3.7 Pasangan Data Kondisi Operasi Turbin dan Parameter yang mempengaruhinya Berdasarkan Penilaian Pakar

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Kondisi Operasi	RPM (Gas Producer Turbine Shaft Speed / NGP)	14850-15000 RPM	Nilai RPM harus dipertahankan secara konstan untuk menghasilkan kompresi udara yang konstan.
Input	T5 (HP Turbine Exit Temperature)	550 – 650 °C (100% Load) 475 – 550 °C (75% Load) 400 – 475°C (50% Load) 325 – 400°C (25% Load)	Jika nilai T5 berada range (lebih kecil) , maka daya yang dihasilkan akan kurang dari kebutuhan beban daya. Jika terlalu besar dapat menyebabkan Sudu – Sudu Turbin <i>Overheat</i>
Output	P (Power)	4600-5200 kW (100% Load) 3400-4000 kW (75% Load) 2200-2800 kW (50% Load) 1000-1600 kW (25% Load)	Jika T5 berada pada range beban yang sesuai tetapi daya yang dihasilkan diluar dari range sesuai beban maka mesin beroperasi dengan efisiensi kecil.
	T _{br} (Bearing Temperature)	78 - 109°C	Jika T _{br} melebihi ambang batas, usia bearing akan semakin pendek dan akan cepat aus.

Parameter	Parameter Input	Range Operasional	Penilaian Pakar
Output	T_1 (Lube Temperature)	43 - 74°C	Jika T_1 terlalu besar, viskositas oli akan mengecil dan mengurangi efek pelumasan pada bearing, jika terlalu kecil dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran oli
	P_1 (Lube Pressure)	300 – 400 kPa	Jika P_1 terlalu kecil, oli tidak tersirkulasi dengan baik dan menghambat pelumasan pada <i>rotating parts</i> pada turbin. Komponen ini akan cepat aus dan mudah mengalami kerusakan

3.3 Analisa Data untuk Perancangan Database dan Mesin Penalar

Analisa data dilakukan untuk memperoleh *scoring* dari setiap parameter. Pasangan data dari data yang terkumpul berupa data tabel 3.3, 3.4, dan tabel 3.5 di-*scoring* berdasarkan dasar teori pada bab 2 dan diskusi dengan ahli *gas turbine generator* yang ada di PT. SIPL . Hasil *scoring* ini digunakan untuk membuat beberapa skenario yang akan menjadi dasar sistem pakar untuk mengevaluasi kinerja dari tiap *section gas turbine generator* [23]. Hasil rekomendasi *scoring* oleh pakar *gas turbine generator* sesuai Tabel 3.8

Tabel 3.8 Scoring Parameter *Gas Turbine Generator*

Komponen	Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range
Kompresor	\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	$\dot{m}_{\text{air}} > 21.5$	High
		$21.5 \leq \dot{m}_{\text{air}} < 20.2$	Normal for 100% Load
		$20.2 \leq \dot{m}_{\text{air}} < 18.5$	Normal for 75% Load
		$18.5 \leq \dot{m}_{\text{air}} < 16.8$	Normal for 50% Load
		$16.8 \leq \dot{m}_{\text{air}} < 15.1$	Normal for 25% Load
		$\dot{m}_{\text{air}} \leq 15.1$	Low
	T1 (Temperature Inlet Compressor)	$t1 > 50$	Very High
		$50 \leq t1 < 35$	High
		$35 \leq t1 < 25$	Normal
		$25 \leq t1 < 15$	Low
		$t1 \leq 15$	Very Low
	P1 (Pressure Inlet Compressor)	$p1 > 105$	Very High
		$105 \leq p1 < 101$	High
		$101 \leq p1 < 99$	Normal
		$99 \leq p1 < 95$	Low
		$p1 \leq 95$	Very Low
	PCD (Pressure Compressor Discharge)	$pcd \leq 1060$	High
		$1060 \leq pcd < 950$	Normal for 100% Load
		$950 \leq pcd < 900$	Normal for 75% Load
		$900 \leq pcd < 850$	Normal for 50% Load
		$850 \leq pcd < 800$	Normal for 25% Load
$pcd \leq 800$		Low	

Komponen	Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range
	Pr (Pressure Ratio)	$pr > 10.6$	High
		$10.6 \leq pr < 9.5$	Normal for 100% Load
		$9.5 \leq pr < 9$	Normal for 75% Load
		$9 \leq pr < 8.5$	Normal for 50% Load
		$8.5 \leq pr < 8$	Normal for 25% Load
		$pr \leq 8$	Low
<i>Combustor</i>	T5 (HP Turbine Exit Temperature)	$t5 > 650$	High
		$650 \leq t5 < 550$	Normal for 100% Load
		$550 \leq t5 < 475$	Normal for 75% Load
		$475 \leq t5 < 400$	Normal for 50% Load
		$400 \leq t5 < 325$	Normal for 25% Load
		$t5 \leq 325$	Low
	\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	$mair > 21.5$	High
		$21.5 \leq mair < 20.2$	Normal for 100% Load
		$20.2 \leq mair < 18.5$	Normal for 75% Load
		$18.5 \leq mair < 16.8$	Normal for 50% Load
		$16.8 \leq mair < 15.1$	Normal for 25% Load
		$mair \leq 15.1$	Low

Komponen	Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range
	\dot{m}_f (Fuel Flow Rate)	$m_{fuel} > 0.277$	High
		$0.277 \leq m_{fuel} < 0.234$	Normal for 100% Load
		$0.234 \leq m_{fuel} < 0.194$	Normal for 75% Load
		$0.194 \leq m_{fuel} < 0.161$	Normal for 50% Load
		$0.161 \leq m_{fuel} < 0.133$	Normal for 25% Load
		$m_{fuel} \leq 0.133$	Low
	T_f (Fuel Temperature)	$t_{fuel} > 93$	High
		$93 \leq m_{fuel} < -40$	Normal
		$t_{fuel} > -40$	Low
	P_f (Fuel Pressure),	$p_{fuel} > 2068$	High
		$2068 \leq p_{fuel} < 1170$	Normal
		$p_{fuel} \leq 1170$	Low
	AFR (Air to Fuel Ratio)	$a_{fr} > 32$	High
		$32 \leq a_{fr} < 18$	Normal
		$a_{fr} \leq 18$	Low
Turbin	RPM (Gas Producer Turbine Shaft Speed / NGP)	$RPM > 15000$	High
		$15000 \leq RPM < 14850$	Normal
		$RPM \leq 14750$	Low
	T_5 (HP Turbine Exit Temperature)	$t_5 > 650$	High
		$650 \leq t_5 < 550$	Normal for 100% Load
		$550 \leq t_5 < 475$	Normal for 75% Load
		$475 \leq t_5 < 400$	Normal for 50% Load
		$400 \leq t_5 < 325$	Normal for 25% Load
		$t_5 \leq 325$	Low

Komponen	Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range
	P (Power)	power > 5200	High
		5200 <= power < 4600	Normal for 100% Load
		4600 <= power < 4000	Low for 100% Load
		4000 <= power < 3400	Normal for 75% Load
		3400 <= power < 2800	Low for 75% Load
		2800 <= power < 2200	Normal for 50% Load
		2200 <= power < 1600	Low for 50% Load
		1600 <= power < 1000	Normal for 25% Load
		power <= 1000	Low
	T _{br} (Bearing Temperature)	Tbear > 109	High
		109 <= Tbear < 78	Normal
		Tbear < 78	Low
	T _l (Lube Temperature)	Tluber > 74	High
		74 <= Tlube < 43	Normal
		Tlube < 43	Low
	P _l (Lube Pressure)	Pluber > 400	High
		400 <= Plube < 300	Normal
		Plube <= 300	Low

3.4 Merancang Database dan Mesin Penalar

Database berupa *knowledge-based database* dibangun berdasarkan *scoring* parameter pada tabel 3.8. Nilai *scoring* yang telah dibuat akan dipasangkan dengan data penilaian pakar mengenai kondisi yang terjadi saat nilai dari parameter - parameter tersebut memenuhi skenario *scoring* yang dibuat. *Database* dibuat untuk menguji kinerja ketiga komponen *gas turbine generator*.

Skenario dibuat dengan hubungan logika *and* [*if* ($x = \text{high}$) *and* ($y = \text{high}$) *then* (z)]. [26]

3.4.1 Database Kompresor

Database pada kompresor dibangun dengan membuat skenario berdasarkan nilai dari *pressure ratio* dan *air mass flow rate*. Parameter ini dipilih karena merupakan parameter yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kinerja dari kompresor. Database berupa skenario yang dibuat berdasarkan kombinasi dari nilai parameter tersebut beserta labelnya sesuai pada tabel 3.9

Tabel 3.9 Skenario *Database* berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja Kompresor

Pr	mair	<i>Knowledge-based database</i>	Label
High	-	Compressor Pressure is Exceed Upper Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Overpressured	compstat pressup
-	High	Compressor Air Flow Rate is Exceed Upper Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Overflowed	compstat airup
Normal 100% Load	Normal 100% Load	Compressor Performance in Normal Operation Value for 100% Load	compstat 100
	Normal 75% Load	Compressor Performance in Normal Operation Value for 75% Load	compstat 75
	Normal 50% Load	Compressor is Overpressured, Compressor Parts May be Overheated	compstat high
	Normal 25% Load	Compressor is Overpressured, Compressor Parts Overheated, Beware of Breakdown	compstat veryhigh
Normal 75% Load	Normal 100% Load	Compressor Performance in Normal Operation Value for 100% Load	compstat 100

Pr	mair	Knowledge-based database	Label
	Normal 75% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 75% Load</i>	compstat 75
	Normal 50% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 50% Load</i>	compstat 50
	Normal 25% Load	<i>Compressor is Overpressured, Compressor Parts May be Overheated</i>	compstat high
Normal 50% Load	Normal 100% Load	<i>Compressor is Overflowed, Compressor Parts May be Overheated</i>	compstat low
	Normal 75% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 75% Load</i>	compstat 75
	Normal 50% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 50% Load</i>	compstat 50
	Normal 25% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 25% Load</i>	compstat 25
Normal 25% Load	Normal 100% Load	<i>Compressor is Overflowed, Compressor Parts Overheated, Beware of Breakdown</i>	compstat verylow
	Normal 75% Load	<i>Compressor is Overflowed, Compressor Parts May be Overheated</i>	compstat low
	Normal 50% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 50% Load</i>	compstat 50
	Normal 25% Load	<i>Compressor Performance in Normal Operation Value for 25% Load</i>	compstat 25
Low	-	<i>Compressor Pressure is Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Pressureless</i>	compstat press- down
-	Low	<i>Compressor Air Flow is Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Flowless</i>	compstat airdown

3.4.2 Database Combustor

Database pada *combustor* dibangun dengan membuat skenario berdasarkan nilai dari *T5* dan *fuel mass flow rate*. Parameter ini dipilih karena merupakan parameter yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kinerja dari *combustor*. Database berupa skenario yang dibuat berdasarkan kombinasi dari nilai parameter tersebut beserta labelnya sesuai pada tabel 3.10

Tabel 3.10 Skenario *Database* berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja *Combustor*

T5	mfuel	<i>Knowledge-based database</i>	Label
High	-	Combustor Temperature is Exceed Upper Limit Value	combstat tempup
-	High	<i>Combustor Fuel Flow Rate is Exceed Upper Limit Value</i>	combstat fuelup
Normal 100% Load	Normal 100% Load	<i>Combustor Performance in Normal Operation Value for 100% Load</i>	combstat 100
	Normal 75% Load	<i>Combustor is Efficiently Consumed Fuel</i>	combstat high
	Normal 50% Load	<i>Combustor Measured T5 False as the T5 Value Too High for Corresponding Fuel Flow Rate</i>	combstat false
	Normal 25% Load		
Normal 75% Load	Normal 100% Load	<i>Combustor is Inefficiently Consumed Fuel</i>	combstat low
	Normal 75% Load	<i>Combustor Performance in Normal Operation Value for 75% Load</i>	combstat 75
	Normal 50% Load	<i>Combustor is Efficiently Consumed Fuel</i>	combstat high

T5	mfuel	Knowledge-based database	Label
	Normal 25% Load	<i>Combustor Measured T5 False as the T5 Value Too High for Corresponding Fuel Flow Rate</i>	combstat false
Normal 50% Load	Normal 100% Load	<i>Combustor is Inefficiently Consumed Fuel</i>	combstat low
	Normal 75% Load		
	Normal 50% Load	<i>Combustor Performance in Normal Operation Value for 50% Load</i>	combstat 50
	Normal 25% Load	<i>Combustor is Efficiently Consumed Fuel</i>	combstat high
Normal 25% Load	Normal 100% Load	<i>Combustor is Inefficiently Consumed Fuel</i>	combstat low
	Normal 75% Load		
	Normal 50% Load		
	Normal 25% Load	<i>Combustor Performance in Normal Operation Value for 25% Load</i>	combstat 25
Low	-	<i>Combustor Temperature is Exceed Lower Limit Value</i>	combstat temp- down
-	Low	<i>Combustor Fuel Flow Rate is Exceed Lower Limit Value</i>	combstat fueldown

3.4.3 Database Turbin

Database pada turbin dibangun dengan membuat skenario berdasarkan nilai dari T5 (HP turbine outlet temperature) dan daya (total power) yang dihasilkan. Parameter ini dipilih karena merupakan parameter yang memiliki pengaruh paling signifikan

terhadap kinerja dari turbin. Database berupa skenario yang dibuat berdasarkan kombinasi dari nilai parameter tersebut beserta labelnya sesuai pada tabel 3.11

Tabel 3.11 Skenario Database berupa Penilaian Pakar terhadap Kinerja Turbin

T5	Daya	<i>Knowledge-based database</i>	Label
High	-	<i>Turbine Temperature is Exceed Upper Limit Value</i>	turbstat tempup
-	High	<i>Turbine Power Value Exceed Gas Turbine Spec.</i>	turbstat power-high
Normal 100% Load	Normal 100% Load	<i>Turbine Performance in Normal Expected Value for 100% Load</i>	turbstat 100
	Normal 75% Load	<i>Turbine Performance in Low Expected Value for 100% Load</i>	turbstat 100low
	Normal 50% Load		
	Normal 25% Load		
Normal 75% Load	Normal 100% Load	<i>Turbine Measured Power False as the T5 Value Too Low for Power Outcome</i>	turbstat false
	Normal 75% Load	<i>Turbine Performance in Normal Expected Value for 75% Load</i>	turbstat 75
	Normal 50% Load	<i>Turbine Performance in Low Expected Value for 75% Load</i>	Turbstat 75low
	Normal 25% Load		
Normal 50% Load	Normal 100% Load	<i>Turbine Measured Power False as the T5 Value Too Low for Corresponding Power Outcome</i>	turbstat false

T5	Daya	<i>Knowledge-based database</i>	Label
	Normal 75% Load		
	Normal 50% Load	<i>Turbine Performance in Normal Expected Value for 50% Load</i>	turbstat 50
	Normal 25% Ld.	<i>Turbine Performance in Low Expected Value for 50% Load</i>	turbstat 50low
Normal 25% Load	Normal 100% Load	<i>Turbine Measured Power False as the T5 Value Too Low for Corresponding Power Outcome</i>	turbstat false
	Normal 75% Ld.		
	Normal 50% Ld.	<i>Turbine Performance in Normal Expected Value for 25% Load</i>	turbstat 25
Low	-	<i>Turbine Temperature is Exceed Lower Limit Value</i>	turbstat temp- down
-	Low	<i>Turbine Power Value Under Expectation</i>	turbstat power- down

3.4.4 Mesin Penalar

Sebuah mesin penalar hanya dapat bekerja untuk membandingkan input data dengan *database* apabila input data dan *database* dideklarasikan menjadi sebuah variabel. Variabel berupa label ini dibuat menjadi pernyataan matematis dengan operator berupa persamaan dan pertidaksamaan sehingga dapat menghasilkan sebuah konklusi. Konklusi ini menjadi output dari sistem pakar sebagai hasil perbandingan antara nilai input dengan *database*.

Mesin penalar berupa *conditional statement* dibangun dengan menggunakan *scoring* parameter yang telah dibuat pada tabel 3.8. Nilai *range* parameter yang ada diberi label sehingga bisa dibentuk menjadi sebuah variable, variable ini yang menyimpan nilai input

dalam bentuk suatu *range* . Label untuk tiap parameter sebagai berikut:

Tabel 3.12 Label Untuk Tiap *Range* Nilai Parameter

Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range	Label
T1 (Temperature Inlet Compressor)	$t1 > 50$	Very High	t1veryhigh
	$50 \leq t1 < 35$	High	t1high
	$35 \leq t1 < 25$	Normal	t1normal
	$25 \leq t1 < 15$	Low	t1low
	$t1 \leq 15$	Very Low	t1verylow
P1 (Pressure Inlet Compressor)	$p1 > 105$	Very High	p1veryhigh
	$105 \leq p1 < 101$	High	p1high
	$101 \leq p1 < 99$	Normal	p1normal
	$99 \leq p1 < 95$	Low	p1low
	$p1 \leq 95$	Very Low	p1verylow
PCD (Pressure Compressor Discharge)	$pcd \leq 1060$	High	pcdhigh
	$1060 \leq pcd < 950$	Normal for 100% Load	pcd100
	$950 \leq pcd < 900$	Normal for 75% Load	pcd75
PCD (Pressure Compressor Discharge)	$900 \leq pcd < 850$	Normal for 50% Load	pcd50
	$850 \leq pcd < 800$	Normal for 25% Load	pcd25
	$pcd \leq 800$	Low	pcdlow

Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range	Label
Pr (Pressure Ratio)	$pr > 10.6$	High	prhigh
	$10.6 \leq pr < 9.5$	Normal for 100% Load	pr100
	$9.5 \leq pr < 9$	Normal for 75% Load	pr75
	$9 \leq pr < 8.5$	Normal for 50% Load	pr50
	$8.5 \leq pr < 8$	Normal for 25% Load	pr25
	$pr \leq 8$	Low	prlow
\dot{m}_{air} (Outlet Compressor Air Flow Rate)	$mair > 21.5$	High	mairhigh
	$21.5 \leq mair < 20.2$	Normal for 100% Load	mair100
	$20.2 \leq mair < 18.5$	Normal for 75% Load	mair75
	$18.5 \leq mair < 16.8$	Normal for 50% Load	mair50
	$16.8 \leq mair < 15.1$	Normal for 25% Load	mair25
	$mair \leq 15.1$	Low	mairlow
\dot{m}_f (Fuel Flow Rate)	$mfuel > 0.277$	High	mfuelhigh
	$0.277 \leq mfuel < 0.234$	Normal for 100% Load	mfuel100
	$0.234 \leq mfuel < 0.194$	Normal for 75% Load	mfuel75
	$0.194 \leq mfuel < 0.161$	Normal for 50% Load	mfuel50
	$0.161 \leq mfuel < 0.133$	Normal for 25% Load	mfuel25
	$mfuel \leq 0.133$	Low	mfuelflow
T_f (Fuel Temperature)	$tfuel > 93$	High	tfuelhigh
	$93 \leq mfuel < -40$	Normal	tfuelnormal
	$tfuel > -40$	Low	tfuelflow
	$pfuel > 2068$	Very High	pfuelhigh

Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range	Label
P _f (Fuel Pressure),	2068 <= p _{fuel} < 1170	Normal	pfuelnormal
	p _{fuel} <= 1170	Low	pfuel _{low}
AFR (Air to Fuel Ratio)	afr > 32	High	afr _{high}
	32 <= afr < 18	Normal	afr _{normal}
	afr <= 18	Low	afr _{low}
RPM (Gas Producer Turbine Shaft Speed / NGP)	RPM > 15000	High	rpm _{high}
	15000 <= RPM < 14850	Normal	rpm _{normal}
	RPM <= 14750	Low	rpm _{low}
T5 (HP Turbine Exit Temperature)	t5 > 650	High	t5 _{high}
	650 <= t5 < 550	Normal for 100% Load	t5 ₁₀₀
	550 <= t5 < 475	Normal for 75% Load	t5 ₇₅
	475 <= t5 < 400	Normal for 50% Load	t5 ₅₀
	400 <= t5 < 325	Normal for 25% Load	t5 ₂₅
	t5 <= 325	Low	t5 _{low}
P (Power)	power > 5200	High	power _{high}
	5200 <= power < 4600	Normal for 100% Load	power ₁₀₀
	4600 <= power < 4000	Low for 100% Load	power _{100low}
	4000 <= power < 3400	Normal for 75% Load	power ₇₅
	3400 <= power < 2800	Low for 75% Load	power _{75low}
P (Power)	2800 <= power < 2200	Normal for 50% Load	power ₅₀
	2200 <= power < 1600	Low for 50% Load	power _{50low}
	1600 <= power < 1000	Normal for 25% Load	power ₂₅

Parameter	Scoring	Keterangan Nilai Range	Label
	power \leq 1000	Low	powerlow
T _{br} (Bearing Temperature)	Tbear $>$ 109	High	tbearhigh
	109 \leq Tbear $<$ 78	Normal	tbearnormal
	Tbear $<$ 78	Low	tbearlow
T _l (Lube Temperature)	Tluber $>$ 74	High	tlubehigh
	74 \leq Tlube $<$ 43	Normal	tlubenormal
	Tlube $<$ 43	Low	tlubelow
P _l (Lube Pressure)	Pluber $>$ 400	High	plubehigh
	400 \leq Plube $<$ 300	Normal	plubenormal
	Plube \leq 300	Low	plubelow

Mesin penalar untuk tiap *section* komponen *gas turbine generator* dibuat dengan menggabungkan tabel 3.9, 3.10, 3.11, dan 3.12 menjadi sebuah bentuk *conditional statement* sebagai berikut:

Tabel 3.13 Mesin Penalar untuk Uji Kinerja Kompresor

IF - AND - THEN	<i>Pressure ratio</i>	<i>Air mass flow rate</i>	Label
	prhigh	-	compstatpressup
	-	mairhigh	compstatairup
	pr100	mair100	compstat100
		mair75	compstat75
		mair50	compstathigh
		mair25	compstatveryhigh
	pr75	mair100	compstat100
		mair75	compstat75
		mair50	compstat50
mair25		compstathigh	
IF - AND - THEN	<i>Pressure ratio</i>	<i>Air mass flow rate</i>	Label
	pr50	mair100	compstatlow
		mair75	compstat75
		mair50	compstat50
		mair25	compstat25

	pr25	mair100	compstatverylow
		mair75	compstatlow
		mair50	compstat50
		mair25	compstat25
	prlow	-	compstatpressdown
	-	mairlow	compstatairdown

Tabel 3.14 Mesin Penalar untuk Uji Kinerja *Combustor*

IF - AND - THEN	T5	<i>Fuel mass flow rate</i>	Label
	t5high	-	combstattempup
	-	mfuelhigh	combstatfuelup
	t5100	mfuel100	combstat100
		mfuel75	combstathigh
		mfuel50	combstatfalse
	mfuel25		
	t575	mfuel100	combstatlow
		mfuel75	combstat75
		mfuel50	combstathigh
		mfuel25	combstatfalse
	t550	mfuel100	combstatlow
		mfuel75	
		mfuel50	combstat50
mfuel25		combstathigh	
t525	mfuel100	combstatlow	
	mfuel75		
	mfuel50		
	mfuel25	combstat25	
t5low	-	combstattempdown	
-	mfuellow	combstatfueldown	

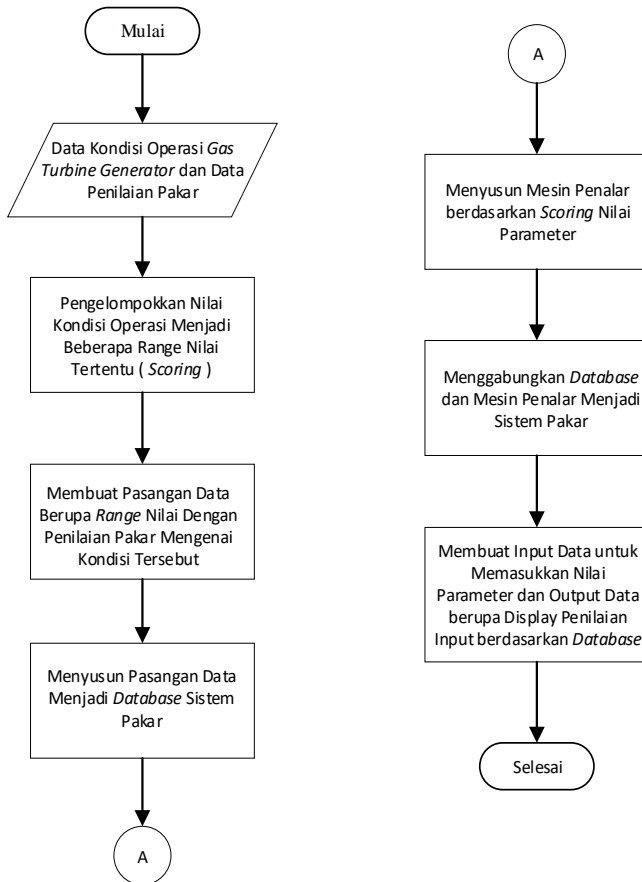
Tabel 3.15 Mesin Penalar untuk Uji Kinerja Turbin

IF - AND - THEN	T5	<i>Power</i>	Label
	t5high	-	turbstatemphigh
	-	powerhigh	turbstatpowerhigh
	t5100	power100	turbstat100

		power75	turbstat100low
		power50	
		power25	
	t575	power100	turbstatfalse
		power75	Turbstat75
		power50	Turbstat75low
		power25	
	t550	power100	turbstatfalse
		power75	turbstat50
		power50	turbstat50low
		power25	
	t525	power100	turbstatfalse
		power75	turbstat25
		power50	turbstat25
		power25	turbstat25
t5low	-	turbstattempdown	
-	powerlow	turbstatpowerdown	

3.5 Membuat Sistem Pakar

Proses penyusunan sistem pakar diawali dengan melakukan *scoring* terhadap nilai dari parameter - parameter kondisi operasi *gas turbine generator* beserta parameter - parameter yang mempengaruhinya. Hasil *scoring* ini dijadikan sebagai pasangan data berupa *range* nilai beserta penilaian pakar terhadap kondisi tersebut, hasilnya terdapat pada tabel 3.8. Pasangan data ini lalu dijadikan sebagai *database* dari sistem pakar, sesuai pada tabel 3.9, 3.10, dan 3.11 dengan membuat suatu skenario tertentu untuk menguji kinerja dari tiap *section gas turbine generator*. Mesin penalar digunakan untuk membandingkan input data parameter yang ada berdasarkan *database* yang ada, sehingga kinerja dari tiap *section gas turbine generator* dapat diketahui.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penyusunan Sistem Pakar

Database dan mesin penalar ini digabungkan menjadi suatu sistem pakar. Sistem pakar yang dibuat memiliki algoritma pengambilan keputusan yang berbeda- beda untuk tiap *section*. Algoritma dibuat dari data pada tabel 3.13-3.15 dan sesuai yang terlampir pada Lampiran A - C.

Sistem pakar dibuat dengan memanfaatkan *toolbox* Simulink pada Software Matlab. *Database* dibuat dalam bentuk fungsi *string* yang disimpan dengan label sesuai pada tabel 3.8-3.12. Mesin

penalar dibuat dengan memanfaatkan fungsi *conditional statement* sebagai logika yang digunakan untuk menalar input data dengan membandingkannya dengan *database* yang ada. *Database* dan mesin penalar ini dibuat dengan menggunakan *user defined function block* pada Simulink. *Function block* ini memiliki input berupa nilai dari parameter kondisi operasi beserta parameter yang mempengaruhi nilainya. Outputnya sendiri yaitu berupa kesimpulan dari mesin penalar yang menyesuaikan nilai input dengan *database* yang ada. Berikut penjelasan mengenai perancangan sistem pakar pada tiap *section* komponen yang dibuat pada software Matlab:

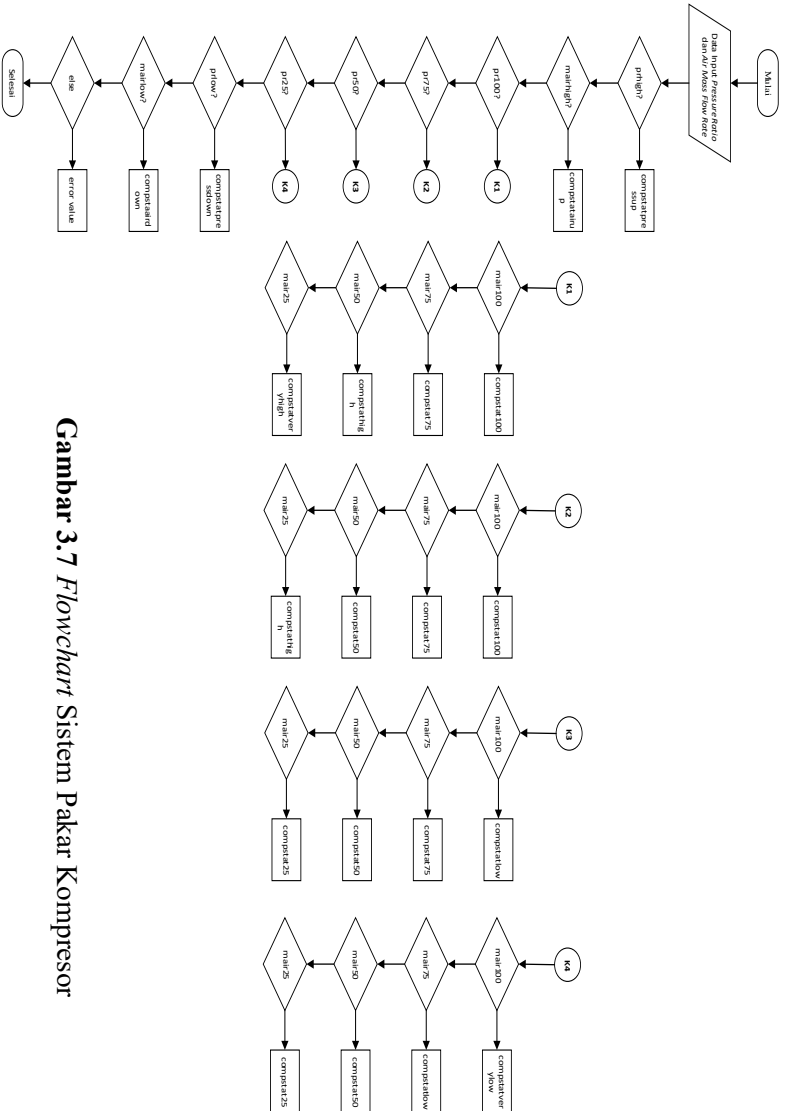
3.5.1 Sistem Pakar Kompresor

Database pada sistem pakar untuk uji kinerja kompresor dibuat sesuai dengan tabel 3.9. Berikut *database* yang dibuat pada *block* kompresor ini. Mesin penalarnya dibuat sesuai dengan *flowchart* sesuai gambar 3.6

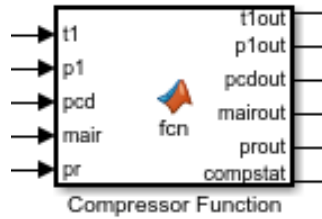
```
%Compressor Check Up Database
compstat100 = "Compressor Performance in Normal Operation Value for 100% Load"
compstat75 = "Compressor Performance in Normal Operation Value for 75% Load"
compstat50 = "Compressor Performance in Normal Operation Value for 50% Load"
compstat25 = "Compressor Performance in Normal Operation Value for 25% Load"
compstatveryhigh = "Compressor is Overpressured, Compressor Parts Overheated, Beware of Breakdown"
compstathigh = "Compressor is Overpressured, Compressor Parts May be Overheated"
compstatlow = "Compressor is Overflowed, Compressor Parts May be Overheated"
compstatverylow = "Compressor is Overflowed, Compressor Parts Overheated, Beware of Breakdown"
compstatpressup = "Compressor Pressure is Exceed Upper Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Overpressured"
compstatpressdown = "Compressor Pressure is Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Pressureless"
compstatairup = "Compressor Air Flow Rate is Exceed Upper Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Overflowed"
compstatairdown = "Compressor Air Flow Rate is Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor Won't Flowless"
```

Gambar 3.6 *Database* Kompresor pada Matlab

Setelah *database* dan mesin penalar selesai dibuat, *block* kompresor diberi input data berupa nilai parameter operasional kompresor yang terdiri dari T1 (*temperature inlet compressor*), P1 (*pressure inlet compressor*), PCD (*pressure compressor discharge*), dan pr (*pressure ratio*). Outputnya sendiri yaitu berupa kesimpulan dari mesin penalar yang menyesuaikan nilai input dengan *database* yang ada.

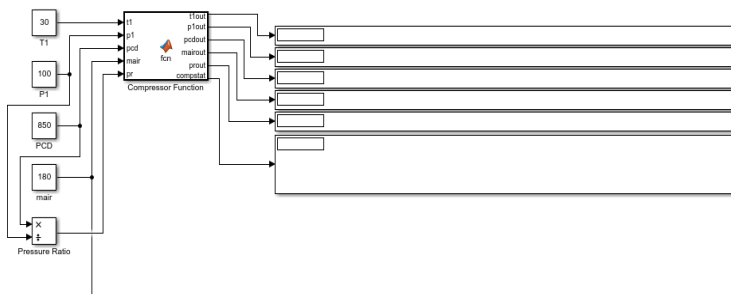


Gambar 3.7 Flowchart Sistem Pakar Kompressor



Gambar 3.8 *Block* Kompresor

Berikut simulasi sistem pakar untuk *section* kompresor dari input, *block* kompresor, beserta output yang telah dibuat pada Simulink.



Gambar 3.9 Simulasi Sistem Pakar untuk Kompresor pada Simulink

3.5.2 Sistem Pakar *Combustor*

Database pada sistem pakar untuk uji kinerja *combustor* dibuat sesuai dengan tabel 3.10 Berikut *database* yang dibuat pada *block combustor* ini. Mesin penalarannya dibuat sesuai dengan *flowchart* yang tertera pada gambar 3.9.

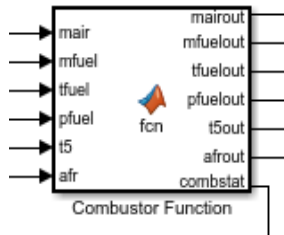

```

%Combustor Check Up Database
combstat100 = "Combustor Performance in Normal Operation Value for 100% Load"
combstat75 = "Combustor Performance in Normal Operation Value for 75% Load"
combstat50 = "Combustor Performance in Normal Operation Value for 50% Load"
combstat25 = "Combustor Performance in Normal Operation Value for 25% Load"
combstathigh = "Combustor is Efficiently Consumed Fuel"
combstatlow = "Combustor is Inefficiently Consumed Fuel"
combstatfalse = "Combustor Measured T5 False as the T5 Value Too High for Corresponding Fuel Flow Rate"
combstattempup = "Combustor Temperature is Exceed Upper Limit Value"
combstattempdown = "Combustor Temperature is Exceed Lower Limit Value"
combstatfuelup = "Combustor Fuel Flow Rate is Exceed Upper Limit Value"
combstatfueldown = "Combustor Fuel Flow Rate is Exceed Lower Limit Value"

```

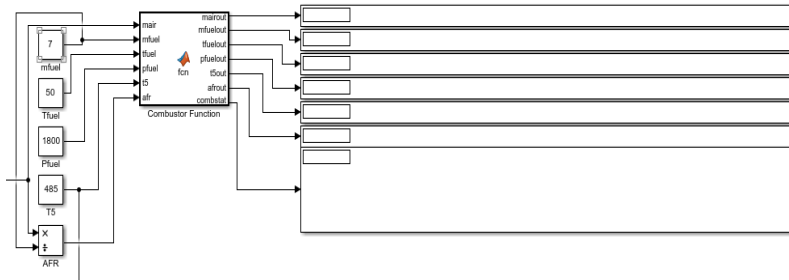
Gambar 3.11 Database Combustor pada Matlab

Setelah *database* dan mesin penalar selesai dibuat, *block combustor* diberi input data berupa nilai parameter operasional *combustor* yang terdiri dari *mair* (*air flow rate*), *mfuel* (*fuel flow rate*), *Tf* (*fuel temperature*), *Pf* (*fuel pressure*), *AFR* dan *T5*. Outputnya sendiri yaitu berupa kesimpulan dari mesin penalar yang menyesuaikan nilai input dengan *database* yang ada.



Gambar 3.12 Block Combustor

Berikut simulasi sistem pakar untuk *section combustor* dari input, *block combustor*, beserta output yang telah dibuat pada Simulink.



Gambar 3.13 Simulasi Sistem Pakar untuk *Combustor* pada Simulink

3.5.3 Sistem Pakar Turbin

Database pada sistem pakar untuk uji kinerja turbin dibuat sesuai dengan tabel 3.11 Berikut *database* yang dibuat pada *block* turbin ini. Mesin penalarannya dibuat sesuai dengan *flowchart* yang tertera pada gambar 3.16.

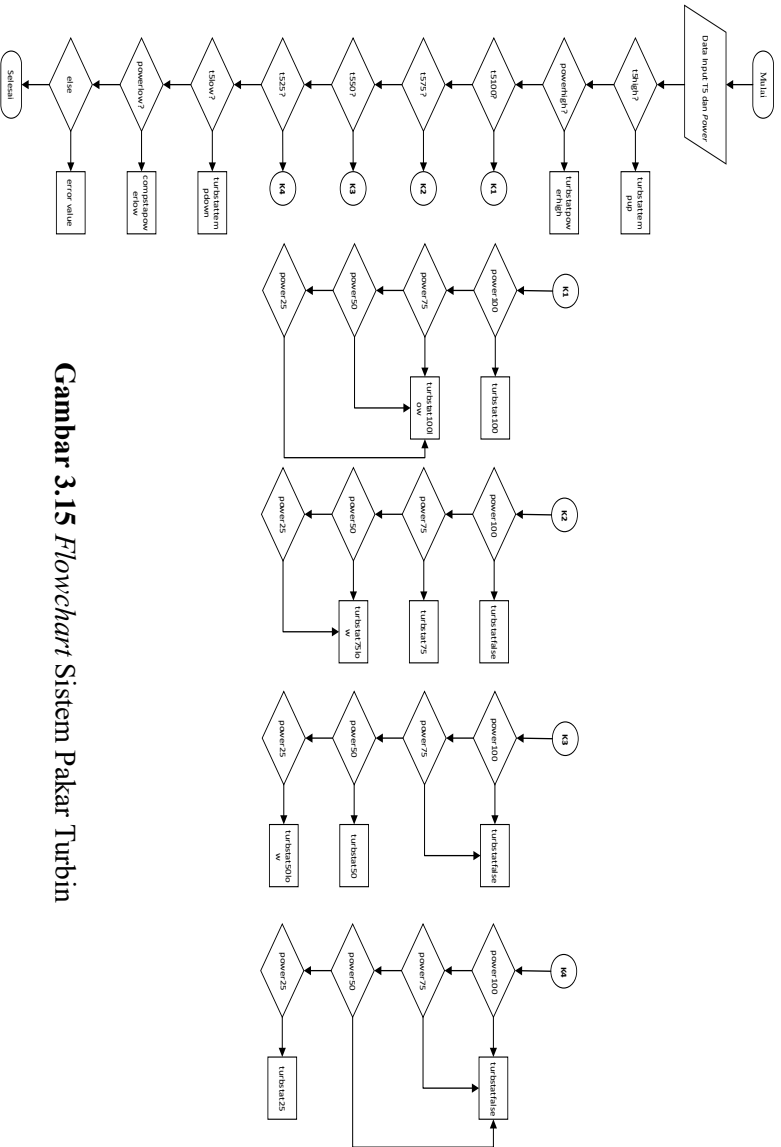
```

%Turbine Check Up Database
turbstat100 = "Turbine Performance in Normal Expected Value for 100% Load"
turbstat100low = "Turbine Performance in Low Expected Value for 100% Load"
turbstat75 = "Turbine Performance in Normal Expected Value for 75% Load"
turbstat75low = "Turbine Performance in Low Expected Value for 75% Load"
turbstat50 = "Turbine Performance in Normal Expected Value for 50% Load"
turbstat50low = "Turbine Performance in Low Expected Value for 50% Load"
turbstat25 = "Turbine Performance in Normal Expected Value for 25% Load"
turbstatpowerhigh = "Turbine Power Value Exceed Gas Turbine Specification"
turbstatpowerlow = "Turbine Power Value Under Expectation"
turbstatfalse = "Turbine Measured Power False as the TS Value Too Low for Corresponding Power Outcome"
turbstattempup = "Turbine Temperature is Exceed Upper Limit Value"
turbstattempdown = "Turbine Temperature is Exceed Lower Limit Value"

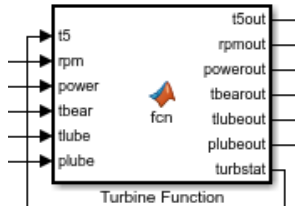
```

Gambar 3.14 *Database* Turbin pada Matlab

Setelah *database* dan mesin penalar selesai dibuat, *block* turbin diberi input data berupa nilai parameter operasional turbin yang terdiri dari T1 (*temperature inlet compressor*), P1 (*pressure inlet compressor*), PCD (*pressure compressor discharge*), dan pr (*pressure ratio*). Outputnya sendiri yaitu berupa kesimpulan dari mesin penalar yang menyesuaikan nilai input dengan *database* yang ada.

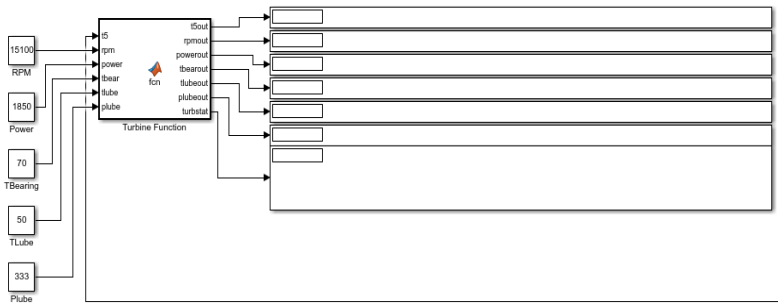


Gambar 3.15 Flowchart Sistem Pakar Turbin



Gambar 3.16 Block Turbin

Berikut simulasi sistem pakar untuk *section* turbin dari input, *block* turbin, beserta output yang telah dibuat pada Simulink.



Gambar 3.17 Simulasi Sistem Pakar untuk Turbin pada Simulink

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Simulasi sistem pakar yang telah dibuat pada Simulink Matlab diuji kinerjanya untuk mendiagnosis kondisi operasi dari *gas turbine generator* dengan memasukkan nilai parameter - parameter operasional *gas turbine generator* yang diperoleh dari *data record*.

Pengujian Sistem Pakar yaitu dengan memasukkan input berupa data parameter operasional *gas turbine generator* dengan memilih data kondisi operasi normal dan abnormal. Data normal operasional diperoleh pada *engine fired hours* 15979 dan data abnormal pada *engine fired hours* 16036. Data input yang dimasukkan kedalam simulasi akan menghasilkan diagnosis mengenai kondisi operasi per komponen dari *gas turbine generator*.

4.1 Analisis Data dan Pembahasan

Pada *section* kompresor, terdapat kesalahan baca nilai *air inlet temperature* yang nilainya kecil melebihi nilai dari *ambient temperature*.

Tabel 4.1 Data Normal dan Abnormal Operasional Kompresor

Jam Operasional	T1	P1	PCD	Pr	mair
15979 (normal data)	28,3	99,02	868,8	8,77	18.7
16036 (abnormal data)	14,4	99,0	203,4	2,05	4,4

Pada *section combustor*, terdapat kesalahan nilai T5 yang nilainya kecil hampir menyamai nilai dari *ambient temperature*. Hal ini dapat diakibatkan oleh terjadinya *flameout* atau kesalahan baca dari sensor temperatur.

Tabel 4.2 Data Normal dan Abnormal Operasional *Combustor*

Jam operasional	mair	mfuel	Tf	Pf	AFR	T5
15979 (normal data)	18,7	0,185	35,4	1792,7	25,3	435,6
16036 (abnormal data)	4,4	0,022	30,3	658,5	50,6	37,2

Pada *section* turbin, terdapat kesalahan baca input T5 yang yang nilainya kecil tetapi pada total daya yang dihasilkan sebesar 25% load. Terdapat juga kesalahan pada nilai *lube pressure* yang nilainya sangat ekstrim.

Tabel 4.3 Data Normal dan Abnormal Operasional Turbin

Jam operasional	T5	Daya Total	Tbea ring	Tl	Pl	RPM
15979 (normal data)	435,6	2175	71,7	56,1	339	15000
16036 (abnormal data)	37,2	1645	86,1	69,4	930	14850

Data pada table 4.1, 4.2, dan 4.3 dimasukkan kedalam *block function* input pada Simulink Matlab untuk mengetahui kinerja dari sistem pakar untuk mendiagnosis kondisi operasi dari tiap *section* dari *gas turbine generator*. Untuk hasil pengujian pada Simulink Matlab, hasilnya dapat dilihat pada Lampiran A - C.

Pengujian dengan data operasional normal dari *section* kompresor didapatkan hasil bahwa kompresor beroperasi pada keadaan normal. Kondisi operasi dari kompresor berupa *air mass flowrate* berada pada *range* operasi normal. Nilai parameter lain berupa T1, P1, PCD, dan *pressure ratio* pun juga berada pada *range*

operasional normal untuk beban sebesar 50 % pada *gas turbine generator*. Berdasarkan data input diperoleh bahwa kompresor bekerja dengan normal saat operasional *gas turbine generator* sebesar 50%.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Data Normal untuk Kompresor

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
T1	28,3	Nilai T1 normal
P1	99,02	Nilai T1 normal
PCD	868,8	Nilai PCD normal untuk 50% beban
Pr	8,77	Rasio tekanan normal untuk 50% beban
mair	18.7	Laju aliran massa udara normal untuk 50% beban
compstat (kinerja kompresor)		Kinerja kompresor normal untuk 50% beban

Pengujian dengan data operasional normal dari *section combustor* didapatkan hasil bahwa *combustor* beroperasi pada keadaan normal dengan beban sebesar 50% . Konsumsi bahan bakar juga termasuk kategori normal dimana nilai konsumsi bahan bakarnya berada pada range 50% beban untuk menghasilkan daya pada beban normal 50%. Kondisi operasi dari *combustor* berupa T5 berada pada *range* operasi normal. Nilai parameter lain berupa *air mass flow rate, fuel flow rate, fuel temperature, fuel pressure* pun juga berada pada *range* operasional normal. Berdasarkan data input yang dimasukkan, diperoleh bahwa *combustor* beroperasi secara normal saat operasional *gas turbine generator* sebesar 50%.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Data Normal untuk *Combustor*

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
mair	18.7	Nilai laju aliran massa udara normal untuk 50% beban
mfuel	0,185	Nilai laju aliran massa bahan bakar normal untuk 50% beban
Tf	35,4	Nilai temperatur bahan bakar normal

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
Pf	1792,7	Nilai tekanan bahan bakar normal
T5	25,3	Nilai T5 normal untuk 50% beban
AFR	435,6	Nilai AFR normal
combstat (kinerja <i>combustor</i>)		Kinerja <i>combustor</i> normal untuk 50% beban

Pengujian dengan data operasional normal dari *section* turbin didapatkan hasil bahwa turbin beroperasi pada keadaan normal dengan beban sebesar 50% tetapi dibawah dari nilai yang diharapkan (*normal low*). Nilai kondisi operasi dari Turbin berupa RPM berada pada *range* operasi normal. Nilai parameter lain berupa T5, *bearing temperature*, *lube temperature* dan *lube pressure* pun juga berada pada *range* operasional normal. Nilai dari *total power* berada dibawah ekspektasi nilai yang diharapkan untuk daya yang dihasilkan pada saat operasional *gas turbine generator* berada pada keadaan beban 50%. Dari data input ini diperoleh bahwa turbine beroperasi pada keadaan normal untuk beban sebesar 50%, tetapi nilai daya yang dihasilkan berada dibawah nilai yang diharapkan.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Data Normal untuk Turbin

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
T5	435,6	Nilai T5 normal untuk 50% beban
Daya Total	2175	Daya total rendah untuk 50% beban
Tbearing	71,7	Nilai temperatur bearing normal
TI	56,1	Nilai temperatur oli normal
PI	339	Nilai tekanan oli normal
RPM	15000	Nilai putaran shaft mesin normal
turbstat (kinerja turbin)		Kinerja turbin dibawah ekspektasi untuk 50% beban

Pengujian dengan data operasional abnormal dari *section* kompresor didapatkan hasil bahwa kompresor beroperasi pada keadaan dibawah keadaan normal dengan nilai PCD yang kecil

yang berimbang pada menurunnya nilai *air mass flow rate*. Nilai PCD yang berada diluar dari range operasional normal kompresor didiagnosis terdapat kerusakan komponen pada kompresor yang menyebabkan nilai dari PCD berada sangat rendah. Nilai bacaan dari T1 berada diluar dari range *ambient temperature* lingkungan sekitar, hal ini dapat disebabkan oleh kesalahan baca sensor temperature. Berdasarkan data input diperoleh bahwa kompresor beroperasi diluar dari *range* operasional yang ada, sehingga perlu dilakukan pengecekan terhadap komponen kompresor.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Kompresor

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
T1	14,4	Nilai T1 sangat rendah, laju aliran massa udara akan lebih besar
P1	99,0	Nilai P1 rendah, laju aliran massa udara akan sedikit rendah
PCD	203,4	Nilai PCD berada diluar dari <i>range</i> operasional normal (rendah)
Pr	2,05	Nilai Rasio tekanan berada diluar dari <i>range</i> operasional normal (rendah)
mair	4,4	Nilai laju aliran massa udara berada diluar <i>range</i> operasional normal (rendah)
compstat (kinerja kompresor)		Tekanan kompresor melebihi batas bawah dari <i>range</i> operasional normal, Hindari untuk mencegah kompresor kekurangan tekanan

Pengujian dengan data operasional abnormal dari *section combustor* didapatkan hasil bahwa *combustor* beroperasi pada keadaan dibawah keadaan normal diakibatkan oleh kesalahan nilai input T5 yang nilainya jauh dari range operasi *combustor* (setara dengan nilai *ambient temperature*). Nilai T5 yang kecil ini dapat diakibatkan oleh kesalahan baca dari sensor temperatur T5 yang berada pada *output* HP Turbin atau terjadi *flameout* pada *combustor* yang menyebabkan proses pembakaran bahan bakar tidak berlangsung. Nilai dari tekanan *fuel pump* juga berada pada nilai kisaran bawah dibawah nilai normal yang ada. Hal ini

menyebabkan nilai dari *fuel flow rate* menjadi kecil. Berdasarkan keadaan ini dapat diperoleh bahwa *combustor* beroperasi diluar dari *range* operasional yang seharusnya. Penyebab *combustor* tidak beroperasi secara normal ini juga diakibatkan dari kinerja kompresor yang juga berada pada kondisi yang tidak normal.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Data Abnormal untuk *Combustor*

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
\dot{m}_{air}	4,4	Nilai laju aliran massa udara berada diluar <i>range</i> operasional normal (rendah)
\dot{m}_{fuel}	0,022	Nilai laju aliran massa bahan bakar berada diluar <i>range</i> operasional normal
Tf	30,3	Nilai temperatur bahan bakar normal
Pf	658,5	Nilai tekanan bahan bakar rendah, laju aliran massa bahan bakar akan melebihi standar batas bawah.
T5	50,6	Nilai T5 diluar dari <i>range</i> operasional normal (rendah)
AFR	37,2	Nilai AFR tinggi, daya mesin akan menurun
combstat (kinerja <i>combustor</i>)		Temperatur <i>combustor</i> melebihi batas bawah <i>range</i> operasional

Pengujian dengan data operasional abnormal dari *section* turbin didapatkan hasil bahwa beroperasi pada keadaan dibawah keadaan normal diakibatkan nilai input T5 yang nilainya jauh dari *range* operasi turbin. Kondisi abnormal pada *section* ini dibuktikan dengan nilai T5 yang kecil ($T5 = 37.2^{\circ}\text{C}$) dan nilai *total power* berada pada kisaran 25% normal *load* (untuk 25% normal *load* nilai T5 harus berada pada kisaran $325^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$) sehingga dapat disimpulkan bahwa yang terjadi adalah kesalahan bacaan T5 oleh sensor. Pada bacaan dari *lube oil pressure* juga terdapat kondisi abnormal dimana nilainya jauh berada dari *range* operasi normal (300 kPa – 400 kPa). Hal ini dapat diakibatkan kesalahan baca sensor dari *Lube Oil Pressure*, atau jika nilai bacaan sensornya benar, hal ini dapat menyebabkan banjir oli pada *shaft* turbin.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Turbin

Parameter	Nilai Parameter	Output Hasil Simulasi
T5	37,2	Nilai T5 diluar dari <i>range</i> operasional normal (rendah)
Daya Total	1645	Daya total rendah untuk 50% beban
Tbearing	86,1	Nilai temperatur bearing normal
Tl	69,4	Nilai temperatur oli normal
Pl	930	Nilai Tekanan Oli tinggi, pompa oli akan kelebihan tekanan.
RPM	14850	Nilai putaran shaft mesin dibawah standar, output tegangan AC akan lebih rendah dari standar
turbstat (kinerja turbin)		Temperatur turbin melebihi batas bawah <i>range</i> operasional

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

- a. Pengujian sistem pakar yang dilakukan pada saat operasional normal *gas turbine generator* pada jam operasional 15979 diperoleh kinerja kompresor, *combustor* dan turbin beroperasi pada keadaan operasional normal untuk beban sebesar 50%, Tetapi daya total yang dihasilkan berada dibawah nilai dari ekspektasi.
- b. Pengujian sistem pakar yang dilakukan pada saat operasional abnormal *gas turbine generator* pada jam operasional 16036 diperoleh kesimpulan bahwa kinerja kompresor, *combustor* dan turbin beroperasi pada keadaan operasional abnormal dan berada dibawah standar *range* operasional. Terdapat kesalahan baca dari nilai input T5 yang dibuktikan dengan nilai T5 yang kecil ($37,2^{\circ}\text{C}$), tetapi daya keluaran turbin bernilai 1645 kW yang tidak mungkin terjadi.

5.2 Saran

Saran penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu untuk mendapatkan diagnosis lebih akurat mengenai kondisi operasi dari suatu *Gas Turbine Generator*; hubungan antar parameter harus diketahui secara lebih akurat sehingga diagnosis yang dihasilkan lebih tepat sasaran. Untuk memperoleh hubungan ini membutuhkan studi lebih lanjut mengenai kondisi operasi dari *Gas Turbine Generator* yang diuji.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. Walsh and P. F., Gas Turbine Performance 2nd Edition, Blackwell Science: Oxford OX4 2DQ UK, 2004.
- [2] A. Razak, "Gas Turbine Performance Modelling, Analysis and Optimisation," in *Modern Gas Turbine Systems*, Philadelphia USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 423-444.
- [3] K. Collinge and K. Schoff, "An Expert System for Gas Turbine Engine and More," *SAE Technical Paper Series*, 1987.
- [4] Solar Turbine Inc., "Solar Turbine Inc. Official Site," Solar Turbine Inc., [Online]. Available: https://www.solarturbines.com/en_US/products/power-generation-packages/taurus-60.html. [Accessed 11 November 2019].
- [5] P. B. Maherwan, Gas Turbing Engineering Handbook 2nd Edition, Texas USA: Gulf Professional Publishing, 2011.
- [6] M. Stewart, Surface Production Operation Vol. IV: Pumps and Compressors, Cambridge, US: Gulf Professional Publishing, 2018.
- [7] W. Kappis, "Compressor in Gas Turbine," in *Modern Gas Turbine Systems*, Philadelphia USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 89-149.
- [8] M. R. M., T. K. Ibrahim and A. N. Abdalla, "Thermodynamic Performance Analysis of Gas-Turbine Power-Plant," *International Journal of the Physical Sciences*, vol. 6, 2011.
- [9] I. N. Levine, Physical Chemistry, New York: Mc. Graw Hill, 2009.
- [10] P. J. Ritchard and J. C. Leylegian, Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [11] M. J. Moran and H. N. Shapiro, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, New York: John Wiley & Sons, 2000.

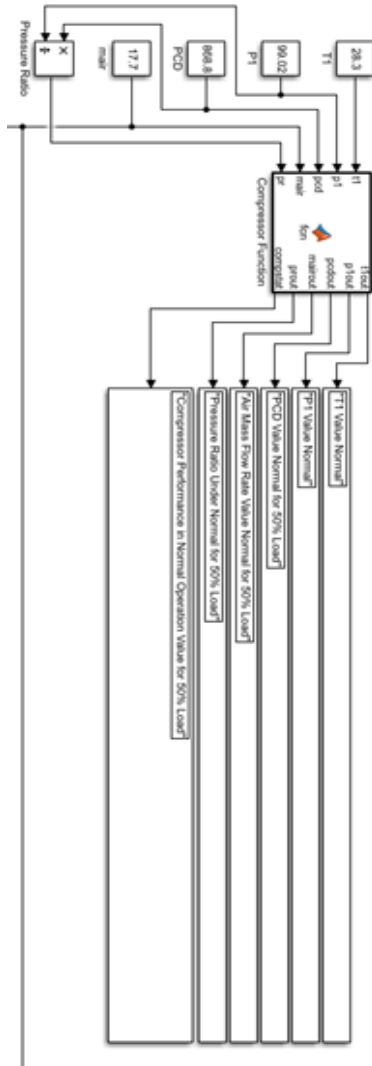
- [12] P. Flohr, "Combustors in Gas Turbine," in *Modern Gas Turbine Systems*, Philadelphia USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 151-186.
- [13] F. R. Martínez and e. al, "Evaluation of the Gas Turbine Inlet Temperature with Relation to the Excess Air," *Energy and Power Engineering*, vol. 3, pp. 517 - 524, 2011.
- [14] V. S. Kuz'michev and e. al, "Optimization Of Working Process Parameters Of Gas Turbine Engines Line On The Basis Of Unified Engine Core," *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 9, 2014.
- [15] M. Konter and B. H-P., "Chapter 9: Materials and coatings developments for gas turbine," in *Modern Gas Turbine System* , Philadelphia, USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 327-380.
- [16] A. H. Lefebvre, *Gas Turbine Combustion, Alternative Fuels and Emissions 3rd Edition*, Florida USA: CRC Press, 2010.
- [17] U. Desideri, "Fundamentals of Gas Turbine Cycles: Thermodynamics, Efficiency and Specific Power. Modern Gas Turbine Systems," in *Modern Gas Turbine Systems*, Philadelphia USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 44-85.
- [18] M. Schneider and T. Sommer, "Turbines for Industrial Gas Turbines System," in *Modern Gas Turbine Systems*, Philadelphia USA, Woodhead Publishing, 2013, pp. 188-220.
- [19] J. P., "Chapter 2: Overview of gas turbine types and applications," in *Modern Gas Turbine System*, Philadelphia, US, Woodhead Publishing, 2013, pp. 21-40.
- [20] R. Rajora and H. K. Dixit, "Effect of Lube Oil Temperature on Turbine Shaft Vibration," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research*, vol. 2, 2013.
- [21] R. A. Khella and S. S. Abu-Naser, "Expert System for Chest Pain in Infants and Children," *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, vol. 1, no. 4, pp. 138-148, 2017.

- [22] W. Siler and J. J. Buckley, *Fuzzy Expert System and Fuzzy Reasoning*, New Jersey USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [23] R. Nourian and S. Mousavi, "Design and Implementation of an Expert System for Periodic and Emergency Control under Uncertainty: A Case Study of City Gate Stations," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 66, 2019.
- [24] M. P. Lukas and e. al, "Evolution of Expert System for Real-Time Process Management: A Case Study of Motor Control," *IFAC Artificial Intelligence in Real-Time Control*, 1989.
- [25] C. J. Babu, M. P. Samuel and A. Davis, "Framework for Development of Comprehensive Diagnostic Tool for Fault Detection and Diagnosis of Gas Turbine Engine," *Journal of Aerospace Quality and Reliability*, vol. Vol.6 , pp. 35-47, 2016 .
- [26] I. Buaphan and S. Premrudeepreechacharn, "Development of Expert System for Fault Diagnosis of an 8-MW Bulb Turbine Downstream Irrigation Hydro Power Plant," *6th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 2017.

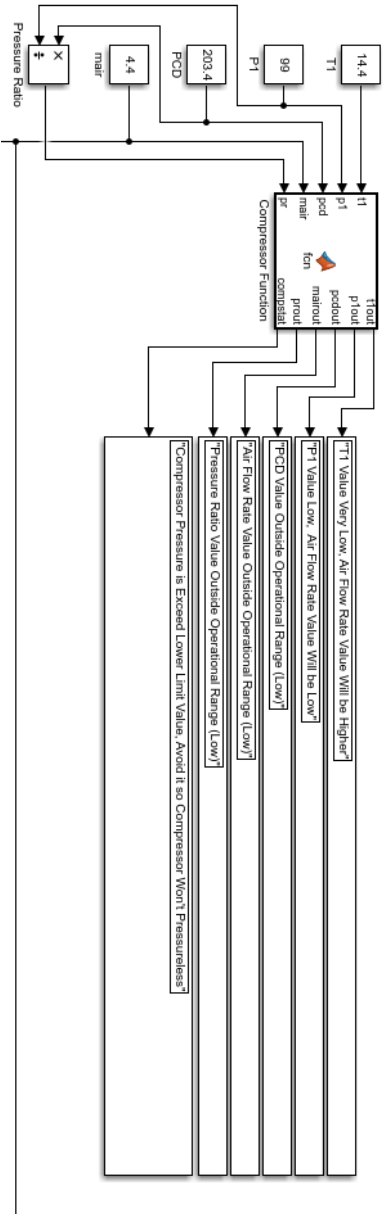
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A. Uji Kinerja Kompresor pada Simulink Matlab

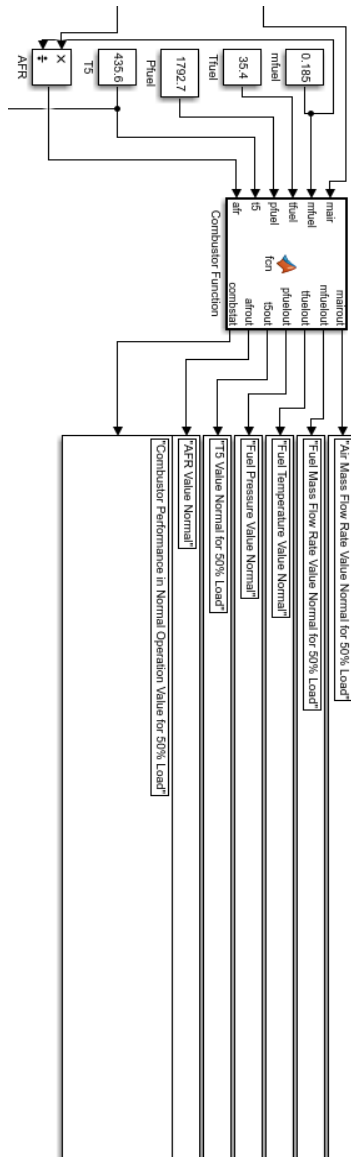


Hasil Pengujian Data Normal untuk Kompresor

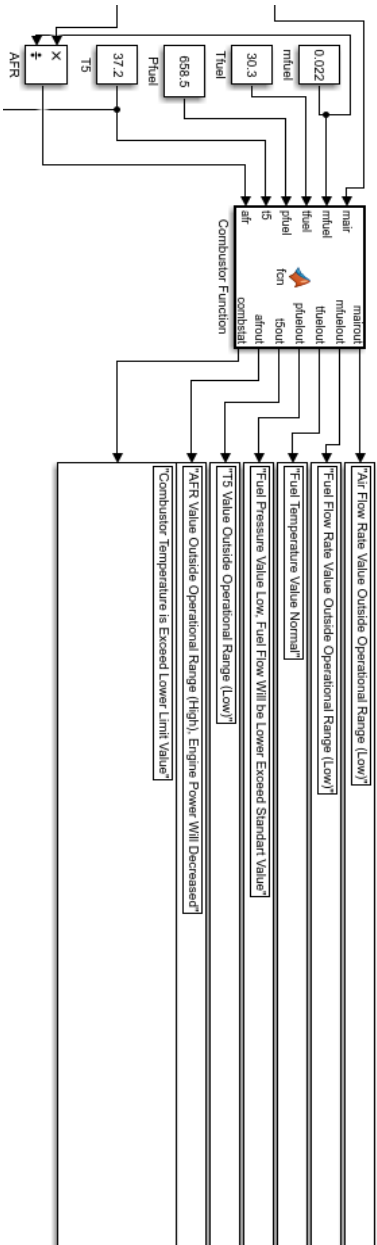


Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Kompresor

Lampiran B. Uji Kinerja *Combustor* pada Simulink Matlab

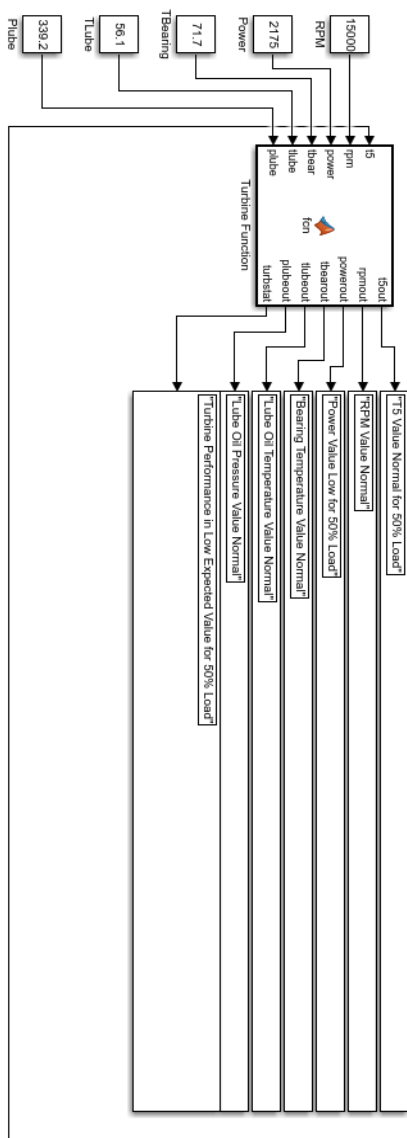


Hasil Pengujian Data Normal untuk *Combustor*

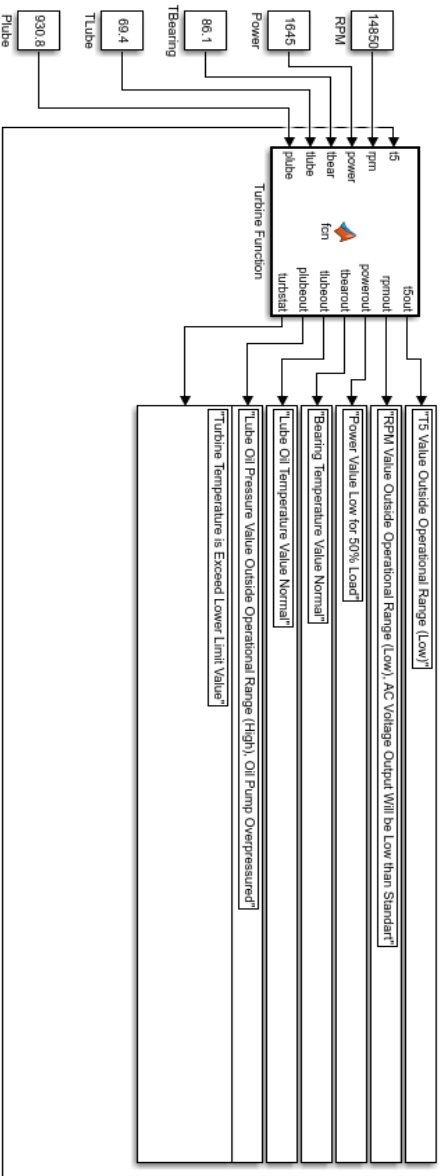


Hasil Pengujian Data Abnormal untuk *Combustor*

Lampiran C. Uji Kinerja Turbin pada Simulink Matlab



Hasil Pengujian Data Normal untuk Turbin



Hasil Pengujian Data Abnormal untuk Turbin

Lampiran D. Kode Program Sistem Pakar untuk *Section Kompresor*

```

%Compressor Function
%Input - Output Value Scoring
%Compressor Performance Scoring

function
[tlout,plout,pcdout,mairout,prout,compstat] =
fcn(tl,pl,pcd,mair,pr)

%declare variable (tl,pl,pcd,mair,pr) as
compressor operational input data
%declare variable
(tlout,plout,pcdout,mairout,prout,compstat) as
expert
%knowledge-based database about operational
condition

%Database Section

%T1 Value Database
tlveryhigh = "T1 Value Very High, Air Flow Rate
Value Will be Lower"
tlhigh = "T1 Value High, Air Flow Rate Value
Will be Low"
tlnormal = "T1 Value Normal"
tllow = "T1 Value Low, Air Flow Rate Value Will
be High"
tlverylow = "T1 Value Very Low, Air Flow Rate
Value Will be Higher"

%P1 Value Database
plveryhigh = "P1 Value Very High, Air Flow Rate
Value Will be Higher"
plhigh = "P1 Value High, Air Flow Rate Value
Will be High"
plnormal = "P1 Value Normal"

```

```
p1low = "P1 Value Low, Air Flow Rate Value Will  
be Low"
```

```
p1verylow = "P1 Value Very Low, Air Flow Rate  
Value Will be Lower"
```

```
%PCD Value Database
```

```
pcdhigh = "PCD Value Outside Operational Range  
(High)"
```

```
pcd100 = "PCD Value Normal for 100% Load"
```

```
pcd75 = "PCD Value Normal for 75% Load"
```

```
pcd50 = "PCD Value Normal for 50% Load"
```

```
pcd25 = "PCD Value Normal for 25% Load"
```

```
pcdlow = "PCD Value Outside Operational Range  
(Low)"
```

```
%Compressor Outlet Air Flow Rate Value Database
```

```
mairhigh = "Air Flow Rate Value Outside  
Operational Range (High)"
```

```
mair100 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for  
100% Load"
```

```
mair75 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for  
75% Load"
```

```
mair50 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for  
50% Load"
```

```
mair25 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for  
25% Load"
```

```
mairlow = "Air Flow Rate Value Outside  
Operational Range (Low)"
```

```
%Pressure Ratio Database
```

```
prhigh = "Pressure Ratio Value Outside  
Operational Range (High)"
```

```
pr100 = "Pressure Ratio Value Normal for 100%  
Load"
```

```
pr75 = "Pressure Ratio Value Normal for 75%  
Load"
```

```
pr50 = "Pressure Ratio Under Normal for 50%  
Load"
```

```
pr25 = "Pressure Ratio Under Normal for 25%  
Load"
```

```

prlow = "Pressure Ratio Value Outside
Operational Range (Low)"

%Compressor Check Up Database
compstat100 = "Compressor Performance in Normal
Operation Value for 100% Load"
compstat75 = "Compressor Performance in Normal
Operation Value for 75% Load"
compstat50 = "Compressor Performance in Normal
Operation Value for 50% Load"
compstat25 = "Compressor Performance in Normal
Operation Value for 25% Load"
compstatveryhigh = "Compressor is Overpressured,
Compressor Parts Overheated, Beware of
Breakdown"
compstathigh = "Compressor is Overpressured,
Compressor Parts May be Overheated"
compstatlow = "Compressor is Overflowed,
Compressor Parts May be Overheated"
compstatverylow = "Compressor is Overflowed,
Compressor Parts Overheated, Beware of
Breakdown"
compstatpressup = "Compressor Pressure is Exceed
Upper Limit Value, Avoid it so Compressor Won't
Overpressured"
compstatpressdown = "Compressor Pressure is
Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor
Won't Pressureless"
compstatairup = "Compressor Air Flow Rate is
Exceed Upper Limit Value, Avoid it so Compressor
Won't Overflowed"
compstatairdown = "Compressor Air Flow Rate is
Exceed Lower Limit Value, Avoid it so Compressor
Won't Flowless"

%Inference Engine Section

%T1 (Compressor Inlet Temperature) Value Scoring
if (t1 > 50)
    t1out = t1veryhigh

```

```

elseif (t1 <= 50) && (t1 > 35)
    t1out = t1high
elseif (t1 <= 35) && (t1 > 25)
    t1out = t1normal
elseif (t1 <= 25) && (t1 > 15)
    t1out = t1low
elseif (t1 <= 15)
    t1out = t1verylow
else
    t1out = "T1 Value Error"
end

%P1 (Compressor Inlet Pressure) Value Scoring
if (p1 > 105)
    p1out = p1veryhigh
elseif (p1 <= 105) && (p1 > 101)
    p1out = p1high
elseif (p1 <= 101) && (p1 > 99)
    p1out = p1normal
elseif (p1 <= 99) && (p1 > 95)
    p1out = p1low
elseif (p1 <= 95)
    p1out = p1verylow
else
    p1out = "P1 Value Error"
end

%PCD (Pressure Compressor Discharge) Value Scoring
if (pcd > 1060)
    pcdout = pcdhigh
elseif (pcd <= 1060) && (pcd > 950)
    pcdout = pcd100
elseif (pcd <= 950) && (pcd > 900)
    pcdout = pcd75
elseif (pcd <= 900) && (pcd > 850)
    pcdout = pcd50
elseif (pcd <= 850) && (pcd > 800)
    pcdout = pcd25
elseif (pcd <= 800)

```

```
    pcdout = pcdlow
else
    pcdout = "PCD Value Error"
end

%Compressor Outlet Air Flow Rate Value Scoring
if (mair > 21.5)
    mairout = mairhigh
elseif (mair <= 21.5) && (mair > 20.2)
    mairout = mair100
elseif (mair <= 20.2) && (mair > 18.5)
    mairout = mair75
elseif (mair <= 18.5) && (mair > 16.8)
    mairout = mair50
elseif (mair <= 16.8) && (mair > 15.1)
    mairout = mair25
elseif (mair <= 15.1)
    mairout = mairlow
else
    mairout = "Air Mass Flow Rate Value Value
Error"
end

%Pressure Ratio Value Scoring
if (pr > 10.6)
    prout = prhigh
elseif (pr <= 10.6) && (pr > 9.5)
    prout = pr100
elseif (pr <= 9.5) && (pr > 9)
    prout = pr75
elseif (pr <= 9) && (pr > 8.5)
    prout = pr50
elseif (pr <= 8.5) && (pr > 8)
    prout = pr25
elseif (pr <= 8)
    prout = prlow
else
    prout = "Pressure Ratio Value Error"
end
```

```

%Compressor Status Check
    if (prout == prhigh)
        compstat = compstatpressup
    elseif (prout == prlow)
        compstat = compstatpressdown
    elseif (mairout == mairhigh)
        compstat = compstatairup
    elseif (mairout == mairlow)
        compstat = compstatairdown
    elseif (prout == pr100) && (mairout ==
mair100)
        compstat = compstat100
    elseif (prout == pr100) && (mairout ==
mair75)
        compstat = compstat75
    elseif (prout == pr100) && (mairout ==
mair50)
        compstat = compstathigh
    elseif (prout == pr100) && (mairout ==
mair25)
        compstat = compstatveryhigh
    elseif (prout == pr75) && (mairout ==
mair100)
        compstat = compstat100
    elseif (prout == pr75) && (mairout ==
mair75)
        compstat = compstat75
    elseif (prout == pr75) && (mairout ==
mair50)
        compstat = compstat50
    elseif (prout == pr75) && (mairout ==
mair25)
        compstat = compstathigh
    elseif (prout == pr50) && (mairout ==
mair100)
        compstat = compstatlow
    elseif (prout == pr50) && (mairout ==
mair75)
        compstat = compstat75

```

```
    elseif (prout == pr50) && (mairout ==
mair50)
        compstat = compstat50
    elseif (prout == pr50) && (mairout ==
mair25)
        compstat = compstat25
    elseif (prout == pr25) && (mairout ==
mair100)
        compstat = compstatverylow
    elseif (prout == pr25) && (mairout ==
mair75)
        compstat = compstatlow
    elseif (prout == pr25) && (mairout ==
mair50)
        compstat = compstat50
    elseif (prout == pr25) && (mairout ==
mair25)
        compstat = compstat25
    else
        compstat = "Compressor Performance
Unidentified, Check Diagnostic for Every Data
Entry"
    end
end
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran E. Kode Program Sistem Pakar untuk *Section Combustor*

```

%Combustor Function
%Input - Output Value Check
%Combustor Performance Check

function
[mairout,mfuelout,tfuelout,pfuelout,t5out,afROUT
,combstat] = fcn(mair,mfuel,tfuel,pfuel,t5,afR)

%declare variable
(mair,mfuel,tfuel,pfuel,t5,afR) as combustor
operational input data
%declare variable
(mairout,mfuelout,tfuelout,pfuelout,t5out,afROUT
,combstat) as expert
%knowledge-based database about operational
condition

%Database Section

%Combustor Inlet Air Flow Rate Value Database
mairhigh = "Air Flow Rate Value Outside
Operational Range (High)"
mair100 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for
100% Load"
mair75 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for
75% Load"
mair50 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for
50% Load"
mair25 = "Air Mass Flow Rate Value Normal for
25% Load"
mairlow = "Air Flow Rate Value Outside
Operational Range (Low)"

%Fuel Flow Rate Value Database
mfuelhigh = "Fuel Flow Rate Value Outside
Operational Range (High)"

```

```
mfuel100 = "Fuel Mass Flow Rate Value Normal for  
100% Load"  
mfuel75 = "Fuel Mass Flow Rate Value Normal for  
75% Load"  
mfuel50 = "Fuel Mass Flow Rate Value Normal for  
50% Load"  
mfuel25 = "Fuel Mass Flow Rate Value Normal for  
25% Load"  
mfuelLow = "Fuel Flow Rate Value Outside  
Operational Range (Low)"
```

%Fuel Temperature Value Database

```
tfuelhigh = "Fuel Temperature Value High, AFR  
Will be High, Firing Temperature Will be Lower  
and Engine Less Efficient"  
tfuelnormal = "Fuel Temperature Value Normal"  
tfuelLow = "Fuel Temperature Value Low, AFR Will  
be Low, Firing Temperature Will be Lower and  
Engine Less Efficient"
```

%Fuel Pressure Value Database

```
pfuelhigh = "Fuel Pressure Value High, Fuel Flow  
Will be Higher Exceed Standart Value"  
pfuelnormal = "Fuel Pressure Value Normal"  
pfuelLow = "Fuel Pressure Value Low, Fuel Flow  
Will be Lower Exceed Standart Value"
```

%T5 Value Database

```
t5high = "T5 Value Outside Operational Range  
(High)"  
t5100 = "T5 Value Normal for 100% Load"  
t575 = "T5 Value Normal for 75% Load"  
t550 = "T5 Value Normal for 50% Load"  
t525 = "T5 Value Normal for 25% Load"  
t5low = "T5 Value Outside Operational Range  
(Low)"
```

%AFR Value Database

```
afrhigh = "AFR Value Outside Operational Range  
(High), Engine Power Will Decreased"
```

```

afrnormal = "AFR Value Normal"
afrlow = "AFR Value Outside Operational Range
(Low), Engine Power Will Decreased"

%Combustor Check Up Database
combstat100 = "Combustor Performance in Normal
Operation Value for 100% Load"
combstat75 = "Combustor Performance in Normal
Operation Value for 75% Load"
combstat50 = "Combustor Performance in Normal
Operation Value for 50% Load"
combstat25 = "Combustor Performance in Normal
Operation Value for 25% Load"
combstathigh = "Combustor is Efficiently
Consumed Fuel"
combstatlow = "Combustor is Inefficiently
Consumed Fuel"
combstatfalse = "Combustor Measured T5 False as
the T5 Value Too High for Corresponding Fuel
Flow Rate"
combstattempup = "Combustor Temperature is
Exceed Upper Limit Value"
combstattempdown = "Combustor Temperature is
Exceed Lower Limit Value"
combstatfuelup = "Combustor Fuel Flow Rate is
Exceed Upper Limit Value"
combstatfueldown = "Combustor Fuel Flow Rate is
Exceed Lower Limit Value"

%Inference Engine Section

%Combustor Inlet Air Flow Rate Value Scoring
if (mair > 21.5)
    mairout = mairhigh
elseif (mair <= 21.5) && (mair > 20.2)
    mairout = mair100
elseif (mair <= 20.2) && (mair > 18.5)
    mairout = mair75
elseif (mair <= 18.5) && (mair > 16.8)
    mairout = mair50

```

```

elseif (mair <= 16.8) && (mair > 15.1)
    mairout = mair25
elseif (mair <= 15.1)
    mairout = mairlow
else
    mairout = "Air Mass Flow Rate Value Value
Error"
end

```

```

%Fuel Flow Rate Value Scoring
if (mfuel > 0.277)
    mfuelout = mfuelhigh
elseif (mfuel <= 0.277) && (mfuel > 0.234)
    mfuelout = mfuel100
elseif (mfuel <= 0.234) && (mfuel > 0.194)
    mfuelout = mfuel75
elseif (mfuel <= 0.194) && (mfuel > 0.161)
    mfuelout = mfuel50
elseif (mfuel <= 0.161) && (mfuel > 0.133)
    mfuelout = mfuel25
elseif (mfuel <= 0.133)
    mfuelout = mfuel10
else
    mfuelout = "Fuel Flow Rate Value Value
Error"
end

```

```

%AFR Value Scoring
if (afr > 32)
    afrout = afrhigh
elseif (afr <= 32) && (afr > 18)
    afrout = afrnormal
elseif (afr <= 18)
    afrout = afrlow
else
    afrout = "AFR Value Value Error";
end

```

```

%Fuel Temperature Value Scoring
if (tfuel > 93)

```

```

    tfuelout = tfuelhigh
elseif (tfuel <= 93) && (tfuel > -40)
    tfuelout = tfuelnormal
elseif (tfuel <= -40)
    tfuelout = tfuellow
else
    tfuelout = "Fuel Temperature Value Value
Error"
end

%Fuel Pressure Value Scoring
if (pfuel > 2068)
    pfuelout = pfuelhigh
elseif (pfuel <= 2068) && (pfuel > 1170)
    pfuelout = pfuelnormal
elseif (pfuel <= 1170)
    pfuelout = pfuellow
else
    pfuelout = "Fuel Pressure Value Value
Error"
end

%T5 (HP Turbine Outlet Temperature) Value Scoring
if (t5 > 650)
    t5out = t5high
elseif (t5 <= 650) && (t5 > 550)
    t5out = t5100
elseif (t5 <= 550) && (t5 > 475)
    t5out = t575
elseif (t5 <= 475) && (t5 > 400)
    t5out = t550
elseif (t5 <= 400) && (t5 > 325)
    t5out = t525
elseif (t5 <= 325)
    t5out = t5low
else
    t5out = "T5 Value Error"
end

%Combustor Status Check

```

```

    if (t5out == t5high)
        combstat = combstattempup
    elseif (t5out == t5low)
        combstat = combstattempdown
    elseif (mfuelout == mfuelhigh)
        combstat = combstatfuelup
    elseif (mfuelout == mfuelow)
        combstat = combstatfueldown
    elseif (t5out == t5100) && (mfuelout ==
mfuel100)
        combstat = combstat100
    elseif (t5out == t5100) && (mfuelout ==
mfuel75)
        combstat = combstathigh
    elseif (t5out == t5100) && (mfuelout ==
mfuel50)
        combstat = combstatfalse
    elseif (t5out == t5100) && (mfuelout ==
mfuel25)
        combstat = combstatfalse
    elseif (t5out == t575) && (mfuelout ==
mfuel100)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t575) && (mfuelout ==
mfuel75)
        combstat = combstat75
    elseif (t5out == t575) && (mfuelout ==
mfuel50)
        combstat = combstathigh
    elseif (t5out == t575) && (mfuelout ==
mfuel25)
        combstat = combstatfalse
    elseif (t5out == t550) && (mfuelout ==
mfuel100)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t550) && (mfuelout ==
mfuel75)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t550) && (mfuelout ==
mfuel50)

```

```
        combstat = combstat50
    elseif (t5out == t550) && (mfuelout ==
mfuel25)
        combstat = combstathigh
    elseif (t5out == t525) && (mfuelout ==
mfuel100)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t525) && (mfuelout ==
mfuel75)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t525) && (mfuelout ==
mfuel50)
        combstat = combstatlow
    elseif (t5out == t525) && (mfuelout ==
mfuel25)
        combstat = combstat25
    else
        combstat = "Combustor Performance
Unidentified, Check Diagnostic for Every Data
Entry"
    end
end
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran F. Kode Program Sistem Pakar untuk *Section Turbin*

```

%Turbine Function
%Input - Output Value Check
%Turbine Performance Check

function
[t5out,rpmout,powerout,tbearout,tlubeout,plubeou
t,turbstat] =
fcn(t5,rpm,power,tbear,tlube,plube)

%declare variable
(t5,rpm,power,tbear,tlube,plube) as turbine
Operational input data
%declare variable
(t5out,rpmout,powerout,tbearout,tlubeout,plubeou
t,turbstat) as expert
%knowledge-based database about Operational
condition

%Database Section

%T5 Value Database
t5high = "T5 Value Outside Operational Range
(High)"
t5100 = "T5 Value Normal for 100% Load"
t575 = "T5 Value Normal for 75% Load"
t550 = "T5 Value Normal for 50% Load"
t525 = "T5 Value Normal for 25% Load"
t5low = "T5 Value Outside Operational Range
(Low)"

%RPM (NGP Shaft Turbine Rotational Speed) Value
Database
rpmhigh = "RPM Value Outside Operational Range
(High), AC Voltage Output Will be High than
Standart"
rpmnormal = "RPM Value Normal"

```

```
rpm_low = "RPM Value Outside Operational Range
(Low), AC Voltage Output Will be Low than
Standart"
```

```
%Bearing Temperature Value Database
```

```
tbear_high = "Bearing Temperature Value High,
Turbine Shaft Lifetime Component Will be
Shortened"
```

```
tbear_normal = "Bearing Temperature Value Normal"
```

```
%Lube Oil Temperature Value Database
```

```
tlub_high = "Lube Oil Temperature Value Outside
Operational Range (High), Turbine Shaft Cooling
Won't Optimal"
```

```
tlub_normal = "Lube Oil Temperature Value
Normal"
```

```
tlub_low = "Lube Oil Temperature Value Outside
Operational Range (Low), Lubrication Effect
Won't Optimal"
```

```
%Lube Oil Pressure Value Database
```

```
plub_high = "Lube Oil Pressure Value Outside
Operational Range (High), Oil Pump
Overpressured"
```

```
plub_normal = "Lube Oil Pressure Value Normal"
```

```
plub_low = "Lube Oil Pressure Value Outside
Operational Range (Low), Oil Circulation
Disturbed "
```

```
%Power Value Database
```

```
power_high = "Power Value Outside Operational
Range (High)"
```

```
power_100 = "Power Value Normal for 100% Load"
```

```
power_100_low = "Power Value Low for 100% Load"
```

```
power_75 = "Power Value Normal for 75% Load"
```

```
power_75_low = "Power Value Low for 75% Load"
```

```
power_50 = "Power Value Normal for 50% Load"
```

```
power_50_low = "Power Value Low for 50% Load"
```

```
power_25 = "Power Value Normal for 25% Load"
```

```

powerlow = "Power Value Outside Operational
Range (Low)"

%Turbine Check Up Database
turbstat100 = "Turbine Performance in Normal
Expected Value for 100% Load"
turbstat100low = "Turbine Performance in Low
Expected Value for 100% Load"
turbstat75 = "Turbine Performance in Normal
Expected Value for 75% Load"
turbstat75low = "Turbine Performance in Low
Expected Value for 75% Load"
turbstat50 = "Turbine Performance in Normal
Expected Value for 50% Load"
turbstat50low = "Turbine Performance in Low
Expected Value for 50% Load"
turbstat25 = "Turbine Performance in Normal
Expected Value for 25% Load"
turbstatpowerhigh = "Turbine Power Value Exceed
Gas Turbine Specification"
turbstatpowerlow = "Turbine Power Value Under
Expectation"
turbstatfalse = "Turbine Measured Power False as
the T5 Value Too Low for Corresponding Power
Outcome"
turbstattempup = "Turbine Temperature is Exceed
Upper Limit Value"
turbstattempdown = "Turbine Temperature is
Exceed Lower Limit Value"

%Inference Engine Section

%T5 (HP Turbine Outlet Temperature) Value Scoring
if (t5 > 650)
    t5out = t5high
elseif (t5 <= 650) && (t5 > 550)
    t5out = t5100
elseif (t5 <= 550) && (t5 > 475)
    t5out = t575
elseif (t5 <= 475) && (t5 > 400)

```

```

    t5out = t550
elseif (t5 <= 400) && (t5 > 325)
    t5out = t525
elseif (t5 <= 325)
    t5out = t5low
else
    t5out = "T5 Value Error"
end

%RPM (NGP Shaft Turbine Rotational Speed) Value
Scoring
    if (rpm > 15000)
        rpmout = rpmhigh
    elseif (rpm <= 15000) && (rpm > 14850)
        rpmout = rpmnormal
    elseif (rpm <= 14850)
        rpmout = rpmlow
    else
        rpmout = "RPM Value Error"
    end

%Bearing Temperature Value Scoring
    if (tbear > tlube + 35)
        tbearout = tbearhigh
    elseif (tbear <= tlube + 35) && (tbear >
tlube)
        tbearout = tbearnormal
    else
        tbearout = "Bearing Temperature Value Error"
    end

%Lube Temperature Value Scoring
    if (tlube > 74)
        tlubeout = tlubehigh
    elseif (tlube <= 74) && (tlube > 43)
        tlubeout = tlubenormal
    elseif (tlube <= 43)
        tlubeout = tlubelow
    else
        tlubeout = "Lube Temperature Value Error"
    end

```

```
end

%Lube Pressure Value Check
if (plube > 400)
    plubeout = plubehigh
elseif (plube <= 400) && (plube > 300)
    plubeout = plubenormal
elseif (plube <= 300)
    plubeout = plubelow
else
    plubeout = "Lube Pressure Value Error"
end

%Total Power Value Check
if (power > 5200)
    powerout = powerhigh
elseif (power <= 5200) && (power > 4600)
    powerout = power100
elseif (power <= 4600) && (power > 4000)
    powerout = power100low
elseif (power <= 4000) && (power > 3400)
    powerout = power75
elseif (power <= 3400) && (power > 2800)
    powerout = power75low
elseif (power <= 2800) && (power > 2200)
    powerout = power50
elseif (power <= 2200) && (power > 1600)
    powerout = power50low
elseif (power <= 1600) && (power > 1000)
    powerout = power25
elseif (power <= 1000)
    powerout = powerlow
else
    powerout = "Power Output Value Error"
end

%Turbine Status Check Up
if (t5out == t5high)
    turbstat = turbstatempup
elseif (t5out == t5low)
```

```

    turbstat = turbstattempdown
    elseif (powerout == powerhigh)
        turbstat = turbstatpowerhigh
    elseif (powerout == powerlow)
        turbstat = turbstatpowerlow
    elseif (t5out == t5100) && (powerout ==
power100)
        turbstat = turbstat100
    elseif (t5out == t5100) && (powerout ==
power75)
        turbstat = turbstat100low
    elseif (t5out == t5100) && (powerout ==
power50)
        turbstat = turbstat100low
    elseif (t5out == t5100) && (powerout ==
power25)
        turbstat = turbstat100low
    elseif (t5out == t575) && (powerout ==
power100)
        turbstat = turbstatfalse
    elseif (t5out == t575) && (powerout ==
power75)
        turbstat = turbstat75
    elseif (t5out == t575) && (powerout ==
power50)
        turbstat = turbstat75low
    elseif (t5out == t575) && (powerout ==
power25)
        turbstat = turbstat75low
    elseif (t5out == t550) && (powerout ==
power100)
        turbstat = turbstatfalse
    elseif (t5out == t550) && (powerout ==
power75)
        turbstat = turbstatfalse
    elseif (t5out == t550) && (powerout ==
power50)
        turbstat = turbstat50
    elseif (t5out == t550) && (powerout ==
power25)

```

```
turbstat = turbstat50low
elseif (t5out == t525) && (powerout ==
power100)
    turbstat = turbstatfalse
elseif (t5out == t525) && (powerout ==
power75)
    turbstat = turbstatfalse
elseif (t5out == t525) && (powerout ==
power50)
    turbstat = turbstatfalse
elseif (t5out == t525) && (powerout ==
power25)
    turbstat = turbstat25
else
    turbstat = "Turbine Performance
Unidentified, Check Diagnostic for Every Data
Entry"
end
end
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama Rifki Zulkifli lahir di Padang, 11 Oktober 1996 dari ayah bernama Zulkifli T. dan ibu bernama Yuniwanti. Saat ini penulis berdomisili di Graha Mutiara C2 No. 23 Sidoarjo. Penulis telah menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 1 Lubuk Alung pada tahun 2009, pendidikan menengah di 1 Lubuk Alung pada tahun 2012, pendidikan atas di SMAN 1 Lubuk Alung pada tahun 2015, dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Pada bulan Januari 2020, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Sistem Diagnosis Kondisi Operasi Gas Turbine Generator Berbasi Sistem Pakar**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, maupun ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email : zr.rifki@gmail.com