



TUGAS AKHIR - TF 181801

***ANALISA OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PADA
OPERASIONAL TURBOMACHINERY***

INESYA PERMATASARI
NRP. 02311640000113

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongka



TUGAS AKHIR - TF 181801

***ANALISA OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PADA
OPERASIONAL TURBOMACHINERY***

**INESYA PERMATASARI
NRP. 02311640000113**

**Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS ANALYSIS ON
TURBOMACHINERY OPERATIONS***

INESYA PERMATASARI
NRP. 02311640000113

Supervisor:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

*Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Inesya Permatasari
NRP : 02311640000113
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**ANALISA OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PADA OPERASIONAL TURBOMACHINERY**" 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-benarnya.

Surabaya, 02 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Inesya Permatasari

NRP. 02311640000113

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISA *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* PADA
OPERASIONAL *TURBOMACHINERY***

Oleh:

Inesya Permatasari

NRP. 02311640000113

Surabaya, 02 Juli 2020

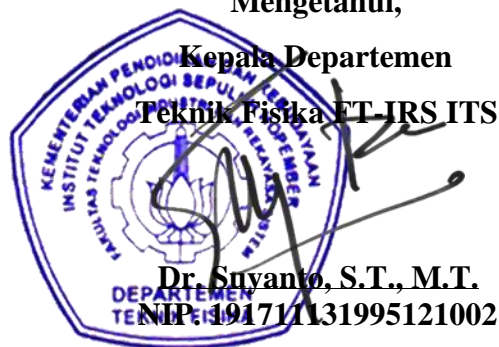
**Menyetujui,
Pembimbing**



**Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001**

Mengetahui,

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FT-IRS ITS**



**Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 191711131995121002**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* PADA OPERASIONAL *TURBOMACHINERY*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



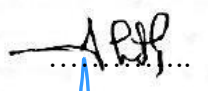

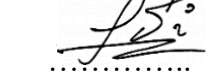
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

INESYA PERMATASARI
NRP. 02311640000113

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Ketua Penguji)
3. Ir. Matradji, M.kom.  (Penguji I)
4. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.  (Penguji II)
5. Moh. Kamalul Wafi, S.T., M.Sc.DIC  (Penguji III)

SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* PADA
OPERASIONAL *TURBOMACHINERY***

Nama : Inesya Permatasari
NRP : 0231164000113
Departemen : Teknik Fisika FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Salah satu peralatan penting dalam proses industri yang berperan penting pada proses transfer energi yaitu *turbomachinery*. Dalam suatu industri, nilai keandalan dan ketersediaan *equipment* sangat penting dalam mendukung kinerja suatu peralatan. Nilai keandalan kinerja berkaitan dengan kegagalan/fungsi komponen frekuensi-waktu. *Availibility* merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang juga dipengaruhi oleh *reliability*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisa efisiensi mesin atau peralatan adalah dengan *overall equipment effectiveness*. Analisa keandalan untuk sistem *turbomachinery* yang ditinjau dari data *maintenance*, didapatkan nilai *reliability* mengalami penurunan terhadap waktu operasi pada *equipment gas turbine generator* B. Adapun untuk nilai *reliability* mengalami penurunan 90% lama waktu yang dibutuhkan adalah 1100 jam, untuk penurunan 70% adalah 3700 jam, dan untuk penurunan 60% adalah 5350 jam. Sedangkan untuk ketersediaan alat masih tergolong tinggi yaitu diatas 0,99 walaupun terjadi penurunan nilai yang sangat kecil pada *equipment* tersebut. Nilai *overall equipment effectiveness* yang telah dihitung berdasarkan parameter *availability*, *performance efficiency*, dan *rate of quality*, didapatkan mengalami kenaikan dan penurunan bergantung pada data operasi. Nilai *availability* operasi yang dipengaruhi *downtime* didapatkan bernilai 91%. Pada *performance efficiency* yang dipengaruhi *generator capacity*, didapatkan nilai efektivitas tertinggi sebesar 98%. Pada parameter *quality* didapatkan nilai konstan sebesar 100% karena nilai ini dipengaruhi oleh frekuensi yang dihasilkan oleh *equipment gas turbine generator* B.

Kata Kunci: *Availability*, Keandalan, *Overall Equipment Effectiveness*

Halaman ini sengaja dikosongkan

OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS ANALYSIS ON TURBOMACHINERY OPERATIONS

Name : Inesya Permatasari
NRP : 02311640000113
Department : *Engineering Physics FT-IRS ITS*
Supervisors : **Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

ABSTRACT

One important equipment in the industrial process that is important in the energy transfer process is the turbo. In an industry, the value of equipment approval and approval is very important in supporting the performance of an equipment. The value issued when running an assignment. The size availability of a component or system is also determined by reliability. One method that can be used to analyze the efficiency of a machine or equipment is the overall effectiveness of the equipment. Value analysis for the turbomachinery system in terms of data maintenance, obtained reliability values that were rejected for operation on the gas turbine generator B equipment. It is estimated that the reliability value requires a 90% reduction in the time required is 1100 hours, for 70% replacement is 3700 hours, and for a 60% reduction is 5350 hours. Meanwhile, the remaining equipment is classified as high above 0.99 due to a very small decrease in the value of the equipment. The overall value of the effectiveness of the equipment which has been calculated based on the availability of parameters, performance efficiency, and quality level, is obtained the higher and the reduced need for operating data. The value of operating availability required for downtime is 91%. At the performance efficiency determined by the generator capacity, the highest compatibility value is 98%. The quality parameter obtained a constant value of 100% because this value is generated by the frequency produced by the gas turbine generator B.

Keywords: Availability, Overall Equipment Effectiveness, Reliability.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Tuhan, karena dengan rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul

“ANALISA *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* PADA OPERASI *TURBOMACHINERY*”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FT-IRS ITS. Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan bimbingan selama menempuh Pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing tugas akhir ini yang selalu memberikan semangat dan ide-ide baru.
3. Bapak Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis.
4. Kedua orang tua serta kedua adik kandung penulis yang telah memberikan dukungan penuh, doa dan motivasi dalam kondisi apapun.
5. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika ITS.
6. Segenap karyawan TU di jurusan Teknik Fisika ITS.
7. Keluarga besar Warga HMTF-ITS yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
8. Teman-teman angkatan 2016 dan adik-adik angkatan 2017 dan 2018
9. Teman pengurus lab dari Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
10. Rekan-rekan seperjuangan TA yang telah mendukung secara mental batin dan memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir.
11. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan tugas

akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 02 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	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 Lingkup Kajian.....	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Reliability</i>	5
2.2 Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>).....	5
2.3 Distribusi Kegagalan	6
2.4 <i>Availability</i>	10
2.5 <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	10
2.6 Turbin Gas	12
2.7 Siklus Brayton	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Studi Literatur	18
3.2 Pengumpulan Data <i>Turbomachinery</i>	18
3.3 Pengolahan Data	20
3.4 Pengolahan Data <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Analisa Data Kuantitatif <i>Gas Turbine Generator B</i>	23
4.2 Analisa <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	39
BIODATA PENULIS.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Bathup curve</i>	6
Gambar 2. 2 Turbin gas	14
Gambar 2. 3 Gas turbin (a) sistem terbuka (b) sistem tertutup	14
Gambar 2. 4 Diagram P-v dan T-s siklus Brayton	15
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> tugas akhir	17
Gambar 4. 1 Grafik <i>reliability gas turbine generator B</i>	24
Gambar 4. 2 Grafik <i>availability gas turbine generator B</i>	25
Gambar 4. 3 Grafik <i>availability OEE</i>	27
Gambar 4. 4 Grafik <i>performance efficiency dan rate of quality</i>	29
Gambar 4. 5 Grafik analisa PCD - <i>generator capacity</i>	30
Gambar 4. 6 Grafik analisa <i>turbine air inlet D - generator capacity</i>	31
Gambar 4. 7 Grafik analisa <i>air mass flow – generator capacity</i>	32
Gambar 4. 8 Grafik analisa <i>fuel flow – generator capacity</i>	33
Gambar 4. 9 Grafik analisa AFR – <i>generator capacity</i>	33

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 OEE <i>World Class</i>	12
Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Gas Turbine Generator</i>	18
Tabel 3. 2 Data Operasi <i>Gas Turbine Generator B</i>	19
Tabel 3. 3 Data <i>Input/Output Gas Turbine Generator</i>	20
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	26

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri cenderung menjadikan energi sebagai komoditas penting yang diperdagangkan. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya. Dalam upaya tersebut, nilai kinerja sangat berpengaruh untuk mendorong dan meningkatkan produksinya. Untuk mendapatkan hasil produksi yang maksimal, pengolahan energi harus dilakukan secara benar, yaitu dengan memperhatikan proses dan *equipment* di dalamnya. Salah satu peralatan penting dalam proses industri yang berperan penting pada proses transfer energi yaitu *turbomachines*. *Turbomachines* adalah peralatan yang didalam siklus operasinya terjadi pertukaran energi antara fluida yang mengalir dengan *blade* yang berputar secara terus-menerus (Dick, 2015). Salah satu alat yang termasuk dalam *turbomachinery* adalah turbin gas. Secara umum proses yang terdapat pada sistem turbin gas adalah *compression*, *combustion*, dan turbin. Sebagai komponen utama pada proses *compression*, kompresor merupakan suatu peralatan mekanik yang digunakan untuk memampatkan udara dengan menambahkan energi ke fluida gas atau udara, sehingga udara atau gas dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lainnya secara terus menerus. Selain kompresor masih terdapat beberapa komponen penting lain yang mendukung proses turbin gas. Pada sistem turbin gas, komponen tersebut saling berkaitan satu sama lain untuk mendukung proses didalamnya.

Dalam suatu *plant* atau industri, nilai keandalan *instrument*, *equipment* sangat penting dalam mendukung kinerja satu peralatan dengan peralatan lainnya. Nilai keandalan kinerja berkaitan dengan kegagalan/fungsi komponen frekuensi-waktu. *Availability* sangat penting untuk diperhatikan, terutama untuk peralatan pada proses industri seperti kompresor. *Availability* merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang juga dipengaruhi oleh *reliability*. *Reliability* adalah kemungkinan atau probabilitas dari peralatan atau sistem untuk berhasil menjalankan fungsi dan tugasnya untuk suatu periode waktu tertentu (Ebeling,

1997). Sedangkan *reliability* dipengaruhi oleh nilai *failure rate*. Nilai *failure rate* bisa didapatkan dengan melihat banyaknya kegagalan dari *equipment* dalam interval waktu tertentu.

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi rendahnya *availability* adalah kerja *equipment* yang harus dilakukan diluar jadwal kegiatan produksi. Hal tersebut dapat mengakibatkan *downtime* sehingga menghambat proses produksi. Faktor produksi lainnya dapat ditinjau dari laju performansi dan kualitas, yaitu faktor yang menggambarkan kecepatan mesin dalam melakukan produksi pada waktu ideal terhadap waktu operasi serta persentase pengukuran jumlah produk yang memenuhi standar spesifikasi produksi (Sayuti dkk., 2019). Upaya peningkatan kinerja peralatan yang digunakan pada industri manufaktur perlu dilakukan untuk meningkatkan utilitas peralatan yang telah ada. Pada penelitian sebelumnya, telah diterapkan sebuah metode untuk meningkatkan efisiensi turbin guna mengurangi kebocoran menggunakan *electrical discharge machining* (EDM) (Maradia dkk., 2018). Sebelum dapat diketahui adanya keputusan untuk peningkatan efisiensi, tentunya sebuah *equipment* telah melewati tahap analisa kondisi perangkat ataupun sistem. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisa efisiensi mesin atau peralatan adalah dengan *overall equipment effectiveness* (Purba dkk., 2018). Oleh karena itu pada tugas akhir ini diajukan untuk dapat mengukur, mengetahui, serta analisa tingkat efektivitas *overall equipment effectiveness* (OEE) pada peralatan *instrument* yang ditinjau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan sebagai berikut:

- a) Bagaimana analisa keandalan terhadap peralatan pada *turbomachinery* berdasarkan kondisi operasi?
- b) Bagaimana analisa efektivitas mesin berdasarkan nilai *overall equipment effectiveness* pada *turbomachinery*?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

- a) Melakukan analisa keandalan terhadap peralatan pada *turbomachinery* berdasarkan kondisi operasi
- b) Melakukan analisa efektivitas mesin berdasarkan nilai *overall equipment effectiveness* pada *turbomachinery*.

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian yang ditinjau pada pengusulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Objek *turbomachinery* yang digunakan untuk analisa keandalan adalah *equipment gas turbine generator B* pada PT. Saka Indonesia Pangkah Limited (PT. SIPL).
- b) Lingkup analisa keandalan ditinjau dari perhitungan *reliability* dan *availability* sistem berdasarkan data *maintenance* yang didapatkan.
- c) Analisa *overall equipment effectiveness* berdasarkan parameter *availability*, *performance efficiency*, dan *quality* dilakukan pada *gas turbine generator B* dengan tinjauan data operasi/*real plant* di PT. SIPL.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada Bab I ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, lingkup kajian dan sistematika laporan.

BAB II Teori Penunjang

Bab II akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu mengenai *reliability*, *availability*, laju kegagalan, distribusi kegagalan, dan sistem turbin gas.

BAB III Metodologi

Bab III akan dibahas mengenai rancangan dari penelitian yang akan dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisi tentang data hasil perhitungan *reliability*, *availability*, dan *overall equipment effectiveness* pada sistem gas turbin beserta dengan analisisnya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada Bab V akan diberikan kesimpulan mengenai tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Reliability

Reliability atau keandalan adalah suatu probabilitas bahwa komponen atau sistem melakukan suatu fungsi tertentu pada kondisi operasional dan lingkungan yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu (Galar dkk., 1390). Keandalan juga dapat disebut sebagai ekspresi proporsional dari ketersediaan operasional operasi tanpa ada kerusakan pada suatu periode. Secara langsung atau tidak, mempertimbangkan keandalan pada suatu operasional dapat berpengaruh pada penekanan biaya akuisisi yang tinggi, kompleksitas, keselamatan, tuntutan hukum terkait, serta untuk mendukung kesuksesan proses produksi. Evaluasi nilai keandalan dapat digunakan untuk memperkirakan peluang suatu sistem atau komponen untuk dapat melakukan fungsinya selama periode waktu (t) dan juga kondisi tertentu. Berikut merupakan persamaan (2.1) yang dapat digunakan untuk menghitung nilai keandalan:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (2.1)$$

dengan:

$F(t)$ = *cumulative distribution function* (CDF)

$R(t)$ = *reliability function*

$f(t)$ = *probability density function* (PDF)

2.2 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan (λ) atau *failure rate* merupakan banyaknya kegagalan yang terjadi per-satuan waktu (Afsharnia, 2017). Laju kegagalan adalah faktor penting dan menjadi regulasi mendasar dalam suatu proses produksi untuk merancang sistem yang aman pada saat beroperasi. Sehingga laju kegagalan sebuah sistem atau komponen dapat mempengaruhi prediksi nilai *reliability*.

Nilai laju kegagalan dapat dinyatakan pada persamaan (2.2) berikut:

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

dengan:

$f(t)$ = fungsi kegagalan

$R(t)$ = fungsi keandalan

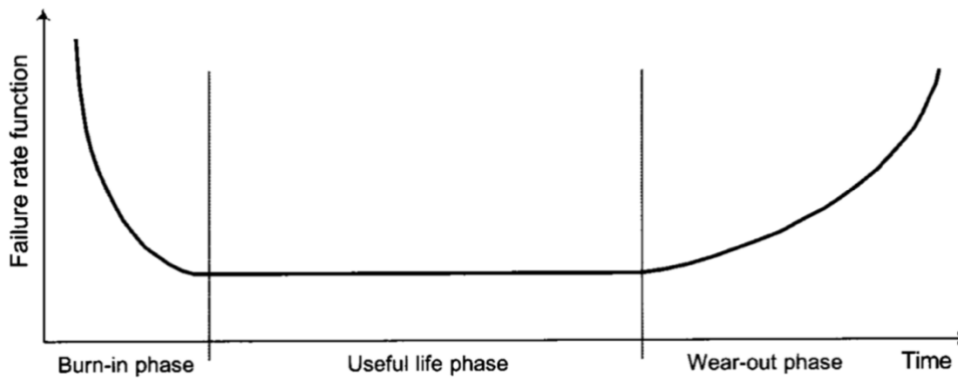
$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.3)$$

dengan:

f = banyaknya kegagalan

T = total waktu operasi

Sebagai salah satu indikator penting dalam menganalisa *reliability*, laju kegagalan memiliki beberapa karakteristik. Terdapat tiga karakteristik laju kegagalan, yaitu *decreasing failure rate* (DFR), *constant failure rate* (CFR), dan *increase failure rate* (IFR) (Oreda, 2002). Hal tersebut dapat digambarkan pada sebuah grafik *bathup curve* berikut:



Gambar 2. 1 *Bathup curve*

2.3 Distribusi Kegagalan

Terdapat beberapa macam distribusi untuk data waktu menuju kegagalan atau *time to failure* (TTF). Adapun rincian untuk distribusi kegagalan yang menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.3.1 Distribusi Normal

Distribusi normal dapat disebut sebagai distribusi gaussian yang dapat digunakan untuk nilai laju kegagalan yang naik dari waktu ke waktu. Distribusi ini menunjukkan karakteristik peralatan yang memasuki masa *wear-out* atau masa pakai hampir habis. Pada distribusi normal digunakan dua parameter yaitu parameter μ (*mean*) dan σ (standar deviasi). Persamaan yang dapat digunakan untuk distribusi ini adalah sebagai berikut:

a) Fungsi *reliability*

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.4)$$

b) Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.5)$$

c) Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.6)$$

d) *Mean time to failure*

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.7)$$

2.3.2 Distribusi lognormal

Distribusi lognormal digunakan untuk nilai laju kegagalan yang terus menurun terhadap waktu atau dapat disebut sebagai *decreasing failure rate*. Distribusi ini merepresentasikan kegagalan yang terjadi pada saat awal operasi suatu *equipment* (*burn-in*).

a) Fungsi *reliability*

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t - \mu)}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.8)$$

b) Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t - \mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

c) Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10)$$

d) *Mean time to failure*

$$MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2.11)$$

2.3.3 Distribusi Weibull

Distribusi weibull digunakan untuk mepresentasikan laju kegagalan yang meningkat dan menurun. Distribusi ini memiliki tiga parameter, yaitu *scale parameter* (θ), *shape parameter* (β) dan *location parameter* (γ).

a) Fungsi *reliability*

$$R(t) = \exp \left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.11)$$

b) Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left[\frac{t - \gamma}{\theta} \right]^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t - \gamma}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.11)$$

c) Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t - \gamma}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

d) *Mean time to failure*

$$MTTF = \gamma + \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.11)$$

2.3.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki karakteristik nilai laju kegagalan yang konstan. Kegagalan yang terjadi pada distribusi ini terjadi secara acak. Hal tersebut terjadi selama masa *useful life* pada suatu sistem atau komponen. Distribusi eksponensial memiliki dua parameter, yaitu t (fungsi waktu) dan t_0 (parameter lokasi). Ketika t_0 bernilai nol, maka distribusi eksponensial hanya menjadi satu parameter. Berikut merupakan fungsi matematis yang dapat digunakan pada dsitribusi eksponensial:

a) Fungsi *reliability*

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.16)$$

b) Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.17)$$

c) Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.18)$$

d) *Mean time to failure*

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.19)$$

2.4 Availability

Availability merupakan proporsi waktu selama suatu sistem tersedia dan dapat digunakan atau tidak dalam kondisi gagal. *Availability* dapat dikatakan sebagai variabel yang dapat mempengaruhi hubungan antara *reliability* dengan *maintainability* untuk dapat diterapkan secara efektif dalam masalah operasional komponen atau sistem. *Availability* dengan *maintainability* saling mempengaruhi untuk beberapa faktor yaitu berupa pengaruh biaya pemeliharaan rutin dan juga perbaikan (Prager, 2019). Dengan melakukan penentuan hubungan antara *reliability*, *availability*, dan *maintainability* maka fungsi kerja suatu peralatan akan menghemat waktu dan juga biaya. Persamaan (2.20) yang dapat digunakan untuk menentukan nilai *availability* terhadap waktu adalah sebagai berikut:

$$A(t) = [(\mu/(\lambda + \mu)) + \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right) \exp(-(\lambda + \mu)t)] \quad (2.20)$$

2.5 Overall Equipment Effectiveness

Overall equipment effectiveness merupakan metode yang digunakan untuk mengukur dan mengidentifikasi efektivitas mesin atau kinerja suatu peralatan dalam melakukan proses produksi. *Overall equipment effectiveness* juga biasa digunakan dalam implementasi *total productive maintenance* untuk menjaga peralatan dalam kondisi ideal sehingga dapat mengurangi kemungkinan kerugian yang akan terjadi (Sayuti dkk., 2019). Selain sebagai alat ukur performa dari suatu sistem, *overall equipment effectiveness* dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi produksi, *availability*, serta kualitas *output* mesin/peralatan (Dewi & Rinawati, 2015). Metode ini dapat mengidentifikasi sumber masalah dan faktor penyebabnya sehingga upaya peningkatan produksi menjadi lebih efektif.

Terdapat tiga rasio utama yang menjadi dasar perhitungan nilai *overall equipment effectiveness* yaitu sebagai berikut:

a. Availability

Availability merupakan salah satu rasio dalam *overall equipment effectiveness* yang menunjukkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi produksi pada mesin/peralatan. Rasio ini juga dapat dianggap

sebagai waktu aktif mesin/peralatan beroperasi dengan menghilangkan *downtime* terhadap *loading time*. Persamaan untuk rasio *availability* ini adalah sebagai berikut (Stephens, 2004):

$$A (\%) = \frac{\textit{operation time}}{\textit{loading time}} \times 100\% \quad (2.21)$$

$$A (\%) = \frac{\textit{running time} - \textit{downtime}}{\textit{running time}} \times 100\% \quad (2.22)$$

Nilai *downtime* dapat didefinisikan sebagai waktu henti pada mesin termasuk kerusakan maupun penghentian peralatan pada suatu proses. Maka nilai *output* pada *availability* menunjukkan ketersediaan mesin atau peralatan yang sesungguhnya.

b. *Performance Efficiency*

Performance efficiency dapat didefinisikan sebagai waktu siklus ideal suatu proses untuk menghasilkan item atau memproduksi sesuatu (Hossen, 2016). Untuk mendapatkan nilai dari perhitungan efisiensi kerja, dalam hal ini seperti yang akan digunakan untuk perhitungan pada *turbomachinery*, maka dibutuhkan data *capacity output* untuk sistem *gas turbine generator*.

$$PE\ GTG(\%) = \frac{C\ \textit{actual}}{C\ \textit{design}} \times 100\% \quad (2.24)$$

c. *Quality Rate*

Rasio mengenai *rate of quality* menunjukkan kemampuan suatu peralatan untuk menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan spesifikasi standar. Persamaan untuk rasio ini adalah sebagai berikut:

$$Q\ GTG (\%) = \frac{\textit{frequency actual}}{\textit{frequency design}} \times 100\% \quad (2.26)$$

Defect amount menunjukkan jumlah hasil produksi yang masih belum mencapai nilai standar, yaitu produk yang ditolak setelah proses produksi (Rajput & Jayaswal, 2012).

Persamaan (2.27) dapat digunakan untuk mendapat nilai *overall equipment effectiveness* adalah sebagai berikut:

$$OEE = Availability \times Performance \text{ Efficiency} \times Quality \quad (2.27)$$

Dengan identifikasi penyebab rendahnya kinerja suatu mesin/peralatan, maka performansi operasi dari tiga rasio diatas dapat digunakan untuk memberikan informasi kepada manajemen untuk melakukan peningkatan produktivitas serta profitabilitas. Adapun standar untuk nilai rasio dari OEE adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 2. 1 OEE World Class

<i>OEE Factors</i>	<i>OEE World Class</i>
<i>Availability</i>	90%
<i>Performance Efficiency</i>	95%
<i>Rate of Quality Product</i>	99.9%
OEE	85%

2.6 Turbin Gas

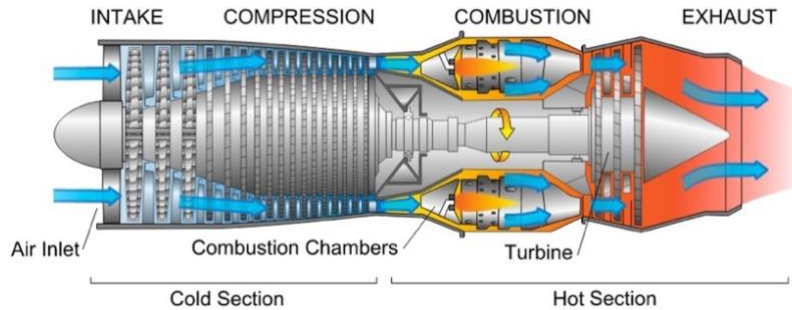
Turbin adalah mesin penggerak yang menggunakan energi fluida untuk memutar roda turbin. Fluida yang dapat dimanfaatkan untuk memutar roda turbin dapat berupa air, *vapour*, atau gas. Fluida kerja tersebut mengalami proses ekspansi atau proses penurunan tekanan lalu mengalir secara kontinyu. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan berfungsi untuk memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar beban seperti generator listrik, pompa,

kompresor, dan mesin lainnya. Pada sekitar roda turbin terdapat sudu turbin yang akan bekerja akibat gaya yang diberikan dari fluida kerja. Fluida mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Sudu turbin dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja tersebut.

Turbin gas adalah salah satu *turbomachine* yang dioperasikan dengan fluida kerja berupa gas. Sistem turbin gas secara umum terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin. Pada prinsipnya, udara di atmosfer diterima oleh *air inlet section* untuk menyaring udara dari debu dan kotoran yang ikut masuk sebelum masuk kedalam kompresor. Udara yang diterima oleh kompresor kemudian dinaikkan tekanan udaranya sehingga temperatur yang dihasilkan dari kompresor tersebut juga akan meningkat (Zohuri, 2015). Udara bertekanan tinggi dari kompresor tersebut kemudian masuk kedalam ruang bakar dan melalui proses pembakaran (*combustion*) antara bahan bakar dengan fluida kerja berupa gas bertekanan tinggi. Bahan bakar yang umumnya digunakan berupa gas alam dan *fuel oil*. Proses pembakaran dibutuhkan untuk menaikkan temperat udara dengan tekanan konstan. Gas hasil pembakaran berupa energi panas yang diubah menjadi energi kinetik yang selanjutnya diteruskan ke dalam turbin dan energinya dimanfaatkan untuk menggerakkan roda turbin. Pada bagian turbin terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik sebagai penggerak kompresor.

Beberapa hal yang dapat membedakan antara turbin gas dengan turbin uap yaitu adanya komponen penting berupa kompresor dan ruang bakar pada turbin gas, tidak ada ketergantungan pada suplai air, serta efisiensinya rendah. Sedangkan, jika pada turbin uap komponen pentingnya berupa ketel uap, bergantung pada suplai air, dan efisiensinya lebih tinggi.

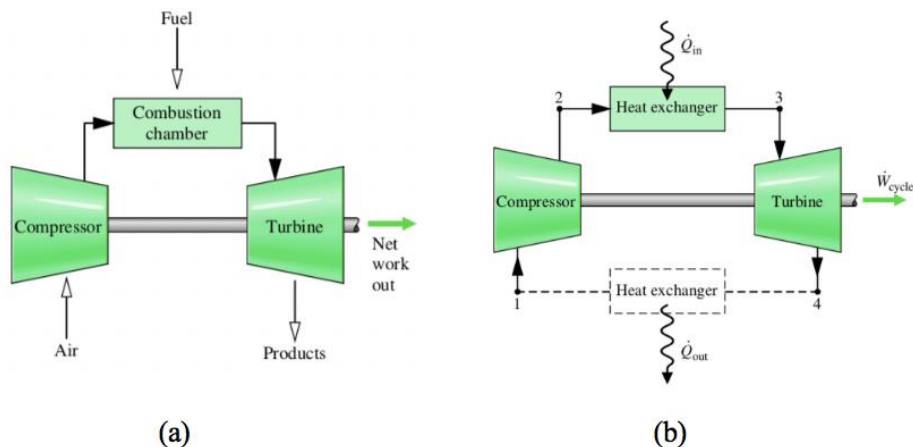
Bagian-bagian proses yang terjadi pada turbin gas dapat ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Turbin gas

2.7 Siklus Brayton

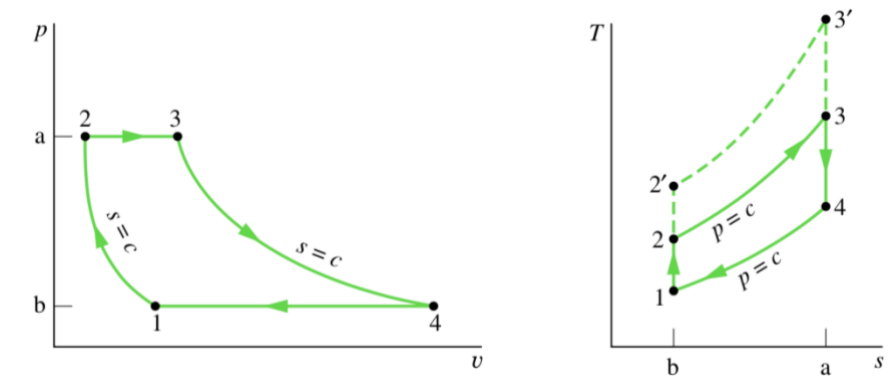
Berdasarkan analisa standar udara, kenaikan temperatur yang akan dicapai dalam proses pembakaran disebabkan oleh perpindahan panas dari sumber eksternal ke fluida kerja dan fluida kerja tersebut dianggap sebagai gas ideal. Pada sistem turbin gas sederhana dengan siklus terbuka menggunakan ruang bakar sedangkan sistem turbin gas dengan siklus tertutup menggunakan alat penukar panas (*heat exchanger*) (Rosen, 2014) seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Gas turbin (a) sistem terbuka (b) sistem tertutup

Dengan idealisasi standar udara, udara ditarik oleh kompresor pada keadaan 1 dari lingkungan dan kembali ke lingkungan pada keadaan 4 dengan temperatur

lebih besar dari temperatur sekitar. Setiap satuan massa udara yang keluar akan kembali pada keadaan semula seperti sebelum masuk ke kompresor, sehingga udara yang melewati sistem turbin gas mengalami siklus termodinamika. Siklus ideal dari sistem turbin gas dapat disebut sebagai siklus Brayton.



Gambar 2. 4 Diagram P-v dan T-s siklus Brayton

Berdasarkan gambar 2.2, dapat dijelaskan bahwa siklus Brayton terdiri dari proses berikut:

a) Siklus 1 – 2

Udara atmosfer masuk kedalam *inlet* kompresor lalu udara dikompresikan untuk meningkatkan tekanan, temperatur dan volume ruang. Pada proses ini nilai entropi secara ideal bernilai konstan sehingga disebut proses isentropik.

b) Siklus 2 – 3

Pada tahap ini udara terkompresi masuk ke ruang bakar. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar dan diikuti dengan proses pembakaran bahan bakar tersebut. Energi panas hasil pembakaran diserap oleh udara (q_{in}) sehingga meningkatkan temperatur udara dan menambah volume udara. Proses ini tidak mengalami kenaikan tekanan udara, karena udara hasil proses pembakaran bebas berekspansi ke sisi turbin. Proses ini disebut isobarik karena memiliki tekanan yang konstan.

c) Siklus 3 – 4

Udara bertekanan yang telah menyerap panas hasil pembakaran, berekspansi melewati turbin. Sudu-sudu turbin yang merupakan *nozzle*-

nozzle kecil berfungsi untuk mengkonversikan energi panas udara menjadi energi kinetik. Sebagian energi tersebut dikonversikan turbin untuk memutar kompresor. Pada sistem pembangkit listrik gas turbin, sebagian energi lagi dikonversikan turbin untuk memutar generator listrik.

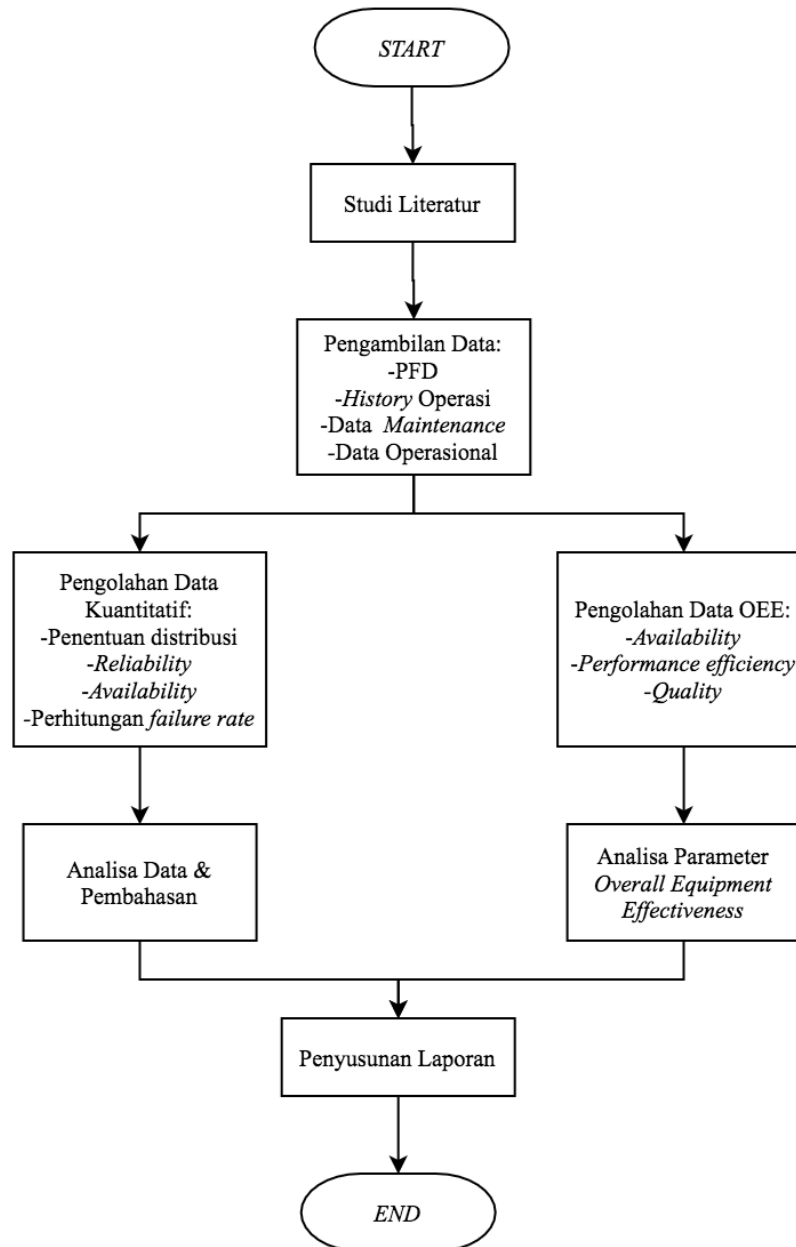
d) Siklus 4 – 1

Proses yang terjadi di dalam alat pemindahan kalor pembuangan kalor tekanan konstan. Tahap selanjutnya adalah pembuangan udara kembali ke atmosfer. Pada siklus Brayton ideal, udara yang keluar dari turbin ini masih menyisakan sejumlah energi panas. Panas ini diserap oleh udara bebas, sehingga secara siklus udara tersebut siap untuk kembali masuk ke tahap 1-2 lagi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang digambarkan oleh diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart penelitian

3.1 Studi Literatur

Sebelum dilakukan sebuah penelitian, perlu dilakukan pencarian informasi dan fakta terkait yang dapat menunjang bahwa sebuah penelitian dapat dilakukan. Pada bagian ini dilakukan studi literatur mengenai *reliability* dan *availability*, *overall equipment effectiveness*, serta metode untuk mengidentifikasi akar masalah yaitu dengan meninjau data operasi *equipment*.

3.2 Pengumpulan Data *Turbomachinery*

Teknik Pengambilan data yang diambil untuk menunjang penelitian pada tugas akhir ini merupakan pengumpulan data sekunder yang terdiri dari PFD (*process flow diagram*), *history* operasi, serta time interval komponen pada *equipment turbomachinery* yang didapat dari data *maintenance* dari tahun 2015-2020. Data tersebut terletak pada **Lampiran A Data Maintenance *Turbomachinery***. Dari data tersebut, *equipment* yang digunakan untuk pengolahan data selanjutnya meliputi *lube oil cooler*, *fuel filter*, *air inlet filter* dan bagian *engine* pada GTG-B. Adapun bentuk *maintenance* maupun kegagalan dari data yang didapatkan yaitu berupa perbaikan *lube oil high temperature*, *GTG-B fail to start*, *GTG-B trip*, *RTD module fail*, dan *troubleshoot GTG-B*.

3.2.1 Spesifikasi Gas Turbine Generator

Pada analisa *overall equipment effectiveness* dibutuhkan data mengenai spesifikasi *turbomachinery* yaitu gas turbine generator. Berikut merupakan data yang didapatkan.

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Gas Turbine Generator*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Tag Number</i>	660-G-01B
<i>Type</i>	GTG Centaur 40
<i>Vendor</i>	<i>Solar Turbine</i>
<i>Capacity</i>	3200 kW (ISO RATING)
<i>Nominal Frequency</i>	50 Hz
<i>Turbine Speed</i>	1500 rpm
<i>Voltage</i>	6600 V

Tabel 3.1 Lanjutan

Spesifikasi	Keterangan
<i>Exhaust Mass flow</i>	21,71 kg/s
<i>Exhaust Gas Temperature</i>	443 °C
<i>Pressure Ratio</i>	10,3

3.2.2 Data Operasional Gas Turbine Generator B

Selanjutnya telah didapatkan data operasional pada untuk sistem *gas turbine generator B* pada periode 7 September 2018 sampai dengan 19 April 2020. Data tersebut dapat dilihat pada rincian tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Data Operasi Gas Turbine Generator B

NO	Start	Finish	Running hour	Downtime
1	18/11/18	22/11/18	1728	92
2	07/01/19	20/01/19	1104	312
3	10/03/19	14/03/19	1176	96
4	23/03/19	24/03/19	216	24
5	22/05/19	03/06/19	1416	288
6	11/11/19	17/11/19	3864	144
7	03/01/20	07/01/20	1128	96
8	23/02/20	01/03/20	1128	168
9	20/03/20	22/03/20	456	48
10	19/04/20	19/04/20	672	0

3.2.3 Data Input/Output Gas Turbine Generator

Tabel 4.3 menunjukkan data *input/output* sistem *gas turbine generator B* yang akan digunakan untuk tinjauan analisa *overall equipment effectiveness*. Terdapat 8 *input* dan juga 3 *output* seperti pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 3 Data *Input/Output Gas Turbine Generator*

<i>Input</i>	<i>Output</i>
<i>Air Supply Pressure (barg)</i>	<i>Generator Capacity (Calculated from TT4000)</i>
<i>PCD /P2 (barg)</i>	<i>Generator Efficiency (%)</i>
<i>Actual Fuel Flow (kg/s)</i>	<i>T5 Average Temperature (oC)</i>
<i>Generator Total Load (kW)</i>	-
<i>Temperature T1 (oC)</i>	-
<i>Gas Fuel Temperature (oC)</i>	-
<i>Turbine Air Inlet DP (mbar)</i>	-
<i>Air mass flow (kg/s)</i>	-

3.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan menggunakan model analisa kuantitatif. Analisa ini meliputi beberapa tahap perhitungan yaitu sebagai berikut:

- a. Menentukan *time to failure* (TTF) dan *mean time to failure* (MTTF)

Penentuan nilai TTF dilakukan dengan meninjau waktu operasi pada data *maintenance* yang telah didapat dari masing-masing sistem pada periode 2015 sampai dengan 2020. Sedangkan nilai MTTF ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.19) tergantung dari jenis distribusi yang digunakan.

- b. Menentukan *time to repair* (TTR) dan *mean time to repair* (MTTR)

Penentuan nilai TTR dilakukan dengan meninjau waktu pada data *maintenance* yang telah didapat dari masing-masing sistem pada periode 2015 sampai dengan 2020.

- c. Menentukan Distribusi TTF

Penentuan distribusi *time to failure* bertujuan untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu dengan menggunakan bantuan *software Reliasoft Weibull++ Version 6*. Pada *software* ini, data yang dimasukkan dan ditentukan jenis distribusinya baik itu distribusi normal, lognormal, weibull, dan juga eksponensial.

- d. Perhitungan *reliability* dan *availability*

Setelah dilakukan analisa data *maintenance* dari *gas turbine generator B*, dilakukan perhitungan *reliability* dan juga *availability* pada masing-masing *equipment*.

3.4 Pengolahan Data *Overall Equipment Effectiveness*

Sistem yang data yang diolah untuk dapat menganalisa *overall equipment effectiveness* adalah *gas turbine generator* B. Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan dengan menghitung nilai-nilai untuk parameter yang terdapat didalam *overall equipment effectiveness*, yaitu:

a. *Availability*

Availability dihitung berdasarkan waktu operasional (*running hour*) dan waktu henti (*downtime*) yang terdapat pada data operasi menggunakan persamaan (2.22) Pada data tersebut, waktu operasi sistem tercatat setiap waktunya.

b. *Performance Efficiency*

Perhitungan untuk parameter *performance efficiency* dilakukan berdasarkan *output* yang dihasilkan oleh sistem *gas turbine generator* yaitu berupa *generator capacity*. *Performance efficiency* dihitung menggunakan persamaan (2.24). Untuk analisa sistem tersebut , dapat dilakukan peninjauan terhadap *input-input* terkait seperti yang telah dicantumkan pada tabel 3.3.

c. *Quality*

Perhitungan *quality* dilakukan berdasarkan frekuensi yang dihasilkan oleh sistem *gas turbine generator* menggunakan persamaan (2.26). Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan nilai standard yang telah ditentukan mengetahui bahwa sistem tersebut dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi sistem.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

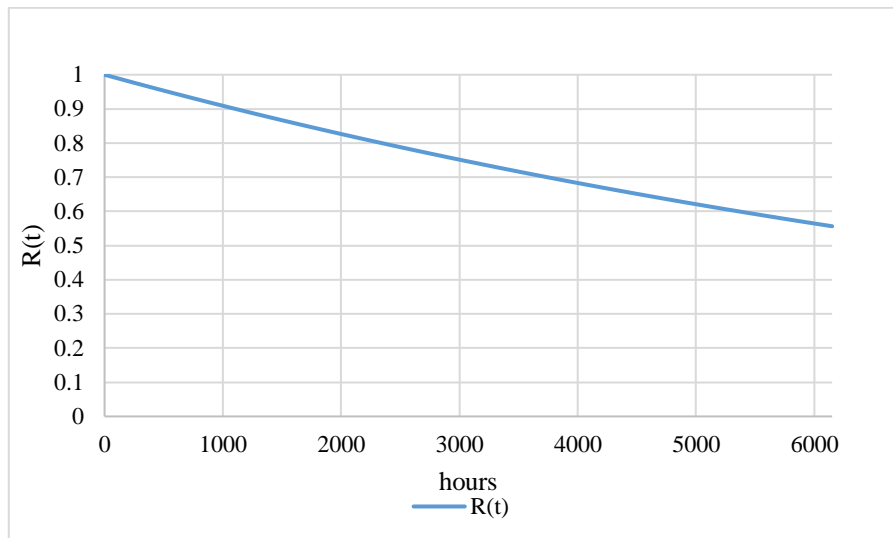
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Kuantitatif Gas Turbine Generator B

Pada analisa kuantitatif ini dilakukan perhitungan *reliability* berdasarkan probabilitas fungsi keagalannya. Berdasarkan data yang telah dianalisa dari data *maintenance*, didapatkan nilai *time to failure* (TTF) sistem. Nilai *time to failure* tersebut kemudian dimasukkan kedalam *software Reliasoft Weibul 6++* untuk diolah, sehingga didapatkan distribusinya. Selain mendapatkan jenis distribusi, pada kolom utama *software Reliasoft Weibul 6++* juga menyajikan parameter untuk setiap distribusi dan parameter yang dihasilkan tergantung dari data yang dimasukkan kedalam *software*. Jenis distribusi beserta parameter yang sudah diketahui tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai *reliability* dan *availability* untuk *equipment*.

Berdasarkan data *maintenance* yang didapat dari periode 2015-2020, telah diketahui jumlah *maintenance* yang pernah terjadi pada *gas turbine generator B* serta dihitung nilai *time to failure* sistem. Nilai *time to failure* tersebut selanjutnya di proses ke dalam *software Reliasoft Weibul 6++* dan didapatkan hasil distribusi untuk sistem *gas turbine generator B* merupakan distribusi eksponensial. Parameter yang dihasilkan oleh distribusi ini adalah Lambda (λ) dengan nilai sebesar $9,5279 \times 10^{-5}$.

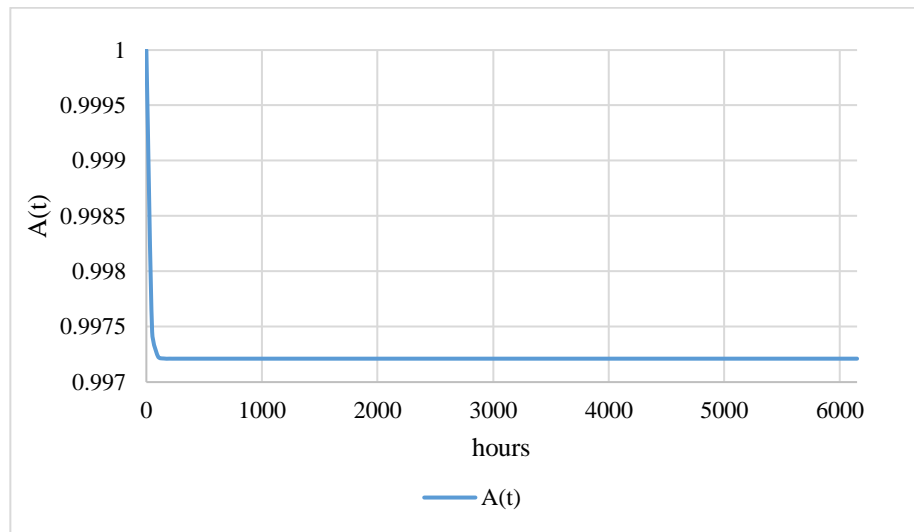
Data yang sudah siap diolah dan ditemukan parameternya kemudian dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Pengolahan data dilakukan dengan variasi interval waktu 0,001 sampai dengan 6150 jam. Berdasarkan perhitungan fungsi keandalan dan ketersediaan terhadap waktu yang telah dilakukan, didapatkan grafik fungsi sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Grafik *reliability* gas turbine generator B

Berdasarkan grafik *reliability* pada sistem *gas turbine generator B* pada gambar 4.1, dapat diketahui bahwa nilai keandalan terus menurun terhadap fungsi waktu. Artinya pada hal ini nilai keandalan sistem tersebut akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu. *Realiability* dipengaruhi *cumulative distribution function*. Nilai *reliability* ini mengalami penurunan menuju 0,7 atau 70% setelah sistem beroperasi selama 3700 jam. Jika diasumsikan operasi sistem adalah 5 tahun atau sekitar 43.800 jam maka nilai keandalan yang didapatkan mencapai 0,01. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai keandalan dari sistem *gas turbine generator B* cukup baik. Perhitungan *reliability* untuk sistem ini menggunakan distribusi eksponensial dan diperoleh dari persamaan (2.16). Apabila fungsi distribusi kumulatif berdasarkan kegagalan dikaitkan dengan *reliability*, maka semakin besar keagalannya maka nilai *reliability* akan semakin kecil.

Selanjutnya telah dihitung nilai *availability* dengan hasil perhitungan disajikan pada gambar 4.2. Jika dikaitkan dengan *reliability*, nilai *availability* ini juga dipengaruhi oleh jumlah waktu kegagalan. Dapat dilihat dari persamaan (2.20) bahwa *availability* dipengaruhi oleh laju kegagalan (λ) dan waktu perbaikan (μ). Semakin besar waktu kegagalan/*repair*, maka nilai *availability* akan semakin kecil. Sedangkan apabila waktu operasi/waktu menuju gagal (MTTF) semakin besar, dapat menyebabkan λ semakin kecil, sehingga nilai *availability* akan semakin besar.



Gambar 4. 2 Grafik *availability gas turbine generator B*

Pada gambar 4.2 menunjukkan grafik *availability* pada *equipment gas turbine generator B* dengan variasi interval waktu 0,001 sampai dengan 6150 jam. Dengan menggunakan persamaan pada distribusi eksponensial, Laju kegagalan (λ) yang didapatkan untuk *equipment* ini yaitu sebesar $9,53E-05$. Pada sistem ini laju kegagalan bernilai konstan, yang mengartikan bahwa alat tersebut berada pada masa *useful life* (CFR). *Constant failure rate* (CFR) menunjukkan bahwa alat tersebut tidak dipengaruhi oleh distribusi kegagalan lainnya dan tidak tergantung pada umur *equipment* itu sendiri. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa *availability* pada $t=0,001$ jam bernilai 0,9999, lalu terjadi penurunan dengan selisih yang sangat kecil untuk setiap jamnya. *Availability* untuk sistem *gas turbine generator B* ini dapat dikatakan tinggi atau berarti bahwa tingkat ketersediaan dari sistem tersebut akan tersedia jika dibutuhkan. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai *availability* yang konstan sebesar 0,9972 dimulai pada waktu $t=300$ jam sampai dengan 6150 jam. Pada gambar 4.1 dan 4.2 digunakan interval waktu mulai 0,01 jam sampai dengan 6150 jam untuk mendapatkan grafik penurunan *reliability* dan *availability* terhadap waktu. Hal tersebut dilakukan karena *equipment* yang digunakan pada *gas turbine generator B* memiliki laju kegagalan *dangerous detected* sehingga perlu dilakukan interval perawatan pada 6000 jam.

4.2 Analisa Overall Equipment Effectiveness

Berdasarkan data operasional pada tabel 3.2, dapat dihitung untuk total berjalannya sistem selama operasi adalah selama 12.888 jam. Total sistem berjalan dapat disebut sebagai *running hour / running time*. Sedangkan untuk waktu henti sistem akibat adanya *repair*, mesin *off*, maupun *standby* tanpa menghasilkan *output* dapat disebut sebagai *downtime*. Pada perhitungan *overall equipment effectiveness* terdapat tiga parameter perhitungan yaitu *availability*, *performance efficiency* dan *rate of quality product*.

Berdasarkan perhitungan *availability*, *performance efficiency*, dan juga *rate of quality product* pada sistem *gas turbine generator B* yang telah didapatkan, maka dapat ditentukan nilai *overall equipment effectiveness* dengan rincian seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Overall Equipment Effectiveness

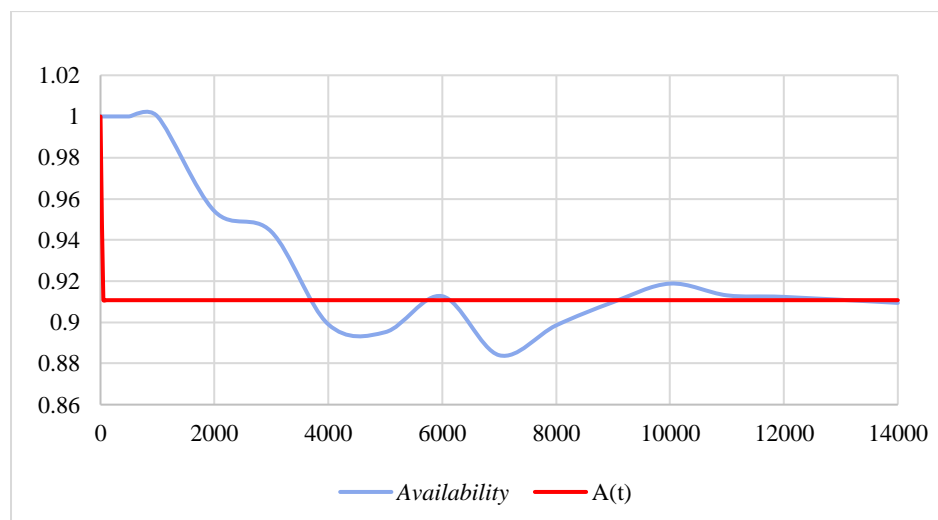
t (hours)	Performance Efficiency	Quality	Availability	OEE
1000	91%	100%	100%	91%
2000	91%	100%	95%	87%
3000	91%	100%	94%	86%
4000	91%	100%	90%	82%
5000	90%	100%	90%	81%
6000	91%	100%	91%	83%
7000	94%	100%	88%	83%
8000	93%	100%	90%	84%
9000	94%	100%	91%	85%
10000	93%	100%	92%	86%
11000	93%	100%	91%	85%
12000	94%	100%	91%	86%
14000	94%	100%	91%	85%

Pada tabel 4.1 menunjukkan nilai *overall equipment effectiveness* yang terhitung setiap seribu jam operasi. Nilai OEE didapatkan berdasarkan hasil

perhitungan *availability*, *performance efficiency*, dan *rate of quality product* dari data operasi sistem seperti pada persamaan (2.27). Berdasarkan OEE *world class*, parameter nilai ideal yang digunakan sebagai batas minimum untuk *availability* adalah 90%, untuk *performance efficiency* adalah 95%, untuk *quality* adalah 99,9%, dan untuk akumulasi nilai OEE adalah 85%. Hasil perhitungan *overall equipment effectiveness* menunjukkan hasil yang berbeda-beda setiap waktu karena mendapat pengaruh dari ketiga parameter tersebut. Nilai OEE tertinggi yaitu sebesar 91%, didapatkan pada seribu jam awal operasi karena nilai *quality* dan *availability equipment* masih 100% walaupun nilai *performance* yang didapat cukup kecil yaitu 91%. Pada tabel 4.1 juga dapat diketahui bahwa masih didapatkan nilai *overall equipment effectiveness* yang berada dibawah nilai standar *world class* yaitu pada waktu 4000, 5000, 6000, 7000, dan 8000 jam dengan nilai masing-masing sebesar 82%, 81%, 83%, 83% dan 84%. Hal tersebut dikarenakan nilai *performance* rata-rata waktu yang terakumulasi masih dibawah nilai standar.

4.2.1 Analisa Availability

Telah dilakukan perhitungan *availability* pada sistem *gas turbine generator B* menggunakan persamaan (2.22). Hasil dari perhitungan *availability* tersebut terlampir pada grafik berikut:



Gambar 4. 3 Grafik *availability* OEE

Pada gambar 4.3 merupakan perbandingan hasil pengolahan data *availability* berdasarkan data operasional *equipment (availability OEE)* dengan hasil perhitungan $A(t)$ oleh data *maintenance*. Berdasarkan grafik tersebut, nilai *availability* yang dihitung berdasarkan data operasi didapatkan berubah-ubah sesuai dengan pengaruh *running time* maupun *downtime* sistem operasi.

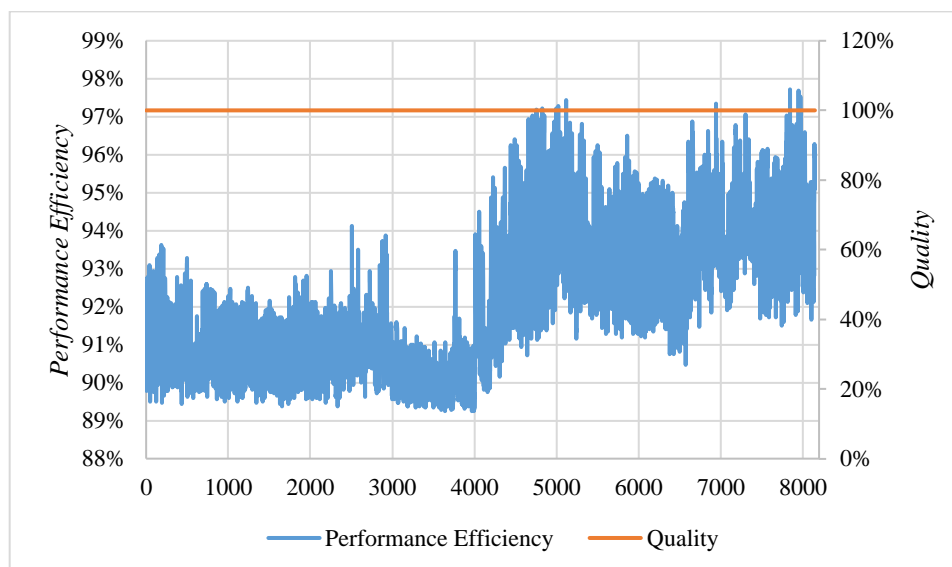
Pada 1000 jam pertama operasi, nilai *availability* yang didapatkan adalah 1 (satu). Hal ini disebabkan oleh *downtime* yang bernilai nol selama seribu jam pertama operasi sistem. Pada seribu jam selanjutnya didapatkan *downtime* sebesar 92 jam, sehingga menyebabkan nilai *availability* menurun menjadi 0,954 dalam waktu 2000 jam operasi sistem. Nilai *availability* terendah didapatkan pada waktu 7000 jam dengan nilai sebesar 0,884. Perhitungan tersebut dilakukan menggunakan persamaan (2.22). Hal yang menjadi penyebab rendah atau tingginya nilai *availability* salah satunya adalah *downtime*. Hasil perhitungan *availability* pada *overall equipment effectiveness* untuk total waktu 14.160 *running hour* dan total *downtime* 1.268 jam adalah sebesar 0,9094286.

Sedangkan untuk *availability* terhadap waktu yang diambil dari data *maintenance*, dengan jangka waktu yang sama, didapatkan nilai sebesar 0,9107 dengan laju kegagalan sebesar 0,0004826. Dalam hal ini, telah dihitung model regresi linier menggunakan *root mean squared error (RMSE)* untuk mengetahui besar error yang didapat dengan nilai sebesar 0,064. Semakin mendekati nilai nol, maka hasil *availability* berdasarkan data *maintenance* dapat dikatakan baik dan dapat mengikuti nilai *availability* aktual. Berdasarkan nilai *error* yang telah didapatkan, telah diprediksi hasil perhitungan untuk laju kegagalan aktual sebesar 0,0012.

4.2.2 Analisa Performance Efficiency

Parameter dalam *overall equipment effectiveness* selanjutnya yaitu adalah *performance* dan juga *quality product*. Parameter tersebut merupakan standar komparataif yang digunakan dalam pengukuran dan pemantauan kinerja dan kondisi *equipment*. Perhitungan pada *performance efficiency* dilakukan dengan meninjau *output* dari *gas turbine generator B*. *Output* ini berupa nilai generator *capacity* yang keluar setiap waktu. Sedangkan untuk *rate of quality product* data yang digunakan berupa frekuensi yang dihasilkan oleh sistem *gas turbine*

generator. Hasil pengolahan data untuk *performance efficiency* dan *rate of quality product* ditunjukkan pada grafik berikut:



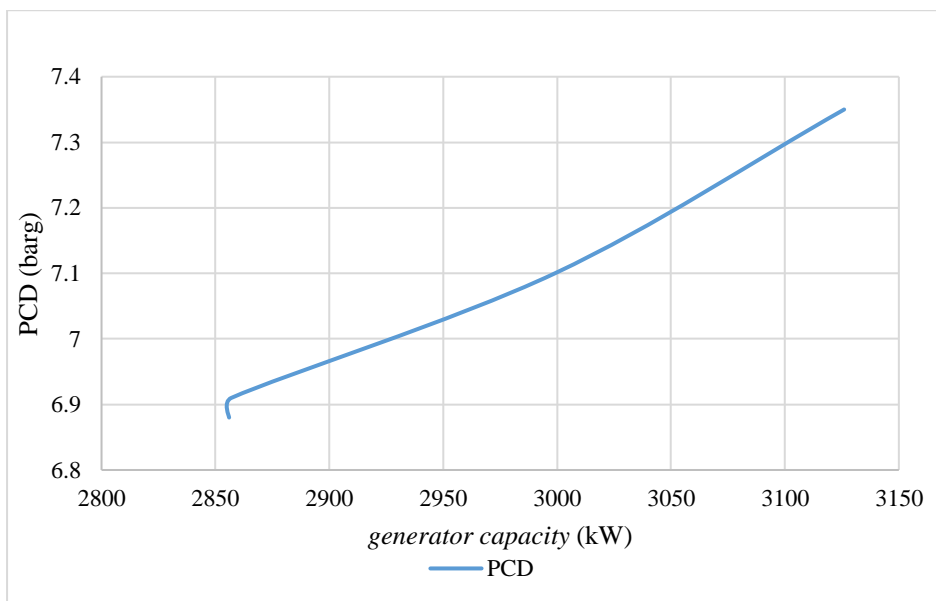
Gambar 4. 4 Grafik *performance efficiency* dan *rate of quality*

Gambar 4.14 menunjukkan hasil *performance efficiency* yang muncul pada interval waktu sesuai dengan data operasional selama 14.000 jam. Terlihat nilai performansi yang didapat setiap waktunya memiliki nilai persentase yang berbeda. Perbedaan nilai performansi tersebut merupakan pengaruh dari nilai *output* yang berbeda setiap waktunya. Perhitungan efisiensi performansi menggunakan persamaan (2.24). Pada persamaan tersebut terdapat perbandingan antara generator *capacity output* dengan *capacity design* yaitu sebesar 3200 kW.

Nilai *generator capacity* yang dijadikan sebagai acuan *performance efficiency*, dipengaruhi oleh faktor proses yang terjadi didalamnya. Proses yang terjadi pada gas turbin ini erat kaitannya dengan siklus ideal yang dapat disebut sebagai siklus Brayton. Pada siklus ini diawali dengan adanya udara yang masuk melalui *air intake* (T1) untuk dikompresi di dalam kompresor sehingga temperatur dan tekanan udara meningkat. Selanjutnya udara diteruskan ke ruang bakar untuk dilakukan pembakaran antara udara dengan bahan bakar (*natural gas*). Pada proses ini energi panas hasil pembakaran diserap oleh udara sehingga meningkatkan temperatur dan volume pada tekanan konstan. Udara hasil pembakaran akan berekspansi melewati sudu-sudu turbin sehingga terjadi perpindahan energi panas

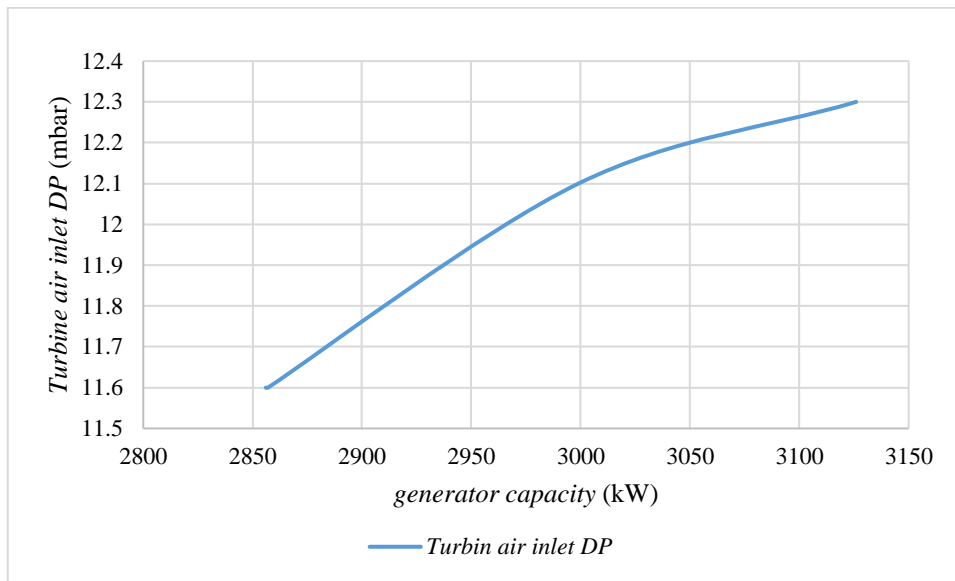
menjadi energi kinetik untuk menggerakkan turbin. Pada sistem gas turbin generator, sebagian energi dikonversi oleh turbin untuk memutar kompresor dan sisanya digunakan untuk memutar generator listrik. Energi tersebut merupakan *generator capacity* yang telah dihasilkan oleh proses gas turbin.

Berikut ini merupakan grafik perbandingan antara variabel *input* gas turbin terhadap nilai *generator capacity*.



Gambar 4. 5 Grafik analisa PCD - *generator capacity*

Gambar 4.15 merupakan grafik perbandingan antara *pressure compressor discharge* dengan *generator capacity* yang dihasilkan oleh sistem gas turbin generator. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *pressure compressor discharge* (P2), maka *generator capacity* yang dihasilkan akan semakin besar juga. Kenaikan nilai *generator capacity* yang dihasilkan tersebut akan mempengaruhi kenaikan *performance efficiency*, sehingga semakin baik.



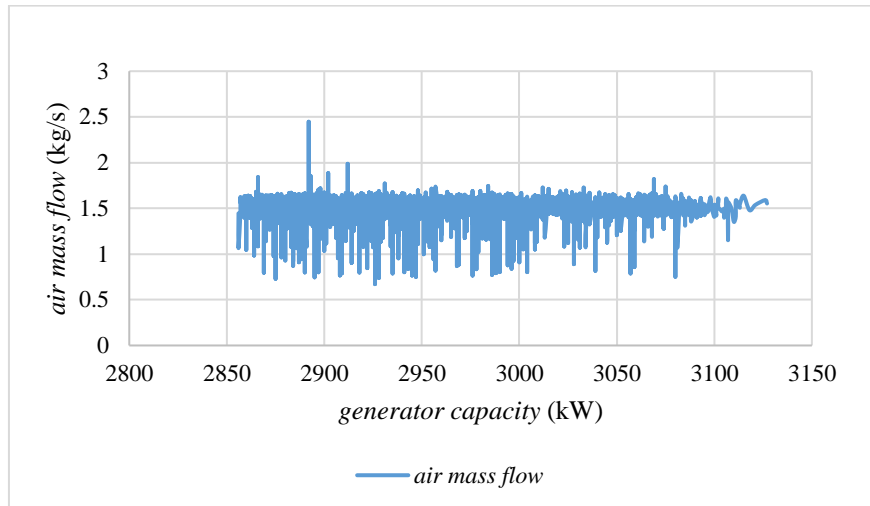
Gambar 4. 6 Grafik analisa *turbine air inlet D* - *generator capacity*

Gambar 4.16 merupakan grafik perbandingan antara *turbine air inlet DP* dengan *generator capacity* yang dihasilkan oleh sistem gas turbin generator. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *turbine air inlet DP* maka *generator capacity* yang dihasilkan akan semakin besar juga. Kenaikan nilai *generator capacity* yang dihasilkan tersebut akan mempengaruhi kenaikan *performance efficiency*, sehingga semakin baik.

Analisa selanjutnya yaitu tinjauan dari proses pembakaran antara udara dengan *natural gas* pada ruang bakar (*combustion chamber*). Untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal, campuran bahan bakar yang digunakan harus dengan rasio yang sempurna. Perbandingan massa antara bahan bakar dengan udara yang akan digunakan dapat disebut sebagai *air to fuel ratio*. Rasio kontrol ini digunakan untuk mengatur AFR agar mencapai kadar yang diinginkan atau dapat disebut sebagai stoikiometri. *Air to fuel ratio* dihitung dengan perbandingan *mass flow rate* udara dengan *mass flow rate* bahan bakar. Pembakaran yang sempurna menunjukkan bahwa setiap molekul bahan bakar akan tepat melakukan kontak reaksi kimia dengan oksigen dalam udara tanpa ada udara berlebih yang terbuang (*excess air*). Apabila jumlah rasio udara lebih banyak, maka panas hasil pembakaran atau reaksi kimia akan terbawa oleh oksigen yang berlebihan tersebut karena seluruh bahan bakar sudah habis terbakar, namun hal tersebut menyebabkan suhu *exhaust* turbin menjadi terlalu tinggi. Sedangkan, jika rasio bahan bakar yang terlalu besar maka

menyebabkan adanya *fuel* yang belum terbakar sempurna sehingga gas yang dihasilkan banyak mengandung karbon.

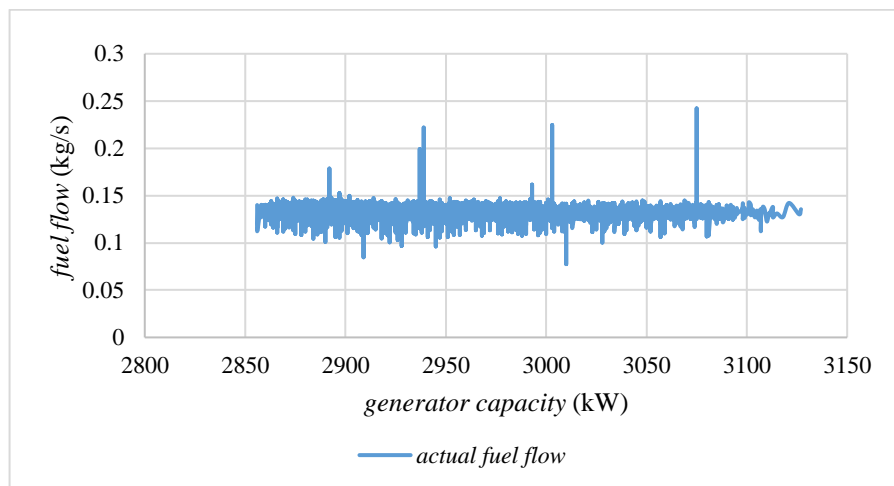
Berikut ini merupakan perbandingan hasil rasio AFR yang telah didapatkan dari data operasi.



Gambar 4. 7 Grafik analisa *air mass flow* – *generator capacity*

Pada Gambar 4.17 menunjukkan grafik antara nilai *air mass flow* yang didapatkan terhadap nilai *generator capacity* yang dihasilkan oleh sistem dengan nilai paling efektif sebesar 1,469 kg/s. Grafik tersebut digambarkan dari data operasional yang telah diterima dari PT. SIPL. Terlihat bahwa nilai *air mass flow* cenderung konstan dengan terdapat beberapa kenaikan dan penurunan. *Range* nilai yang didapat untuk *air mass flow* ini adalah 0,67 sampai dengan 2,44 kg/s. Nilai tersebut merupakan hasil perhitungan antara AFR dengan *actual fuel flow* karena pada bagian *air inlet* sistem *gas turbine generator* ini tidak terdapat *instrument* atau alat ukur untuk laju aliran massa.

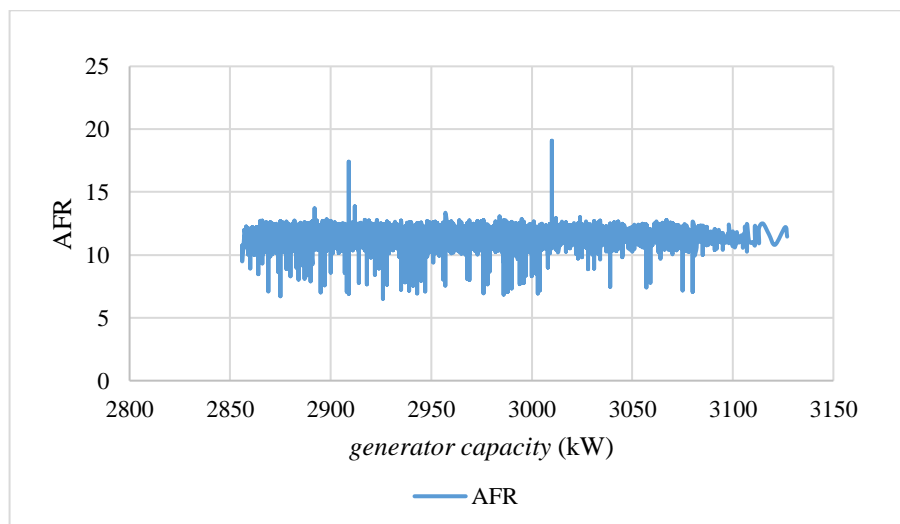
Selanjutnya adalah peninjauan laju aliran bahan bakar yang dimasukkan kedalam *combustion chamber* dengan grafik pada gambar 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4. 8 Grafik analisa *fuel flow* – *generator capacity*

Pada gambar 4.18 menunjukkan grafik antara nilai *actual fuel flow* terhadap nilai *generator capacity* yang dihasilkan oleh sistem dengan nilai paling efektif untuk *fuel flow* sebesar 0,127 kg/s. Grafik tersebut digambarkan dari data operasional yang diterima. Terlihat bahwa nilai *actual fuel flow* cenderung konstan dengan *range* nilai *fuel flow* 0,07 sampai dengan 0,24 kg/s. Terdapat beberapa fluktuasi nilai *fuel flow* dikarenakan pengaruh dari rasio komposisi bahan bakar yang digunakan.

Selanjutnya adalah peninjauan laju aliran bahan bakar yang dimasukkan kedalam *combustion chamber* dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Grafik analisa AFR – *generator capacity*

Pada gambar 4.19 menunjukkan grafik antara nilai AFR terhadap nilai *generator capacity* yang dihasilkan oleh sistem dengan nilai paling efektif untuk AFR sebesar 11,55 kg/s. Pada gambar tersebut nilai *air to fuel ratio* yang didapat dipengaruhi oleh perbandingan antara *air mass flow* dengan *actual fuel flow* sesuai dengan hasil pada gambar 4.17 dan 4.18. Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa ketika terjadi kenaikan nilai AFR, maka *air mass flow* juga akan semakin besar. Hal tersebut telah sesuai dengan teori bahwa nilai AFR dan *air mass flow* adalah sebanding. Pada keseimbangan nilai AFR ini menunjukkan bahwa sistem kontrol rasio antara udara dengan bahan bakar sangat penting.

4.2.3 Analisa Rate of Quality

Parameter *rate of quality* menunjukkan bahwa *input* yang diberikan pada sistem terlebih dahulu disesuaikan dengan proses yang berlaku didalamnya. Produk yang dihasilkan oleh sebuah proses harus mampu menghasilkan *output* sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Hal tersebut sangat diperlukan untuk menunjukkan kualitas sistem yang beroperasi. Perhitungan *quality* dilakukan menggunakan persamaan (2.26). Pada hasil *rate of quality* untuk sistem ini memiliki nilai konstan yaitu 1. Hal ini disebabkan oleh *input* dan energi dari fluida kerja yang dapat mempengaruhi putaran turbin sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Transmisi rasio putaran turbin yang dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik pada generator menyebabkan putaran sebesar 3000 rpm dapat menghasilkan frekuensi sebesar 50 Hz. Sehingga, apabila nilai tersebut tercapai secara terus menerus, maka nilai tersebut dianggap memenuhi *quality* pada sistem ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Analisa keandalan untuk sistem *turbomachinery* yang ditinjau dari data *maintenance*, didapatkan nilai *reliability* mengalami penurunan terhadap waktu operasi pada *equipment gas turbine generator B*. Adapun untuk nilai *reliability* mengalami penurunan 90% dengan lama waktu yang dibutuhkan adalah 1100 jam, untuk penurunan 70% adalah 3700 jam, dan untuk penurunan 60% adalah 5350 jam. Sedangkan untuk ketersediaan alat masih tergolong tinggi yaitu diatas 0,99 walaupun terjadi penurunan nilai yang sangat kecil pada *equipment* tersebut.
- Nilai *overall equipment effectiveness* yang telah dihitung berdasarkan parameter *availability*, *performance efficiency*, dan *rate of quality*, didapatkan mengalami kenaikan dan penurunan bergantung pada data operasi. Nilai *availability* operasi yang dipengaruhi *downtime* didapatkan bernilai 91%. Pada *performance efficiency* yang dipengaruhi *generator capacity*, didapatkan nilai efektivitas tertinggi sebesar 98%. Pada parameter *quality* didapatkan nilai konstan sebesar 100% karena nilai ini dipengaruhi oleh frekuensi yang dihasilkan oleh sistem *gas turbine generator B*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya analisa terhadap beberapa *equipment* yang saling terhubung sehingga analisa dapat dilakukan dengan metode *overall line efficiency*.
- Dapat dikembangkan dengan mengoptimalkan produktivitas peralatan dengan *total productive maintenance*.

Halaman ini sengaja dikosongka

DAFTAR PUSTAKA

- Afsharnia, F. (2017). Failure Rate Analysis. *Failure Analysis and Prevention*.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.71849>
- Bahadori, A., & Bahadori, A. (2016). Chapter 2 - Compressed air systems. *Essentials of Oil and Gas Utilities*, 15–57.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803088-2.00002-X>
- Company, E. (2014). Multi-Stage Centrifugal Compressors. *Ebara Group 901 North Fourth Streer Jeanette*, 15644–1473.
- Dewi, N. C., & Rinawati, D. I. (2015). Analisis Penerapan Total Productive Maintenance (Tpm) dengan Perhitungan Overall Equipment Efectiveness (Oee) dan Six Big Losses Mesin Cavitec PT. Essentra Surabaya (Studi Kasus PT. Essentra). *None*, 4(4).
- Dick, E. (2015). Fundamentals of Turbomachines. In *The Chemical Engineering Journal* (Vol. 109, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9627-9>
- Ebeling, C. E. (1997). *Intro to Reliability & Maintainability Engineering.pdf* (p. 486).
- Elldakli, F. (2017). *Petroleum & Petrochemical Engineering Journal*. August.
- Galar, D., Peter, S., & Kumay, U. (1390). *Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis*.
- Hastbacka, M., Dieckmann, J., & Bouza, A. (2013). Centrifugal compressors. In *ASHRAE Journal* (Vol. 55, Issue 2). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3532-7_8
- Hossen, J. (2016). *Improvement of Overall Equipment Efficiency (OEE) of Ring Frame Section of a Spinning Mill*.
- Maradia, U., Kliuev, M., & Baumgart, C. (2018). Efficient machining of complex-shaped seal slots for *turbomachinery*. *CIRP Annals*, 67(1), 209–212.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.099>
- Oreda. (2002). *OREDA_-_Offshore_Reliability_Data_Handbook.pdf*.
- Perry, S., Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2000). Perry's chemical

- engineers' handbook. In *Choice Reviews Online* (Vol. 38, Issue 02).
<https://doi.org/10.5860/choice.38-0966>
- Prager, G. (2019). *Reliability, Availability, and Maintainability*.
- Purba, H. H., Wijayanto, E., & Aristiara, N. (2018). *Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) with Total Productive Maintenance Method on Jig Cutting: A Case Study in Manufacturing Industry Available online www.jsaer.com Journal of Scientific and Engineering Research , 2018 , 5 (7)*: 397-406 *An. 5*(September), 397–406.
- Rajput, H. S., & Jayaswal, P. (2012). *Literature for OEE TPM-to-Improve-OEE*. 2(6), 4383–4386.
- Rosen, M. A. (2014). Exergy: Analysis. In *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology, Second Edition*. <https://doi.org/10.1081/e-eee2-120051991>
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2016). Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings. *Advances in Geothermal Energy, June*. <https://doi.org/10.5772/61372>
- Sayuti, M., Juliananda, Syarifuddin, & Fatimah. (2019). Analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Minimize Six Big Losses of Pulp machine: A Case Study in Pulp and Paper Industries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012136>
- Zohuri, B. (2015). Combined cycle driven efficiency for next generation nuclear power plants: An innovative design approach. *Combined Cycle Driven Efficiency for Next Generation Nuclear Power Plants: An Innovative Design Approach, August*, 1–359. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15560-9>

LAMPIRAN

A. Data Maintenance Sistem *Turbomachinery*

a. Data maintenance dan data kegagalan gas turbine generator B

START	FINISH	TTF (hour)	TTR (hour)
23/04/15	26/04/15	0	72
06/01/17	06/01/17	14904	2
18/06/19	18/06/19	21432	24
16/10/19	16/10/19	2880	1
14/12/19	14/12/19	1416	24
02/05/20	02/05/20	3360	0

B. Perhitungan *Reliability* dan *Availability*

a. Perhitungan *reliability* dan *availability* pada gas turbine generator B

Reliability		
t (hours)	R(t)	Lambda (λ)
0,001	0,99999999	9,53E-05
50	0,99524738	9,53E-05
100	0,99051735	9,53E-05
150	0,98580979	9,53E-05
200	0,98112461	9,53E-05
250	0,9764617	9,53E-05
300	0,97182095	9,53E-05
350	0,96720225	9,53E-05
400	0,96260551	9,53E-05
450	0,95803061	9,53E-05
500	0,95347745	9,53E-05
550	0,94894594	9,53E-05
600	0,94443596	9,53E-05
650	0,93994741	9,53E-05
700	0,9354802	9,53E-05
750	0,93103422	9,53E-05
800	0,92660936	9,53E-05
850	0,92220554	9,53E-05
900	0,91782265	9,53E-05
950	0,91346059	9,53E-05

t (hours)	R(t)	Lambda (λ)
1000	0,90911925	9,53E-05
1050	0,90479856	9,53E-05
1100	0,90049839	9,53E-05
1150	0,89621867	9,53E-05
1200	0,89195928	9,53E-05
1250	0,88772013	9,53E-05
1300	0,88350114	9,53E-05
1350	0,87930219	9,53E-05
1400	0,8751232	9,53E-05
1450	0,87096407	9,53E-05
1500	0,86682471	9,53E-05
1550	0,86270502	9,53E-05
1600	0,85860491	9,53E-05
1650	0,85452429	9,53E-05
1700	0,85046306	9,53E-05
1750	0,84642113	9,53E-05
1800	0,84239841	9,53E-05
1850	0,83839481	9,53E-05
1900	0,83441024	9,53E-05
1950	0,83044461	9,53E-05
2000	0,82649782	9,53E-05
2050	0,82256979	9,53E-05
2100	0,81866043	9,53E-05
2150	0,81476964	9,53E-05
2200	0,81089735	9,53E-05
2250	0,80704347	9,53E-05
2300	0,8032079	9,53E-05
2350	0,79939055	9,53E-05
2400	0,79559135	9,53E-05
2450	0,79181021	9,53E-05
2500	0,78804704	9,53E-05
2550	0,78430175	9,53E-05
2600	0,78057426	9,53E-05
2650	0,77686449	9,53E-05
2700	0,77317234	9,53E-05
2750	0,76949775	9,53E-05
2800	0,76584062	9,53E-05

t (hours)	R(t)	Lambda (λ)
2850	0,76220087	9,53E-05
2900	0,75857842	9,53E-05
2950	0,75497318	9,53E-05
3000	0,75138508	9,53E-05
3050	0,74781403	9,53E-05
3100	0,74425996	9,53E-05
3150	0,74072277	9,53E-05
3200	0,7372024	9,53E-05
3250	0,73369876	9,53E-05
3300	0,73021176	9,53E-05
3350	0,72674134	9,53E-05
3400	0,72328742	9,53E-05
3450	0,71984991	9,53E-05
3500	0,71642873	9,53E-05
3550	0,71302382	9,53E-05
3600	0,70963509	9,53E-05
3650	0,70626246	9,53E-05
3700	0,70290587	9,53E-05
3750	0,69956522	9,53E-05
3800	0,69624045	9,53E-05
3850	0,69293149	9,53E-05
3900	0,68963825	9,53E-05
3950	0,68636066	9,53E-05
4000	0,68309865	9,53E-05
4050	0,67985214	9,53E-05
4100	0,67662106	9,53E-05
4150	0,67340533	9,53E-05
4200	0,67020489	9,53E-05
4250	0,66701967	9,53E-05
4300	0,66384957	9,53E-05
4350	0,66069455	9,53E-05
4400	0,65755452	9,53E-05
4450	0,65442941	9,53E-05
4500	0,65131916	9,53E-05
4550	0,64822368	9,53E-05
4600	0,64514292	9,53E-05
4650	0,6420768	9,53E-05
4700	0,63902526	9,53E-05

t (hours)	R(t)	Lambda (λ)
4750	0,63598821	9,53E-05
4800	0,6329656	9,53E-05
4850	0,62995736	9,53E-05
4900	0,62696341	9,53E-05
4950	0,62398369	9,53E-05
5000	0,62101813	9,53E-05
5050	0,61806667	9,53E-05
5100	0,61512923	9,53E-05
5150	0,61220576	9,53E-05
5200	0,60929617	9,53E-05
5250	0,60640042	9,53E-05
5300	0,60351843	9,53E-05
5350	0,60065014	9,53E-05
5400	0,59779547	9,53E-05
5450	0,59495438	9,53E-05
5500	0,59212679	9,53E-05
5550	0,58931263	9,53E-05
5600	0,58651185	9,53E-05
5650	0,58372439	9,53E-05
5700	0,58095017	9,53E-05
5750	0,57818913	9,53E-05
5800	0,57544122	9,53E-05
5850	0,57270636	9,53E-05
5900	0,56998451	9,53E-05
5950	0,56727559	9,53E-05
6000	0,56457954	9,53E-05
6050	0,56189631	9,53E-05
6100	0,55922583	9,53E-05
6150	0,55656804	9,53E-05

Availability		
T (hours)	A(t)	λ
0,001	0,99999986	0,0001364
50	0,99745322	0,0001364
100	0,99723253	0,0001364
150	0,99721341	0,0001364
200	0,99721175	0,0001364

T (hours)	A(t)	λ
250	0,99721161	0,0001364
300	0,9972116	0,0001364
350	0,9972116	0,0001364
400	0,9972116	0,0001364
450	0,9972116	0,0001364
500	0,9972116	0,0001364
550	0,9972116	0,0001364
600	0,9972116	0,0001364
650	0,9972116	0,0001364
700	0,9972116	0,0001364
750	0,9972116	0,0001364
800	0,9972116	0,0001364
850	0,9972116	0,0001364
900	0,9972116	0,0001364
950	0,9972116	0,0001364
1000	0,9972116	0,0001364
1050	0,9972116	0,0001364
1100	0,9972116	0,0001364
1150	0,9972116	0,0001364
1200	0,9972116	0,0001364
1250	0,9972116	0,0001364
1300	0,9972116	0,0001364
1350	0,9972116	0,0001364
1400	0,9972116	0,0001364
1450	0,9972116	0,0001364
1500	0,9972116	0,0001364
1550	0,9972116	0,0001364
1600	0,9972116	0,0001364
1650	0,9972116	0,0001364
1700	0,9972116	0,0001364
1750	0,9972116	0,0001364
1800	0,9972116	0,0001364
1850	0,9972116	0,0001364
1900	0,9972116	0,0001364
1950	0,9972116	0,0001364
2000	0,9972116	0,0001364
2050	0,9972116	0,0001364

T (hours)	A(t)	λ
2100	0,9972116	0,0001364
2150	0,9972116	0,0001364
2200	0,9972116	0,0001364
2250	0,9972116	0,0001364
2300	0,9972116	0,0001364
2350	0,9972116	0,0001364
2400	0,9972116	0,0001364
2450	0,9972116	0,0001364
2500	0,9972116	0,0001364
2550	0,9972116	0,0001364
2600	0,9972116	0,0001364
2650	0,9972116	0,0001364
2700	0,9972116	0,0001364
2750	0,9972116	0,0001364
2800	0,9972116	0,0001364
2850	0,9972116	0,0001364
2900	0,9972116	0,0001364
2950	0,9972116	0,0001364
3000	0,9972116	0,0001364
3050	0,9972116	0,0001364
3100	0,9972116	0,0001364
3150	0,9972116	0,0001364
3200	0,9972116	0,0001364
3250	0,9972116	0,0001364
3300	0,9972116	0,0001364
3350	0,9972116	0,0001364
3400	0,9972116	0,0001364
3450	0,9972116	0,0001364
3500	0,9972116	0,0001364
3550	0,9972116	0,0001364
3600	0,9972116	0,0001364
3650	0,9972116	0,0001364
3700	0,9972116	0,0001364
3750	0,9972116	0,0001364
3800	0,9972116	0,0001364
3850	0,9972116	0,0001364
3900	0,9972116	0,0001364
3950	0,9972116	0,0001364

T (hours)	A(t)	λ
4000	0,9972116	0,0001364
4050	0,9972116	0,0001364
4100	0,9972116	0,0001364
4150	0,9972116	0,0001364
4200	0,9972116	0,0001364
4250	0,9972116	0,0001364
4300	0,9972116	0,0001364
4350	0,9972116	0,0001364
4400	0,9972116	0,0001364
4450	0,9972116	0,0001364
4500	0,9972116	0,0001364
4550	0,9972116	0,0001364
4600	0,9972116	0,0001364
4650	0,9972116	0,0001364
4700	0,9972116	0,0001364
4750	0,9972116	0,0001364
4800	0,9972116	0,0001364
4850	0,9972116	0,0001364
4900	0,9972116	0,0001364
4950	0,9972116	0,0001364
5000	0,9972116	0,0001364
5050	0,9972116	0,0001364
5100	0,9972116	0,0001364
5150	0,9972116	0,0001364
5200	0,9972116	0,0001364
5250	0,9972116	0,0001364
5300	0,9972116	0,0001364
5350	0,9972116	0,0001364
5400	0,9972116	0,0001364
5450	0,9972116	0,0001364
5500	0,9972116	0,0001364
5550	0,9972116	0,0001364
5600	0,9972116	0,0001364
5650	0,9972116	0,0001364
5700	0,9972116	0,0001364
5750	0,9972116	0,0001364
5800	0,9972116	0,0001364

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Inesya Permatasari, lahir di Jakarta pada tanggal 16 Maret 1998 dari pasangan Bapak Soewiyarso dan Ibu Esthi Kusdijarsiwi. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pada tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Laboratorium UNESA, Surabaya. pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Al-Hikmah Kota Surabaya, pada tahun 2016 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 15 Kota Surabaya. Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah aktif dalam organisasi kemahasiswaan menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS) ITS serta sebagai asisten di Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2020 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***Analisa Overall Equipment Effectiveness Pada Operasi Turbomachinery***. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui email: insyprmt98@gmail.com.