



TUGAS AKHIR - TF 181801

**Analisis *Reliability* Dan *Cost Preventive Maintenance* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PLTH Pantai Baru Pandansimo, Bantul, Yogyakarta**

**GILANG ARIF BUDIMAN**  
**NRP. 02311640000106**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa' M.Sc.**

**Departemen Teknik Fisika**  
**Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***Analysis Of Reliability and Cost Preventive Maintenance on Solar Power at PLTH Pantai Baru Pandansimo, Bantul, Yogyakarta***

**GILANG ARIF BUDIMAN  
NRP. 02311640000106**

***Supervisor***  
**Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa' M.Sc.**

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS***  
***Faculty of Industrial Technology and System Engineering***  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Gilang Arif Budiman  
NRP : 02311640000106  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Analisis Reliability dan Cost Preventive Maintenance pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PLTH Pantai Baru Pandansimo, Bantul, Yogyakarta**" 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, 09-01-2022

Yang membuat pernyataan,



Gilang Arif Budiman

NRP. 02311640000106

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS RELIABILITY DAN COST PREVENTIVE MAINTENANCE PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PLTH PANTAI BARU  
PANDANSIMO, BANTUL, YOGYAKARTA**

Oleh:

Gilang Arif Budiman

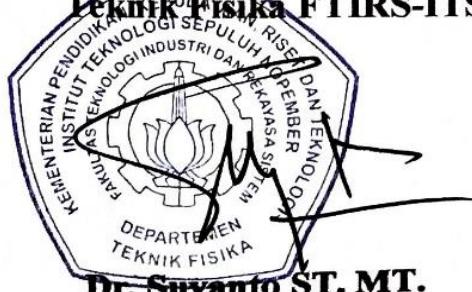
NRP. 02311640000106

Surabaya, 07-04-2022

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen**

**Teknik Fisika FTIRS-ITS**



Dr. Suyanto ST, MT.

NIP. 19711113 199512 1 002

**Menyetujui,**

**Pembimbing**

Prof. Dr.Ir. Ali Musyafa' M.Sc.

NIP. 19620822 198803 1 001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISIS RELIABILITY DAN COST PREVENTIVE MAINTENANCE PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PLTH PANTAI BARU PANDANSIMO, BANTUL, YOGYAKARTA**

#### **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 (FTIRS)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gilang Arif Budiman

NRP. 02311640000106

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

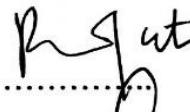
1. Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc.

 (Pembimbing I)

2. Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D.

 (Ketua Penguji)

3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

 (Penguji I)

4. Iwan Cony Setiadi, S.T.,M.T.

 (Penguji II)

**SURABAYA**

**2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISIS RELIABILITY DAN COST PREVENTIVE MAINTENANCE  
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PLTH PANTAI  
BARU PANDANSIMO, BANTUL, YOGYAKARTA**

**Nama : Gilang Arif Budiman**  
**NRP : 02311640000106**  
**Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc.**

**ABSTRAK**

Dengan keterbatasan sumber daya energi minyak bumi, menuntut para peneliti untuk menemukan alternatif energi yang terbarukan dan berkelanjutan, energi matahari adalah salah satu solusi terbaik dalam memenuhi kebutuhan manusia akan energi, dalam menjaga keandalan dari pembangkit listrik tenaga surya diperlukan analisis perawatan yang dilakukan secara berkala, langkah awal dari analisis perawatan ini adalah dilakukan pengumpulan serta pengolahan data dalam hal ini menggunakan grafik kontrol dari hasil daya yang dikeluarkan oleh panel surya, dari hasil olah data tersebut lalu mencari nilai *reliability*, serta biaya *preventive maintenance*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai *reliability* komponen PV 48V sebesar 0.6 dalam waktu 5 hari sedangkan untuk komponen PV 240V sebesar 0.6 dalam waktu 6 hari, nilai keandalan dengan menggunakan *preventive maintenance* didapatkan penjadwalan *maintenance* dengan interval waktu 6 hari untuk PV 48 V dan 7 hari untuk PV 240 V, sedangkan untuk analisis biaya *preventive maintenance* didapatkan Rp893,119 untuk PV 48 V dan Rp746,251 untuk PV 240 V selama satu tahun dan hanya berlaku untuk 1 pekerja.

**Kata Kunci :** *Reliability, Preventive maintenance, panel surya, grafik kontrol*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***ANALYSIS OF RELIABILITY AND COST PREVENTIVE  
MAINTENANCE ON SOLAR POWER AT PLTH PANTAI BARU  
PANDANSIMO, BANTUL, YOGYAKARTA***

<i>Name</i>	: Gilang Arif Budiman
<i>NRP</i>	: 02311640000106
<i>Department</i>	: <i>Engineering Physics FTIRS - ITS</i>
<i>Supervisor</i>	: Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc.

***ABSTRACT***

*With limited of petroleum energy resources, researchers are tend to find renewable and sustainable energy alternatives, solar energy is one of the best solutions for humankind to fulfil their needs of energy, to maintaining the reliability of solar power plants, periodic maintenance analysis is required, the first step to do maintenance analysis is collect and process the data, in this case is using a control chart of the power output from the solar panel, from the results of the data processing, then the value of reliability, as well as the cost of preventive maintenance are calculated. Based on the research that has been conducted found that the reliability value of PV 48V components is 0.6 for 5 days while for PV 240V components is 0.6 for 6 days, reliability value using preventive maintenance obtained maintenance scheduling with time intervals of 6 days for PV 48 V and 7 days for PV 240 V, while the costs analysis of preventive maintenance obtained Rp.893,119 for PV 48 V and Rp.746,251 for PV 240 V for a year and is only valid for 1 worker.*

***Key Words : Reliability, Preventive maintenance, Solar Panel, Control Chart***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

### **ANALISIS RELIABILITY DAN COST PREVENTIVE MAINTENANCE PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PLTH PANTAI BARU PANDANSIMO, BANTUL, YOGYAKARTA**

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Suyanto ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc. selaku Dosen Pembimbing, yang senantiasa selalu bersabar dan memberikan segala ilmu dan bimbingannya selama penggerjaan tugas akhir.
3. Bapak Dr.Ridho Hantoro S.T., M.T. selaku Dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan perhatiaanya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika.
4. Alm Bapak Hendra Cordova selaku Dosen Teknik Fisika yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada mahasiswanya dalam menjalani perkuliahan.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan Ilmunya selama kuliah.
6. Mas Khamim selaku Asisten Lab LPKRK, terima kasih atas waktu, ilmu dan bimbingannya.
7. Neni Elyawati serta M.Jaffar Shodiq, yang telah memberikan berbagai referensi untuk Tugas Akhir ini.
8. Orang Tua serta adik-adik saya yang tidak pernah berhenti memberikan motivasi dalam penggerjaan Tugas Akhir ini.
9. Rekan-rekan TA Daniel Rendy Novendra, Raihan Dwi Safreza, Ummu Kaltsum yang telah banyak membantu, memotivasi, dan menemani dalam penggerjaan Tugas Akhir ini.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER PAGE .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	v
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 .....	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Review Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Teori Penunjang .....	7
BAB III METODE PENELITIAN .....	21
3.1 Studi Literatur .....	22
3.2 Pengumpulan Data .....	22
3.3 Pengolahan dan Analisis Data.....	23
3.4 Penyusunan Laporan .....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Evaluasi RAM-C pada Sistem Photovoltaic 48 V .....	27
4.2 Evaluasi RAM-C pada Sistem <i>Photovoltaic</i> 240 V .....	34

4.3 Analisis <i>Cost Preventive maintenance</i> .....	41
4.4 Rekomendasi Perawatan Pada Sistem Panel Surya.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	50
LAMPIRAN A.....	52
LAMPIRAN B.....	54
LAMPIRAN C.....	58
LAMPIRAN D.....	64
LAMPIRAN E .....	68
LAMPIRAN F .....	72
LAMPIRAN G.....	78
BIODATA PENULIS .....	82

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Lokasi PLTH Pantai Baru.	8
<b>Gambar 2.2</b>	Ilustrasi Sistem kerja PLTH Pantai baru (Ardhy Prihanto & Winardi, n.d.)	9
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Photovoltaic (PV)</i> (ESDM, n.d.)	10
<b>Gambar 2.4</b>	Susunan Seri (Ebeling & Charles, 1997)	17
<b>Gambar 2.5</b>	Susunan Paralel (Ebeling & Charles, 1997)	18
<b>Gambar 2.6</b>	Tampilan Reliasoft Weibul++	19
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Metodologi Penelitian	21
<b>Gambar 3.2</b>	Pemasukan Data TTF	23
<b>Gambar 3.3</b>	Pengujian Distribusi TTF	24
<b>Gambar 3.4</b>	Ranking Tiap Distribusi	24
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Kontrol Daya PV 48V	27
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Failure Rate PV 48V	28
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Reliability PV 48V	29
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Repair Rate PV 48V	30
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Maintainability PV 48V	31
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Availability PV 48V	32
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Preventive Maintenance PV 48V	33
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Kontrol Daya PV 240V	34
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Failure Rate PV 240V	35
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Reliability PV 240V	36
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Repair Rate PV 240V	37
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Maintainability PV 240V	38
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Availability PV 240V	39
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik Preventive Maintenance PV 240V	40

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Parameter Disitribusi Data PV 48V	28
<b>Tabel 4.2</b>	Parameter Disitribusi Data PV 240V	34
<b>Tabel 4.3</b>	Nilai MTTF dan <i>likelihood</i>	41
<b>Tabel 4.4</b>	Biaya pergantian <i>spare part</i>	41
<b>Tabel 4.5</b>	Resiko Tenaga Kerja	42
<b>Tabel 4.6</b>	Biaya <i>Preventive Maintenance</i>	42
<b>Tabel 4.7</b>	Pemeliharaan pada sistem Panel Surya	43

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pada era sekarang ini pertumbuhan jumlah manusia mengalami perkembangan yang sangat pesat dimana dengan mengutip data dari web *Population Reference Bureau (PRB)* populasi manusia pada tahun 2020 sendiri mencapai 7.8 miliar, sedangkan pada tahun 2050 populasi manusia diproyeksikan mencapai 9.9 miliar, semakin banyaknya jumlah penduduk dunia tentu saja berbanding lurus dengan kebutuhan akan energi untuk mencukupi segala kebutuhan hidupnya, namun dengan kondisi bahwa jumlah energi dunia sangat terbatas, manusia dituntut untuk mencari alternatif – alternatif sumber energi lain yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia serta cukup ramah terhadap lingkungan, Di antara semua energi terbarukan, tenaga surya adalah pilihan yang dapat diandalkan untuk mengatasi peningkatan permintaan energi global yang kuat. Oleh karena itu, pengembangan sel surya berbiaya rendah dan efisien telah menjadi target utama komunitas penelitian (Donne, et al., 2013).

Diharapkan tenaga surya berkembang pesat di dunia sebagai sumber energi primer. sebagaimana yang ditetapkan dalam Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan adanya peningkatan bauran Energi Terbarukan dari 5% pada 2015 menjadi 23% pada 2025. Dari target Energi Terbarukan 23% barukan energi nasional ini, proyeksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sebesar 5000 MWp di 2019 dan 6400 MWp pada tahun 2025. (Energi, 2017), Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta merupakan bentuk implementasi pengembangan energi terbarukan berbasis pada potensi energi surya dan kekuatan angin melalui Sistem Inovasi Daerah (SIDa), yang memiliki 34 turbin angin serta 238 panel surya dengan total kapasitasnya 83kW, energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk kebutuhan sehari – hari masyarakat sekitar Pantai Baru Pandansimo seperti penerangan jalan, penerangan rumah dan warung sekitar, serta pompa ikan.

Penggunaan teknologi hibrida ini didasarkan pada ketersediaan sumber energi yang ada di daerah sekitar Pantai Baru Pandansimo, Letak geografis Pantai Pandansimo di pesisir selatan Pulau Jawa memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari yang bersinar sepanjang hari dan energi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 6 - 8 m/s (ESDM, 2020), dari kedua teknologi hibrida ini, Teknologi Surya PhotoVoltaic (PV) adalah yang paling penting dan dapat diandalkan untuk produksi listrik karena ketersediaannya energi mataharinya yang lebih besar daripada tenaga angin untuk memutar turbin angin (Filippo , et al., 2020), dengan adanya PLTH membuat pemerintah DIY tertarik untuk mengembangkan sektor pariwisata pada Pantai Baru Pandansimo, serta pemberdayaan masyarakat nelayan sekitar untuk peningkatan perekonomian.

Kinerja sebuah sistem pembangkit hibrid dapat ditinjau dari segi keandalan sistem dan ekonomi (Suhartanto, 2014), pada tahun 2012 telah terjadi gangguan alam pada Pantai Baru Pandansimo yang mengakibatkan beberapa kerusakan komponen PLTH dan sangat berdampak kepada masyarakat sekitar yang telah mengandalkan sumber listrik dari PLTH ini, karena kinerja dari sistem pembangkit menjadi turun, dalam kasus sistem PV yang terhubung ke jaringan, terjadinya kegagalan sistem dapat mempengaruhi pengoperasian sistem interkoneksi lainnya, oleh karena itu analisa keandalan sistem semacam ini harus dilakukan, analisa keandalan juga memungkinkan untuk menetapkan rencana pemeliharaan untuk sistem seefisien mungkin (Fara & Craciunescu, 2020).

Dari sinilah timbul gagasan untuk melakukan evaluasi kinerja dari komponen PLTH yang terdiri dari Pembangkit Tenaga Surya dan Pembangkit Tenaga Angin dari segi keandalannya, keandalan suatu sistem sangat berkaitan dengan faktor *Maintainability* yang berguna untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan dalam proses *maintenance* dan *availability* yaitu untuk mengetahui ketersediaan cadangan dari komponen penyusun suatu sistem PLTH pada Pantai Baru Pandansimo, sehingga dari hasil evaluasi dapat memberikan rekomendasi berupa penjadwalan *maintenance* pada PLTH yang pada akhirnya dapat meminimalisir frekuensi kerusakan komponen penyusun PLTH yang disebabkan karena faktor *internal* maupun *eksternal*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat diangkat untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan nilai *reliability* (keandalan) produksi daya Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru ?
2. Bagaimana menentukan nilai *availability*, *maintainability* dan *Preventive Maintenance* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru ?
3. Bagaimana menentukan biaya *preventive maintenance* untuk mencegah terjadinya kegagalan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru ?

## 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai *reliability* (keandalan) produksi daya Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru.
2. Mengetahui nilai *availability*, *maintainability* dan *Preventive Maintenance* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru.
3. Mengetahui biaya *preventive maintenance* untuk mencegah terjadinya kegagalan pada pembangkit Listrik Tenaga Surya dari PLTH Pantai Baru.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Objek penelitian yang dianalisa adalah *Photovoltaic* (PV) di Pantai Baru Pandansimo, Bantul, Yogyakarta.
2. Besaran yang digunakan hanya daya listrik
3. Data yang diolah adalah data dari 4 tahun terakhir yaitu 2017 sampai 2020
4. *Software* yang digunakan adalah Ms. Excel, dan Reliasoft Weibull++ Version 6

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Review Penelitian Sebelumnya**

##### **2.1.1 *Reliability Analysis of Distributed Grid-connected Photovoltaic System Monitoring Network***

Pada jurnal yang diterbitkan oleh *College of Energy and Electrical Engineering* pada tahun 2016 ini menjelaskan tentang tantangan baru pada pengiriman jaringan listrik akibat dari besarnya sistem fotovoltaik yang terhubung ke jaringan terdistribusi, pemantauan sistem PV secara *real time* dapat secara efisien membantu meningkatkan kemampuan jaringan listrik untuk menerima dan mengontrol sistem PV terdistribusi dan dengan demikian dapat mengurangi *impuls* pada jaringan listrik yang disebabkan oleh ketidakpastian *output* dayanya.

Model keandalan sistem PV dibangun berdasarkan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) lalu dari hasil analisa digunakan untuk menilai kemungkinan penyebab kegagalan jaringan dan hubungan logis di antara mereka pada akhirnya keandalan jaringan pemantauan dianalisa untuk mengetahui tautan yang lemah dan simpul simpul kunci (Zhixin, et al., 2016).

##### **2.1.2 *Energy Storage for 1500 V Photovoltaic Systems:A Comparative Reliability Analysis of DC-and AC-Coupling.***

Pada Jurnal yang diterbitkan oleh *MDPI* pada tahun 2020 ini menjelaskan mengenai cara untuk mengintegrasikan sistem penyimpanan energi baterai (BESS) ke sistem PV 1500 V skala utilitas, salah satu pertimbangan desain utama adalah pemilihan arsitektur dasar antara kopling DC dan AC. Oleh karena itu, perlu untuk menilai keandalan unit konversi daya, yang tidak hanya merupakan komponen sistem utama, tetapi juga mewakili bagian yang paling kritis terhadap keandalan, untuk memastikan sistem baterai PV 1500 V yang efisien dan andal.

Analisis keandalan dilakukan melalui studi kasus pada sistem PV 160 kW/1500 V terintegrasi DC- atau AC-coupled BESS untuk daya PV dan pengaturan laju ramp. Dalam analisis, semua konverter antarmuka daya DC-DC dan DC-AC dipertimbangkan bersama dengan evaluasi keandalan tingkat komponen, konverter, dan tingkat sistem. Hasilnya mengungkapkan bahwa keandalan inverter PV 1500 V dapat ditingkatkan dengan BESS yang dipasangkan dengan DC, Temuan ini dapat ditambahkan ke dalam fase desain sistem PV 1500 V untuk lebih menurunkan biaya energi yang digunakan (He, et al., 2020).

### **2.1.3 *Research on Reliability of Grid Connected Photovoltaic Renewable Generation System***

Pada artikel *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* tahun 2021 kali ini menjelaskan tentang proposal design solar sistem melalui simulasi menggunakan perangkat lunak desain seperti MATLAB-Simulink untuk mengoreksi dan menyesuaikan parameter untuk mencapai tegangan dan arus DC melalui iradiasi dan suhu lingkungan. Studi keandalan dan analisis dilakukan pada sistem yang disimulasikan untuk memastikan keberhasilan dan umur panjang sebelum kegagalan komponen sistem. Dalam tugas akhir ini, model keandalan sistem PV yang terhubung ke jaringan dibuat berdasarkan metode diagram blok keandalan menggunakan buku pegangan MIL-HDBK-217F. Buku pegangan ini menyediakan metodologi penghitungan tingkat kegagalan operasi elektronik fisik tertentu.

Mean time to failure (MTTF) dan Mean time to repair (MTTR) sistem dihitung dari keandalan sistem secara keseluruhan. Output daya fotovoltaik sangat bervariasi, dan itu tergantung pada penyinaran matahari dan suhu, menghasilkan produksi energi yang terputus-putus dan bervariasi. Semua pertimbangan tersebut berpengaruh signifikan terhadap kecukupan sistem secara keseluruhan dari sistem pembangkit tenaga listrik. Studi ini menggunakan metodologi analitik probabilistik untuk mengembangkan model keandalan yang komprehensif dari sistem pembangkit fotovoltaik yang terhubung ke jaringan (Abdul, et al., 2021)

#### **2.1.4 Maintenance Activity, Reliability, Availability and Related Energy Losses in Ten Operating Photovoltaic Systems up to 1.8 MW**

Pada artikel *IEEE Transactions on Industry Applications* tahun 2020 kali ini melakukan analisis pemeliharaan, keandalan, dan ketersediaan sepuluh sistem PV, dengan inverter yang berbeda konfigurasi dan kapasitas, mulai dari 50 kW hingga 1,8 MW. Model yang menggunakan tingkat kegagalan dari literatur memperkirakan nilai MTTF yang cukup dekat dengan data dari laporan pemeliharaan industri, berkisar antara 130 jam dan 1500 jam. Mengenai MTTR, berkisar antara 13 jam dan 500 jam . Secara khusus, *plant* dari 6 hingga 10 menunjukkan nilai terendah, mulai dari 13 jam (6) hingga 15 jam (10).

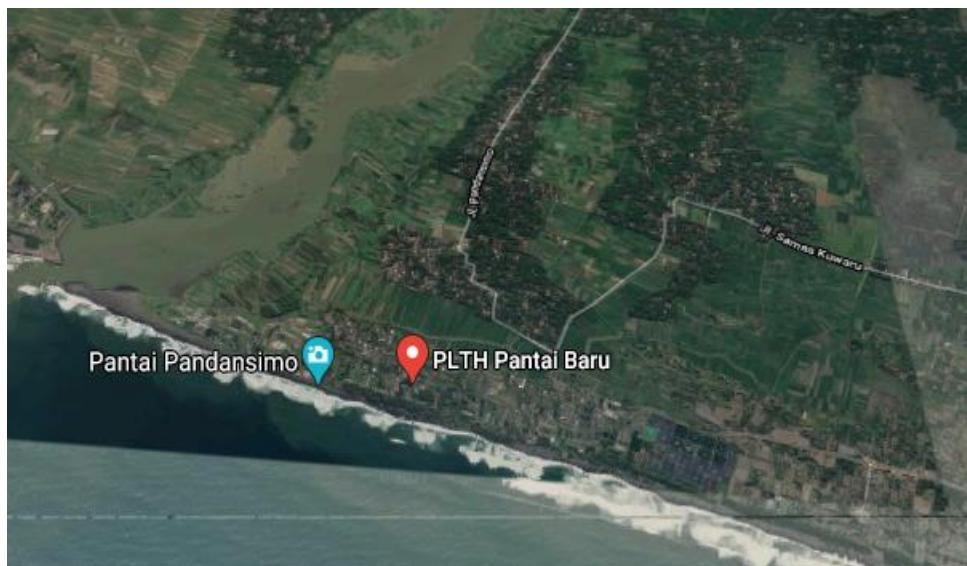
Kehadiran dari kontrak pemeliharaan meningkatkan ketersediaan (antara 83% dan 96%) dan membatasi kehilangan energi, yaitu sekitar -1% atau lebih rendah. Sebagai kesimpulan, kehilangan energi = -1% dapat ditetapkan sebagai nilai yang diinginkan untuk pembangkit listrik PV dengan daya dari beberapa kilowatt hingga beberapa megawatt. Ketersediaan yang sesuai harus lebih besar dari 83% dari beberapa kilowatt hingga beberapa ratus kilowatt. Sebaliknya, pembangkit dengan daya pengenaan beberapa MW diharapkan bekerja dengan benar selama lebih dari 90% waktu operasi. Membandingkan keandalan pembangkit PV dengan WT, kinerjanya serupa dalam hal keandalan, sedangkan ketersediaan angin pembangkit listrik umumnya lebih rendah karena biaya O&M yang lebih tinggi. (Filippo , et al., 2020)

## **2.2 Teori Penunjang**

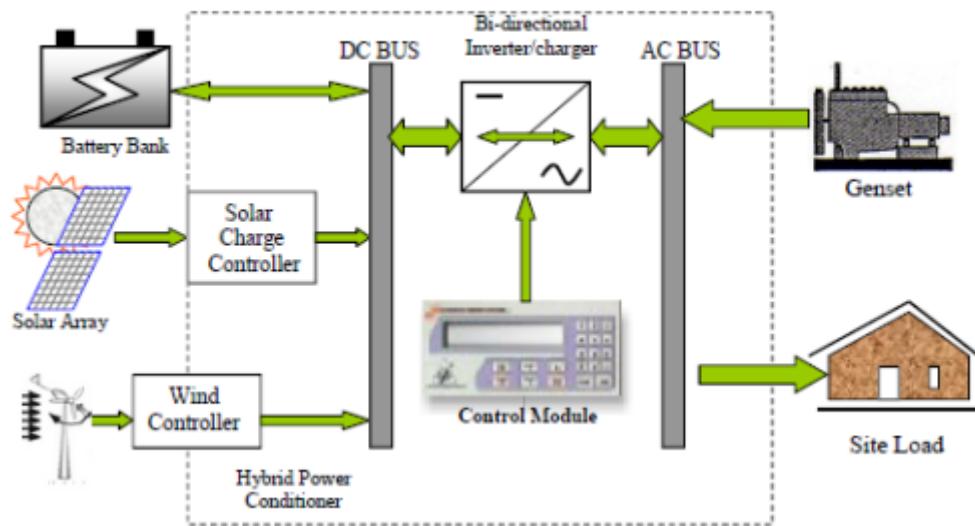
### **2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida**

Hybrid system atau Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang sering diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh pembangkit besar seperti jaringan PLN, PLTH Pandansimo merupakan pilot project energi hibrid yang berbasis pada potensi panas matahari dan kekuatan angin untuk dijadikan model dan pengembangan energi terbarukan secara terintegrasi melalui suatu Sistem Inovasi Daerah (SIDa).

Perancangan PLTH di Pantai Pandansimo Pandansimo dibagi menjadi dua grup, yaitu grup 1 dan grup 2. Grup 1 atau Grup Barat terdiri dari 21 unit Kincir Angin 1 kW dan Panel Surya 150 unit @ 15 kW. Grup 2 atau Grup Timur terdiri dari 1 unit Kincir Angin kapasitas maksimal 10 kW, 6 unit Kincir Angin dengan kapasitas maksimal per unit 2,5 kW, 4 unit Kincir Angin kapasitas maksimal per unit 1 kW, sedangkan Panel Surya dipasang di Grup Timur adalah sebesar 2 kW. Sistem elektrik dari kedua grup tersebut diintegrasikan menjadi satu sistem. Keluaran dari PV dan Kincir Angin pada grup 1 dan 2 diubah menjadi tegangan DC oleh sistem kontrol untuk dimasukkan ke baterai. Namun untuk PV di grup 2 memiliki baterai dan inverter sendiri, sehingga terpisah dari sistem utama. Sistem utama memiliki baterai dan inverter yang menerima pasokan dari grup 1 yakni Kincir Angin kapasitas maksimal 21 kW dan Panel Surya 15 kW, serta grup 2 dari Kincir Angin kapasitas maksimal 29 kW, berupa 1x10 kW, 6x2,5 kW, 4x1 kW (Ardhy Prihanto & Winardi, n.d.).



**Gambar 2.1** Lokasi PLTH Pantai Baru



**Gambar 2.2** Ilustrasi sistem kerja PLTH Pantai baru (Ardhy Prihanto & Winardi, n.d.)

### 2.2.2 Photovoltaic

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikondutor, merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut elektron-proton, yang apabila digerakkan oleh energi dari luar akan membuat pelepasan elektron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan elektron hole. Modul surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton ini. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari sehingga menghasilkan tenaga surya yang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja daripada sel surya. Prinsip kerja yang digunakan dalam Modul Surya adalah *photoelectric* yang memiliki rumus perhitungan sebagai berikut (Foong, et al., n.d.)



**Gambar 2.3 Photovoltaic (PV) (ESDM, n.d.)**

$$K_{maks} = hf - \Phi \quad (2.0)$$

Dimana

$K_{maks}$  = energi kinetik

$h$  = kostanta Plank (Js)

$f$  = frekuensi foton (Hz)

$\Phi$  = fungsi kerja (eV)

### 2.2.3 Reliability (Keandalan)

*Reliability* (keandalan) adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu ( $t$ ) atau lebih. Fungsi reliability adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan reliability dengan waktu. Nilai fungsi reliability merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi reliability ( $R$ ) bernilai  $0 \leq R \leq 1$ . Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai  $R(t)$  dari sistem jika dipakai selama  $t$  satuan waktu. Konsep waktu dalam *reliability* adalah TTF (*Time To Failure*). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan. Perhitungan nilai keandalan secara umum, menggunakan persamaan berikut ini (Ebeling & Charles, 1997)

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

Dimana:

$F(t)$  = Cumulative Distribution Function (CDF)

$R(t)$  = Reliability Function

$f(t)$  = Probability Density Function (PDF)

#### 2.2.4 Availability (Ketersediaan)

*Availability* (ketersediaan) adalah kemungkinan suatu sistem menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, dukungan perawatan, dan lain sebagainya) (Ebeling & Charles, 1997). Ketersediaan yang berubah seiring waktu. Produksi sistem dianalisis untuk memberikan rekomendasi tentang bagaimana akurasi prediksi kinerja dapat ditingkatkan. Perhitungan nilai ketersediaan menggunakan distribusi eksponensial dan ditunjukkan pada Persamaan (2.2)

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp(-(\lambda + \mu)t) \quad (2.2)$$

Dimana:

$\lambda$  = failure rate dari waktu antar kegagalan

$\mu$  =  $1 / MTTR$

#### 2.2.5 Maintainability (Kemampurawatan)

*Maintainability* (kemampurawatan) adalah kemampuan sistem yang rusak untuk diperbaiki sesuai dengan keandalan aslinya dalam waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan (Ebeling & Charles, 1997).

- *Maintainability* Normal

$$M(t) = \varphi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.3)$$

Dengan:

$t$  = waktu (variabel)

$\mu$  = rata-rata

$\sigma$  = simpangan baku

- *Maintainability Lognormal*

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)\right] \quad (2.4)$$

Dengan:

$t$  = waktu(variabel)

$\mu$  = rata-rata

$\sigma$  = simpangan baku

- *Maintainability Weibull*

- Dua Parameter

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.5)$$

- Tiga Parameter

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.6)$$

Dengan:

$t$  = waktu(variabel)

$\beta$  = bentuk parameter (*shape parameter*)

$\eta$  = parameter skala (*scale parameter*)

$\gamma$  = parameter lokasi (*location parameter*)

- *Maintainability Eksponensial*

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{MTTR}\right)\right] \quad (2.7)$$

Dengan:

$t$  = waktu(variabel)

$MTTR$  = *Mean Time To Repair*

Untuk persamaan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) untuk beberapa distribusi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (2.8)$$

- Distribusi Lognormal

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.9)$$

- Distribusi Weibull

- Dua Parameter

$$MTTR = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.10)$$

- Tiga Parameter

$$MTTR = t_0 + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.11)$$

- Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.12)$$

### 2.2.6 Failure Rate (Laju Kegagalan)

Laju kegagalan atau biasa yang disebut dengan *failure rate* atau *hazard rate* merupakan banyaknya terjadi kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi suatu komponen atau pun sistem (Ebeling & Charles, 1997).

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.13)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

Dimana:

$f$  = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

$T$  = total waktu operasi

$\lambda$  = laju kegagalan

- Distribusi Normal

Distribusi normal atau juga disebut distribusi gaussian adalah

distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan tentang

penyebaran data. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*).

Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi ( $\sigma$ ). Dengan kata lain parameter

distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi ( $\sigma$ ). *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal dapat dinyatakan dengan persamaan 2.15 di bawah ini : (Ebeling & Charles, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.15)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi normal, maka :

- Fungsi Keandalan distribusi normal adalah :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.16)$$

- Laju kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad (2.17)$$

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi normal adalah :

$$MTTF = \mu \quad (2.18)$$

- Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak  $T$  (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma  $T$  memiliki distribusi normal. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi lognormal dapat dinyatakan

dengan persamaan 2.19 di bawah ini : (Ebeling & Charles, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.19)$$

Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter,

diantaranya yaitu parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ), sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan

mengikuti distribusi lognormal, maka : (Ebeling & Charles, 1997)

- Fungsi Keandalan distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.20)$$

- Laju kegagalan distribusi lognormal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.21)$$

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal adalah :

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.22)$$

- Distribusi Weibull

Selain distribusi normal, distribusi weibull juga paling sering digunakan dalam Keandalan. Model bathtub curve merupakan dasar untuk melakukan perhitungan Keandalan suatu komponen atau sistem. Penambahan parameter di dalam distribusi weibull dapat mempresentasikan banyaknya probability density function (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Berikut merupakan fungsi dari parameter distribusi weibull :

- $\eta$ , sebagai parameter skala (*scale parameter*),  $\eta > 0$ , disebut sebagai *characteristic life*.
- $\beta$ , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*),  $\beta > 0$ , mendeskripsikan bentuk dari PDF (Probability Density Function PDF).
- $\gamma$ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan failure-free atau awal periode dari penggunaan alat. Jika  $\gamma=0$  maka distribusi akan berubah menjadi dua parameter.

Karakteristik distribusi weibull memiliki beberapa parameter pada distribusinya, yaitu dua parameter ( $\eta, \beta$ ) dan tiga parameter ( $\eta, \beta, \gamma$ ) : (Ebeling & Charles, 1997)

- Distribusi dua parameter, PDF dari distribusi weibull yaitu :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[ \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.23)$$

- Laju kegagalan distribusi weibull adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.24)$$

- Fungsi Keandalan distribusi weibull adalah :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.25)$$

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$MTTF = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.26)$$

- Tiga Parameter, PDF dari distribusi *weibull* yaitu :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[ \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.27)$$

- Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.28)$$

- Fungsi Keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.29)$$

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$MTTF = t_0 + \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.30)$$

- Distribusi Eksponensial

*Probability Density Function* (PDF) distribusi eksponensial ditunjukkan pada persamaan 2.31 berikut : (Ebeling & Charles, 1997)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda(t-\gamma)), t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.31)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti

distribusi eksponensial , maka : (Ebeling, 1997)

- Fungsi Keandalan distribusi normal adalah :

$$R(t) = \exp(-(t\gamma)) \quad (2.32)$$

- Laju kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.33)$$

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi normal adalah :

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.34)$$

### 2.2.7 Preventive Maintenance (*Pemeliharaan Preventif*)

*Preventive Maintenance* adalah tindakan perawatan terjadwal untuk memperpanjang life time serta mencegah terjadinya kerusakan pada komponen. Preventive maintenance akan meningkatkan keandalan, dimana secara matematis dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Ebeling & Charles, 1997)

$$R_m(t) = R(t) \text{ untuk } 0 \leq t \leq T \quad (2.35)$$

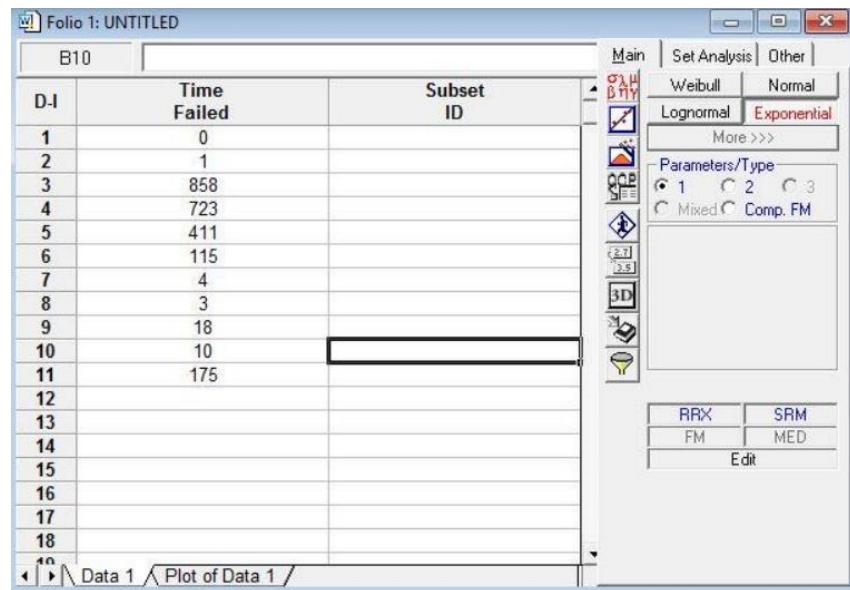
$$R_m(t) = R(t) R(t-nT) \text{ untuk } 0 \leq t \leq 2T \quad (2.36)$$

Dimana  $R(t)$  adalah probabilitas ketahanan sampai *preventive maintenance* yang pertama dan  $R(t-nT)$  adalah probabilitas ketahanan selama jangka waktu  $t-nT$  yang telah ditentukan sebelumnya dari kondisi awal. Pada persamaan lain dapat ditunjukkan sebagai berikut (Ebeling & Charles, 1997).

$$R_m(t) = R(t)nR(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1) \quad (2.37)$$

### 2.2.8 Reliasoft Weibull++ Version 6

ReliaSoft Weibull ++ adalah merupakan perangkat lunak yang melakukan analisis data usia pakai dengan antarmuka yang jelas dan ringkas yang diarahkan rekayasa keandalan. Interface Weibull++ merupakan lembar kerja yang intuitif, fleksibel dan terpadu yang memungkinkan untuk mengelola beberapa folio analisis dan informasi terkait secara bersamaan. Weibull++ menyediakan semua tool yang butuhkan untuk analisis standar usia data pakai, termasuk pilihan fleksibel untuk jenis data, distribusi usia pakai dan metode estimasi parameter. Analisis data usia pakai memiliki tujuan untuk memodelkan dan memahami perilaku tingkat kegagalan dari item, proses atau produk tertentu. Gambar 2.13 menunjukkan tampilan Reliasoft Weibul++.



**Gambar 2.6** Tampilan Reliasoft Weibul++

### 2.2.9 Penentuan nilai *likelihood*

*Likelihood* adalah kriteria resiko berdasarkan frekuensi komponen, maksudnya adalah nilai yang menunjukkan seberapa sering suatu komponen dari periode waktu tertentu mengalami kegagalan, dalam mencari nilai *likelihood* pertama harus mencari nilai MTTF tiap-tiap komponen penyusun lalu hasilnya dibagi dengan waktu interval, dimana dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Nilai likelihood} = \frac{\text{Waktu Operasional}}{\text{MTTF}} \quad (2.38)$$

### 2.2.10 Kerugian Berdasarkan Biaya Perbaikan

Kerugian berdasarkan biaya perbaikan merupakan biaya yang ditanggung oleh perusahaan karena adanya perbaikan terhadap kerusakan yang terjadi pada suatu komponen, biaya ini terdiri dari pergantian *spare part*, biaya tenaga kerja, resiko tenaga kerja (Suprayogi, 2015).

#### ➤ **Biaya Pergantian Komponen Spare Part**

Biaya pergantian yang ditanggung perusahaan ketika terjadi pergantian komponen yang rusak agar komponen dapat berkerja kembali.

#### ➤ **Biaya Resiko Tenaga Kerja**

Biaya yang ditanggung oleh perusahaan saat terjadinya kegagalan suatu komponen pada *Plant* nya, perhitungan resiko tenaga kerja dapat dilihat dengan persamaan dibawah ini (Suprayogi, 2015).

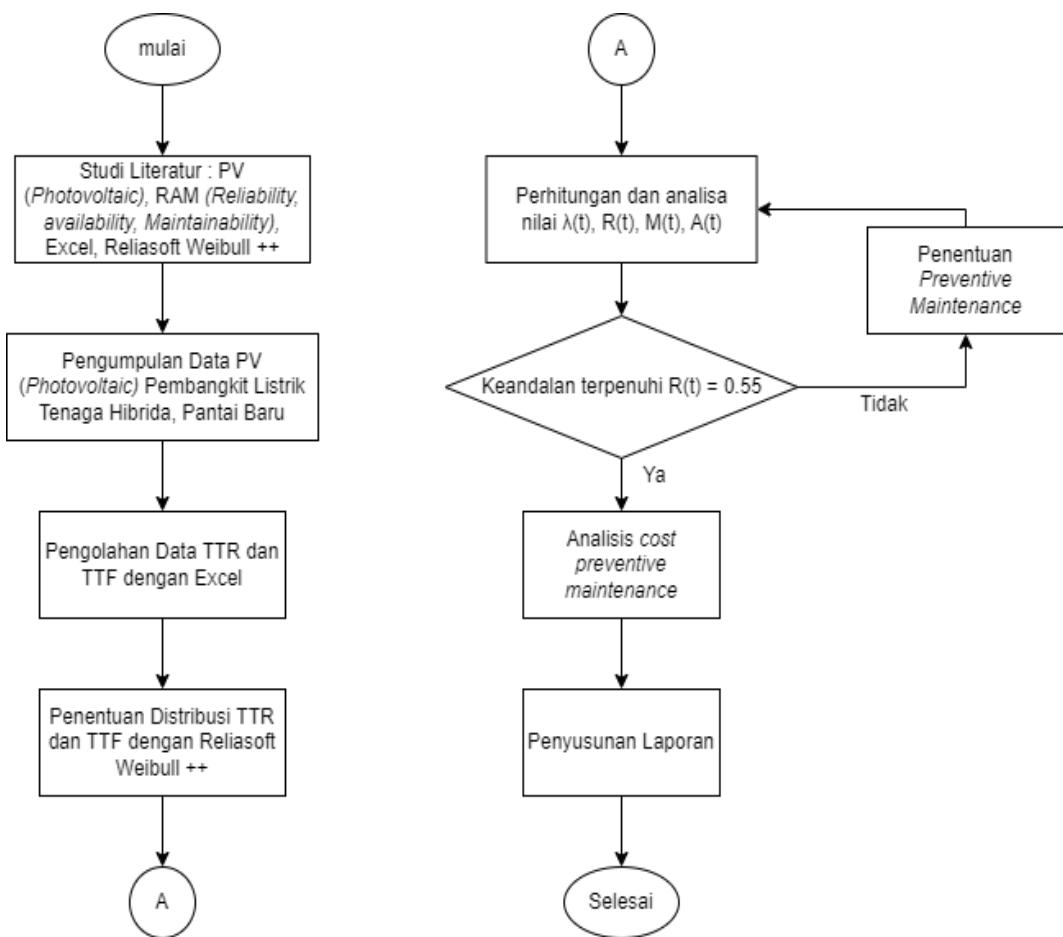
$$\text{RTK} = \text{likelihood} \times \text{MTTR} \times \text{Total Upah Perjam} \quad (2.39)$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Pada Gambar 3.1 dibawah ini merupakan diagram alir yang digunakan pada tugas akhir kali ini, melalui diagram alir berikut dapat diketahui tahapan – tahapan pelaksanaan tugas akhir berikut ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur pada tugas akhir ini adalah mencari sumber - sumber tertulis, baik berupa dokumen, buku, artikel dan jurnal yang bersangkutan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dilakukan setelah menentukan topik penelitian Pustaka yang menunjang penelitian ini yaitu mengenai PV (Photovoltaic) dan RAM (Reliability, Availability, Maintainability).

### 3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan ketika data – data yang diperlukan dikumpulkan sebelum diolah, dan pada tugas akhir kali ini data – data yang diperlukan adalah daya listrik yang dihasilkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida pada Pantai Baru Pandansimo, data yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan data Sekunder yang dimiliki oleh Asisten Lab LPKRK dimana data

yang telah dikumpulkan adalah data selama kurun waktu 4 tahun terakhir dari tahun 2017 sampai 2020, dari data tersebut akan diolah keandalannya sehingga mengetahui kinerja dari Sistem PV pada Pembangkit Tenaga Hibrida Pantai Baru Pandansimo

### **3.3 Pengolahan dan Analisis Data**

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *software* Ms. Excel dan Reliasoft Weibull++ Version 6. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Pembuatan Grafik Kontrol

Data tegangan pada *Photovoltaic* (PV) pada Lampiran A dan Lampiran B akan dibuat grafik kontrol sehingga dapat diketahui mana yang diluar jangkauan dengan bantuan Ms. Excel.

- Reliasoft Weibull++ Version 6 digunakan untuk mencari distribusi waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan.
- Penentuan Nilai TTF (*Time To Failure*)

Penentuan nilai TTF ini didapatkan dengan rentang waktu dari tahun 2017 hingga tahun 2020.

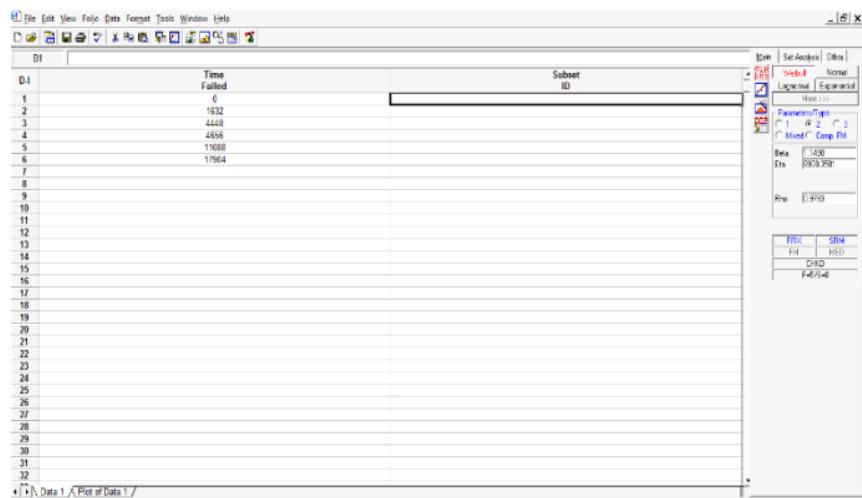
- Penentuan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Penentuan nilai MTTF ini didapatkan dari penjumlahan nilai TTF dibagi dengan banyaknya perbaikan yang dilakukan dari tahun 2017 hingga tahun 2020.

- Penentuan Distribusi TTF (*Time To Failure*)

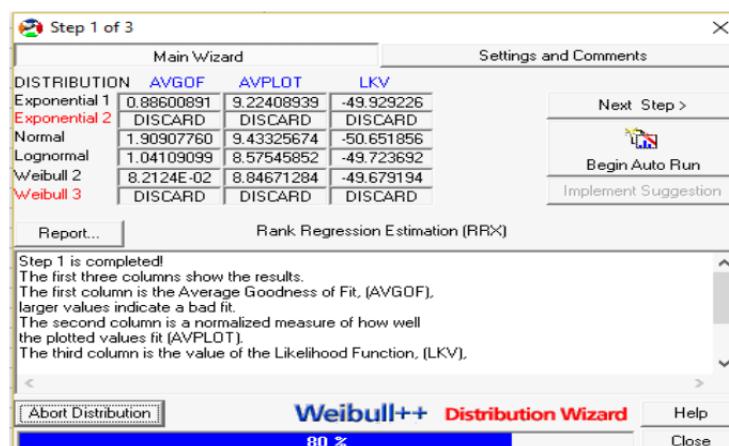
Penentuan distribusi waktu antar kegagalan bertujuan untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *Time To Failure* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Reliasoft Weibull++ Version 6. Data TTF dapat dilihat pada Lampiran C. Keunggulan dari *software* ini adalah dapat menentukan berbagai jenis distribusi data baik itu data distribusi eksponensial, distribusi weibull 1-3 parameter, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Berikut ini langkah-langkah penentuan distribusi waktu antar kegagalan :

- Memasukkan data antar kegagalan yang akan dicari distribusinya



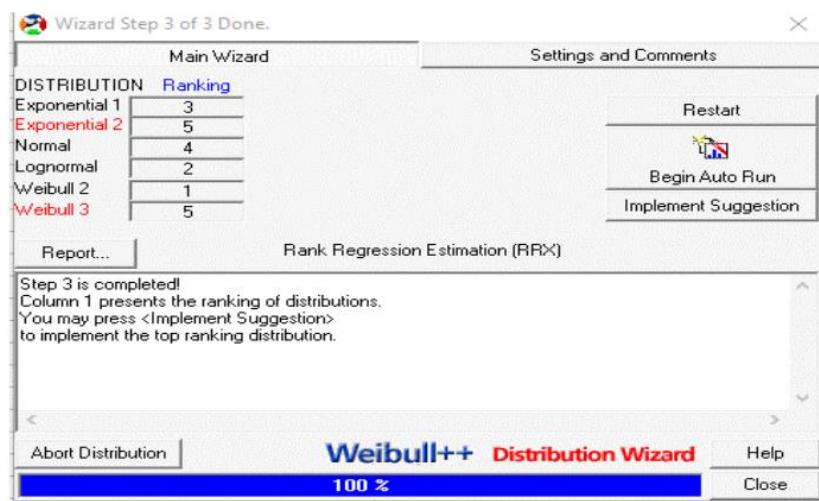
**Gambar 3. 1** Pemasukan Data TTF

- Mulai dilakukan uji distribusi dengan memilih option distribution wizard untuk mendapatkan parameter uji *average goodness of fit* (AVGOF) dimana semakin besar nilai pada kolom ini mengindikasikan ketidaksesuaian hasil uji distribusi, parameter uji *average of plot fit* (AVPLOT) yang menunjukkan ukuran yang digunakan untuk mengeplot nilai hasil uji distribusi dan parameter uji *likelihood function* (LKV), nilai yang paling kecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi.



**Gambar 3.2** Pengujian Distribusi TTF

- Ranking hasil uji distribusi terbaik dapat dilihat pada pilihan *Begin Auto Run*.



**Gambar 3.3 Ranking Tiap Distribusi**

- Pada setiap distribusi, menunjukkan hasil ranking. Ranking pada urutan terkecil menunjukkan hasil distribusi terbaik.
- Pada langkah terakhir terdapat implementasi suggestion yang menunjukkan distribusi serta parameter distribusi dari data yang diuji. Penentuan parameter-parameter disesuaikan dengan hasil distribusi terbaik sebelumnya. Pengujian distribusi yang dapat meliputi distribusi normal, lognormal, eksponensial 1 parameter, eksponensial 2 parameter, weibull 2 parameter, dan weibull 3 parameter. Hasil pengujian tersebut didapatkan parameter-parameter kegagalan dari distribusi tersebut.
- Evaluasi *Reliability*  
Berdasarkan penentuan parameter uji dengan menggunakan bantuan *Reliasoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan keandalan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada. Hasil dari perhitungan keandalan dapat diplot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai Keandalan ( $R(t)$ ) dengan waktu operasional.
- Evaluasi *Failure Rate/Hazard Rate*  
Untuk menentukan hasil *failure rate* dapat menggunakan persamaan-persamaan yang ada dengan berdasarkan hasil yang didapat dari uji parameter dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++ Version 6*
- Penentuan TTR (*Time To Failure*)

Data yang digunakan adalah data waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan karena mengalami kerusakan.

- Penentuan Distribusi TTR (*Time To Repair*)

Penentuan distribusi waktu antar perbaikan bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan lamanya waktu perbaikan pada sistem. Penentuan distribusi TTR dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull ++*. Adapun langkah-langkah untuk menentukan distribusi *Time To Repair* sama dengan langkah-langkah penentuan distribusi *Time To Failure* yang telah dijelaskan sebelumnya.

- Penentuan nilai MTTR (*Mean Time To Repair*)

Setelah menentukan nilai TTR serta distribusinya, maka selanjutnya menghitung nilai MTTR dengan menjumlahkan nilai TTR dibagi dengan banyaknya *maintenance* yang dilakukan dari tahun 2017 hingga tahun 2020.

- Evaluasi *Maintainability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan nilai *Maintainability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

- Evaluasi *Availability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull++ Version 6*, maka dapat ditentukan nilai *Availability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

- Analisa *Preventive Maintenance*

Pada penelitian ini analisa *preventive maintenance* merupakan perbandingan nilai kehandalan komponen sebelum dilakukan *preventive maintenance* dengan nilai kehandalan setelah dilakukan *preventive maintenance*, hasil dari perbandingan nilai tersebut dapat diplot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai kehandalan dengan waktu operasional.

- Analisis *cost preventive maintenance*

*Preventive cost* (biaya perawatan) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan komponen yang telah dijadwalkan.

- Penentuan *Likelihood*

Untuk mencari nilai *likelihood* pertama harus mencari nilai MTTF tiap-tiap komponen selanjutnya dibagi dengan waktu operasional, dimana waktu operasional yang digunakan adalah 4 tahun atau 1460 hari sehingga rumus perhitungan likelihood adalah :

$$\text{Likelihood} = \frac{1460 \text{ hari}}{\text{MTTF (Hari)}}$$

### **3.4 Penyusunan Laporan**

Pada tahap ini dilakukan saat seluruh pengolahan data telah selesai sehingga didapatkan nilai keandalan yang dapat dijadikan acuan untuk memberikan rekomendasi *Preventive Maintenance* sehingga kinerja sistem PV yang ditinjau menjadi lebih baik.

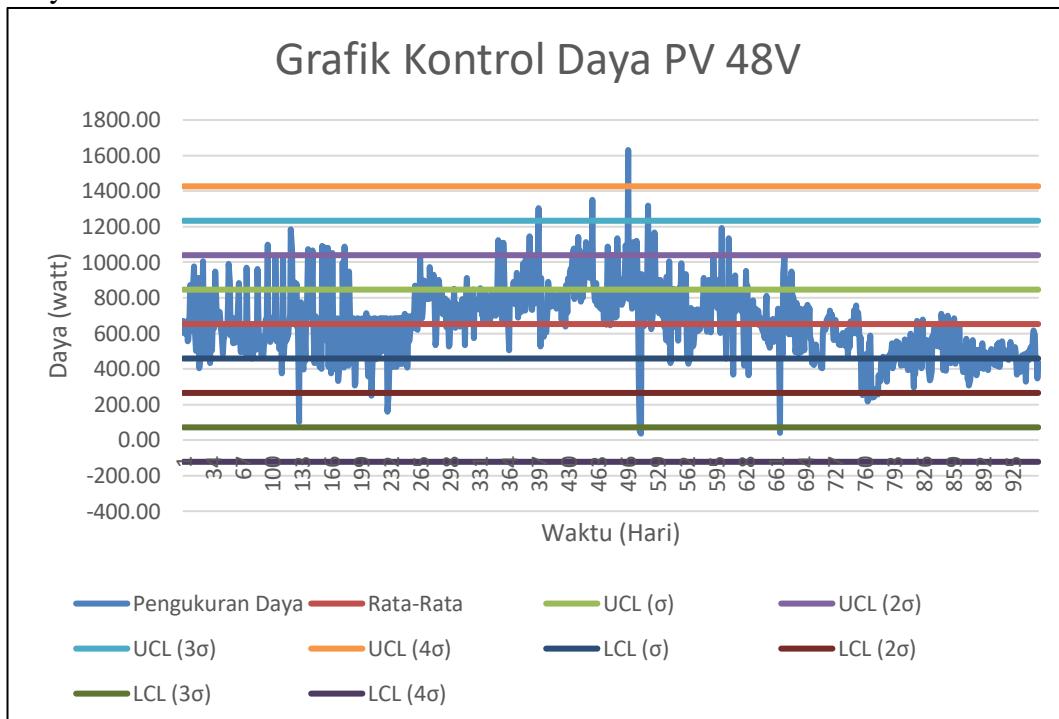
## **BAB IV**

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Evaluasi RAM-C pada Sistem Photovoltaic 48 V**

#### **4.1.1 Grafik Kontrol Daya PV 48V**

Pengolahan data pada tugas akhir ini menggunakan *variable* daya pada sistem sistem panel surya 48V menggunakan data daya dari rentang tahun 2017 – 2020 dibuat grafik kontrol menggunakan aplikasi excel, dari grafik kontrol yang dihasilkan seperti yang tertera pada gambar 4.1 berikut, nilai daya yang diluar jangkauan *Upper Control Limits* (UCL) atau batas atas, dan *Lower Control Limits* (UCL) atau batas bawah dapat dinyatakan sebagai kegagalan pada sistem tenaga surya 48 V.



**Gambar 4.1 Grafik Kontrol Daya PV 48V**

Gambar 4.1 didapatkan nilai rata-rata sebesar 652.18 dan standart deviasi sebesar 193.65, sehingga nilai UCL ( $\sigma$ ) sebesar 845.83, nilai UCL ( $2\sigma$ ) sebesar 1039.49 serta nilai LCL ( $\sigma$ ) sebesar 458.53, dan LCL ( $2\sigma$ ) sebesar 264.88, jika ditinjau dari batas  $2\sigma$  didapatkan 42 data yang berada diluar jangkauan, yang merupakan 42 data TTF serta TTR yang terlampir pada lampiran A, dari data TTF dan TTR tersebut lalu dievaluasi distribusi dan parameternya menggunakan Reliasoft Weibull 6++, Distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari fungsi *Reliability* {R(t)}, *Maintainability* {M(t)}, dan *availability* {A(t)} dan

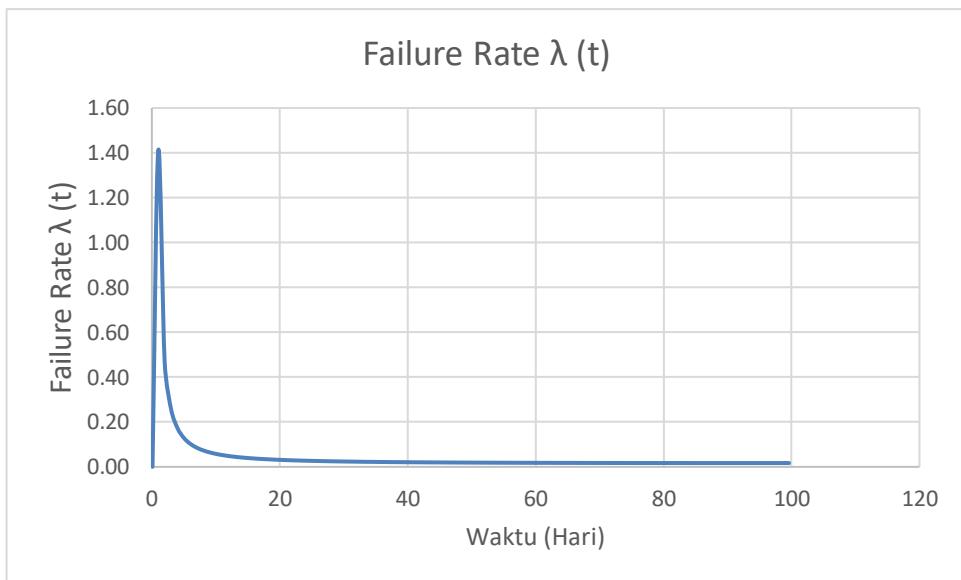
*Preventive Maintenance* nya, hasil distribusi dan parameter data PV 48V dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Parameter Disitribusi Data PV 48V**

Distribusi TTF	Mean ( $\mu$ )	Std ( $\sigma$ )
Lognormal	1.98	1.34
Distribusi TTR	Lambda( $\lambda$ )	Gamma( $\gamma$ )
Exponensial 2	21.28	0.09

#### 4.1.2 Failure Rate / Hazard Rate $\lambda(t)$

Perhitungan *Failure Rate* pada sistem panel surya 48 V didapatkan menggunakan persamaan 2.21, kemudian hasil persamaan tersebut diplot dalam grafik hubungan antara *Failure Rate*  $\lambda(t)$  dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.2



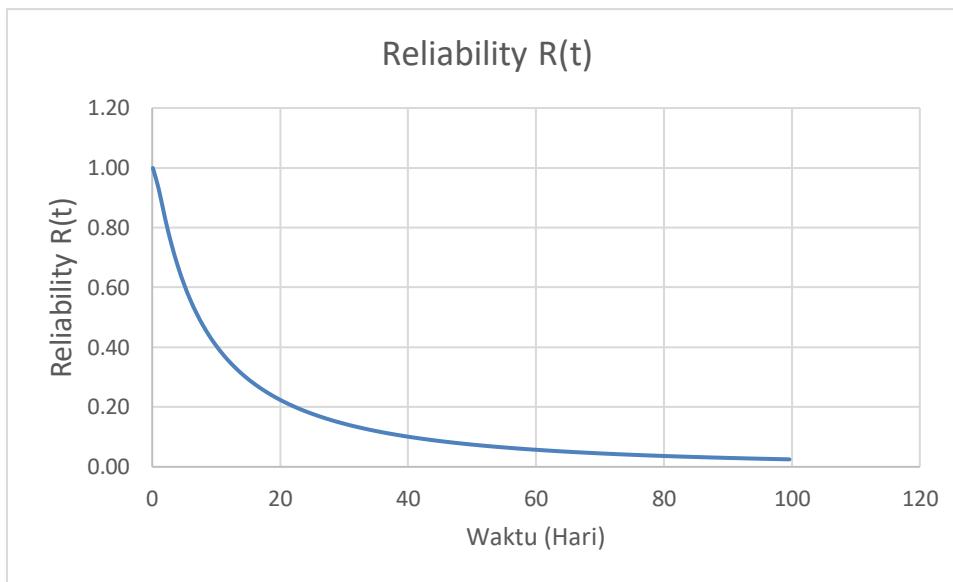
**Gambar 4.2 Grafik Failure Rate PV 48V**

Gambar 4.2 *failure rate* didapatkan bahwa sistem panel surya 48V memiliki grafik *Failure rate* yang menurun terhadap waktu operasional dimana nilai laju kegagalan sebesar 0.06 pada waktu operasional 10 hari. gambar 4.2 menunjukan fase *Burn in* pada *Bathup Curve*, pada daerah ini periode permulaan operasinya suatu komponen masih baru sehingga *reliability* nya masih 100 % dan dengan berjalannya waktu, *Failure rate* yang awalnya tinggi kemudian menurun,

kerusakan awal yang terjadi umumnya disebabkan oleh proses *manufacturing* atau fabrikasi yang kurang sempurna.

#### 4.1.3 Reliability R(t)

*Reliability* pada sistem panel surya 48 V yang didapatkan dari perhitungan pada persamaan 2.20 kemudian hasil persamaan diplot dalam grafik hubungan antara *Reliability* R(t) dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.3.



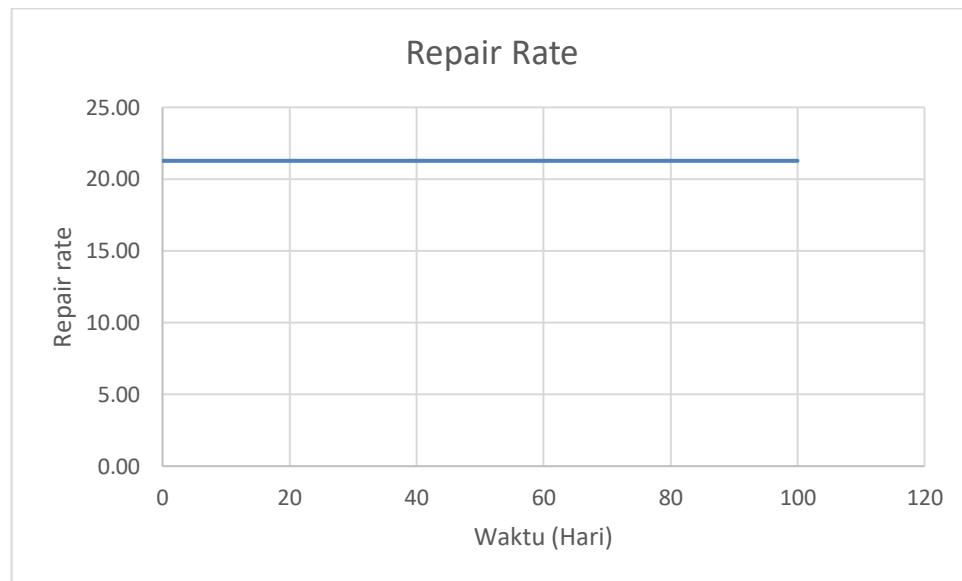
**Gambar 4.3 Grafik Reliability PV 48V**

Gambar 4.3 *reliability* didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 48 V mengalami penurunan *reliability* dari 0.6 pada saat waktu 5 hari yang artinya adalah *reliability* komponen akan dibawah 60 % ketika melebihi waktu operasional 5 hari.

#### 4.1.4 Repair Rate

*Repair rate* pada sistem panel surya 48V menggunakan data TTR dan didapatkan dari persamaan 2.33, hasil perhitungan lalu diplot dalam grafik

hubungan antara *repair rate* dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.4

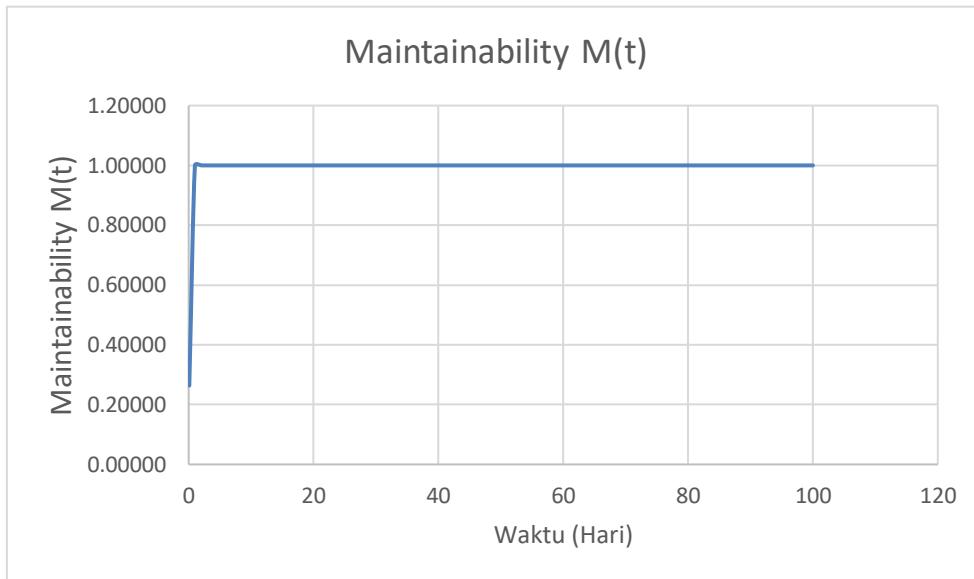


**Gambar 4.4 Grafik Repair Rate PV 48V**

Gambar 4.4 didapatkan nilai *repair rate* pada sistem panel surya 48V adalah konstan di 21.28/hari atau berbading lurus dengan nilai Lambda ( $\lambda$ ) distribusi *exponensial*, *repair rate* adalah suatu tindakan perbaikan dan berhasil diselesaikan per satuan waktu.

#### 4.1.5 Maintainability M(t)

Menghitung *maintainability* menggunakan data TTR (*Time to Repair*) dari hasil uji distribusi TTR didapatkan distribusi yang optimal adalah *exponensial* dengan nilai Lambda( $\lambda$ ) sebesar 21.28 dan Gamma( $\gamma$ ) sebesar 0.09, data ini lalu diolah dengan persamaan 2.7, hasil dari persamaan ini lalu diplot grafik hubungan antara *maintainability* M(t) dengan waktu perbaikan yang dapat dilihat pada gambar 4.5

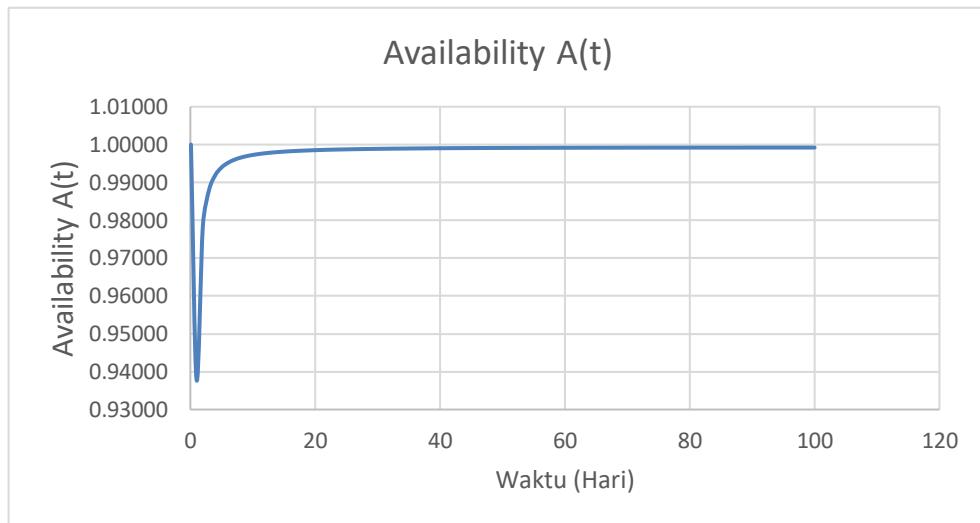


**Gambar 4.5 Grafik *Maintainability* PV 48V**

Gambar 4.5 didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 48V memiliki *maintainability* sebesar 1 atau 100% selama 1 hari, yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk suatu komponen kembali ke keadaan semula atau ketika komponen sebelum terjadi kerusakan.

#### 4.1.6 Availability A(t)

Analisis *availability*  $A(t)$  pada sistem panel surya 48V didapatkan menggunakan persamaan 2.2, kemudian hasil persamaan diplot grafik hubungan antara *availability*  $A(t)$  dengan waktu operasional yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.6.

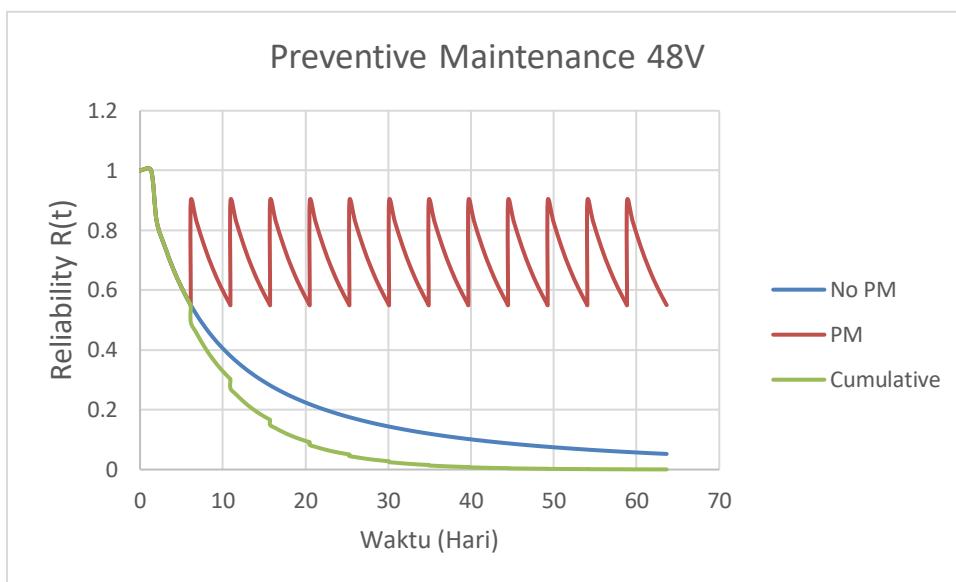


**Gambar 4.6 Grafik Availability PV 48V**

Gambar 4.6 didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 48 V memiliki nilai *availability* 0.97 pada waktu operasional 4 hari, nilai ini menunjukan bahwa jika komponen tersebut mengalami kerusakan selama waktu operasional maka ketersediaan cadangan sudah tersedia dengan baik.

#### 4.1.7 Preventive Maintenance

Analisis *preventive maintenance* pada komponen panel surya 48V didapatkan menggunakan persamaaan 2.37, dengan hasil perhitungan lalu diplot kedalam grafik hubungan antara *reliability* R(t) dengan waktu operasional yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.7.



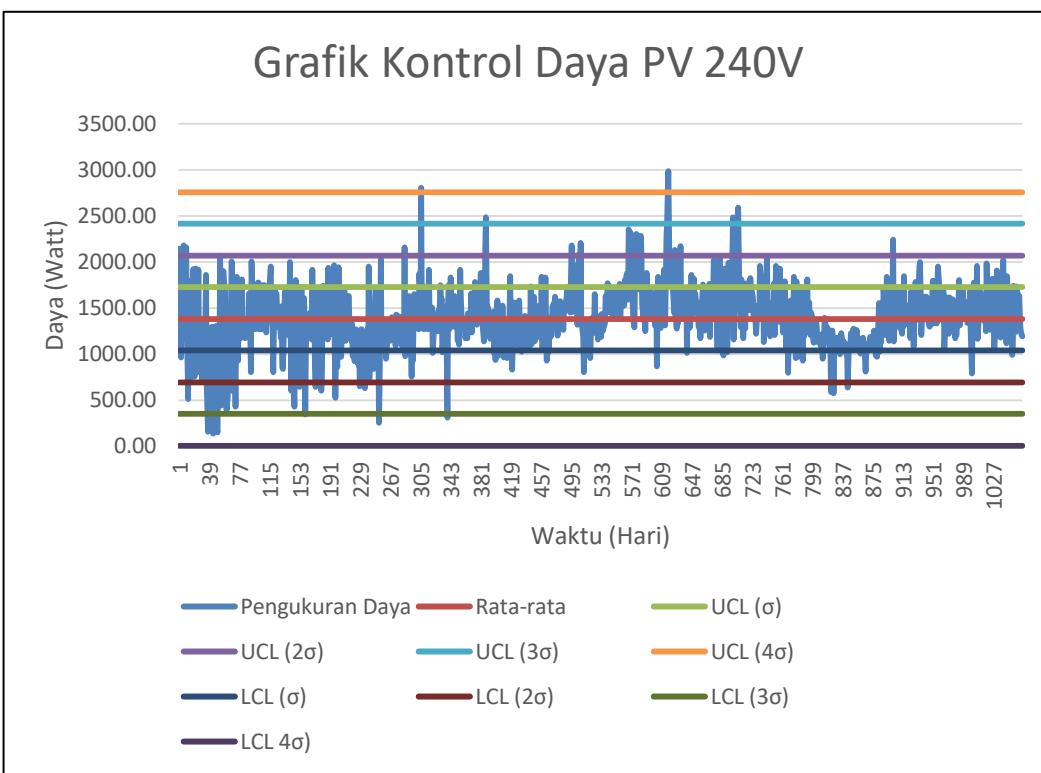
**Gambar 4.7 Grafik Preventive Maintenance PV 48V**

Gambar 4.7 didapatkan bahwa dengan *preventive maintenance* setiap interval waktu 6 hari yang bertujuan untuk menjaga agar *reliability* nya tetap stabil pada point 0.55, menghasilkan nilai *cumulative reliability* nya justru semakin menurun, hasil ini disebut sebagai *decreasing failure rate preventive maintenance*, hal ini dipengaruhi oleh fungsi distribusi TTF.

## 4.2 Evaluasi RAM-C pada Sistem *Photovoltaic* 240 V

### 4.2.1 Grafik Kontrol Daya PV 240V

Pengolahan data pada tugas akhir ini menggunakan *variable* daya pada sistem panel surya 240V dimana data daya dari rentang tahun 2017 – 2020 dibuat grafik kontrol menggunakan aplikasi excel, dari grafik kontrol yang dihasilkan seperti yang tertera pada gambar 4.7 berikut, nilai daya yang diluar jangkauan *Upper Control Limits* (UCL) atau batas atas, dan *Lower Control Limits* (LCL) atau batas bawah dapat dinyatakan sebagai kegagalan pada sistem photovoltaic 240 V.



**Gambar 4.8 Grafik Kontrol Daya PV 240V**

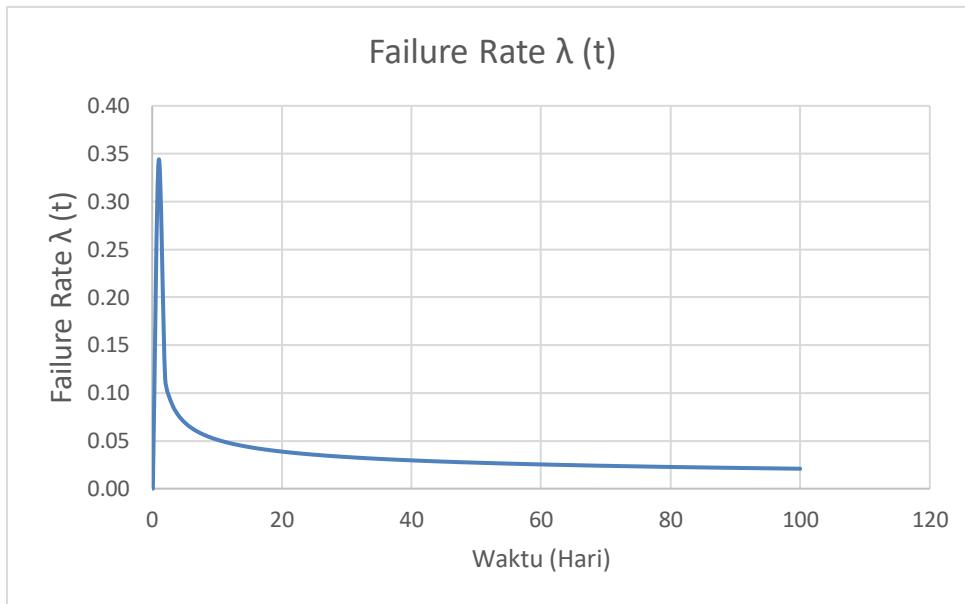
Gambar 4.8 didapatkan nilai rata-rata sebesar 1380.85 dan standart deviasi sebesar 344.29, sehingga nilai UCL ( $\sigma$ ) sebesar 1725.14, nilai UCL (2 $\sigma$ ) sebesar 2069.43 serta nilai LCL ( $\sigma$ ) sebesar 1036.56, dan LCL (2 $\sigma$ ) sebesar 692.27, jika ditinjau dari batas 2 $\sigma$  didapatkan 42 data yang berada diluar jangkauan, 41 data TTF serta 42 data TTR yang terlampir pada Lampiran A, dari data TTF dan TTR tersebut lalu dievaluasi distribusi dan parameternya menggunakan Reliasoft Weibull 6++, Distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari fungsi *reliability* {R(t)}, *Maintainability* {M(t)}, dan *availability* {A(t)} dan *Preventive Maintenance* nya, hasil distribusi dan parameter data PV 240 V dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Parameter Disitribusi Data PV 240V**

Distribusi TTF	Beta ( $\beta$ )	Eta( $\eta$ )	Gamma( $\gamma$ )
Weibull 3	0.62	14.58	0.94
Distribusi TTR	Lambda( $\lambda$ )	Gamma( $\gamma$ )	
Exponensial 2	12.33	0.08	

#### 4.2.2 Failure Rate / Hazard Rate $\lambda(t)$

Perhitungan *Failure Rate* pada sistem panel surya 240 V didapatkan menggunakan persamaan 2.28, kemudian hasil persamaan tersebut diplot kedalam grafik hubungan antara *Failure Rate*  $\lambda(t)$  dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.9.

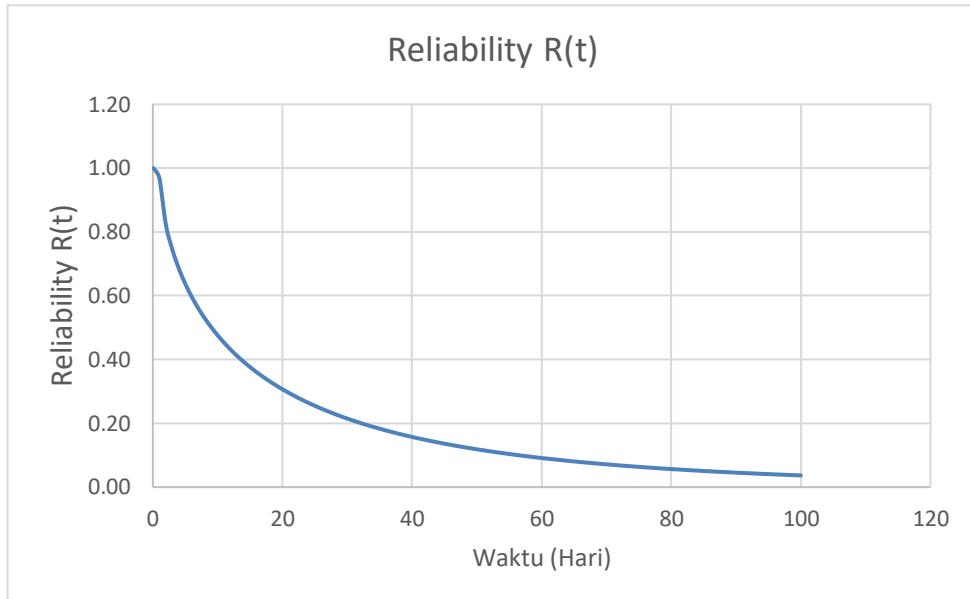


**Gambar 4.9 Grafik Failure Rate PV 240V**

Hasil gambar 4.9 *failure rate* didapatkan bahwa sistem panel surya 240V memiliki grafik *Failure rate* yang menurun terhadap waktu operasional dimana nilai laju kegagalan sebesar 0.05 pada waktu operasional 9 hari. gambar 4.9 menunjukan fase *Burn in* pada *Bathup Curve*, pada daerah ini periode permulaan operasinya suatu komponen masih baru sehingga *reliability* nya masih 100 % dan dengan berjalannya waktu, *Failure rate* yang awalnya tinggi kemudian menurun, kerusakan awal yang terjadi umumnya disebabkan oleh proses *manufacturing* atau fabrikasi yang kurang sempurna.

#### 4.2.3 Reliability R(t)

*Reliability* pada sistem panel surya 240 V yang didapatkan dari perhitungan pada persamaan 2.25, hasil persamaan diplot dalam grafik hubungan antara *Reliability R(t)* dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.10.

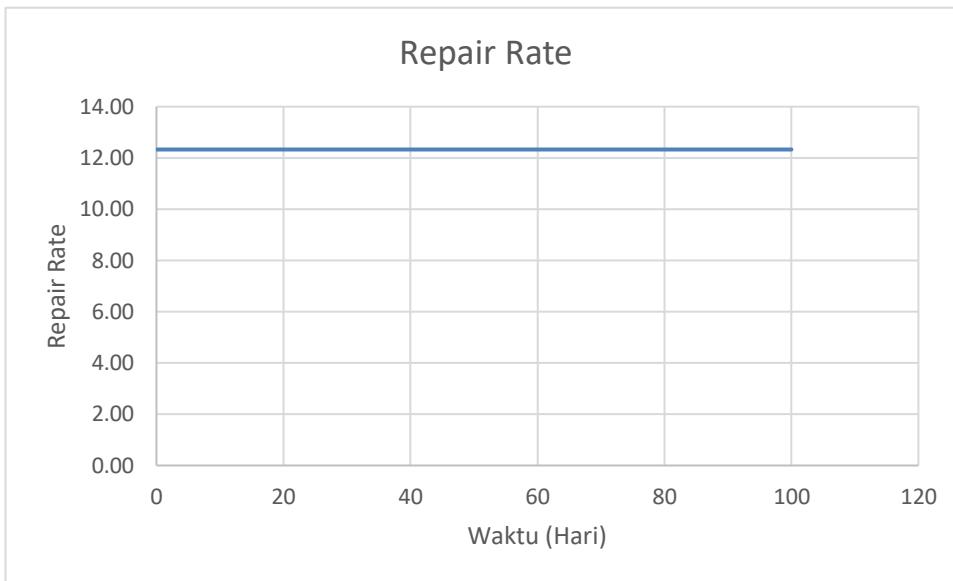


**Gambar 4.10 Grafik Reliability PV 240V**

Gambar 4.10 *Reliability* didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 240 V mengalami penurunan *reliability* dari 0.6 pada saat waktu 6 hari yang artinya *reliability* komponen akan dibawah 60 % ketika lebih dari waktu operasional 6 hari.

#### 4.2.4 Repair rate

*Repair rate* pada sistem panel surya 240V menggunakan data TTR dan didapatkan dari persamaan 2.33, hasil perhitungan lalu diplot kedalam grafik hubungan antara *repair rate* dengan waktu operasional sehingga menghasilkan gambar 4.11

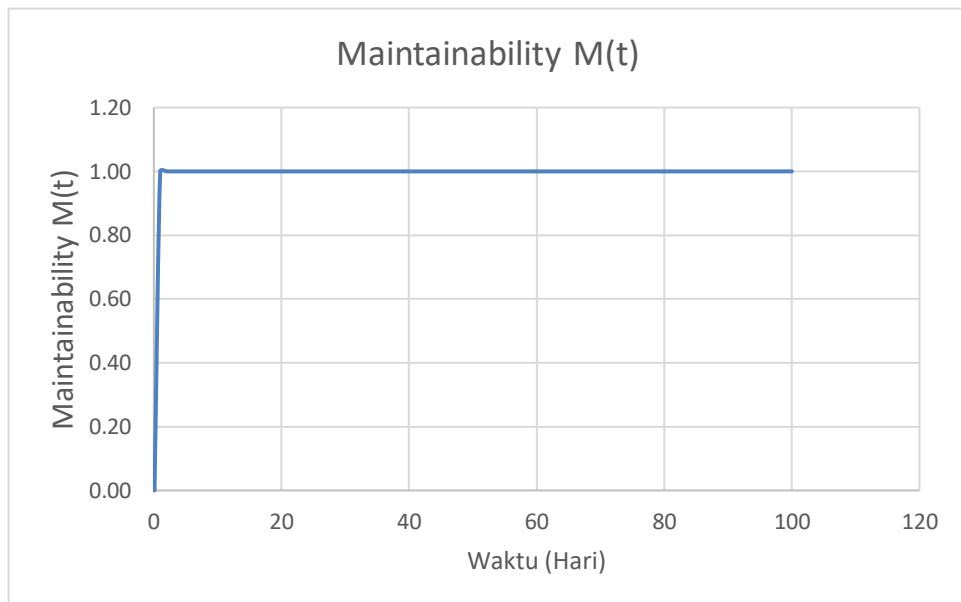


**Gambar 4.11 Grafik Repair Rate PV 240V**

Gambar 4.11 didapatkan nilai *repair rate* pada sistem panel surya 240V adalah konstan di 12.33/hari atau berbading lurus dengan nilai Lambda( $\lambda$ ) distribusi eksponensial, *repair rate* adalah suatu tingkat tindakan perbaikan dilakukan dan berhasil diselesaikan per satuan waktu.

#### 4.2.5 Maintainability

Menghitung *maintainability* menggunakan data TTR (*Time to Repair*) dari hasil uji distribusi TTR didapatkan distribusi yang optimal adalah *eksponensial* dengan nilai Lambda( $\lambda$ ) sebesar 12.33 dan Gamma( $\gamma$ ) sebesar 0.08, data ini lalu diolah dengan persamaan 2.12, hasil dari persamaan ini lalu diplot grafik hubungan antara *maintainability* M(t) dengan waktu perbaikan yang dapat dilihat pada gambar 4.12.

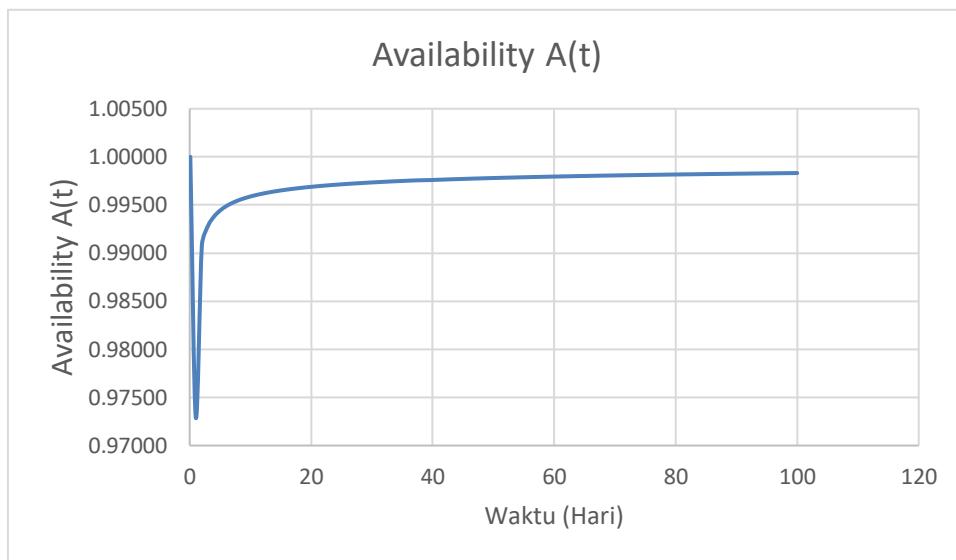


**Gambar 4.12 Grafik *Maintainability* PV 240V**

Gambar 4.12 didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 240V memiliki *maintainability* sebesar 1 atau 100% selama 1 hari, yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk suatu komponen kembali ke keadaan semula atau ketika komponen sebelum terjadi kerusakan.

#### 4.2.6 Availability

Analisis *availability*  $A(t)$  pada sistem panel surya 240V didapatkan menggunakan persamaan 2.2, dengan hasil persamaan diplot grafik hubungan antara *availability*  $A(t)$  dengan waktu operasional satuan hari yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.13.

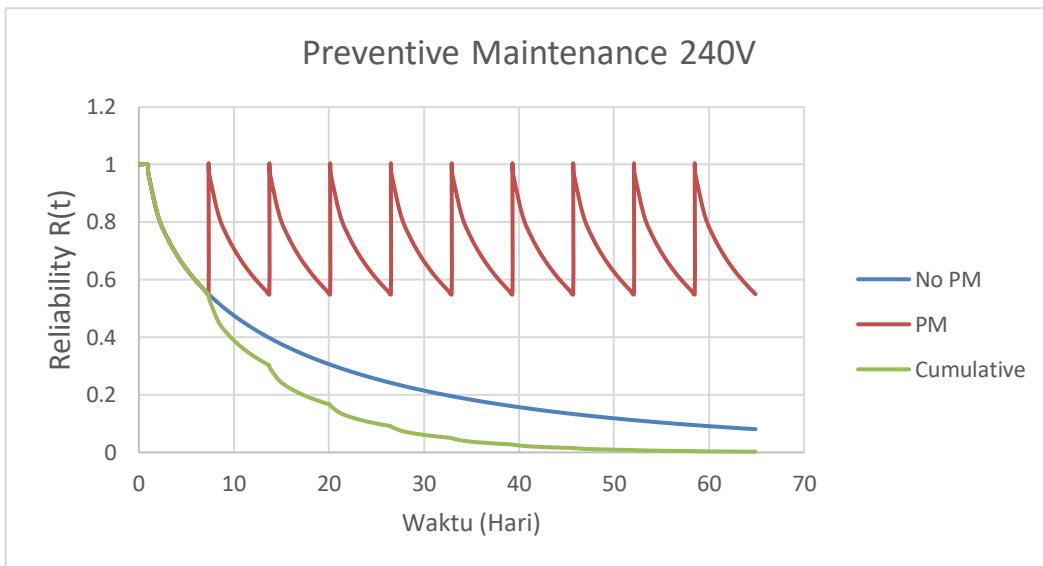


**Gambar 4.13 Grafik Availability PV 240V**

Gambar 4.13 didapatkan bahwa komponen sistem panel surya 240 V memiliki nilai *availability* 0.99 pada waktu operasional 4 hari, nilai ini menunjukan bahwa jika komponen tersebut mengalami kerusakan selama waktu operasional maka ketersediaan cadangan sudah tersedia dengan baik.

#### 4.2.7 Preventive Maintenance

Analisis *preventive maintenance* pada komponen sistem panel surya 240V didapatkan menggunakan persamaan 2.37, dimana hasil perhitungan lalu diplot kedalam grafik hubungan antara keandalan *reliability* R(t) dengan waktu operasional yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14 Grafik Preventive Maintenance PV 240V**

Gambar 4.14 didapatkan bahwa dengan *preventive maintenance* setiap interval waktu 7 hari yang bertujuan untuk menjaga agar *reliability* nya tetap stabil pada point 0.55, menghasilkan nilai *cumulative reliability* nya justru semakin menurun, hasil ini disebut sebagai *decreasing failure rate preventive maintenance*, hal ini dipengaruhi oleh fungsi distribusi TTF.

### 4.3 Analisis Cost Preventive maintenance

*Cost preventive maintenance* digunakan untuk menentukan berapa banyak *cost* yang dikeluarkan suatu perusahaan karena adanya perawatan komponen yang sudah terjadwal sebelum terjadi kegagalan pada komponen tersebut.

#### 4.3.1 Penentuan Likelihood

Likelihood resiko merupakan frekuensi kerusakan suatu komponen yang terjadi pada suatu periode waktu, waktu yang digunakan adalah selama 4 tahun karena data yang ada dimulai dari tahun 2017 sampai 2020, dalam mencari nilai *likelihood* pertama mencari nilai MTTF masing-masing komponen, selanjutnya

dibagi dengan interval waktu yang digunakan yaitu 4 tahun atau 1460 hari. Tabel dibawah ini memuat nilai *likelihood* pada komponen PV 48 V dan PV 240 V selama 4 tahun sejak 2017 sampai 2020.

**Tabel 4.3 Nilai MTTF dan *likelihood***

Nama Komponen	MTTF	Likelihood (kali/4 Tahun)
Photovoltaic 48 V	17.74	82.31
Photovoltaic 240 V	21.82	66.92

Dari tabel 4.3 didapatkan bahwa komponen *photovoltaic* pada PLTH Pandansimo yang memiliki frekuensi kerusakan yang sering terjadi selama 4 tahun yaitu komponen PV 48 V dengan frekuensi 82.31, sedangkan untuk komponen PV 240 V memiliki frekuensi 66.92, berdasarkan hasil perhitungan diatas menunjukan bahwa nilai MTTF yang semakin tinggi maka kerusakan yang terjadi semakin sedikit.

#### 4.3.2 Penentuan Kerugian Berdasarkan Biaya Perbaikan

Kerugian berdasarkan biaya perbaikan adalah biaya yang ditanggung oleh perusahaan karena adanya kegagalan suatu komponen yang membutuhkan perbaikan, biaya ini terdiri dari pergantian *spare part*, dan konsekuensi operasional perusahaan.

- **Biaya pergantian *spare part***

Biaya pergantian yang ditanggung perusahaan ketika terjadi pergantian komponen yang telah rusak agar komponen dapat berkerja kembali.

**Tabel 4.4 Biaya pergantian *spare part***

Nama Komponen	Biaya Spare Part
Panel Surya SIP 220 Polycristalyne	Rp 5.050.000
Panel Surya Es100236-pcm Polycrystalline	Rp 820.000

### ➤ Biaya Resiko Tenaga Kerja

Biaya resiko tenaga kerja yang dimaksud yaitu biaya yang ditanggung oleh perusahaan untuk membiayai pekerja saat suatu komponen mengalami kerusakan sehingga memerlukan suatu perbaikan.

**Tabel 4.5 Resiko Tenaga Kerja**

Nama Komponen	Likelihood	MTTR (jam)	Jumlah Tenaga Kerja	Upah / Jam	Konsekuensi Resiko / Tahun
Panel Surya SIP 220 Polycristalyne	20.58	3.18	1	Rp15,000	Rp982,252
Panel Surya Es100236-pcm Polycrystalline	16.73	3.75	1	Rp15,000	Rp942,071
					Total Rp1,924,323

Berdasarkan hasil perhitungan biaya resiko tenaga kerja didapatkan total pengeluaran yang harus dikeluarkan perusahaan saat kedua komponen PV 48 V dan 240 V mengalami kerusakan yaitu sebesar Rp 1.924.323

**Tabel 4.6 Biaya Preventive Maintenance**

Nama Komponen	PM (Hari)	Jumlah PM / Tahun	Jumlah Tenaga Kerja	Upah / Jam	Total
Panel Surya SIP 220 Polycristalyne	6.13	59.54	1	Rp15,000	Rp893,119
Panel Surya Es100236-pcm Polycrystalline	7.34	49.75	1	Rp15,000	Rp746,251
					Total Rp1,639,371

Berdasarkan perhitungan interval waktu preventive maintenance pada subbab 4.1.7 untuk komponen PV 48 V serta subbab 4.2.7 untuk komponen PV 240 V didapatkan bahwa komponen PV 48 V membutuhkan *preventive maintenance* sebanyak 59 kali dalam satu tahun sedangkan untuk komponen PV 240 V membutuhkan *preventive maintenance* sebanyak 49 kali dalam satu tahun, sehingga total biaya *preventive maintenance* yang dibutuhkan sebesar Rp 1.639.371 selama satu tahun, dengan rekomendasi *preventive maintenance* nya dijelaskan pada bab 4.4.

#### **4.4 Rekomendasi Perawatan Pada Sistem Panel Surya**

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PLTH Pantai Baru Pandansimo, Bantul, Yogyakarta memiliki keandalan yang cukup rendah, pada sistem panel surya 48 V didapatkan *reliability* nya 0.6 pada waktu operasional 5 hari, sedangkan pada sistem panel surya 240 V didapatkan *reliability* nya 0.6 pada waktu operasional 6 hari, sehingga memerlukan pemeliharaan demi keberlangsungan sistem agar lebih handal dan awet serta mengurangi resiko kerusakan yang akan terjadi pada komponen – komponen dari PLTH Pantai Baru, beberapa rekomendasi pemeliharaan pada sistem Panel Surya dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut (Giz, n.d.)

**Tabel 4.7 Pemeliharaan pada sistem Panel Surya**

No	Jenis Kegiatan	Langkah Perawatan	Gambar
1 Modul Surya			
1.1	kebersihan permukaan modul surya	Bersihkan permukaan modul surya dengan sikat atau kain. Hanya gunakan air sebagai cairan pembersih.	
1.2	Cek Kerusakan pada modul Surya	Putuskan dari rangkaian dan ganti modul surya yang rusak. Ganti pada saat tidak ada cahaya matahari.	
1.3	Cek bayangan (shading) pada modul surya	Singkirkan dahan pohon atau benda lain yang menyebabkan bayangan.	

1.4	Cek semua baut kencang dan tidak ada yang hilang	Kencangkan semua baut dan pastikan semua baut terpasang	
1.5	Cek apakah box tertutup rapat dan koneksi kabel - internal dalam kondisi baik	Tutup box dengan cover dan kencangkan kabel jika ada yang longgar	
1.6	Cek apakah ada kabel yang longgar antar modul surya	Kencangkan kembali kabel yang longgar dan ganti isolasi dengan terminal yang sesuai	
2 Combiner Box			
2.1	Cek tidak ada lubang pada combiner box	Tutup semua lubang pada combiner box untuk menghindari masuknya binatang dan air	
2.2	Cek apakah ada air atau sarang binatang	Bersihkan combiner box. Pastikan combiner box tidak terhubung dengan modul surya untuk menghindari sengatan listrik	

2.3	Cek jika pintu combiner box tertutup dengan baik	Perbaiki kerusakan pintu dan pastikan pintu dalam keadaan terkunci	
3 Baterai			
3.1	Cek perlindungan terminal baterai	Cover terminal baterai dengan bahan isolator yang kuat (contoh: kotak plastik, kotak kayu, dll)	
3.2	Cek apakah ada kebocoran Baterai	Laporkan kebocoran pada baterai. Hati-hati dengan bahan kimia yang korosif	
3.3	Cek temperatur ruangan baterai	Pastikan ventilasi tidak terhambat oleh kotoran. Jika tetap panas, kipas exhaust atau tambahan kanopi dapat dipasang	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan perhitungan, analisis dan pembahasannya maka didapatkan beberapa kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komponen sistem panel surya 48 V memiliki nilai *reliability* 0.6 dalam waktu operasional 5 hari, sedangkan pada sistem panel surya 240 V memiliki nilai *reliability* 0.6 dalam waktu operasional 6 hari
2. Analisis *availability* pada sistem panel surya 48 V dan 240 V memiliki nilai 0.99 pada waktu operasional 4 hari, Analisis *Maintainability* waktu perawatan yang dimiliki oleh sistem panel surya 48 V maupun 240 V adalah 1 hari, Analisis keandalan dengan menggunakan *preventive maintenance* didapatkan bahwa panel surya 48 V memiliki penjadwalan *maintenance* dengan interval waktu 6 hari sedangkan panel surya 240 V memiliki penjadwalan *maintenance* dengan interval waktu 7 hari.
3. Total biaya *preventive maintenance* untuk sistem panel surya 48V sebesar Rp893,119 sedangkan untuk sistem panel surya 240V sebesar Rp746,251 selama satu tahun, *cost* ini hanya berlaku untuk 1 pekerja

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk PLTH Pantai Baru Pandansimo yaitu bisa menjadikan analisa *preventive maintenance* yang sudah dilakukan dalam penelitian ini sebagai alternatif pilihan untuk melakukan penjadwalan *maintenance* sehingga dapat mengurangi serta meminimalkan resiko kerusakan yang akan datang.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

Abdul, Q., Huawei, L. & Talha Ikram, M., 2021. Research on Reliability of Grid Connected Photovoltaic Renewable Generation System. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*.

Ardhy Prihanto, T. & Winardi, B., n.d. SISTEM PENYIMPANAN BATERAI DAN PENDISTRIBUSIAN ENERGI LISTRIK PLTH PANDANSIMO BANTUL, D.I.YOGYAKARTA. *Makalah Seminar Kerja Praktek*.

Donne, A. L., Scaccabarozzi, A., Tombolato, S. & Acciarri, M., 2013. Solar Photovoltaics: A Review. *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*, Volume 2, pp. 1-9.

Ebeling & Charles, 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. s.l.:The McGraw-Hill Companies, Inc..

Energi, D. J. E. B. T. d. K., 2017. *Gerakan Nasional Sejuta Surya Atap Menuju Gigawatt Fotovoltaik di Indonesia*. [Online] Available at: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/09/14/1747/gerakan.nasional.sejuta.surya.atap.menuju.gigawatt.fotovoltaik.di.indonesia> [Accessed 9 2021].

ESDM, 2020. *Potensi Energi Angin Indonesia 2020*. [Online] Available at: [https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi\\_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020](https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020) [Accessed 9 2021].

ESDM, n.d. *Informasi tentang PLTS*. [Online] Available at: <https://p3tkebt.esdm.go.id/esmart/artikel> [Accessed 9 2021].

Fara, L. & Craciunescu, D., 2020. Reliability Analysis of Photovoltaic Systems for Specific Applications. In: *Reliability and Ecological Aspects of Photovoltaic Modules*. s.l.:s.n.

Filippo , S., Ciocia, A., Malgaroli, G. & Chiodo, E., 2020. Maintenance Activity, Reliability, Availability and Related Energy Losses in Ten Operating Photovoltaic Systems up to 1.8 MW. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Volume 99, pp. 1-1.

He, J., Yang, Y. & Vinnikov, D., 2020. Energy Storage for 1500 V Photovoltaic Systems: A Comparative Reliability Analysis of DC- and AC-Coupling. *Energies*.

Suhartanto, T., 2014. Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo. Volume 3.

Zhixin, F., Yue, Y. & Qiaomu, L., 2016. Reliability Analysis of Distributed Grid-connected Photovoltaic System Monitoring Network. *Conference on Power and Electrical Engineering*.

## LAMPIRAN A

### DATA TTF DAN TTR PADA SISTEM PV 240 V DAN 48 V

PV 48V		PV 240V	
TTF	TTR	TTF	TTR
94	0.11	4	0.22
25	0.22	2	0.11
7	0.11	1	0.11
9	0.11	23	0.11
4	0.11	2	0.22
10	0.11	1	0.22
1	0.11	2	0.33
3	0.11	4	0.22
4	0.11	6	0.11
13	0.11	5	0.22
29	0.11	3	0.11
17	0.11	69	0.11
122	0.11	3	0.11
5	0.11	6	0.11
28	0.11	6	0.11
9	0.11	12	0.11
37	0.22	6	0.11
4	0.11	17	0.11
1	0.11	30	0.11
6	0.22	5	0.11
5	0.11	17	0.11
16	0.11	30	0.22
4	0.11	20	0.11
5	0.11	32	0.11
8	0.22	47	0.11
1	0.11	107	0.22
5	0.11	8	0.11
2	0.11	1	0.11
2	0.33	60	0.11
7	0.11	6	0.33
6	0.22	3	0.33
64	0.11	30	0.22
8	0.11	7	0.44
7	0.11	6	0.11
56	0.11	65	0.11
91	0.11	3	0.11
5	0.11	2	0.11
3	0.22	116	0.11
1	0.11	2	0.11
1	0.11	17	0.11
1	0.11	56	0.11
			0.11

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B

Data Hasil perhitungan Failure Rate dan Reliability Komponen PV 48V

Distribusi TTF	Mean ( $\mu$ )	Std ( $\sigma$ )
Lognormal	1.98	1.34

Time	Failure Rate				Reliability		
	1 / (t $\sigma$ $\sqrt{2\pi}$ )	exp	f(t)	$\lambda(t)$	(ln(t)- $\mu$ )/ $\sigma$	$\Phi$	R(t)
0	2.98	24.60	73.38717	0.00	-3.20290	0.00	1.00
1	0.30	4.40	1.31207	1.41	-1.48135	0.07	0.93
2	0.15	2.62	0.39071	0.47	-0.96310	0.17	0.83
3	0.10	1.93	0.19236	0.26	-0.65995	0.25	0.75
4	0.07	1.56	0.11635	0.17	-0.44486	0.33	0.67
5	0.06	1.32	0.07878	0.13	-0.27803	0.39	0.61
6	0.05	1.16	0.05784	0.10	-0.14588	0.44	0.56
7	0.04	1.03	0.04428	0.09	-0.03156	0.49	0.51
8	0.04	0.93	0.03512	0.07	0.06757	0.53	0.47
9	0.03	0.86	0.02862	0.07	0.15508	0.56	0.44
10	0.03	0.79	0.02383	0.06	0.23342	0.59	0.41
11	0.03	0.74	0.02019	0.05	0.30432	0.62	0.38
12	0.03	0.69	0.01736	0.05	0.36907	0.64	0.36
13	0.02	0.65	0.01510	0.05	0.42867	0.67	0.33
14	0.02	0.62	0.01327	0.04	0.48386	0.69	0.31
15	0.02	0.59	0.01177	0.04	0.53525	0.70	0.30
16	0.02	0.56	0.01052	0.04	0.58334	0.72	0.28
17	0.02	0.53	0.00946	0.04	0.62852	0.74	0.26
18	0.02	0.51	0.00857	0.03	0.67113	0.75	0.25
19	0.02	0.49	0.00780	0.03	0.71143	0.76	0.24
20	0.02	0.47	0.00713	0.03	0.74968	0.77	0.23
21	0.01	0.46	0.00655	0.03	0.78606	0.78	0.22
22	0.01	0.44	0.00604	0.03	0.82076	0.79	0.21
23	0.01	0.43	0.00559	0.03	0.85392	0.80	0.20
24	0.01	0.41	0.00519	0.03	0.88566	0.81	0.19
25	0.01	0.40	0.00483	0.03	0.91612	0.82	0.18
26	0.01	0.39	0.00451	0.03	0.94538	0.83	0.17
27	0.01	0.38	0.00423	0.03	0.97354	0.83	0.17
28	0.01	0.37	0.00397	0.03	1.00068	0.84	0.16
29	0.01	0.36	0.00373	0.02	1.02687	0.85	0.15
30	0.01	0.35	0.00352	0.02	1.05217	0.85	0.15
31	0.01	0.34	0.00332	0.02	1.07664	0.86	0.14

32	0.01	0.33	0.00314	0.02	1.10034	0.86	0.14
33	0.01	0.33	0.00298	0.02	1.12331	0.87	0.13
34	0.01	0.32	0.00283	0.02	1.14560	0.87	0.13
35	0.01	0.31	0.00269	0.02	1.16723	0.88	0.12
36	0.01	0.30	0.00256	0.02	1.18827	0.88	0.12
37	0.01	0.30	0.00244	0.02	1.20872	0.89	0.11
38	0.01	0.29	0.00233	0.02	1.22863	0.89	0.11
39	0.01	0.28	0.00213	0.02	1.26693	0.90	0.10
40	0.01	0.28	0.00204	0.02	1.28537	0.90	0.10
41	0.01	0.27	0.00195	0.02	1.30336	0.90	0.10
42	0.01	0.27	0.00188	0.02	1.32093	0.91	0.09
43	0.01	0.26	0.00180	0.02	1.33810	0.91	0.09
44	0.01	0.26	0.00173	0.02	1.35488	0.91	0.09
45	0.01	0.25	0.00167	0.02	1.37130	0.91	0.09
46	0.01	0.25	0.00161	0.02	1.38736	0.92	0.08
47	0.01	0.25	0.00155	0.02	1.40308	0.92	0.08
48	0.01	0.24	0.00149	0.02	1.41848	0.92	0.08
49	0.01	0.24	0.00144	0.02	1.43357	0.92	0.08
50	0.01	0.23	0.00139	0.02	1.44836	0.93	0.07
51	0.01	0.23	0.00135	0.02	1.46286	0.93	0.07
52	0.01	0.23	0.00130	0.02	1.47709	0.93	0.07
53	0.01	0.23	0.00126	0.02	1.49105	0.93	0.07
54	0.01	0.22	0.00122	0.02	1.50476	0.93	0.07
55	0.01	0.22	0.00118	0.02	1.51821	0.94	0.06
56	0.01	0.22	0.00115	0.02	1.53144	0.94	0.06
57	0.01	0.21	0.00111	0.02	1.54443	0.94	0.06
58	0.01	0.21	0.00108	0.02	1.55720	0.94	0.06
59	0.01	0.21	0.00105	0.02	1.56975	0.94	0.06
60	0.00	0.21	0.00102	0.02	1.58210	0.94	0.06
61	0.00	0.20	0.00099	0.02	1.59424	0.94	0.06
62	0.00	0.20	0.00096	0.02	1.60620	0.95	0.05
63	0.00	0.20	0.00094	0.02	1.61796	0.95	0.05
64	0.00	0.20	0.00091	0.02	1.62954	0.95	0.05
65	0.00	0.19	0.00089	0.02	1.64095	0.95	0.05
66	0.00	0.19	0.00086	0.02	1.65218	0.95	0.05
67	0.00	0.19	0.00084	0.02	1.66325	0.95	0.05
68	0.00	0.19	0.00082	0.02	1.67416	0.95	0.05
69	0.00	0.19	0.00080	0.02	1.68491	0.95	0.05
70	0.00	0.18	0.00078	0.02	1.69551	0.96	0.04
71	0.00	0.18	0.00076	0.02	1.70596	0.96	0.04
72	0.00	0.18	0.00074	0.02	1.71626	0.96	0.04
73	0.00	0.18	0.00073	0.02	1.72643	0.96	0.04

74	0.00	0.18	0.00071	0.02	1.73645	0.96	0.04
75	0.00	0.17	0.00069	0.02	1.74635	0.96	0.04
76	0.00	0.17	0.00068	0.02	1.75612	0.96	0.04
77	0.00	0.17	0.00066	0.02	1.76576	0.96	0.04
78	0.00	0.17	0.00065	0.02	1.77528	0.96	0.04
79	0.00	0.17	0.00063	0.02	1.78467	0.96	0.04
80	0.00	0.17	0.00062	0.02	1.79396	0.96	0.04
81	0.00	0.16	0.00061	0.02	1.80312	0.96	0.04
82	0.00	0.16	0.00059	0.02	1.81218	0.97	0.03
83	0.00	0.16	0.00058	0.02	1.82113	0.97	0.03
84	0.00	0.16	0.00057	0.02	1.82997	0.97	0.03
85	0.00	0.16	0.00056	0.02	1.83871	0.97	0.03
86	0.00	0.16	0.00055	0.02	1.84735	0.97	0.03
87	0.00	0.16	0.00054	0.02	1.85589	0.97	0.03
88	0.00	0.15	0.00053	0.02	1.86433	0.97	0.03
89	0.00	0.15	0.00052	0.02	1.87268	0.97	0.03
90	0.00	0.15	0.00051	0.02	1.88094	0.97	0.03
91	0.00	0.15	0.00050	0.02	1.88910	0.97	0.03
92	0.00	0.15	0.00049	0.02	1.89718	0.97	0.03
93	0.00	0.15	0.00048	0.02	1.90517	0.97	0.03
94	0.00	0.15	0.00047	0.02	1.91308	0.97	0.03
95	0.00	0.15	0.00046	0.02	1.92091	0.97	0.03
96	0.00	0.15	0.00045	0.02	1.92865	0.97	0.03
97	0.00	0.14	0.00045	0.02	1.93631	0.97	0.03
98	0.00	0.14	0.00044	0.02	1.94390	0.97	0.03
99	0.00	0.14	0.00043	0.02	1.95141	0.97	0.03
100	0.00	0.14	0.00042	0.02	1.95885	0.97	0.03

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN C

Data Hasil perhitungan Maintainability, availability, repair rate Komponen PV 48V

Distribusi TTR	Lambd a( $\lambda$ )	Gamm a( $\gamma$ )
Exponensial 2	21.28	0.09

Ti me	Maintainab ility		Availability					Repair Rate	
	$\mu$	$M(t)$	$\mu$	$\lambda(t) + \mu$	$\mu / (\lambda(t) + \mu)$	$\lambda(t) / (\lambda(t) + \mu)$	Exp	$A(t)$	
0	21. 28	0.26 388	21.275 50	21.275 50	1.00000	0.00000	0.11 913	1.00 000	21.28
1	21. 28	1.00 000	21.275 50	22.685 20	0.93786	0.06214	0.00 000	0.93 786	21.28
2	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.744 96	0.97841	0.02159	0.00 000	0.97 841	21.28
3	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.533 57	0.98802	0.01198	0.00 000	0.98 802	21.28
4	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.448 69	0.99193	0.00807	0.00 000	0.99 193	21.28
5	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.404 75	0.99396	0.00604	0.00 000	0.99 396	21.28
6	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.379 16	0.99515	0.00485	0.00 000	0.99 515	21.28
7	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.361 88	0.99596	0.00404	0.00 000	0.99 596	21.28
8	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.349 74	0.99652	0.00348	0.00 000	0.99 652	21.28
9	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.340 79	0.99694	0.00306	0.00 000	0.99 694	21.28
10	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.333 96	0.99726	0.00274	0.00 000	0.99 726	21.28
11	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.328 58	0.99751	0.00249	0.00 000	0.99 751	21.28
12	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.324 25	0.99771	0.00229	0.00 000	0.99 771	21.28
13	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.320 70	0.99788	0.00212	0.00 000	0.99 788	21.28
14	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.317 74	0.99802	0.00198	0.00 000	0.99 802	21.28
15	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.315 23	0.99814	0.00186	0.00 000	0.99 814	21.28
16	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.313 09	0.99824	0.00176	0.00 000	0.99 824	21.28

17	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.311 24	0.99832	0.00168	0.00 000	0.99 832	21.28
18	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.309 62	0.99840	0.00160	0.00 000	0.99 840	21.28
19	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.308 20	0.99847	0.00153	0.00 000	0.99 847	21.28
20	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.306 95	0.99852	0.00148	0.00 000	0.99 852	21.28
21	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.305 83	0.99858	0.00142	0.00 000	0.99 858	21.28
22	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.304 83	0.99862	0.00138	0.00 000	0.99 862	21.28
23	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.303 93	0.99867	0.00133	0.00 000	0.99 867	21.28
24	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.303 11	0.99870	0.00130	0.00 000	0.99 870	21.28
25	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.302 37	0.99874	0.00126	0.00 000	0.99 874	21.28
26	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.301 70	0.99877	0.00123	0.00 000	0.99 877	21.28
27	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.301 09	0.99880	0.00120	0.00 000	0.99 880	21.28
28	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.300 52	0.99883	0.00117	0.00 000	0.99 883	21.28
29	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.300 00	0.99885	0.00115	0.00 000	0.99 885	21.28
30	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.299 52	0.99887	0.00113	0.00 000	0.99 887	21.28
31	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.299 08	0.99889	0.00111	0.00 000	0.99 889	21.28
32	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.298 67	0.99891	0.00109	0.00 000	0.99 891	21.28
33	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.298 29	0.99893	0.00107	0.00 000	0.99 893	21.28
34	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.297 93	0.99895	0.00105	0.00 000	0.99 895	21.28
35	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.297 60	0.99896	0.00104	0.00 000	0.99 896	21.28
36	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.297 29	0.99898	0.00102	0.00 000	0.99 898	21.28
37	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.297 01	0.99899	0.00101	0.00 000	0.99 899	21.28
38	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.296 74	0.99900	0.00100	0.00 000	0.99 900	21.28
39	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.296 24	0.99903	0.00097	0.00 000	0.99 903	21.28
40	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.296 02	0.99904	0.00096	0.00 000	0.99 904	21.28

41	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.295 81	0.99905	0.00095	0.00 000	0.99 905	21.28
42	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.295 61	0.99906	0.00094	0.00 000	0.99 906	21.28
43	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.295 43	0.99906	0.00094	0.00 000	0.99 906	21.28
44	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.295 25	0.99907	0.00093	0.00 000	0.99 907	21.28
45	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.295 08	0.99908	0.00092	0.00 000	0.99 908	21.28
46	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 93	0.99909	0.00091	0.00 000	0.99 909	21.28
47	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 78	0.99909	0.00091	0.00 000	0.99 909	21.28
48	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 64	0.99910	0.00090	0.00 000	0.99 910	21.28
49	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 51	0.99911	0.00089	0.00 000	0.99 911	21.28
50	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 38	0.99911	0.00089	0.00 000	0.99 911	21.28
51	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 26	0.99912	0.00088	0.00 000	0.99 912	21.28
52	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 15	0.99912	0.00088	0.00 000	0.99 912	21.28
53	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.294 04	0.99913	0.00087	0.00 000	0.99 913	21.28
54	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 94	0.99913	0.00087	0.00 000	0.99 913	21.28
55	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 84	0.99914	0.00086	0.00 000	0.99 914	21.28
56	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 75	0.99914	0.00086	0.00 000	0.99 914	21.28
57	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 67	0.99915	0.00085	0.00 000	0.99 915	21.28
58	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 58	0.99915	0.00085	0.00 000	0.99 915	21.28
59	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 51	0.99915	0.00085	0.00 000	0.99 915	21.28
60	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 43	0.99916	0.00084	0.00 000	0.99 916	21.28
61	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 36	0.99916	0.00084	0.00 000	0.99 916	21.28
62	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 29	0.99916	0.00084	0.00 000	0.99 916	21.28
63	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 23	0.99917	0.00083	0.00 000	0.99 917	21.28
64	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 17	0.99917	0.00083	0.00 000	0.99 917	21.28

65	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 11	0.99917	0.00083	0.00 000	0.99 917	21.28
66	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 06	0.99918	0.00082	0.00 000	0.99 918	21.28
67	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.293 01	0.99918	0.00082	0.00 000	0.99 918	21.28
68	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 96	0.99918	0.00082	0.00 000	0.99 918	21.28
69	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 91	0.99918	0.00082	0.00 000	0.99 918	21.28
70	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 87	0.99918	0.00082	0.00 000	0.99 918	21.28
71	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 83	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
72	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 79	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
73	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 75	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
74	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 72	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
75	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 69	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
76	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 66	0.99919	0.00081	0.00 000	0.99 919	21.28
77	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 63	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
78	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 60	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
79	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 58	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
80	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 55	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
81	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 53	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
82	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 51	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
83	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 49	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
84	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 47	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
85	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 46	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
86	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 44	0.99920	0.00080	0.00 000	0.99 920	21.28
87	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 43	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
88	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 41	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28

89	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 40	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
90	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 39	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
91	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 38	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
92	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 38	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
93	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 37	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
94	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 36	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
95	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 36	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
96	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 35	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
97	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 35	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
98	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 35	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
99	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 35	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28
10 0	21. 28	1.00 000	21.275 50	21.292 35	0.99921	0.00079	0.00 000	0.99 921	21.28

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN D

Data Perhitungan Preventive Maintenance komponen PV 48 V

Distribusi TTF	Mean ( $\mu$ )	Std ( $\sigma$ )	T (0.55)
Lognormal	1.98	1.34	6.1302

(t - nT)	n	T baru	R(t)	R(t - nT)	Rm(t)
0	0	0	1	1	1
1.34	0	1.34	1	1	1
2	0	2	0.832253	0.832253	0.832253
3	0	3	0.745358	0.745358	0.745358
4	0	4	0.671791	0.671791	0.671791
5	0	5	0.609504	0.609504	0.609504
6	0	6	0.556346	0.556346	0.556346
6.1302	0	6.1302	0.55	0.55	0.55
1.34	1	6.13	0.55	0.896871	0.493279
2	1	6.79	0.519515	0.832253	0.457739
3	1	7.79	0.478568	0.745358	0.409947
4	1	8.79	0.442744	0.671791	0.369485
5	1	9.79	0.411164	0.609504	0.335227
6	1	10.79	0.383138	0.556346	0.305991
6.1302	1	10.92	0.379721	0.55	0.3025
1.34	2	10.92	0.379721	0.896871	0.271304
2	2	11.59	0.363079	0.832253	0.251756
3	2	12.59	0.340118	0.745358	0.225471
4	2	13.59	0.319426	0.671791	0.203217
5	2	14.59	0.300693	0.609504	0.184375
6	2	15.59	0.283665	0.556346	0.168295
6.1302	2	15.72	0.281562	0.55	0.166375
1.34	3	15.72	0.281562	0.896871	0.149217
2	3	16.38	0.271236	0.832253	0.138466
3	3	17.38	0.256752	0.745358	0.124009
4	3	18.38	0.243458	0.671791	0.111769
5	3	19.38	0.23122	0.609504	0.101406
6	3	20.38	0.219922	0.556346	0.092562
6.1302	3	20.51	0.218515	0.55	0.091506
1.34	4	20.51	0.218515	0.896871	0.082069
2	4	21.17	0.211569	0.832253	0.076156

3	4	22.17	0.201719	0.745358	0.068205
4	4	23.17	0.192566	0.671791	0.061473
5	4	24.17	0.184041	0.609504	0.055773
6	4	25.17	0.176087	0.556346	0.050909
6.1302	4	25.30	0.17509	0.55	0.050328
1.34	5	25.30	0.17509	0.896871	0.045138
2	5	25.96	0.170152	0.832253	0.041886
3	5	26.96	0.163094	0.745358	0.037513
4	5	27.96	0.156476	0.671791	0.03381
5	5	28.96	0.15026	0.609504	0.030675
6	5	29.96	0.144414	0.556346	0.028
6.1302	5	30.09	0.143679	0.55	0.027681
1.34	6	30.09	0.143679	0.896871	0.024826
2	6	30.76	0.140023	0.832253	0.023037
3	6	31.76	0.134766	0.745358	0.020632
4	6	32.76	0.129803	0.671791	0.018596
5	6	33.76	0.125112	0.609504	0.016871
6	6	34.76	0.120672	0.556346	0.0154
6.1302	6	34.89	0.120112	0.55	0.015224
1.34	7	34.89	0.120112	0.896871	0.013654
2	7	35.55	0.11732	0.832253	0.012671
3	7	36.55	0.113286	0.745358	0.011348
4	7	37.55	0.109458	0.671791	0.010228
5	7	38.55	0.10582	0.609504	0.009279
6	7	39.55	0.102361	0.556346	0.00847
6.1302	7	39.68	0.101923	0.55	0.008373
1.34	8	39.68	0.101923	0.896871	0.00751
2	8	40.34	0.099737	0.832253	0.006969
3	8	41.34	0.096568	0.745358	0.006241
4	8	42.34	0.093546	0.671791	0.005625
5	8	43.34	0.090663	0.609504	0.005104
6	8	44.34	0.08791	0.556346	0.004659
6.1302	8	44.47	0.087561	0.55	0.004605
1.34	9	44.47	0.087561	0.896871	0.00413
2	9	45.13	0.085815	0.832253	0.003833
3	9	46.13	0.083276	0.745358	0.003433
4	9	47.13	0.080846	0.671791	0.003094
5	9	48.13	0.07852	0.609504	0.002807
6	9	49.13	0.076291	0.556346	0.002562
6.1302	9	49.26	0.076007	0.55	0.002533
1.34	10	49.26	0.076007	0.896871	0.002272
2	10	49.93	0.074589	0.832253	0.002108

3	10	50.93	0.072521	0.745358	0.001888
4	10	51.93	0.070537	0.671791	0.001702
5	10	52.93	0.068631	0.609504	0.001544
6	10	53.93	0.066799	0.556346	0.001409
6.1302	10	54.06	0.066566	0.55	0.001393
1.34	11	54.06	0.066566	0.896871	0.001249
2	11	54.72	0.065398	0.832253	0.001159
3	11	55.72	0.063691	0.745358	0.001038
4	11	56.72	0.062047	0.671791	0.000936
5	11	57.72	0.060466	0.609504	0.000849
6	11	58.72	0.058942	0.556346	0.000775
6.1302	11	58.85	0.058747	0.55	0.000766
1.34	12	58.85	0.058747	0.896871	0.000687
2	12	59.51	0.057773	0.832253	0.000638
3	12	60.51	0.056346	0.745358	0.000571
4	12	61.51	0.05497	0.671791	0.000515
5	12	62.51	0.053643	0.609504	0.000467
6	12	63.51	0.052361	0.556346	0.000426
6.1302	12	63.64	0.052197	0.55	0.000421

$$R(t) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right]$$

$$R_m(t) = 0.55^n \cdot R(t - nT)$$

Perhitungan interval waktu Preventive maintenance PV 48 V

$$R(0.55) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right]$$

$$0.55 = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln(t) - 1.98}{1.34} \right]$$

$$\Phi \left[ \frac{\ln(t) - 1.98}{1.34} \right] = 1 - 0.55 = 0.45$$

$$\Phi(0.45)^{-1} = -0.125$$

$$\frac{\ln(t) - 1.98}{1.34} = -0.125$$

$$\ln(t) = -0.167 + 1.98$$

$$\ln(t) = 1.813$$

$$t = 6.130 \text{ hari}$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN E

Data Hasil perhitungan Failure Rate dan Reliability Komponen PV 240 V

Distribusi TTF	Beta ( $\beta$ )	Eta( $\eta$ )	Gamma( $\gamma$ )
Weibull 3	0.62	14.58	0.94

Time	Failure Rate		Reliability	
	$\beta/\eta$	$(t-\gamma/\eta)^{\beta-1}$	$\lambda(t)$	$R(t)$
0	0.04	0.00000	0.00	1.00
1	0.04	8.00643	0.34	0.97
2	0.04	2.68039	0.11	0.82
3	0.04	2.08722	0.09	0.74
4	0.04	1.79855	0.08	0.69
5	0.04	1.61711	0.07	0.64
6	0.04	1.48862	0.06	0.60
7	0.04	1.39103	0.06	0.56
8	0.04	1.31341	0.06	0.53
9	0.04	1.24960	0.05	0.50
10	0.04	1.19585	0.05	0.48
11	0.04	1.14970	0.05	0.45
12	0.04	1.10947	0.05	0.43
13	0.04	1.07395	0.05	0.41
14	0.04	1.04227	0.04	0.39
15	0.04	1.01377	0.04	0.38
16	0.04	0.98792	0.04	0.36
17	0.04	0.96434	0.04	0.35
18	0.04	0.94269	0.04	0.33
19	0.04	0.92272	0.04	0.32
20	0.04	0.90422	0.04	0.31
21	0.04	0.88701	0.04	0.30
22	0.04	0.87094	0.04	0.28
23	0.04	0.85588	0.04	0.27
24	0.04	0.84174	0.04	0.26
25	0.04	0.82842	0.04	0.25
26	0.04	0.81583	0.03	0.25
27	0.04	0.80392	0.03	0.24
28	0.04	0.79263	0.03	0.23
29	0.04	0.78189	0.03	0.22
30	0.04	0.77167	0.03	0.21
31	0.04	0.76192	0.03	0.21
32	0.04	0.75260	0.03	0.20

33	0.04	0.74369	0.03	0.19
34	0.04	0.73516	0.03	0.19
35	0.04	0.72697	0.03	0.18
36	0.04	0.71911	0.03	0.18
37	0.04	0.71155	0.03	0.17
38	0.04	0.70427	0.03	0.17
39	0.04	0.69726	0.03	0.16
40	0.04	0.69049	0.03	0.16
41	0.04	0.68396	0.03	0.15
42	0.04	0.67766	0.03	0.15
43	0.04	0.67156	0.03	0.14
44	0.04	0.66565	0.03	0.14
45	0.04	0.65993	0.03	0.14
46	0.04	0.65439	0.03	0.13
47	0.04	0.64901	0.03	0.13
48	0.04	0.64380	0.03	0.13
49	0.04	0.63873	0.03	0.12
50	0.04	0.63380	0.03	0.12
51	0.04	0.62902	0.03	0.12
52	0.04	0.62436	0.03	0.11
53	0.04	0.61982	0.03	0.11
54	0.04	0.61541	0.03	0.11
55	0.04	0.61110	0.03	0.10
56	0.04	0.60691	0.03	0.10
57	0.04	0.60282	0.03	0.10
58	0.04	0.59882	0.03	0.10
59	0.04	0.59493	0.03	0.09
60	0.04	0.59112	0.03	0.09
61	0.04	0.58740	0.03	0.09
62	0.04	0.58377	0.02	0.09
63	0.04	0.58022	0.02	0.08
64	0.04	0.57674	0.02	0.08
65	0.04	0.57334	0.02	0.08
66	0.04	0.57001	0.02	0.08
67	0.04	0.56676	0.02	0.08
68	0.04	0.56356	0.02	0.07
69	0.04	0.56044	0.02	0.07
70	0.04	0.55737	0.02	0.07
71	0.04	0.55437	0.02	0.07
72	0.04	0.55143	0.02	0.07
73	0.04	0.54854	0.02	0.07
74	0.04	0.54570	0.02	0.06

75	0.04	0.54292	0.02	0.06
76	0.04	0.54019	0.02	0.06
77	0.04	0.53751	0.02	0.06
78	0.04	0.53488	0.02	0.06
79	0.04	0.53230	0.02	0.06
80	0.04	0.52976	0.02	0.06
81	0.04	0.52726	0.02	0.06
82	0.04	0.52480	0.02	0.05
83	0.04	0.52239	0.02	0.05
84	0.04	0.52002	0.02	0.05
85	0.04	0.51769	0.02	0.05
86	0.04	0.51539	0.02	0.05
87	0.04	0.51313	0.02	0.05
88	0.04	0.51091	0.02	0.05
89	0.04	0.50872	0.02	0.05
90	0.04	0.50657	0.02	0.05
91	0.04	0.50444	0.02	0.04
92	0.04	0.50236	0.02	0.04
93	0.04	0.50030	0.02	0.04
94	0.04	0.49827	0.02	0.04
95	0.04	0.49627	0.02	0.04
96	0.04	0.49430	0.02	0.04
97	0.04	0.49236	0.02	0.04
98	0.04	0.49045	0.02	0.04
99	0.04	0.48857	0.02	0.04
100	0.04	0.48671	0.02	0.04

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN F

Data Hasil perhitungan Maintainability,availability,repair rate Komponen PV 240V

Distribusi TTR	Lambd a( $\lambda$ )	Gamm a( $\gamma$ )
Exponensial 2	12.33	0.08

Ti me	Maintaina bility		Availability					Repair Rate	
	$\mu$	$M(t)$	$\mu$	$\lambda(t) + \mu$	$\mu / (\lambda(t) + \mu)$	$\lambda(t) / (\lambda(t) + \mu)$	exp	$A(t)$	
0	12.3 3	0.0 0	12.328 70	12.328 70	1.00000	0.00000	0.291 45	1.000 00	12.33
1	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.671 51	0.97295	0.02705	0.000 00	0.972 95	12.33
2	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.443 47	0.99078	0.00922	0.000 00	0.990 78	12.33
3	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.418 07	0.99280	0.00720	0.000 00	0.992 80	12.33
4	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.405 71	0.99379	0.00621	0.000 00	0.993 79	12.33
5	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.397 94	0.99442	0.00558	0.000 00	0.994 42	12.33
6	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.392 44	0.99486	0.00514	0.000 00	0.994 86	12.33
7	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.388 26	0.99519	0.00481	0.000 00	0.995 19	12.33
8	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.384 94	0.99546	0.00454	0.000 00	0.995 46	12.33
9	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.382 20	0.99568	0.00432	0.000 00	0.995 68	12.33
10	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.379 90	0.99586	0.00414	0.000 00	0.995 86	12.33
11	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.377 93	0.99602	0.00398	0.000 00	0.996 02	12.33
12	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.376 20	0.99616	0.00384	0.000 00	0.996 16	12.33
13	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.374 68	0.99628	0.00372	0.000 00	0.996 28	12.33
14	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.373 33	0.99639	0.00361	0.000 00	0.996 39	12.33
15	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.372 11	0.99649	0.00351	0.000 00	0.996 49	12.33
16	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.371 00	0.99658	0.00342	0.000 00	0.996 58	12.33

17	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.369 99	0.99666	0.00334	0.000 00	0.996 66	12.33
18	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.369 06	0.99674	0.00326	0.000 00	0.996 74	12.33
19	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.368 21	0.99681	0.00319	0.000 00	0.996 81	12.33
20	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.367 42	0.99687	0.00313	0.000 00	0.996 87	12.33
21	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.366 68	0.99693	0.00307	0.000 00	0.996 93	12.33
22	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.365 99	0.99698	0.00302	0.000 00	0.996 98	12.33
23	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.365 35	0.99704	0.00296	0.000 00	0.997 04	12.33
24	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.364 74	0.99709	0.00291	0.000 00	0.997 09	12.33
25	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.364 17	0.99713	0.00287	0.000 00	0.997 13	12.33
26	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.363 63	0.99717	0.00283	0.000 00	0.997 17	12.33
27	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.363 12	0.99722	0.00278	0.000 00	0.997 22	12.33
28	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.362 64	0.99725	0.00275	0.000 00	0.997 25	12.33
29	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.362 18	0.99729	0.00271	0.000 00	0.997 29	12.33
30	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.361 74	0.99733	0.00267	0.000 00	0.997 33	12.33
31	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.361 32	0.99736	0.00264	0.000 00	0.997 36	12.33
32	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.360 92	0.99739	0.00261	0.000 00	0.997 39	12.33
33	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.360 54	0.99742	0.00258	0.000 00	0.997 42	12.33
34	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.360 18	0.99745	0.00255	0.000 00	0.997 45	12.33
35	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.359 83	0.99748	0.00252	0.000 00	0.997 48	12.33
36	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.359 49	0.99751	0.00249	0.000 00	0.997 51	12.33
37	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.359 17	0.99753	0.00247	0.000 00	0.997 53	12.33
38	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.358 85	0.99756	0.00244	0.000 00	0.997 56	12.33
39	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.358 55	0.99758	0.00242	0.000 00	0.997 58	12.33
40	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.358 26	0.99761	0.00239	0.000 00	0.997 61	12.33

41	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.357 99	0.99763	0.00237	0.000 00	0.997 63	12.33
42	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.357 72	0.99765	0.00235	0.000 00	0.997 65	12.33
43	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.357 45	0.99767	0.00233	0.000 00	0.997 67	12.33
44	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.357 20	0.99769	0.00231	0.000 00	0.997 69	12.33
45	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.356 96	0.99771	0.00229	0.000 00	0.997 71	12.33
46	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.356 72	0.99773	0.00227	0.000 00	0.997 73	12.33
47	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.356 49	0.99775	0.00225	0.000 00	0.997 75	12.33
48	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.356 27	0.99777	0.00223	0.000 00	0.997 77	12.33
49	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.356 05	0.99779	0.00221	0.000 00	0.997 79	12.33
50	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.355 84	0.99780	0.00220	0.000 00	0.997 80	12.33
51	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.355 63	0.99782	0.00218	0.000 00	0.997 82	12.33
52	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.355 43	0.99784	0.00216	0.000 00	0.997 84	12.33
53	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.355 24	0.99785	0.00215	0.000 00	0.997 85	12.33
54	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.355 05	0.99787	0.00213	0.000 00	0.997 87	12.33
55	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 87	0.99788	0.00212	0.000 00	0.997 88	12.33
56	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 69	0.99790	0.00210	0.000 00	0.997 90	12.33
57	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 51	0.99791	0.00209	0.000 00	0.997 91	12.33
58	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 34	0.99792	0.00208	0.000 00	0.997 92	12.33
59	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 17	0.99794	0.00206	0.000 00	0.997 94	12.33
60	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.354 01	0.99795	0.00205	0.000 00	0.997 95	12.33
61	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 85	0.99796	0.00204	0.000 00	0.997 96	12.33
62	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 70	0.99798	0.00202	0.000 00	0.997 98	12.33
63	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 54	0.99799	0.00201	0.000 00	0.997 99	12.33
64	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 39	0.99800	0.00200	0.000 00	0.998 00	12.33

65	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 25	0.99801	0.00199	0.000 00	0.998 01	12.33
66	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.353 11	0.99802	0.00198	0.000 00	0.998 02	12.33
67	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 97	0.99804	0.00196	0.000 00	0.998 04	12.33
68	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 83	0.99805	0.00195	0.000 00	0.998 05	12.33
69	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 70	0.99806	0.00194	0.000 00	0.998 06	12.33
70	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 56	0.99807	0.00193	0.000 00	0.998 07	12.33
71	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 44	0.99808	0.00192	0.000 00	0.998 08	12.33
72	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 31	0.99809	0.00191	0.000 00	0.998 09	12.33
73	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 19	0.99810	0.00190	0.000 00	0.998 10	12.33
74	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.352 07	0.99811	0.00189	0.000 00	0.998 11	12.33
75	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 95	0.99812	0.00188	0.000 00	0.998 12	12.33
76	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 83	0.99813	0.00187	0.000 00	0.998 13	12.33
77	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 71	0.99814	0.00186	0.000 00	0.998 14	12.33
78	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 60	0.99815	0.00185	0.000 00	0.998 15	12.33
79	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 49	0.99815	0.00185	0.000 00	0.998 15	12.33
80	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 38	0.99816	0.00184	0.000 00	0.998 16	12.33
81	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 28	0.99817	0.00183	0.000 00	0.998 17	12.33
82	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 17	0.99818	0.00182	0.000 00	0.998 18	12.33
83	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.351 07	0.99819	0.00181	0.000 00	0.998 19	12.33
84	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 97	0.99820	0.00180	0.000 00	0.998 20	12.33
85	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 87	0.99821	0.00179	0.000 00	0.998 21	12.33
86	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 77	0.99821	0.00179	0.000 00	0.998 21	12.33
87	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 67	0.99822	0.00178	0.000 00	0.998 22	12.33
88	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 58	0.99823	0.00177	0.000 00	0.998 23	12.33

89	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 48	0.99824	0.00176	0.000 00	0.998 24	12.33
90	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 39	0.99824	0.00176	0.000 00	0.998 24	12.33
91	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 30	0.99825	0.00175	0.000 00	0.998 25	12.33
92	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 21	0.99826	0.00174	0.000 00	0.998 26	12.33
93	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 12	0.99827	0.00173	0.000 00	0.998 27	12.33
94	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.350 03	0.99827	0.00173	0.000 00	0.998 27	12.33
95	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 95	0.99828	0.00172	0.000 00	0.998 28	12.33
96	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 86	0.99829	0.00171	0.000 00	0.998 29	12.33
97	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 78	0.99829	0.00171	0.000 00	0.998 29	12.33
98	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 70	0.99830	0.00170	0.000 00	0.998 30	12.33
99	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 62	0.99831	0.00169	0.000 00	0.998 31	12.33
100	12.3 3	1.0 0	12.328 70	12.349 54	0.99831	0.00169	0.000 00	0.998 31	12.33

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN G

Data Perhitungan Preventive Maintenance komponen PV 240 V

Distribusi TTF	Beta ( $\beta$ )	Eta( $\eta$ )	Gamma( $\gamma$ )	T (0.55)
Weibull 3	0.62	14.58	0.94	7.33667

(t - nT)	n	T baru	R(t)	R(t - nT)	Rm(t)
0	0	0	1	1	1
0.9425	0	0.9425	1	1	1
1	0	1	0.968915	0.9689145	0.968915
2	0	2	0.823302	0.823302	0.823302
3	0	3	0.744846	0.7448465	0.744846
4	0	4	0.685775	0.6857751	0.685775
5	0	5	0.637579	0.6375788	0.637579
6	0	6	0.596648	0.5966485	0.596648
7	0	7	0.561025	0.5610252	0.561025
7.33667	0	7.33667	0.55	0.55	0.55
0.9425	1	7.34	0.55	1	0.55
1	1	7.39	0.548161	0.9689145	0.532903
2	1	8.39	0.518006	0.823302	0.452816
3	1	9.39	0.490879	0.7448465	0.409666
4	1	10.39	0.466265	0.6857751	0.377176
5	1	11.39	0.443777	0.6375788	0.350668
6	1	12.39	0.423112	0.5966485	0.328157
7	1	13.39	0.404032	0.5610252	0.308564
7.33667	1	13.73	0.39793	0.55	0.3025
0.9425	2	13.73	0.39793	1	0.3025
1	2	13.79	0.396903	0.9689145	0.293097
2	2	14.79	0.379716	0.823302	0.249049
3	2	15.79	0.363705	0.7448465	0.225316
4	2	16.79	0.348745	0.6857751	0.207447
5	2	17.79	0.334729	0.6375788	0.192868
6	2	18.79	0.321568	0.5966485	0.180486
7	2	19.79	0.309183	0.5610252	0.16971
7.33667	2	20.13	0.305176	0.55	0.166375
0.9425	3	20.13	0.305176	1	0.166375
1	3	20.18	0.304499	0.9689145	0.161203
2	3	21.18	0.293084	0.823302	0.136977
3	3	22.18	0.282295	0.7448465	0.123924

4	3	23.18	0.272083	0.6857751	0.114096
5	3	24.18	0.262401	0.6375788	0.106077
6	3	25.18	0.253212	0.5966485	0.099267
7	3	26.18	0.244478	0.5610252	0.093341
7.33667	3	26.52	0.241635	0.55	0.091506
0.9425	4	26.52	0.241635	1	0.091506
1	4	26.58	0.241154	0.9689145	0.088662
2	4	27.58	0.233003	0.823302	0.075337
3	4	28.58	0.225236	0.7448465	0.068158
4	4	29.58	0.217827	0.6857751	0.062753
5	4	30.58	0.210755	0.6375788	0.058342
6	4	31.58	0.203996	0.5966485	0.054597
7	4	32.58	0.197533	0.5610252	0.051337
7.33667	4	32.91	0.195421	0.55	0.050328
0.9425	5	32.91	0.195421	1	0.050328
1	5	32.97	0.195063	0.9689145	0.048764
2	5	33.97	0.188982	0.823302	0.041436
3	5	34.97	0.183157	0.7448465	0.037487
4	5	35.97	0.177572	0.6857751	0.034514
5	5	36.97	0.172214	0.6375788	0.032088
6	5	37.97	0.167071	0.5966485	0.030028
7	5	38.97	0.162132	0.5610252	0.028236
7.33667	5	39.31	0.160512	0.55	0.027681
0.9425	6	39.31	0.160512	1	0.027681
1	6	39.37	0.160238	0.9689145	0.02682
2	6	40.37	0.155564	0.823302	0.02279
3	6	41.37	0.151069	0.7448465	0.020618
4	6	42.37	0.146743	0.6857751	0.018983
5	6	43.37	0.142579	0.6375788	0.017649
6	6	44.37	0.138568	0.5966485	0.016516
7	6	45.37	0.134703	0.5610252	0.01553
7.33667	6	45.70	0.133433	0.55	0.015224
0.9425	7	45.70	0.133433	1	0.015224
1	7	45.76	0.133218	0.9689145	0.014751
2	7	46.76	0.129545	0.823302	0.012534
3	7	47.76	0.126002	0.7448465	0.01134
4	7	48.76	0.122583	0.6857751	0.01044
5	7	49.76	0.119282	0.6375788	0.009707
6	7	50.76	0.116095	0.5966485	0.009084
7	7	51.76	0.113016	0.5610252	0.008541
7.33667	7	52.10	0.112003	0.55	0.008373
0.9425	8	52.10	0.112003	1	0.008373

1	8	52.15	0.111831	0.9689145	0.008113
2	8	53.15	0.108895	0.823302	0.006894
3	8	54.15	0.106056	0.7448465	0.006237
4	8	55.15	0.10331	0.6857751	0.005742
5	8	56.15	0.100654	0.6375788	0.005339
6	8	57.15	0.098084	0.5966485	0.004996
7	8	58.15	0.095595	0.5610252	0.004698
7.33667	8	58.49	0.094775	0.55	0.004605
0.9425	9	58.49	0.094775	1	0.004605
1	9	58.55	0.094636	0.9689145	0.004462
2	9	59.55	0.092257	0.823302	0.003792
3	9	60.55	0.089951	0.7448465	0.00343
4	9	61.55	0.087718	0.6857751	0.003158
5	9	62.55	0.085553	0.6375788	0.002936
6	9	63.55	0.083455	0.5966485	0.002748
7	9	64.55	0.08142	0.5610252	0.002584
7.33667	9	64.88	0.080748	0.55	0.002533

$$R(t) = \exp \left\{ - \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right\}$$

$$R_m(t) = 0.55^n \cdot R(t - nT)$$

Perhitungan interval waktu Preventive maintenance PV 240 V

$$R(0.55) = \exp \left[ - \frac{t-0.94}{14.58} \right]^{0.62}$$

$$-\ln 0.55 = \left[ - \frac{t-0.94}{14.58} \right]^{0.62}$$

$$\frac{t-0.94}{14.58} = (-\ln 0.55)^{1/0.62}$$

$$t = (-\ln 0.55)^{1/0.62} * 14.58 + 0.94$$

$$t = 7.33 \text{ hari}$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BIODATA PENULIS**



Penulis yang bernama lengkap Gilang Arif Budiman dan sering disapa Gilang, lahir di Surabaya pada tanggal 03 Januari 1996. Pada tahun 2008 penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SD Negeri Klegen 01 Madiun, kemudian pada tahun 2011 penulis menyelesaikan pendidikan di SMP Negeri 1 Madiun. lalu Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 2 Madiun, Setelah lulus melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 Teknik Fisika FTIRS di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kritik dan saran mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* gilafbiman@gmail.com.