



TESIS – PM 147501

***PREDICTIVE MAINTENANCE PADA CONTROL VALVE SEA WATER DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS TIME SERIES PADA PROSES DESALINASI PT PJB UP GRESIK***

IMAM RIDO RIARSO  
NRP.09211650015007

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng.)

**DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI  
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

**PREDICTIVE MAINTENANCE PADA CONTROL VALVE SEA  
WATER DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS TIME SERIES  
PADA PROSES DESALINASI PT PJB UP GRESIK**

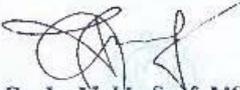
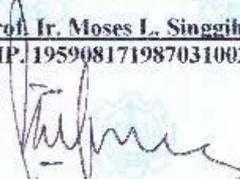
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**IMAM RIDO RIARSO**  
NRP. 09211650015007

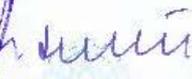
Tanggal Ujian : 21 Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

-   
1. **Dr. Ir. Mokh. Suf, MSc(Eng)**  
NIP. 196506301990031002 (Pembimbing)
-   
2. **Prof. Ir. Moses L. Singgih, MregSc., PhD**  
NIP. 195908171987031002 (Penguji)
-   
3. **Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc.**  
NIP. 195904301989031001 (Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi



  
**Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulvono, M.Eng.Sc**  
NIP. 19590331181987011001

***PREDICTIVE MAINTENANCE PADA CONTROL VALVE SEA WATER DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS TIME SERIES PADA PROSES DESALINASI PT PJB UP GRESIK***

Nama : Imam Rido Riarso  
NRP : 09211650015007  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng.)

**ABSTRAK**

Sebagai satu-satunya perusahaan BUMN yang memasok listrik ke PT PLN (persero), maka dari itu PT PJB harus bisa menghasilkan listrik setiap hari dengan kondisi yang prima. PT Pembangkitan Jawa Bali merupakan salah satu anak perusahaan dari PT PLN (persero) yang bergerak di bidang pembangkit listrik. *Control Valve sea water* berfungsi untuk mengatur jumlah volume air laut yang masuk ke dalam proses desalinasi. Karena kondisi *control valve* yang sudah tua, maka semakin sering terjadi kerusakan yang akan mempengaruhi proses pendinginan pembangkit listrik. Kerusakan ini akan sangat merugikan perusahaan. Untuk mengantisipasi kerusakan tersebut, perusahaan perlu memprediksi kapan *control valve* tersebut akan rusak. Penelitian ini akan membantu perusahaan dalam membuat rencana pemeliharaan *control valve* dengan menggunakan *Predictive Maintenance*. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data inspeksi yang dilanjutkan dengan analisa *time series*. Terjadinya kerusakan akan diprediksi dengan memanfaatkan hasil *time series* dan membandingkannya dengan standar kebutuhan air pendingin pembangkit listrik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model yang sesuai adalah ARIMA (1,0,0). Dengan model ini, maka dapat menentukan kebijakan untuk membatasi alarm pelaksanaan pemeliharaan dengan menggunakan batas yang sudah ditentukan dari perhitungan sigma. Sehingga perawatan harus dilakukan bila air yang masuk kurang dari 239 ton/jam.

**Kata Kunci:** *Control Valve, Time Series, Predictive Maintenance, Kerusakan.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***PREDICTIVE MAINTENANCE ON CONTROL VALVE SEA  
WATER USING TIME SERIES ANALYSIS IN DESALINATION  
PROCESS PT PJB UP GRESIK***

*Name* : Imam Rido Riarso  
*NRP* : 09211650015007  
*Supervisor* : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng.)

***ABSTRACT***

*As the only state-owned company supplying electricity to PT PLN (Persero), PT PJB should be able to generate electricity every day with excellent performance. PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB), which is one of the subsidiaries of PT PLN (Persero) engaged in the power plant. Control Valve sea water serves to regulate the volume of sea water that goes into the desalination process. Due to the condition of the old control valve, the more frequent damage will affect the cooling process of the power plant. This damage will be very detrimental to the company. To anticipate the damage, companies need to predict when the control valve will be damaged. This research will help the company in making control valve maintenance plan by using Predictive Maintenance. This research begins by collecting inspection data followed by time series analysis. The results of this study indicate that the corresponding model is ARIMA (1,0,0). With this model, it can determine the policy to limit the alarms of the maintenance implementation by using a predetermined limit of sigma calculations. So the treatment must be done when the water that entered less than 239 tons / hour.*

***Keywords:*** *Control Valve, Time Series, Predictive Maintenance, Damage.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis yang berjudul : **“*Predictive Maintenance Pada Control Valve Sea Water Dengan Menggunakan Analisis Time Series Pada Proses Desalinasi PT PJB UP Gresik*”**. Pada kesempatan ini, penulis ingin secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Ir. I Nyoman Pujawan., M.Eng., Ph.D., CSCP. Selaku Kepala Departemen MMT-ITS
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suf, M.Sc. (Eng.) selaku dosen pembimbing yang selalu mendorong dan membimbing selama penulisan Tesis ini.
3. Bapak Prof. Ir. Moses L. Singgih, MregSc., PhD, Bapak Ir. Budi Santosa, MS, PhD dan Bapak Dr. Ir. Bustanul Arifin, M.Sc. selaku dosen penguji
4. Seluruh Dosen dan segenap karyawan MMT ITS.
5. Rekan-rekan Manajemen Industri MMT ITS Angkatan 2016 (semester ganjil)
6. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung yang penulis tidak bias sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari penulisan Tesis ini masih jauh dari sempurna sehingga perlu mendapatkan kritik, saran yang membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga penulisan tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk kemajuan Ilmu Pengetahuan.

Surabaya, 24 Juli 2018

**Penulis**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan dan Asumsi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>7</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Proses Desalinasi .....	7
2.2 <i>Control Valve</i> .....	9
2.3 <i>Maintenance</i> .....	13
2.4 Distribusi Umur Peralatan .....	16
2.5 <i>Availability</i> .....	20
2.6 <i>Reliability</i> .....	20
2.7 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> .....	21
2.8 <i>Time Series</i> .....	22
2.8.1 Model ARIMA ( <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> ).....	25
2.8.2 Identifikasi Model ARIMA.....	25
2.8.3 Estimasi Parameter Model ARIMA.....	28
2.8.4 Cek Diagnosa .....	29
2.8.5 Peramalan Model ARIMA .....	31
2.8.6 Kriteria Model Terbaik .....	31
2.9 <i>Total Maintenance Cost</i> .....	32

2.10	Karakteristik Kegagalan.....	32
2.11	Penelitian Terdahulu .....	34
<b>BAB III .....</b>		<b>35</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>35</b>
3.1	Jenis Penelitian.....	35
3.2	Lingkup Penelitian .....	35
3.3	Jenis Data .....	35
3.4	Identifikasi Masalah.....	36
3.5	Studi Pustaka.....	37
3.6	Tahap Implementasi <i>Time Series</i> .....	37
3.7	Tahap penentuan jadwal pemeliharaan sistem peralatan .....	37
<b>BAB IV .....</b>		<b>39</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>39</b>
4.1	Analisis Karakteristik Laju Debit Air .....	39
4.2	Penentuan Prediksi Signal Kerusakan Peralatan Di Proses Desalinasi.....	40
4.3	Analisis Nilai Reliabilitas <i>Control Valve</i> Dan Memprediksi Jadwal <i>Maintenance</i> Yang Sesuai.....	46
<b>BAB V .....</b>		<b>53</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>53</b>
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>55</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Control Valve Sea Water</i> .....	1
Gambar 1.2	Kurva <i>Bathub</i> .....	2
Gambar 2.1	<i>Single Flash Evaporator</i> Dengan Arah Pertukaran Panas.....	7
Gambar 2.2	<i>Multi Stage Flash Evaporator</i> Dengan 3 <i>Flash Evaporator</i> .....	8
Gambar 2.3	<i>Gate Valve</i> .....	10
Gambar 2.4	<i>Globe Valve</i> .....	11
Gambar 2.5	<i>Ball Valve</i> .....	11
Gambar 2.6	<i>Butterfly Valve</i> .....	12
Gambar 2.7	Tipe-tipe <i>Check Valve</i> .....	12
Gambar 2.8	Jenis <i>Relief Valve</i> .....	13
Gambar 2.9	Kurva P-F .....	14
Gambar 2.10	Jenis Pemeliharaan.....	15
Gambar 2.11	Kurva Distribusi <i>Weibull</i> .....	18
Gambar 2.12	Kurva Distribusi <i>Eksponensial</i> .....	19
Gambar 2.13	Data Pola Konstan .....	23
Gambar 2.14	Data Pola Trend.....	24
Gambar 2.15	Data Pola Musiman.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	36
Gambar 4.1	Plot Debit Air Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2016.....	38
Gambar 4.2	Time Series Plot Debit Air Pada Proses Desalinasi Periode Tahun 2016-2017.....	39
Gambar 4.3	<i>Box-Cox Plot</i> Debit Air Pada Proses Desalinasi Tahun 2016.....	40
Gambar 4.4	ACF Data Debit Air Pada Proses Desalinasi .....	40
Gambar 4.5	ACF dan PACF Data Debit Air Pada Proses Desalinasi .....	41
Gambar 4.6	Kurva <i>Skewness</i> Pada <i>Residual</i> Model ARIMA(1,0,0).....	42
Gambar 4.7	Garis Batas Signal Untuk Mendeteksi Kerusakan Peralatan Pada Proses Desalinasi Berdasarkan Laju Debit Air .....	44
Gambar 4.8	Penerapan Garis Batas Signal Data <i>Outsample</i> Pada Proses Desalinasi Berdasarkan Laju Debit Air .....	45
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Biaya <i>Preventive Maintenance</i> Dengan Biaya <i>Repair Maintenance</i> Pada Proses Desalinasi di PT PJB UP Gresik.....	50

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Gambar 2.1	Persamaan Transformasi <i>Box-Cox</i> .....	26
Gambar 2.2	Struktur ACF dan PACF Pada Model ARIMA $(p,d,q)$ .....	27
Gambar 2.3	Struktur ACF dan PACF Pada Model ARIMA $(P,D,Q)^S$ .....	27
Gambar 2.4	Penelitian Terdahulu .....	34
Gambar 4.1	Hasil Statistika Deskriptif Debit Air Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2016 .....	38
Gambar 4.2	Model <i>Time Series</i> Dugaan Pada Debit Air Pada Proses Desalinasi .....	41
Gambar 4.3	Hasil Uji Signifikansi Parameter Model.....	41
Gambar 4.4	Hasil Uji <i>White Noise</i> dan Kenormalan Residual Model ARIMA(1,0,0) .....	42
Gambar 4.5	MSE dari model ARIMA .....	43
Gambar 4.6	Signal Prediksi Kerusakan Peralatan Pada Proses Desalinasi.....	44
Gambar 4.7	Data Breakdown Pada Proses Desalinasi .....	45
Gambar 4.8	Biaya Peralatan Untuk <i>Preventive Maintenance</i> .....	47
Gambar 4.9	Biaya <i>Preventive Maintenance</i> Pada Proses Desalinasi .....	49
Gambar 4.10	Perbandingan Biaya Perawatan .....	50
Gambar 5.1	Signal Prediksi Berdasarkan Sigma Pada Proses Desalinasi .....	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

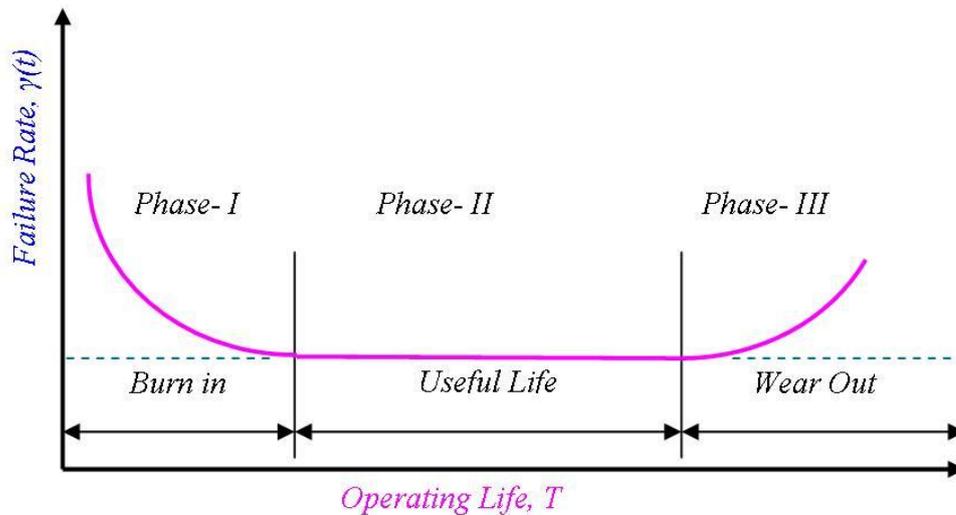
### 1.1 Latar Belakang

Di dalam pembangkitan listrik di PT PJB UP Gresik membutuhkan pasokan air tawar untuk membantu mendinginkan peralatan pembangkit. Banyak proses pendinginan yang terjadi dengan memanfaatkan air. Salah satu sumber air yang digunakan PT PJB UP Gresik adalah air laut. Air laut akan diproses dengan menggunakan metode desalinasi yaitu memisahkan garam yang terkandung dalam air laut untuk menjadi air tawar yang siap digunakan dalam proses pendinginan pembangkit listrik.



**Gambar 1.1** *Control Valve Sea Water*

*Control Valve sea water* seperti pada gambar 1.1, berfungsi untuk mengatur jumlah volume air laut yang masuk ke dalam proses desalinasi. Karena kondisi *control valve* sudah lama difungsikan atau masuk kategori *aging time* maka semakin sering terjadi kerusakan di bagian *control valve* dan akan mempengaruhi pada proses pendinginan pembangkit listrik. *Control valve* yang sudah tua akan memasuki fase III seperti ditunjukkan pada gambar 1.2. Laju kerusakan (*failure rate*) *control valve* makin lama akan semakin tinggi.



**Gambar 1.2** Kurva *Bathtub*

Karena kondisi *control valve* yang sudah tua, maka semakin sering terjadi kerusakan yang akan mempengaruhi proses pendinginan pembangkit listrik. Sering terjadi kerusakan *control valve* sebelum jadwal *preventive maintenance* tiba. Kerusakan ini akan sangat merugikan perusahaan, untuk mengantisipasi kerusakan tersebut perusahaan perlu memprediksi kapan *control valve* tersebut akan rusak. Oleh sebab itu perlu dilakukan rekomendasi dalam menentukan keputusan pemeliharaan peralatan supaya lebih efisien dan sesuai agar keandalan komponen pada proses *control valve*.

Pemeliharaan saat ini yang dilakukan oleh PT PJB UP Gresik adalah *Preventive Maintenance*, *Predictive Maintenance* dan *Corrective Maintenance*. Untuk *Corrective Maintenance* terdapat 2 jenis pemeliharaan yaitu terencana *Overhaul* secara periodik dan *Breakdown*. Dari jenis pemeliharaan di atas, *Control Valve* menggunakan jenis pemeliharaan *Corrective Maintenance* dan *Preventive Maintenance*, namun belum menerapkan *Predictive Maintenance*. Dalam hal ini perlu dianalisa lebih dalam karena gangguan sudah banyak dan sering terjadi dengan cara mengoptimalkan pemeliharaan untuk menjaga keandalan *Control Valve* di proses desalinasi PT PJB UP Gresik. *Predictive Maintenance*, pada prinsipnya juga tergolong dalam kegiatan *Predictive Maintenance*, namun pelaksanaan pemeliharannya tidak dilakukan secara periodik melainkan berdasarkan prediksi keadaan peralatan dan nilai ambang sebuah peralatan tidak diijinkan untuk

beroperasi. *Predictive Maintenance* adalah suatu proses pemeliharaan peralatan yang melibatkan keahlian manusia dan membutuhkan teknologi untuk menggabungkan semua data dan performa, *maintenance histories*, data operasi dan desain dalam membuat keputusan kapan harus melakukan tindakan pemeliharaan pada peralatan (Bradley, 2001). *Predictive Maintenance* bisa menanggulangi kerusakan yang tidak terencana, meningkatkan umur mesin dan bisa membuat *preventive maintenance* lebih akurat. Terjadinya kerusakan akan diprediksi dengan melihat debit air yang masuk ke proses desalinasi. Kerusakan pada peralatan dipengaruhi dengan jumlah debit air masuk pada proses desalinasi, sehingga dengan melihat data *history* debit air yang masuk maka bisa menjadi acuan dalam memperkirakan kerusakan yang terjadi pada *control valve*. *Time series* adalah metode analisis dengan menggunakan deret waktu ini umumnya digunakan dalam meramalkan keadaan di masa depan dengan memanfaatkan informasi yang diperoleh pada waktu sebelumnya (Wei, 2006). Dengan melihat model dari analisis *time series* maka kita dapat memprediksi pola debit air, apabila semakin turun debit air sampai mendekati batas yang sudah ditetapkan oleh perusahaan untuk *breakdown* maka perlu dilakukan signal tambahan sebelum terjadinya *breakdown* untuk perawatan sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih fatal dan bisa menyebabkan semua proses pembangkitan menjadi terhambat. Banyak kerugian yang akan ditanggung oleh perusahaan apabila proses desalinasi mengalami rusak berat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana membuat prediksi terhadap kerusakan sebuah peralatan (*control valve*) sehingga dapat direncanakan tindakan perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang akan merugikan perusahaan. Rincian masalah tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dari debit air yang masuk pada proses desalinasi?
2. Bagaimana menentukan signal yang dapat dideteksi yang menunjukkan adanya kerusakan peralatan di proses desalinasi?
3. Bagaimana melakukan optimalisasi jadwal *maintenance* yang sesuai?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah penelitian yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik debit air yang masuk pada proses desalinasi.
2. Menentukan signal yang dapat dideteksi yang menunjukkan adanya kerusakan peralatan di proses desalinasi
3. Melakukan optimalisasi jadwal *maintenance* yang sesuai.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Mengetahui batas signal kerusakan pada debit air di proses desalinasi.
2. Mengetahui jadwal pemeliharaan yang optimal pada proses desalinasi.

### **1.5 Batasan dan Asumsi Penelitian**

Agar penelitian ini lebih mudah dan terfokus maka perlu diberikan batasan dan asumsi dalam pembahasan masalah.

Batasan masalah penelitian ini yaitu:

1. Metode yang digunakan untuk memprediksi jadwal pemeliharaan pada *control valve* adalah *time series*.
2. Data yang akan dijadikan input pada tahap analisa adalah data biaya kerusakan peralatan mulai tahun 2017 dan debit air mulai tahun 2016 hingga tahun 2017.

Asumsi dalam penelitian ini adalah:

1. *Control valve* yang diteliti dianggap serba sama (homogen).
2. Karakteristik kerusakan dari seluruh *control valve* dianggap sama.
3. Penyebab kerusakan terhadap semua *control valve* yang dimiliki oleh perusahaan dianggap sama.

### **1.6 Sistematika Penelitian**

Penulis membuat uraian penjelasan secara garis besar disetiap bab didalam penelitian ini untuk memudahkan pengertian yang dibahas didalam penelitian ini, yaitu:

## BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang pemilihan topik *predictive maintenance* dengan menggunakan metode *time series* pada pemeliharaan di proses desalinasi, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, asumsi penelitian dan sistematika penelitian

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang landasan-landasan teori yang berkaitan dengan topik penyusunan penelitian ini. Didalamnya melingkupi teori-teori proses desalinasi, *time series*, dan *time maintenance cost*.

## BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan didalam penelitian ini. Dan juga berisi langkah-langkah penyelesaian permasalahan didalam penelitian ini.

## BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Membahas mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian. Pengumpulan data sekunder, sedangkan pengolahan data dengan metode *time series* dan reliabilitas dari *predictive maintenance*.

## BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI

Melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pada bagian ini juga menjelaskan penentuan jadwal pemeliharaan yang dapat digunakan untuk PT. PJB UP Gresik.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Menjelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya yaitu menjelaskan hasil analisa yang dapat diterapkan

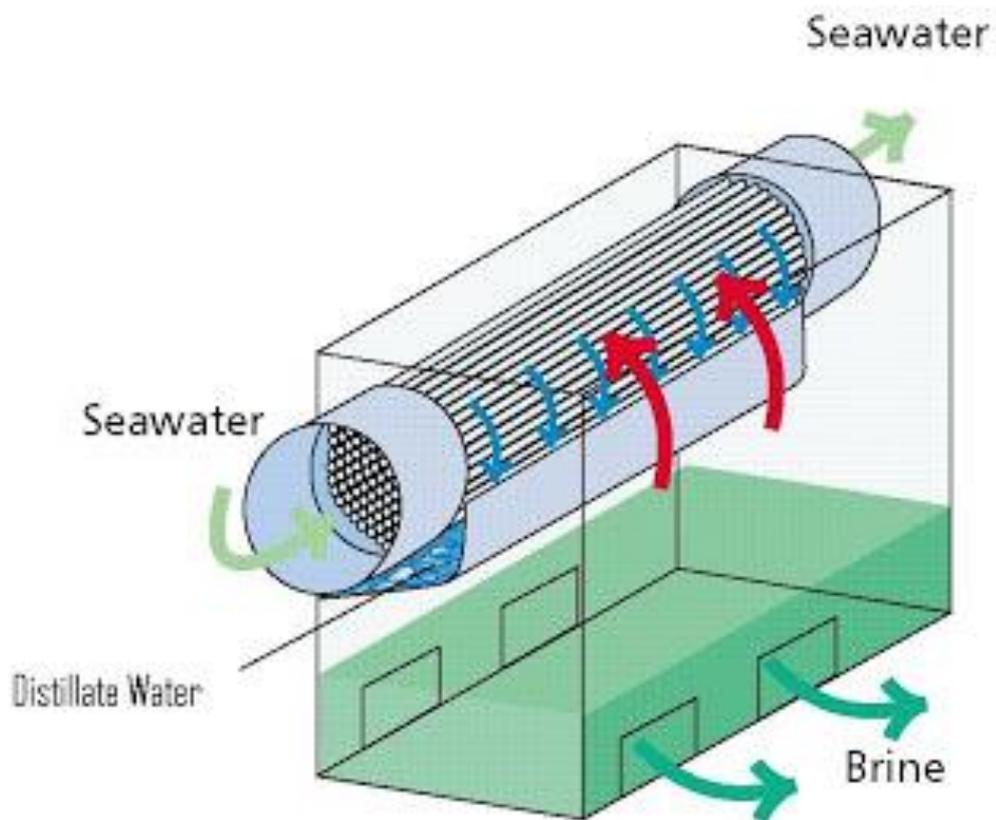
PT. PJB UP Gresik dalam penjadwalan pemeliharaan di proses desalinasi.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Proses Desalinasi

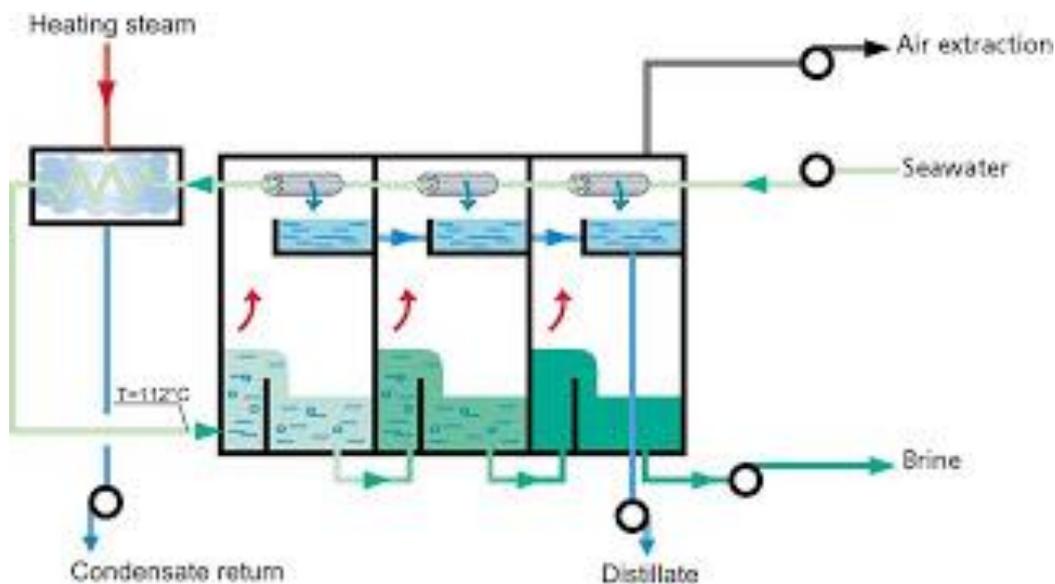
*Desalination* dalam bahasa Inggris atau desalinasi dalam bahasa Indonesia memiliki makna secara harafiah adalah proses pemisahan kandungan garam (*de salt*), dimana produk dari proses desalinasi adalah air tawar (*fresh water*), seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Ada banyak metode yang digunakan pada proses desalinasi ini, diantaranya : destilasi, dan osmosis, kedua metode tersebut adalah metode yang paling banyak digunakan. Dalam laporan ini akan diterangkan proses desalinasi dengan metode destilasi. Secara umum dapat diterangkan beberapa tahap dari proses desalinasi, yaitu :



**Gambar 2.1** *Single Flash Evaporator* Dengan Arah Pertukaran Panas

- **Vaccum up**

Adalah proses penarikan udara keluar dari suatu ruangan (*chamber*), dalam proses desalinasi atau *desalt plant*, keadaan *vaccum* merupakan hal penting yang pertama dilakukan, dimana bagian yang mengalami proses *vaccum up* adalah : evaporator *chamber* dan *brine heater chamber*. Adapun maksud di lakukan *vaccum up* adalah untuk mempercepat proses terbentuknya uap atau vapor, karena titik didih pada tekanan rendah (*vaccum*) adalah lebih rendah daripada titik didih pada ruang bertekanan.



**Gambar 2.2** Multi Stage Flash Evaporator Dengan 3 Flash Evaporator

- **Evaporasi**

Evaporasi adalah proses penguapan dalam hal ini adalah air laut, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Sedangkan air laut adalah suatu campuran NaCl + H<sub>2</sub>O + mineral lain. Pada proses ini dilakukan pemanasan dengan suatu *heater* pada titik didih H<sub>2</sub>O. Beberapa komponen penyusun air laut diantaranya NaCl memiliki titik didih lebih tinggi dari H<sub>2</sub>O, sehingga pada tahapan evaporasi (penguapan) yang terjadi hanyalah H<sub>2</sub>O.

- **Drainasi**

Yaitu proses pembuangan komponen air laut yang tidak terevaporasi ke sistem pembuangan (*Brine blow down*).

- **Desalinasi dengan *flash evaporator***

*Flash evaporator* adalah suatu alat yang digunakan untuk menguapkan suatu fluida cair dalam hal ini air laut, dengan tekanan rendah, sehingga pada tekanan rendah tersebut diharapkan terjadi penguapan lebih cepat.

- ***Multi stage flash evaporator***

Pada *flash evaporator*, jika terlalu banyak komponen yang tidak menguap atau yang akan dibuang (*drain*) akan menyebabkan kerugian panas yang ikut terbuang. Untuk mengurangi kerugian panas ini, maka diterapkan sistem *multi stage flash evaporator*, yaitu sistem aliran seri bertingkat. Sistem ini dimaksudkan agar panas yang diserap oleh air laut (*brine*) dari *heater* bisa efisien (temperature  $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ), dengan cara pertukaran panas, yaitu evaporator melepas panas untuk proses destilasi dan inlet air laut menyerap panas.

## **2.2 Control Valve**

*Valve* adalah sebuah peralatan mekanis untuk mengatur aliran fluida. Sejarah penggunaan *valve* berasal dari bangsa Mesir kuno dan Yunani yang menggunakan batu besar atau batang kayu untuk menahan aliran air sungai pada irigasi pertanian mereka. Penggunaan *valve* untuk industri mulai dipopulerkan oleh Chapman pada tahun 1882 yang membuat *valve* jenis *gate*.

Berdasarkan fungsinya, *valve* dapat dibagi ke dalam empat kelompok, yaitu:

1. Isolator (*blocking*)
2. Kontrol (*regulating*)
3. Pencegahan arus balik (*back flow*)
4. Membuang tekanan berlebih (*pressure relief*)

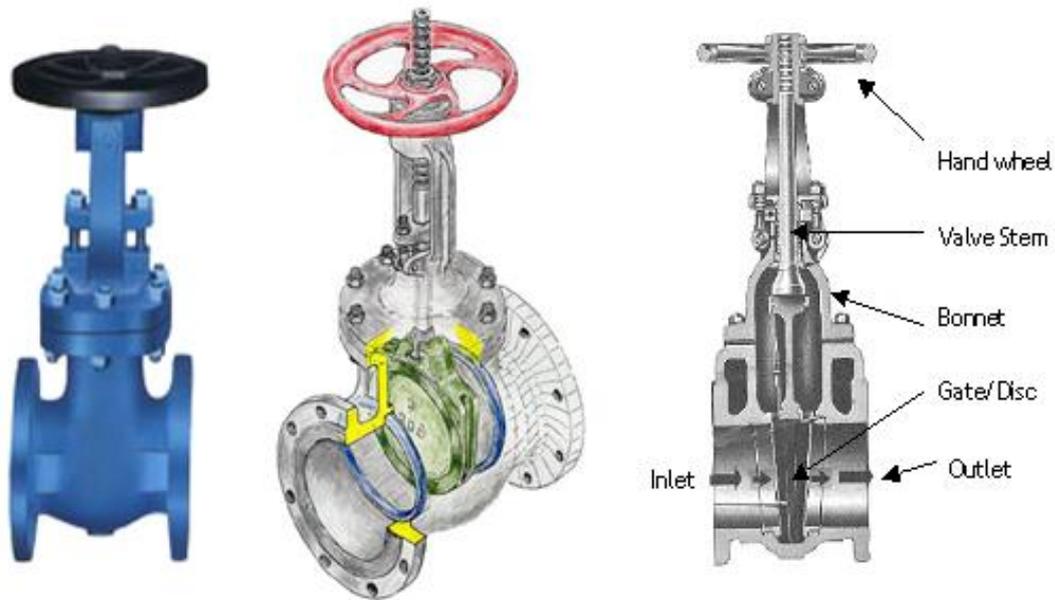
*Valve* memiliki berbagai variasi dan nama, tergantung pada pabrik pembuatnya. Namun demikian pengelompokkan secara umum dibuat berdasarkan fungsi dan komponen utama pada konstruksi *valve* tersebut.

### **a. Gate Valve**

*Valve* jenis ini paling banyak digunakan untuk aliran zat cair. Komponen utamanya adalah sebuah cakram (*disc/gate*) yang beroperasi menutup aliran

fluida secara tegak lurus. Karena gerak cakram berpotongan tegak lurus dengan arah aliran, maka *valve* jenis ini tidak sesuai untuk aplikasi kontrol.

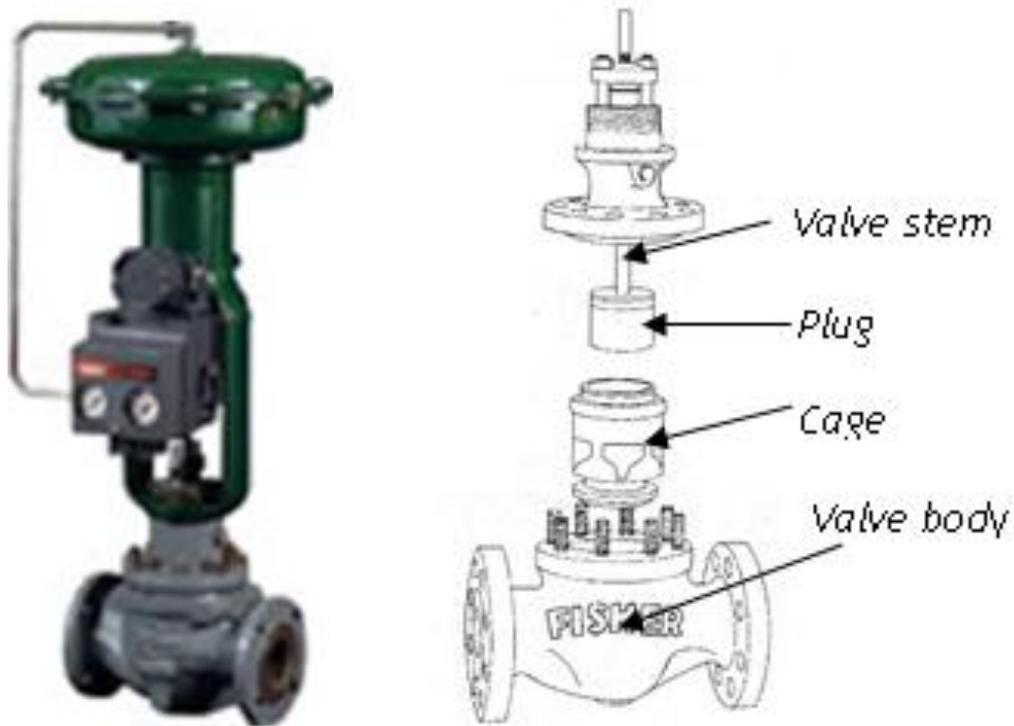
*Valve* ini sangat baik digunakan sebagai *valve* isolasi (*blocking valve*). Jika dibuka sebagian akan menimbulkan turbulensi pada aliran dan akan mengikis cakram maupun *body*. Biasanya dioperasikan secara manual menggunakan roda tangan (*handwheel*).



**Gambar 2.3** Gate Valve

*b. Globe Valve*

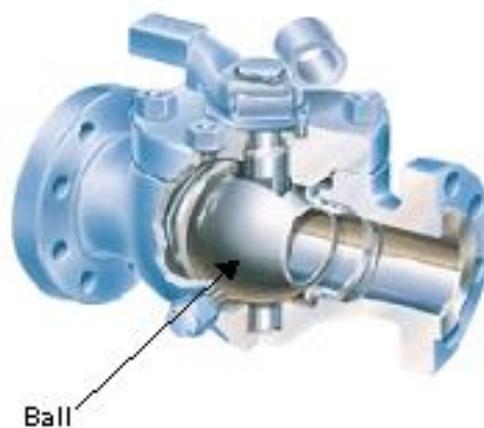
Namanya diperoleh karena umumnya berbentuk bundar (*globular*). Komponen utama sebuah *globe valve* adalah: *plug* dan *cage*. Kedudukan *plug* di dalam *cage* paralel dengan arah alir fluida sehingga *valve* ini sangat cocok digunakan sebagai regulator *valve* (*throttling*) dengan tingkat pengikisan yang minimal. Perawatannya juga relatif mudah, bahkan *globe valve* dapat diperbaiki tanpa perlu melepas keseluruhan *valve* dari jaringan pipa.



**Gambar 2.4** *Globe Valve*

c. *Globe Valve*

Komponen utamanya adalah sebuah bola lingkaran penuh atau bola dengan potongan “V” (*V ball*). Bekerja dengan cara berputar  $\frac{1}{4}$  putaran ketika membuka dan menutup. Mampu melewatkan aliran penuh dan hanya sedikit efek turbulensi membuatnya menjadi pilihan yang cocok untuk *valve* manual dan otomatis. Jika digunakan pada aplikasi yang tepat, akan mempunyai umur pemakaian yang relatif panjang.



**Gambar 2.5** *Ball Valve*

d. *Butterfly Valve*

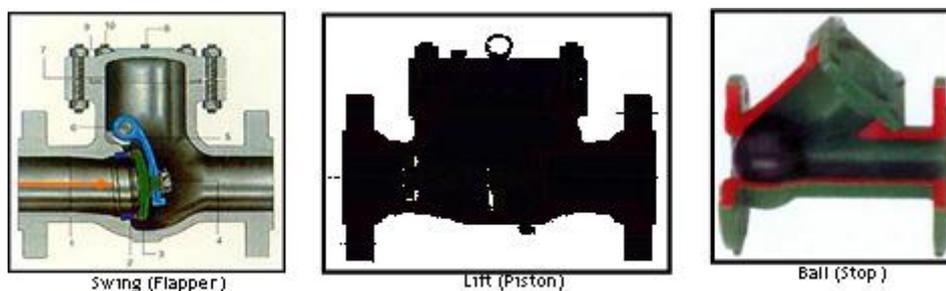
Terdiri dari sebuah cakram yang berputar  $\frac{1}{4}$  putaran untuk mengatur aliran fluida. Kelebihan yang utama adalah kemampuan menahan kebocoran (*shut off*) yang baik karena konstruksi cakram yang menutup rapat terhadap liner di sekeliling *body valve*. Dapat digunakan sebagai *throttling* dan *on/off control valve*.



**Gambar 2.6** *Butterfly Valve*

e. *Check Valve*

*Check valve* bergerak berdasarkan arah aliran fluida. Sesuai dengan fungsinya untuk melewatkan aliran ke satu arah, valve ini membuka karena adanya tekanan dan aliran fluida. *Valve* menutup karena gravitasi atau timbulnya tekanan balik (*back flow*). Secara umum terbagi dalam 3 jenis yaitu: *swing (flapper)*, *lift (piston)*, dan *ball (stop)*.



**Gambar 2.7** Tipe-tipe *Check Valve*

f. *Pressure Safety Valve*

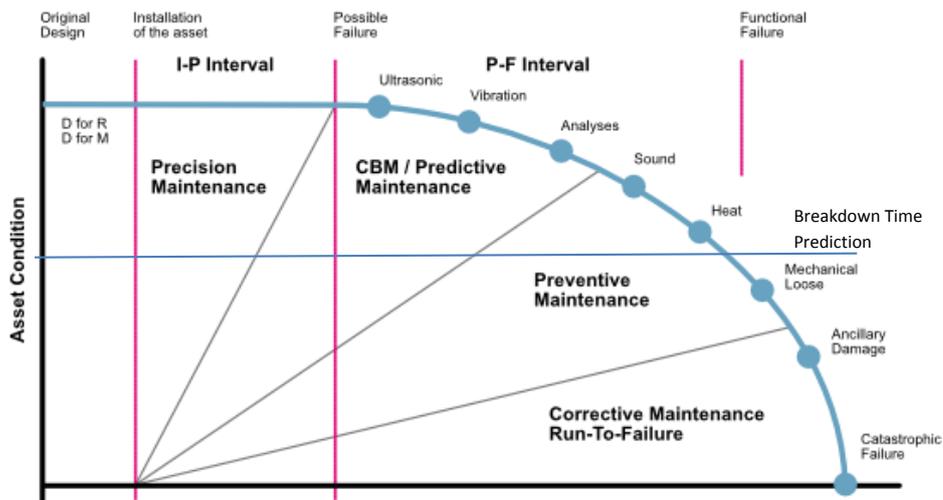
*Valve* ini bekerja dengan cara membuang kelebihan tekanan yang terjadi pada sebuah proses. *Valve* ini juga tidak membutuhkan *actuator* (*self actuated*), karena daya yang dibutuhkan untuk membuka berasal dari tekanan proses. Tekanan buka disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing proses dan kalibrasi dilakukan umumnya 1 tahun sekali.



**Gambar 2.8** Jenis *Relief Valve*

### **2.3 Maintenance**

*Maintenance* merupakan kegiatan pengecekan dan perbaikan fungsi suatu komponen agar dapat berfungsi dengan baik tanpa kegagalan yang terjadi dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Sedangkan definisi *maintenance* (Moubray, 1997) adalah memastikan suatu komponen dapat melakukan fungsinya. Secara umum *maintenance* dibagi menjadi 2 kategori yaitu *reactive maintance* dan *proactive maintenance*.



**Gambar 2.9** Kurva P-F

*reactive maintenance* dimana terdapat beberapa jenis pemeliharaan yaitu:

- *Corrective maintenance*  
Pemeliharaan yang dilakukan untuk mengembalikan fungsi kerja dari suatu komponen akibat mengalami kegagalan.
- *Breakdown Maintenance*  
Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebagai tindakan lanjutan dari *corrective maintenance* dengan cara menguji fungsi dari komponen yang mengalami kegagalan.  
Kategori ke 2 yaitu *proactive maintance* memiliki sejumlah pemeliharaan yaitu:
- *Preventive Maintenance*  
Pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah agar komponen tidak mengalami kegagalan dengan cara mengganti atau pengecekan ulang.  
Berikut adalah persamaan *preventive maintenance* (Ebeling, 1997) :

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \quad (2.1)$$

Untuk  $nT \leq t \leq (n + 1)T$  dan  $n = 0, 1, 2, \text{ dst.}$

Dimana:

$R(T)^n$  = kemungkinan *reliability* sampai waktu pemeliharaan ke-n

$R(t - nT)$  = kemungkinan *reliability* untuk waktu  $t - nT$  dari target kondisi awalnya

- *Predictive Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan untuk memprediksi kapan kemungkinan suatu komponen akan mengalami kegagalan.

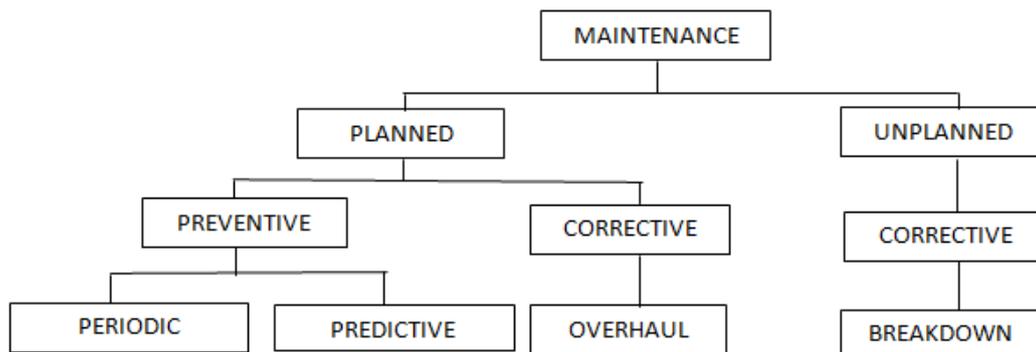
Kategori ke 2 dalam pemeliharaan adalah *reactive maintenance* dimana terdapat beberapa jenis pemeliharaan yaitu:

- *Corrective maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan untuk mengembalikan fungsi kerja dari suatu komponen akibat mengalami kegagalan.

- *Breakdown Maintenance*

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebagai tindakan lanjutan dari *corrective maintenance* dengan cara menguji fungsi dari komponen yang mengalami kegagalan.



**Gambar 2.10** Jenis Pemeliharaan

Dalam dunia teknik *predictive maintenance* adalah monitoring getaran dari perputaran mesin untuk mendeteksi masalah dan mencegah kegagalan yang akan terjadi. Selain itu juga memonitoring pada gambar *infrared* dari *switchgear*, motor dan peralatan elektrik lainnya untuk mendeteksi masalah yang berkembang. Pengertian lainnya *predictive maintenance* adalah pemantauan secara rutin dari kondisi mekanis yang aktual, operasi yang efisien dan indikator lainnya, sistem proses akan menyediakan data yang diperlukan untuk memastikan interval maksimum perbaikan dan meminimalkan jumlah biaya perawatan yang tidak direncanakan dari kegagalan proses.

*Predictive maintenance* adalah program perawatan pencegahan yang melihat kondisi. Dengan mengandalkan statistik rata-rata industri lebih dikenal *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk jadwal kegiatan pemeliharaan, *predictive maintenance* menggunakan pemantauan langsung dari kondisi mekanik, efisiensi sistem dan indikator lainnya untuk menentukan MTTF yang aktual atau hilangnya efisiensi untuk setiap mesin dan sistem yang sudah dijalankan. Keputusan terakhir dalam program *preventive* atau program *run to fail* pada perbaikan atau menjadwalkan kembali berdasarkan instuisi dan pengalaman pribadi dari manager *maintenance*. (Mobley, 2002)

Dalam *predictive maintenance* terdapat beberapa metode dalam pemantauan atau monitoring kondisi dari suatu peralatan produksi, antara lain:

1. Memonitoring minyak pelumas dengan cara mengambil sebuah sample oli dari peralatan produksi untuk mengecek tingkat kekentalannya/untuk melihat kualitas oli yang tersimpan di tangki oli.
2. Monitoring Visual Metode ini menggunakan pancaindra yang meliputi indra penglihatan, indra perasa, dan indra pendengaran guna mengetahui kondisi mesin.
3. Monitoring kinerja merupakan teknik dalam memonitoring kondisi mesin produksi dengan cara memeriksa dan mengukur parameter kinerja kemudian dibandingkan dengan standardnya.
4. Monitoring geometris diharapkan penyimpangan geometris yang terjadi pada peralatan produksi dapat kita ketahui dan dapat dilakukan kegiatan pengukuran leveling dan pengukuran posisi (*alignment*)
5. Monitoring getaran, pada monitoring ini memeriksa dan mengukur letak getaran secara rutin dan terus menerus.

#### **2.4 Distribusi Umur Peralatan**

Distribusi umur peralatan menjadi penentu perhitungan keandalan dari data kegagalan, maka sebelum diolah harus bisa menentukan distribusinya. Berikut beberapa distribusi untuk menentukan keandalan.

### 2.4.1 Distribusi Normal

*Distribusi normal* mempunyai 2 parameter yaitu rata – rata ( $\mu$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ). Fungsi padat peluangnya (*Probability density function*) adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

$\sigma$  = Deviasi Standar

$\mu$  = Rata – rata

- Fungsi keandalan *distribusi normal* adalah :

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.3)$$

- Laju Kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\exp \left[ -\left( \frac{t-\mu}{2\sigma} \right)^2 \right]}{\int_t^{\infty} \exp \left[ -\left( \frac{t-\mu}{2\sigma} \right)^2 \right] dt} \quad (2.4)$$

- MTBF dari distribusi normal adalah :

$$\text{MTBF} = \mu \quad (2.5)$$

### 2.4.2 Distribusi Weibull

Jika distribusi kerusakan suatu sistem, sub sistem atau komponen mengikuti distribusi *weibull*, maka padat peluangnya adalah :

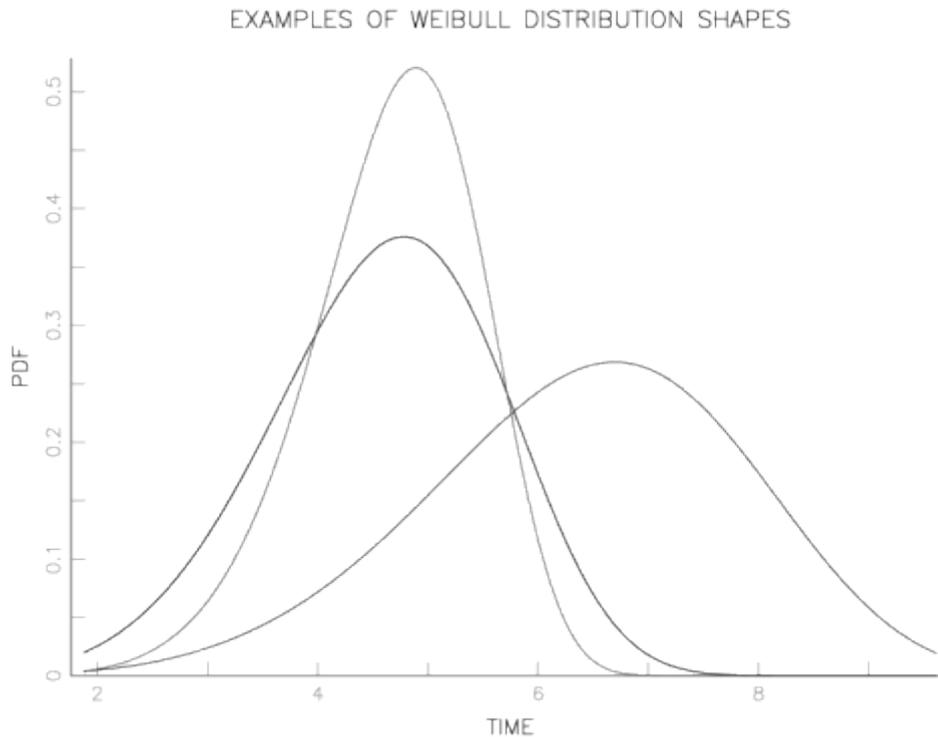
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \exp \left[ -\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.6)$$

Dimana :

$\beta$  = Parameter Bentuk (*Shape Parameter*),  $\beta > 0$

$\eta$  = Parameter Skala (*Scale Parameter*),  $\eta > 0$

$\gamma$  = Parameter Lokasi



**Gambar 2.11** Kurva Distribusi *Weibull*

- Fungsi Keandalan Distribusi *weibull* :

$$R(t) = \exp \left[ -\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.7)$$

- Laju Kegagalan Distribusi *Weibull* :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.8)$$

- MTBF untuk Distribusi *Weibull* Adalah :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma (1/\beta + 1) \quad (2.9)$$

### 2.4.3 Distribusi *Lognormal*

Distribusi *Lognormal* memiliki 2 parameter yang hampir sama dengan distribusi normal yaitu rata – rata (  $t_0$  ) dan variasinya (  $s$  ). Fungsi padat peluangnya adalah :

$$f(t) = \frac{1}{t.s \sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \frac{1}{2s^2} (\ln t - t_0)^2 \right] \quad (2.10)$$

Dimana :

$t_0$  = Rata – rata

$s$  = Variansi

- Fungsi Keandalan dari distribusi *lognormal* adalah :

$$R(t) = 1 - \Phi \left[ \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_0} \right] \quad (2.11)$$

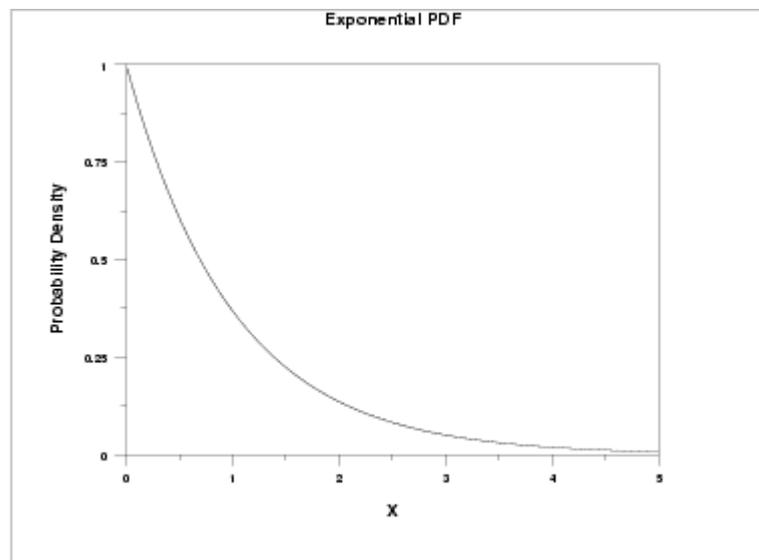
- MTBF dari distribusi *lognormal* adalah :

$$\text{MTBF} = \exp [t_0 + (0,5 \times s^2)] \quad (2.12)$$

#### 2.4.4 Distribusi *Eksponensial*

Jika distribusi kerusakannya mengikuti distribusi *eksponensial*, maka fungsi padat peluangnya adalah :

$$f(t) = \lambda \exp [-\lambda t] \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (2.13)$$



**Gambar 2.12** Kurva Distribusi *Eksponensial*

- Fungsi keandalan distribusi *eksponensial* adalah :

$$R(t) = \text{Exp} [-\lambda t] \quad t \geq 0 \quad (2.14)$$

- Laju Kegagalan distribusi *eksponensial* adalah :

$$\lambda \quad (2.15)$$

Sedangkan MTBF nya adalah :

$$MTBF = 1/\lambda \quad (2.16)$$

## 2.5 Availability

*Availability* adalah kemampuan komponen untuk dapat menjalankan fungsinya seiring berjalannya waktu sampai yang ditentukan (Ebeling, 1993). *Availability* merupakan probabilitas dari komponen untuk menjalankan fungsinya, sehingga sering digunakan untuk memprediksi kemampuan dari komponen untuk memenuhi fungsinya sesuai waktu yang ditargetkan. Secara fungsi matematis, *availability* dapat dituliskan dalam persamaan (Ebeling, 1993)

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.17)$$

Dimana:

MTBF = Rata-rata waktu antar kegagalan

MTTR = Rata-rata waktu perbaikan sebuah kegagalan

Nilai *Availability* yang berubah terhadap waktu, dituliskan dalam persamaan:

$$A(t) = 1 - \left[ \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) - \left( \frac{\mu}{\mu + \lambda} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right] \quad (2.18)$$

Dimana:

$\lambda$  = *failure rate*

$\mu$  =  $\frac{1}{MTTR}$

## 2.6 Reliability

*Reliability* adalah kemungkinan (probabilitas) dari komponen atau sistem untuk berhasil menjalankan fungsi dan tugasnya sesuai target waktu yang ingin dicapai (Ebeling, 1997). Terdapat 2 cara atau metode untuk menganalisa *reliability* yaitu:

- Kuantitatif

Merupakan cara menghitung *reliability* secara matematik. Metode ini dilakukan dengan perbandingan dari data *maintenance* komponen sampai komponen tersebut mengalami kegagalan fungsi kerjanya dengan pendekatan matematik menggunakan distribusi yang sering digunakan seperti normal, eksponensial dan Weibull.

- Kualitatif

Metode dapat menggunakan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) dimana berisi FMEA (*Failure Mode Effect and Analysis*), *failure consequence* (konsekuensi kegagalan). Metode ini digunakan untuk mencari jenis, penyebab, penanganan, dan pencegahan untuk kegagalan suatu fungsi kerja pada komponen. Untuk menghitung nilai *reliability* dapat menggunakan persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$R(t) = 1 - \int f(t) dt \quad (2.19)$$

Dimana :

R(t) = fungsi kehandalan

f(t) = probabilitas kegagalan

*Mean Time Between Failure* (MTBF) adalah rata – rata waktu suatu mesin dapat dioperasikan sebelum terjadinya kerusakan. MTBF ini dirumuskan sebagai hasil bagi dari total waktu pengoperasian mesin dibagi dengan jumlah/frekuensi kegagalan pengoperasian mesin karena *breakdown*.

## **2.7 Reliability Centered Maintenance (RCM)**

*Reliability Centered Maintenance* adalah sebuah proses yang digunakan untuk menentukan atau menjamin suatu komponen atau sistem dapat beroperasi dengan baik sesuai kinerjanya dengan melakukan perawatan agar suatu komponen atau sistem tersebut memenuhi fungsi kinerjanya (Moubray, 1997).

Terdapat tujuh langkah pada RCM yang harus dilakukan dalam melaksanakan analisis RCM

1. *System Functions*

Menentukan fungsi aset dan standar kerja yang terkait dengan fungsi sesuai dengan konteks operasinya.

2. *Functional Failure*

Menentukan bagaimana aset tersebut dapat gagal dalam memenuhi fungsinya.

3. *Failure Modes*

Menentukan penyebab dari kegagalan fungsi aset tersebut.

4. *Failure Effects*

Menentukan apa yang terjadi jika penyebab kegagalan itu muncul.

5. *Failure Consequence*

Bagaimana kegagalan tersebut dapat berpengaruh pada sistem tersebut.

6. *Proactive Task and Task Interval*

Menentukan tindakan yang bisa dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan.

7. *Default Action*

Menentukan apa yang harus dilakukan terhadap kegagalan yang terjadi ketika tindakan proaktif tidak dapat dilakukan.

RCM sendiri memiliki tujuan untuk menjaga *reliability* dari suatu komponen atau sistem agar tetap berjalan sesuai dengan desain yang telah ditetapkan berdasarkan fungsi kerja dari komponen atau sistem tersebut. Serta RCM berfungsi untuk memberikan jadwal *maintenance* yang optimal untuk komponen atau sistem agar efisiensi tenaga dan dana yang dibutuhkan dari *maintenance* tersebut.

Pada RCM terdapat 4 jenis konsekuensi yang harus dianalisa yaitu :

1. *Hidden Failure Consequences*

2. *Safety and Environment Consequences*

3. *Operational Consequences*

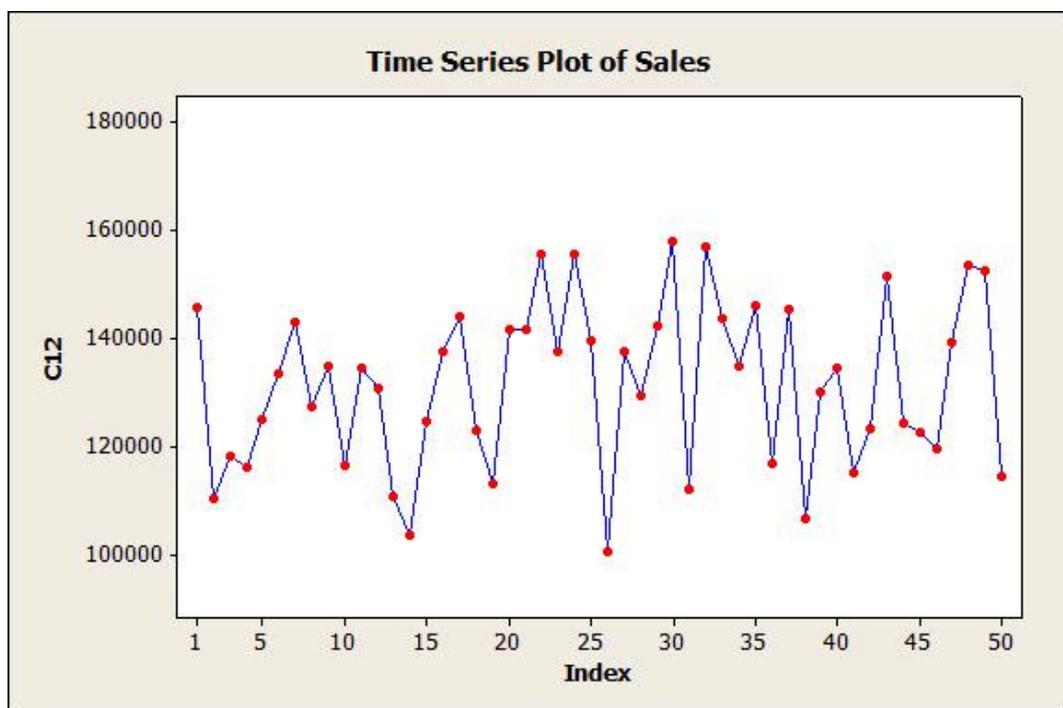
4. *Non-operational Consequences*

## 2.8 *Time Series*

*Time series* adalah observasi yang berupa barisan data yang bernilai kontinyu atau diskrit yang diperoleh pada interval waktu yang sama, misalnya harian, mingguan, bulanan dan sebagainya. Metode analisis dengan menggunakan deret waktu ini umumnya digunakan dalam meramalkan keadaan di masa depan

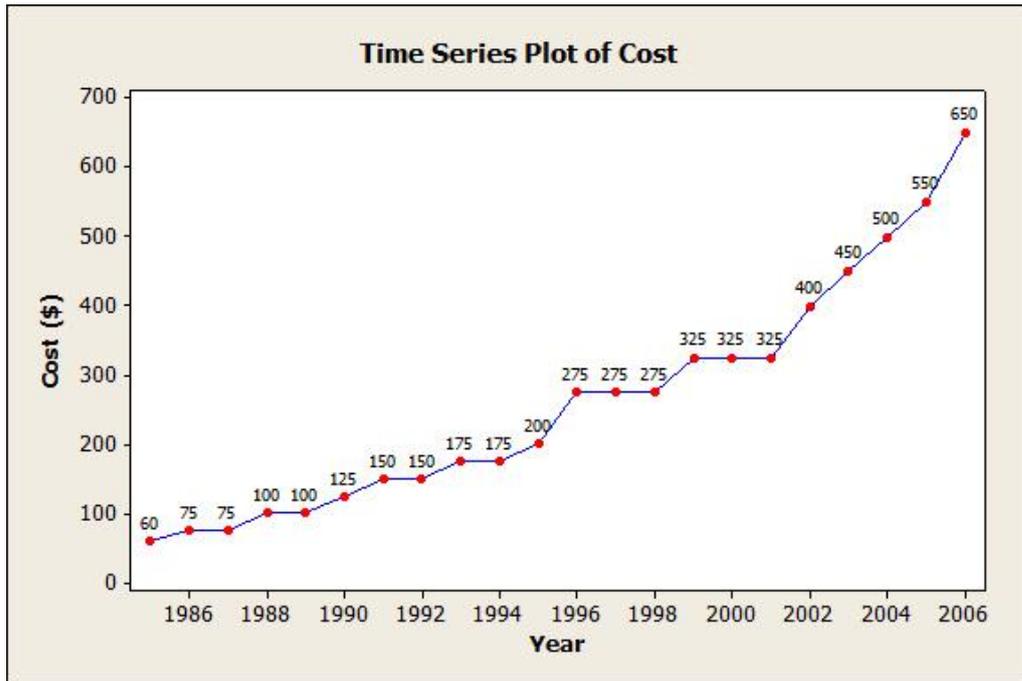
dengan memanfaatkan informasi yang diperoleh pada waktu sebelumnya (Wei, 2006). Cryer dan Chan (1986) menyatakan bahwa berdasarkan ketidakpastian dalam pengamatan, diasumsikan bahwa untuk setiap waktu ( $t$ ) adalah variabel random.. Peramalan menggunakan teknik-teknik peramalan yang bersifat formal maupun informal. Penggolongan pola data produk dapat kita bedakan menjadi tiga, yaitu:

- Data berpola konstan, ketika data berfluktuatif di sekitar rata-rata secara stabil dan biasanya pola ini terdapat pada jangka waktu pendek atau menengah dapat dilihat pada gambar 2.13.



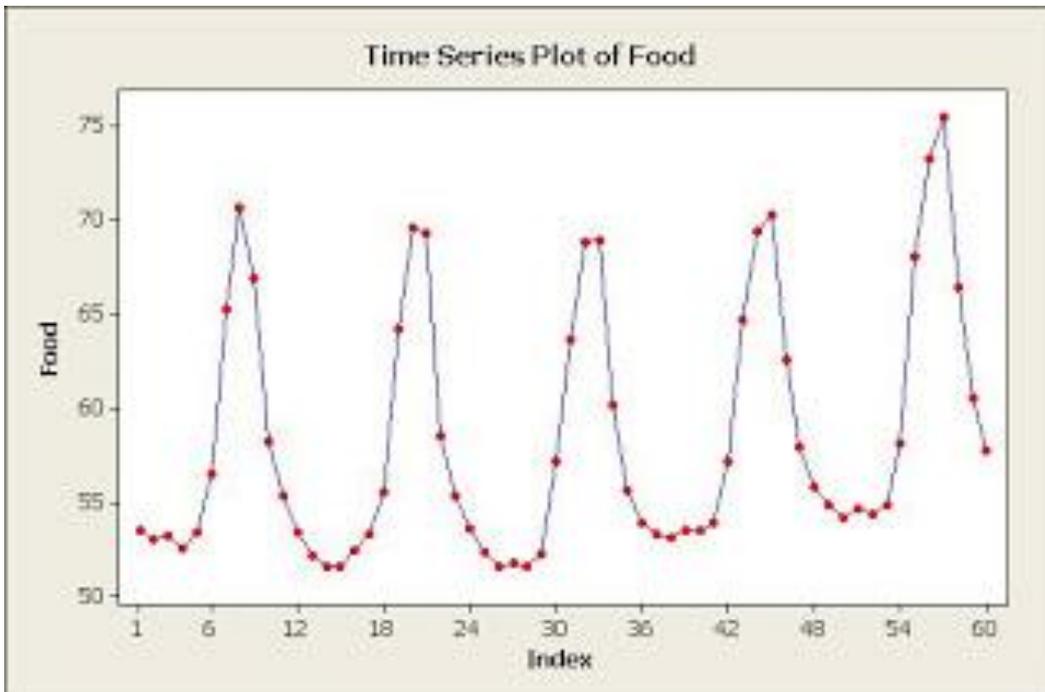
**Gambar 2.13** Data Pola Konstan

- Data berpola trend, ketika data memiliki kecenderungan baik itu meningkat maupun menurundari waktu ke waktu. Biasanya pola ini disebabkan oleh adanya perubahan pendapatan dan bertambahnya populasi serta pengaruh (Moubray, 1997) budaya yang dapat dilihat pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Data Pola Trend

- Data berpola musiman ketika polanya bergerak secara berulang dengan teratur pada setiap periode tertentu. Biasanya pola ini berkaitan dengan cuaca dan faktor yang dibuat oleh manusia seperti hari raya seperti pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Data Pola Musiman

Dalam prakteknya ada beberapa metode yang digunakan untuk melakukan peramalan, salahsatu metode yang akan digunakan adalah metode *time series*. Dalam analisa *time series* terdapat keterkaitan antara variabel dependen dengan variabel independen yang dihubungkan dengan waktu seperti mingguan, bulan atau bahkan tahun. Dalam metode peramalan ini hal yang paling dilihat adalah waktu.

### 2.8.1 Model ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*)

Model ARIMA diaplikasikan untuk deret waktu yang mempunyai *mean* atau *varians* yang tidak konstan, atau mempunyai kedua sifat tersebut. Sifat ini disebut sebagai proses yang tidak stasioner. *Differencing* dengan orde  $d$  merupakan proses mencari perbedaan antara data satu periode dengan periode lainnya secara berurutan untuk mencapai kestasioneran dalam *mean*. Sebuah deret yang tidak stasioner dalam mean dapat direduksi menjadi deret yang stasioner dengan cara mengambil sebuah pembeda yang sesuai (Wei, 2006). Sedangkan untuk mencapai kestasioneran data dalam varians dapat dilakukan dengan transformasi ke suatu bentuk tertentu. Model ARIMA (p,d,q) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_0 + \theta_q(B)a_t \quad (2.20)$$

dengan

- $\phi_p(B)$  : koefisien komponen AR nonmusiman dengan orde  $p$
- $\theta_q(B)$  : koefisien komponen MA nonmusiman dengan orde  $q$
- $(1-B)^d$  : differencing nonmusiman dengan orde  $d$
- $\theta_0$  :  $\mu(1 - \phi_1 B - \phi_2 B - \dots - \phi_p)$
- $B$  : operator backward

### 2.8.2 Identifikasi Model ARIMA

Identifikasi merupakan tahapan yang paling mendasar dalam suatu analisis *time series* yang berhubungan dengan kestasioneran dan pola data. Suatu *time series* dikatakan stasioner apabila memiliki mean dan varians yang konstan serta autokovarian merupakan fungsi yang bergantung pada selisih waktu (Chatfield, 2004). Kestasioneran data dapat dilihat melalui *time series plot* dari data.

Apabila data tidak stasioner dalam varians maka dilakukan transformasi Box-Cox (Wei, 2006) dengan persamaan berikut.

$$T(Z_t) = \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} \quad (2.21)$$

Dimana  $\lambda$  adalah nilai parameter transformasi dengan persamaan transformasinya sebagai berikut.

**Tabel 2.1** Persamaan Transformasi *Box-Cox*

$\lambda$	Transformasi
-1	$1/Z_t$
-0,5	$1/\sqrt{Z_t}$
0	$\text{Ln}(Z_t)$
0,5	$\sqrt{Z_t}$
1	$Z_t$ (tidak dilakukan transformasi)

Sedangkan apabila data tidak stasioner dalam *mean*, maka digunakan metode pembedaan atau *differencing* (Wei, 2006) menurut persamaan berikut

$$W_t = (1 - B)Z_t \quad (2.22)$$

Setelah kestasioneran data terpenuhi, selanjutnya dilakukan identifikasi pola data dengan melihat *autocorrelation function* (ACF) dan *partial autocorrelation function* (PACF). Fungsi autokorelasi mempresentasikan kovarian dan korelasi antara  $Z_t$  dan  $Z_{t+k}$  pada proses yang sama (Wei, 2006) dengan persamaan kovarian sebagai berikut.

$$\gamma_k = \text{Cov}(Z_t, Z_{t+k}) = E(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu) \quad (2.23)$$

Sehingga persamaan ACF secara matematis adalah sebagai berikut.

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{\text{var}(Z_t)}\sqrt{\text{var}(Z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2.24)$$

Dimana:

- $\rho_k$  = nilai korelasi dari  $Z_t$  dan  $Z_{t+k}$
- $\gamma_k$  = nilai kovarian dari  $Z_t$  dan  $Z_{t+k}$

$$\gamma_0 = \text{var}(Z_t) = \text{var}(Z_{t+k})$$

PACF digunakan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara  $Z_t$  dan  $Z_{t+k}$  setelah dependensi linier pada variabel  $Z_{t+1}$ ,  $Z_{t+2}$ , ..., dan  $Z_{t+k-1}$  dihilangkan. PACF dinotasikan dengan  $\phi_{kk}$  yang persamaannya dituliskan sebagai berikut (Wei, 2006)

$$\phi_{k+1, k+1} = \frac{\rho_{k+1} - \sum_{j=1}^k \phi_{kj} \rho_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \phi_{kj} \rho_j} \quad (2.25)$$

$$\phi_{k+1, j} = \phi_{kj} - \phi_{k+1, k+1} \phi_{k, k+1-j} \quad ; j = 1, 2, \dots, k \quad (2.26)$$

Bentuk model kemudian diidentifikasi melalui plot ACF dan PACF. Berikut merupakan petunjuk pemilihan operator berdasarkan struktur ACF dan PACF pada model ARIMA (Bowerman dan O'Connell, 1993)

**Tabel 2.2** Struktur ACF dan PACF Pada Model ARIMA ( $p, d, q$ )

Bentuk Plot ACF dan PACF	Operator Non-Musiman
ACF signifikan pada lag 1, 2, ..., $q$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $q$ , PACF <i>dies down</i>	$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$
ACF <i>dies down</i> , PACF signifikan pada lag 1, 2, ..., $p$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $p$	$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$
ACF signifikan pada lag 1, 2, ..., $q$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $q$ , PACF signifikan pada lag 1, 2, ..., $p$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $p$	$\theta_q(B)$ atau $\phi_p(B)$
Tidak ada lag yang signifikan pada ACF dan PACF	Tidak ada operator non musiman
ACF <i>dies down</i> dan PACF <i>dies down</i>	$\theta_q(B)$ dan $\phi_p(B)$

**Tabel 2.3** Struktur ACF dan PACF Pada Model ARIMA ( $P, D, Q$ )<sup>s</sup>

Bentuk Plot ACF dan PACF	Operator Musiman
ACF signifikan pada lag $s, 2s, \dots, Qs$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $Qs$ , PACF <i>dies down</i>	$\theta_Q(B^s) = (1 - \theta_s B - \theta_{2s} B^{2s} - \dots - \theta_{Qs} B^{Qs})$
ACF <i>dies down</i> , PACF signifikan pada lag $s, 2s, \dots, Ps$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $P$	$\phi_P(B^s) = (1 - \phi_P B - \phi_{2P} B^{2s} - \dots - \phi_{Ps} B^{Ps})$
ACF signifikan pada lag $s, 2s, \dots, Qs$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $Qs$ , PACF signifikan pada lag $s, 2s, \dots, Ps$ dan <i>cuts off</i> setelah lag $Ps$	$\theta_Q(B^s)$ atau $\phi_P(B^s)$

Tidak ada lag yang signifikan pada ACF dan PACF	Tidak ada operator musiman
ACF <i>dies down</i> dan PACF <i>dies down</i>	$\theta_q(B^s)$ dan $\phi_p(B^s)$

### 2.8.3 Estimasi Parameter Model ARIMA

Estimasi parameter pada model dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya metode *moment*, *Ordinary Least Square* (OLS) dan *Maximum Likelihood* (MLE). Sebagai contoh, apabila metode OLS diterapkan untuk mengestimasi parameter pada model AR(1) yang dinyatakan sebagai berikut.

$$Z_t - \mu = \phi(Z_{t-1} - \mu) + a_t \quad (2.27)$$

maka model diperhatikan sebagai model regresi dengan variabel independen  $Z_{t-1}$  dan variabel dependen  $Z_t$ . Estimasi dilakukan dengan meminimumkan jumlah kuadrat *error* (Cryer dan Chan, 2008) yaitu

$$S(\phi, \mu) = \sum_{t=2}^n [(Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu)]^2 \quad (2.28)$$

Pada prinsip *least square*,  $\phi$  dan  $\mu$  diestimasi dengan menurunkan fungsi  $S(\phi, \mu)$  terhadap  $\mu$  dan  $\phi$  kemudian disamakan dengan nol seperti pada persamaan berikut

$$\frac{\partial S}{\partial \mu} = \sum_{t=2}^n 2[(Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu)](-1 + \phi) = 0 \quad (2.29)$$

sehingga diperoleh nilai estimasi parameter untuk  $\mu$  dari model AR(1) pada persamaan berikut.

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{t=2}^n Z_t - \phi \sum_{t=2}^n Z_{t-1}}{(n-1)(1-\phi)} \quad (2.30)$$

untuk  $n$  yang besar nilai estimasi dapat ditulis seperti berikut.

$$\sum_{t=2}^n \frac{Z_t}{n-1} \approx \sum_{t=2}^n \frac{Z_{t-1}}{n-1} \approx \bar{Z} \quad (2.31)$$

yang dapat disederhanakan menjadi persamaan di bawah ini.

$$\hat{\mu} \approx \frac{\bar{Z} - \phi\bar{Z}}{1 - \phi} = \bar{Z} \quad (2.32)$$

Penurunan  $\partial S$  terhadap  $\phi$  dan menyamakannya dengan nol selanjutnya menghasilkan persamaan berikut.

$$\frac{\partial S}{\partial \phi} = -\sum_{t=2}^n 2[(Z_t - \bar{Z}) - \phi(Z_{t-1} - \bar{Z})](\bar{Z}_{t-1} - \bar{Z}) = 0 \quad (2.33)$$

sehingga nilai estimasi  $\phi$  didapatkan sebagai berikut.

$$\hat{\phi} = \frac{\sum_{t=2}^n (Z_t - \bar{Z})(Z_{t-1} - \bar{Z})}{\sum_{t=2}^n (Z_{t-1} - \bar{Z})^2} \quad (2.34)$$

Model ARIMA dapat dikatakan baik dan dapat merepresentasikan peristiwa sebenarnya, salah satu syaratnya adalah nilai estimasi parameternya signifikan. Secara umum, apabila  $\hat{\theta}$  adalah nilai taksiran parameter model ARIMA, dan  $\hat{s.e}(\hat{\theta})$  adalah standar *error* nilai taksiran maka signifikansi parameter dapat diuji dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \theta = 0$$

$$H_1 : \theta \neq 0$$

Dengan menggunakan statistik uji  $t$

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\theta}}{\hat{s.e}(\hat{\theta})} \quad (2.35)$$

Keputusan  $H_0$  ditolak apabila  $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, n-n_p}$  atau jika p-value  $< \alpha$ , dimana  $n_p$  adalah banyaknya parameter yang ditaksir dan  $n$  adalah banyaknya observasi, yang berarti bahwa parameter signifikan terhadap model.

#### 2.8.4 Cek Diagnosa

Model deret waktu dibangun melalui prosedur yang iteratif, yaitu dimulai dengan identifikasi model dan penaksiran parameter. Setelah menaksir parameter, selanjutnya dapat ditaksir kecukupan model dengan memeriksa asumsi yaitu asumsi *white noise* dan kenormalan pada residual (Wei, 2006).

Untuk mengetahui apakah residual sudah memenuhi asumsi *white noise*, dilakukan pengujian dengan Uji *Ljung-Box-Pierce* (LBQ). Hipotesis yang digunakan antara lain

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_K = 0$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu nilai } \rho_k \neq 0 ; k = 1, 2, \dots, K$$

Dengan menggunakan statistik uji  $Q$  yang diuraikan pada persamaan berikut.

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^K (n-k)^{-1} \hat{\rho}_k^2 \quad (2.36)$$

dimana :

$Q$  : statistik uji Ljung-Box-Pierce

$\hat{\rho}_k$  : ACF dari residual pada lag ke- $k$

$n$  : banyaknya observasi

maka  $H_0$  ditolak jika  $Q > \chi_{\alpha, K-m}^2$ , dimana  $K$  adalah maksimum lag dan  $m = p + q$  (Wei, 2006).

Sedangkan untuk mengetahui apakah residual sudah mengikuti distribusi normal, dilakukan pengujian dengan Uji *Kolmogorov-Smirnov*, dengan hipotesis yang digunakan adalah

$$H_0 : \text{Residual berdistribusi normal}$$

$$H_1 : \text{Residual tidak berdistribusi normal.}$$

Dengan menggunakan statistik uji  $D$  sebagai berikut.

$$D = \text{Sup}_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.37)$$

dimana :

$S(x)$  : nilai distribusi kumulatif sampel

$F_0(x)$  : nilai distribusi kumulatif distribusi normal.

maka  $H_0$  ditolak jika  $D \geq K_{(1-\alpha, n)}$  dengan  $K_{(1-\alpha)}$  adalah nilai tabel Kolmogorov-Smirnov pada kuantil  $(1-\alpha)$  dan  $n$  merupakan banyak observasi.

### 2.8.5 Peramalan Model ARIMA

Proses selanjutnya menurut prosedur Box-Jenkins adalah melakukan peramalan. Misalkan  $\hat{Z}_n(l)$  adalah hasil ramalan  $l$  tahap ke depan dari  $Z_{n+l}$  yang mengikuti model AR(1) berikut.

$$(1 - \phi B)(Z_t - \mu) = a_t \quad (2.38)$$

maka untuk meramalkan nilai  $\hat{Z}_n(l)$  untuk  $l$  tahap ke depan dengan  $t = n + l$ , model dapat ditulis pada persamaan berikut.

$$Z_{n+l} = \mu + \phi(Z_{n+l-1} - \mu) + a_{n+l} \quad (2.39)$$

Selanjutnya peramalan untuk  $l$  tahap ke depan dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$\hat{Z}_n(1) = \mu + \phi(Z_n - \mu) \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} \hat{Z}_n(l) &= \mu + \phi(\hat{Z}_n(l-1) - \mu) \\ &= \mu + \phi^l(Z_n - \mu), l \geq 2 \end{aligned} \quad (2.41)$$

### 2.8.6 Kriteria Model Terbaik

Kriteria model terbaik digunakan untuk memilih model yang paling baik dalam merepresentasikan kejadiannya. Ada dua kriteria yang diperhatikan, yaitu kriteria in-sample (training) menggunakan nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC) dan kriteria out-sample (testing) menggunakan ukuran Mean Square Error (MSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), (Wei, 2006). Untuk memperoleh nilai AIC dapat dituliskan sebagai berikut.

$$AIC(m) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2m \quad (2.42)$$

dimana

$m$  = jumlah parameter yang ditaksir

$n$  = banyaknya pengamatan

$\hat{\sigma}_a^2$  = nilai varian residual

Sedangkan pada kriteria out-sample, ukuran MSE dan MAPE ditentukan pada persamaan berikut ini.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2 \quad (2.43)$$

$$MAPE = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Z_i - \hat{Z}_i}{Z_i} \right| \right) 100\% \quad (2.44)$$

dimana n adalah banyaknya sampel yang diramalkan. Model terbaik adalah model yang mempunyai nilai MSE dan MAPE terkecil.

## 2.9 Total Maintenance Cost

Dalam memilih kebijakan antara *repair maintenance* dan *preventive maintenance* dapat dilakukan dengan metode mencari *Total Maintenance Cost* (TMC) yang paling rendah (Pujotomo & Kartha, 2007). Metode *repair policy* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut (Smith & Mobley, 2003):

$$TCr = B \times Cr \quad (2.45)$$

$$B = N/Tb \quad (2.46)$$

$$Tb = \sum_t^n p_i T_i \quad (2.47)$$

Dimana:

$TCr$  = *expected cost of repair* per bulan

$B$  = jumlah rata-rata *breakdown*/bulan untuk N Mesin

$Cr$  = biaya perbaikan

$Tb$  = rata-rata *runtime* per mesin sebelum rusak

$N$  = jumlah mesin

Metode *preventive maintenance policy* dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kyriakidis & Dimitrakos, 2006):

$$TMC(n) = TCr(n) + TCM(n) \quad (2.48)$$

Dimana:

$TMC(n)$  = biaya total perawatan per bulan

$TCr(n)$  = biaya *repair* per bulan

$TCM(n)$  = biaya *preventive maintenance* per bulan

$n$  = jumlah periode (bulan)

## 2.10 Karakteristik Kegagalan

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut akan berdampak pada performa kerja

dan efisiensinya. Kerusakan – kerusakan tersebut apabila dilihat secara temporer, maka ia memiliki suatu laju kegagalan tertentu yang berubah – ubah.

### **2.10.1 Burn – in Zone (Early Life)**

Daerah ini adalah periode dimana sebuah sistem berada pada fase perancangan (*design*) hingga permulaan beroperasinya suatu komponen atau sistem yang masih baru. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan yang awalnya tinggi kemudian menurun dengan bertambahnya waktu, atau diistilahkan sebagai *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena proses manufacturing atau fabrikasi yang kurang sempurna. Lelurangan tersebut biasanya segera diperbaiki dan disesuaikan sehingga tingkat kerusakannya menurun.

### **2.10.2 Useful Life Time Zone**

Periode ini mempunyai laju kerusakan yang paling rendah dan hampir konstan, yang oleh sebab itu disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Ini adalah periode dimana sebagian besar umur berada pada masa pakai komponen atau sistem itu. Dalam analisa, tingkat kehandalan sistem yang berada pada periode *Useful life time*, akan diasumsikan memiliki *failure rate* konstan terhadap waktu. Asumsi ini digunakan karena pada periode *early life time*, tidak dapat ditentukan apakah sistem tersebut sudah bekerja sesuai dengan standar yang ditentukan atau belum sedangkan pada periode *wear out time*, tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi *failure*.

### **2.10.3 Wear Out Zone**

Periode ini adalah periode akhir masa pakai komponen atau sistem. Pada periode ini, laju kerusakannya naik dengan cepat dengan bertambahnya waktu, yang disebut dengan istilah *Increasing Failure Rate* (IFR). Periode ini berakhir saat reliability komponen atau sistem ini mendekati nol, dimana kerusakan yang terjadi sudah sangat parah dan tidak dapat diperbaiki kembali.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.4** Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul Penelitian	Kerangka Umum	Metode				
			<i>Predictive maintenance</i>	<i>Time Series</i>	VSMM	<i>Risk Analysis</i>	<i>5 Why Analysis</i>
Rama Fitriyan dan Bambang Syairudin	Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Menggunakan Metode Fmea Untuk Meningkatkan Kinerja Pemeliharaan Prediktif Pada Pembangkit Listrik	Keandalan peralatan yang tinggi didapatkan dengan dukungan pemeliharaan yang terencana melalui metode pemeliharaan prediktif	V			V	V
Gede Bima Nugraha, Putu Dana Karningsih dan Hari Supriyanto	Implementasi Konsep Lean Pada Aktivitas Pemeliharaan Pt. Pjb Up Gresik	meningkatkan efisiensi aktivitas pemeliharaan yang salah satunya dengan mengurangi pemborosan atau waste. Penelitian ini diterapkan konsep Lean performansi model Overall Measure of Maintenance Performance, Value Stream Maintenance Mapping (VSMM) dan Risiko	V		V	V	
Imam Rido Riarso	<i>Predictive Maintenance</i> Pada <i>Control Valve Sea Water</i> Dengan Menggunakan Analisis <i>Time Series</i> Pada Proses Desalinasi Pt Pjb Up Gresik	Memprediksi alarm sebelum terjadi kerusakan ( <i>breakdown</i> ) dengan metode <i>time series</i>	V	V		V	

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Bab tiga ini akan dibahas mengenai metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yang meliputi; jenis penelitian, indikator penelitian, sumber data penelitian, teknik pengumpulan data, dan metode analisa datanya.

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis studi eksploratif dimana berfungsi untuk mencari jadwal pemeliharaan pada proses desalinasi. Penelitian eksploratif ini berisi kegiatan pengamatan di lapangan, wawancara dan pengambilan data ke perusahaan.

#### **3.2 Lingkup Penelitian**

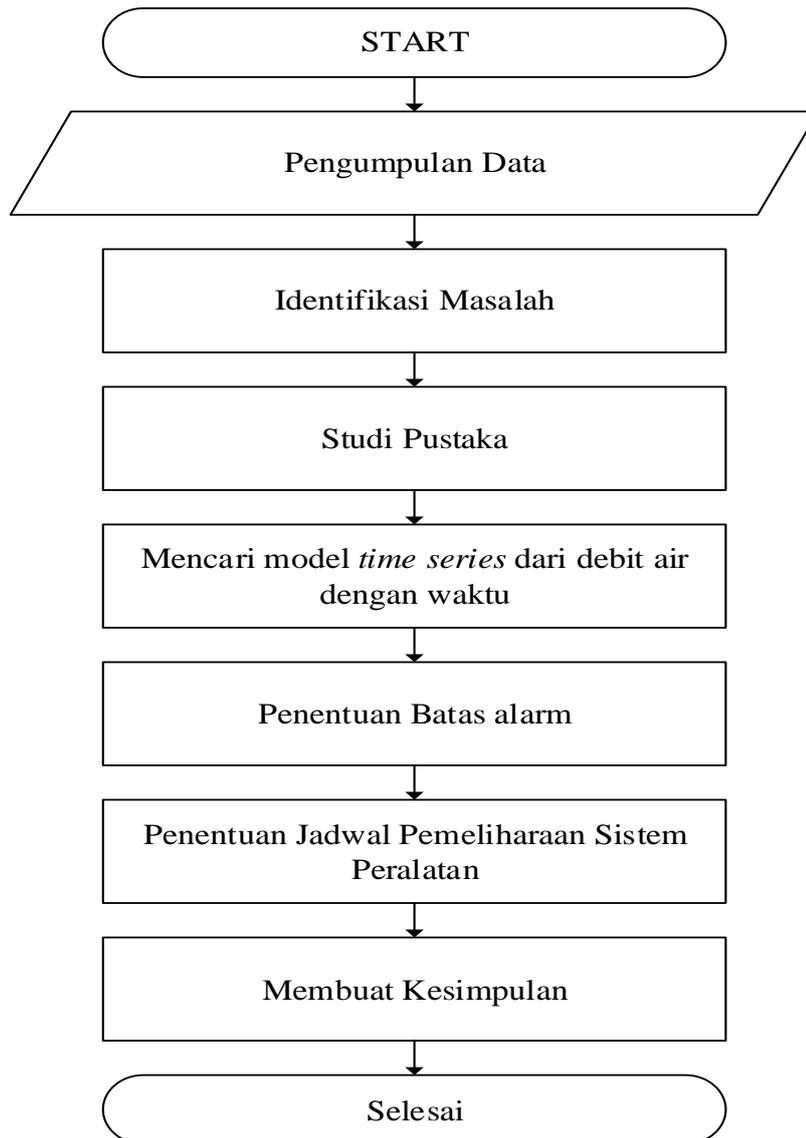
Penelitian ini menggunakan objek di PT. PJB UP Gresik, pembangkit listrik yang dimiliki oleh pemerintah yang berada di Gresik. Pengambilan data maupun pengamatan hanya dilakukan pada proses desalinasi saja sehingga batasan penelitian menganggap bahwa setiap perlakuan dilakukan sama untuk setiap *control valve*.

#### **3.3 Jenis Data**

Penelitian ini menggunakan Data Sekunder yakni data kerusakan pada *control valve* dari tahun 2002 – 2017 dan data debit air dari tahun 2016 – 2017, menurut Umar pada tahun 2000, data sekunder merupakan data berbentuk naskah tertulis atau dokumen yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan oleh pihak tertentu. Data sekunder pada penelitian ini digunakan untuk melakukan identifikasi pada tahap awal untuk melihat permasalahan secara umum yang terjadi pada objek penelitian. Penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap penelitian awal
2. Tahap implementasi *time series*
3. Tahap penentuan laju kegagalan
4. Tahap penentuan jadwal pemeliharaan sistem peralatan

Tahapan-tahapan diatas dijelaskan lebih rinci didalam diagram alir. Diagram alir dari sistematika penelitian ini dijelaskan pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dalam memulai penelitian, dimana pada tahap ini peneliti mengamati permasalahan yang ada didalam objek penelitian. Tahap penelitian awal ini dimulai dengan identifikasi masalah pada objek penelitian berdasarkan permasalahan-permasalahan didalam perusahaan. Tahap identifikasi masalah ini dilakukan dengan menganalisa kondisi objek berdasarkan data-data sekunder. Data-data yang digunakan adalah jumlah debit air dan kerusakan pada komponen *control valve* pada proses desalinasi

### **3.5 Studi Pustaka**

Tahapan studi pustaka adalah tahapan pencarian sumber-sumber informasi ilmiah yang terkait dengan permasalahan yang ditemukan. Studi pustaka dapat dilakukan dengan mengulas jurnal, mencari referensi di bahan ajar perkuliahan, dan penelitian-penelitian thesis yang pernah dilakukan sebelumnya. Dengan melakukan studi pustaka, penyelesaian masalah didalam penelitian diharapkan tidak menyimpang dari teori dan ilmu pengetahuan.

### **3.6 Tahap Implementasi *Time Series***

Tahap implementasi *time series* mengacu pada jumlah debit air yang masuk pada proses desalinasi terhadap waktu. Berdasarkan perhitungan *time series* tersebut, dapat dilakukan analisa terhadap model yang dihasilkan dan melihat grafik pada hasil model tersebut.

### **3.7 Tahap penentuan jadwal pemeliharaan sistem peralatan**

Setelah diketahui model *time series* dan keandalan dari peralatan maka nantinya dianalisa bersama pihak perusahaan yang memahami proses desalinasi untuk menentukan jadwal yang sesuai berdasarkan hasil pengujian.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

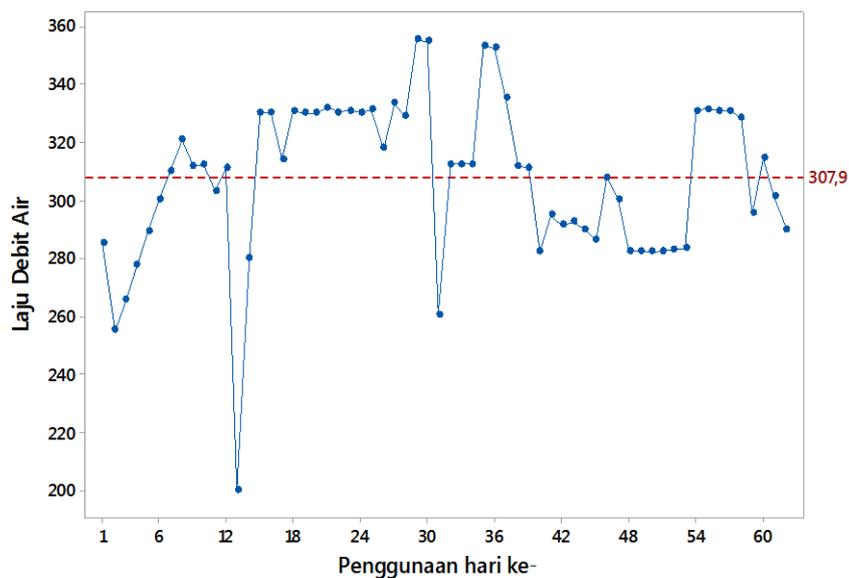
#### 4.1 Analisis Karakteristik Laju Debit Air

Untuk melihat karakteristik laju debit air yang masuk pada proses desalinasi dapat dilakukan dengan menggunakan statistika deskriptif untuk mencari rata-rata, varians, nilai minimum dan nilai maksimum dari data debit air yang masuk pada proses desalinasi dengan jumlah data sebanyak 62 pada tahun 2016 di PT PJB UP Gresik. Hasil statistika deskriptif dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Hasil Statistika Deskriptif Debit Air Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2016

Variabel	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>StDev</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Debit Air ( $Z_t$ )	62	307,93	27,56	200,00	355,50

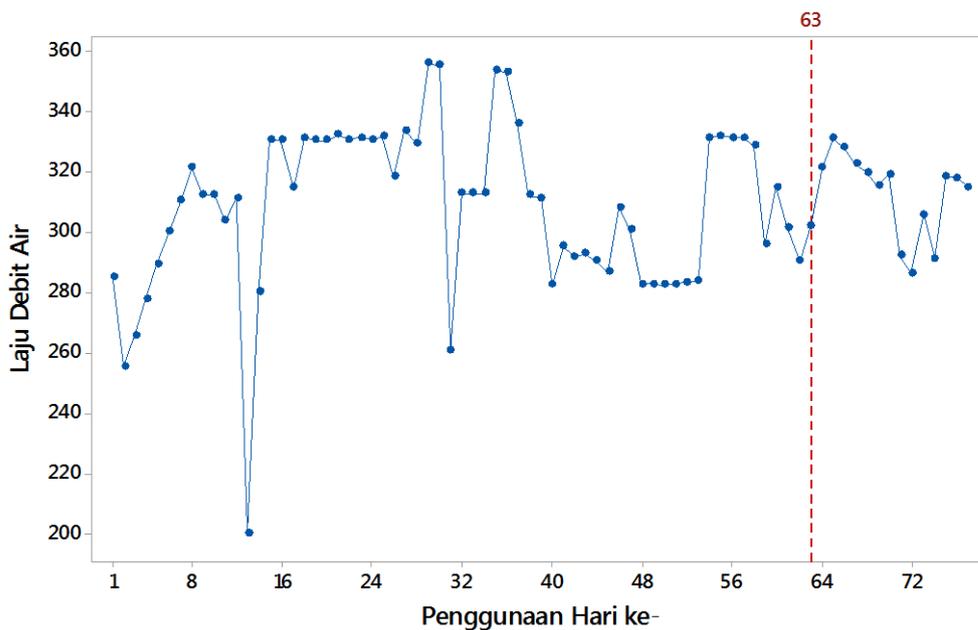
Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa debit air yang masuk ke dalam proses desalinasi pada tahun 2016 memiliki nilai rata-rata sebesar 307,93 Ton/Jam. Selain itu nilai minimum debit air adalah 200 Ton/Jam, jauh dari nilai rata-rata dibandingkan dengan nilai maksimumnya yaitu 355,50 Ton/Jam. Untuk memperjelas pola data debit air yang masuk pada proses desalinasi maka dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut.



**Gambar 4.1** Plot Debit Air Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2016

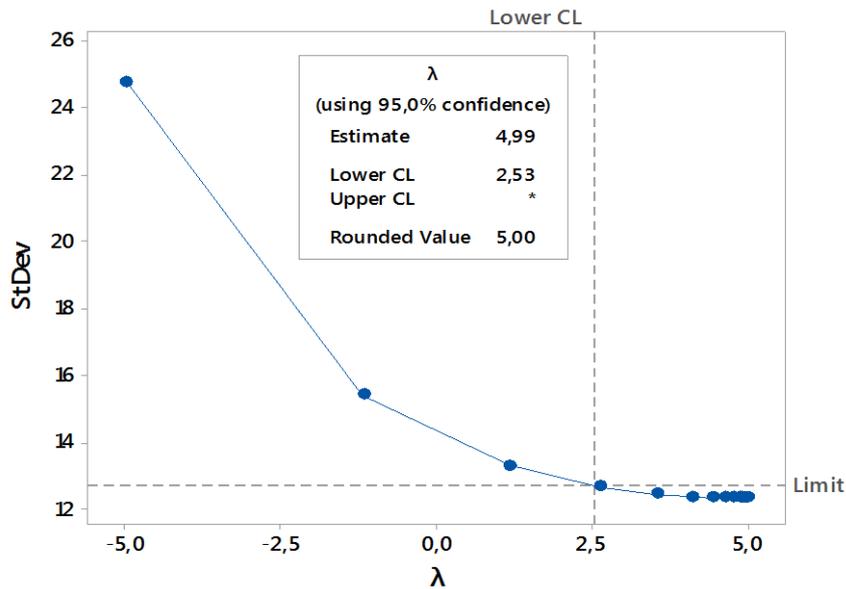
## 4.2 Penentuan Prediksi Signal Kerusakan Peralatan Di Proses Desalinasi

Signal kerusakan pada proses desalinasi ini akan diprediksi melalui laju debit air pada proses desalinasi dengan menggunakan analisis *time series*. debit air pada periode 2016 sampai dengan 2017 memiliki pola seperti pada Gambar 4.2 untuk keseluruhan data. Data dibagi kedalam dua kelompok, yaitu kelompok data *insample* menggunakan data sebanyak 62 dan kelompok data *outsample* menggunakan data sebanyak 15. Untuk mendapatkan model *time series* ini digunakan data *insample* dan data *outsample* digunakan untuk penggunaan model yang telah dibentuk.



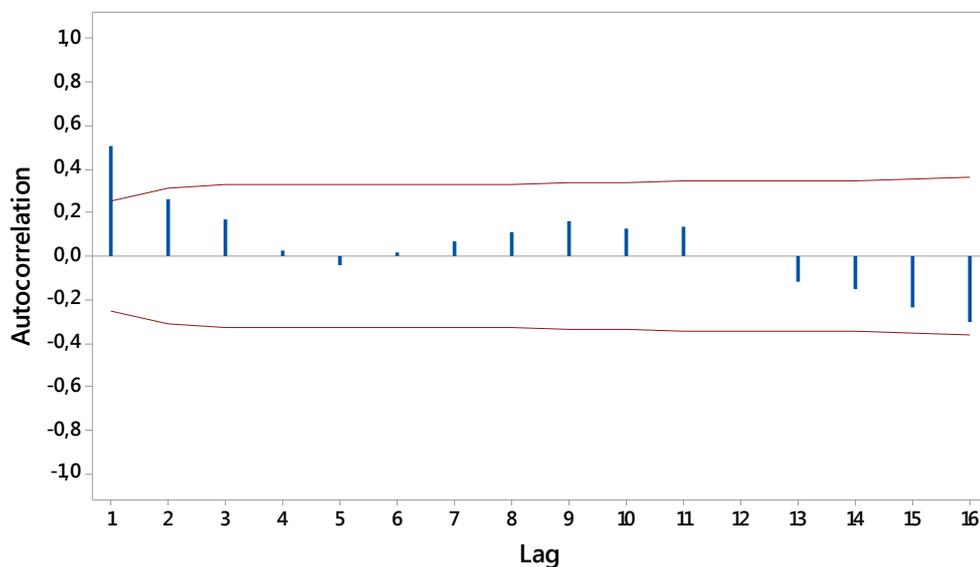
**Gambar 4.2** Time Series Plot Debit Air Pada Proses Desalinasi Periode Tahun 2016-2017

Dalam mendapatkan model dengan metode ARIMA, hal pertama yang harus dilakukan adalah melihat data memenuhi stasioneritas dalam varian dan *mean*. Berikut Box-Cox plot untuk mengetahui stasioneritas data debit air dalam varian.



**Gambar 4.3** Box-Cox Plot Debit Air Pada Proses Desalinasi Tahun 2016

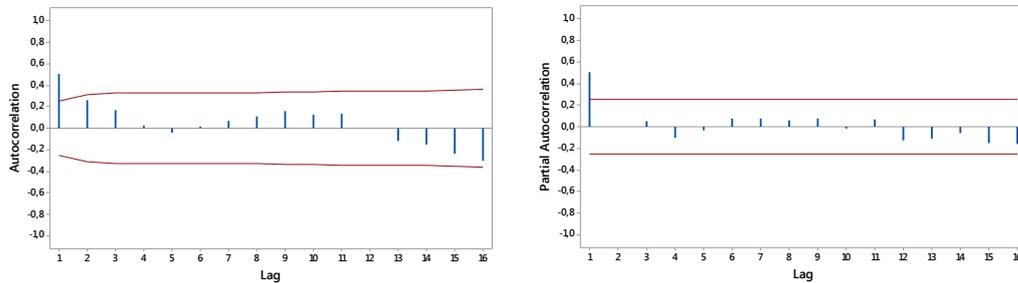
Pada gambar 4.3 memperlihatkan bahwa nilai *rounded value* yang dihasilkan pada transformasi Box-Cox adalah 5,00. Angka tersebut melebihi nilai 1 sehingga apabila dilakukan transformasi akan diperoleh nilai yang lebih besar dari data awal. Oleh karena itu, tidak dilakukan transformasi pada data debit air dan diasumsikan data debit air pada tahun 2016 ini stasioner dalam varian.



**Gambar 4.4** ACF Data Debit Air Pada Proses Desalinasi

Setelah stasioneritas dalam varian terpenuhi, maka dilakukan pengujian untuk stasioneritas dalam *mean*. Selain dilihat berdasarkan *time series plot* dapat juga dilihat dari pola dari ACF data. Pola ACF pada gambar 4.4 memperlihatkan

bahwa pola ACF yang turun cepat dan tidak ada pola musiman pada data debit air. Sehingga dapat diasumsikan bahwa data debit air telah stasioner dalam *mean*.



**Gambar 4.5** ACF dan PACF Data Debit Air Pada Proses Desalinasi

Pembentukan model ARIMA dilakukan dengan melihat plot ACF dan PACF. Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa ACF dan PACF signifikan pada lag 1. Berdasarkan plot ACF dan PACF, dugaan model adalah ARIMA(1,0,0) dan ARIMA(1,0,1). Setelah diperoleh model dugaan dari data tersebut, kemudian dicari model dengan parameter yang signifikan.

**Tabel 4.2** Model *Time Series* Dugaan Pada Debit Air Pada Proses Desalinasi

Model	Model Dugaan
I	ARIMA(1,0,0)
II	ARIMA(1,0,1)

**Tabel 4.3** Hasil Uji Signifikansi Parameter Model

Model ARIMA	Parameter	Estimate	p-value
(1,0,0)	Constanta	148,57	0,000
	$\phi_1$	0,516	0,000
(1,0,1)	Constanta	138,17	0,000
	$\phi_1$	0,550	0,011
	$\theta_1$	0,045	0,858

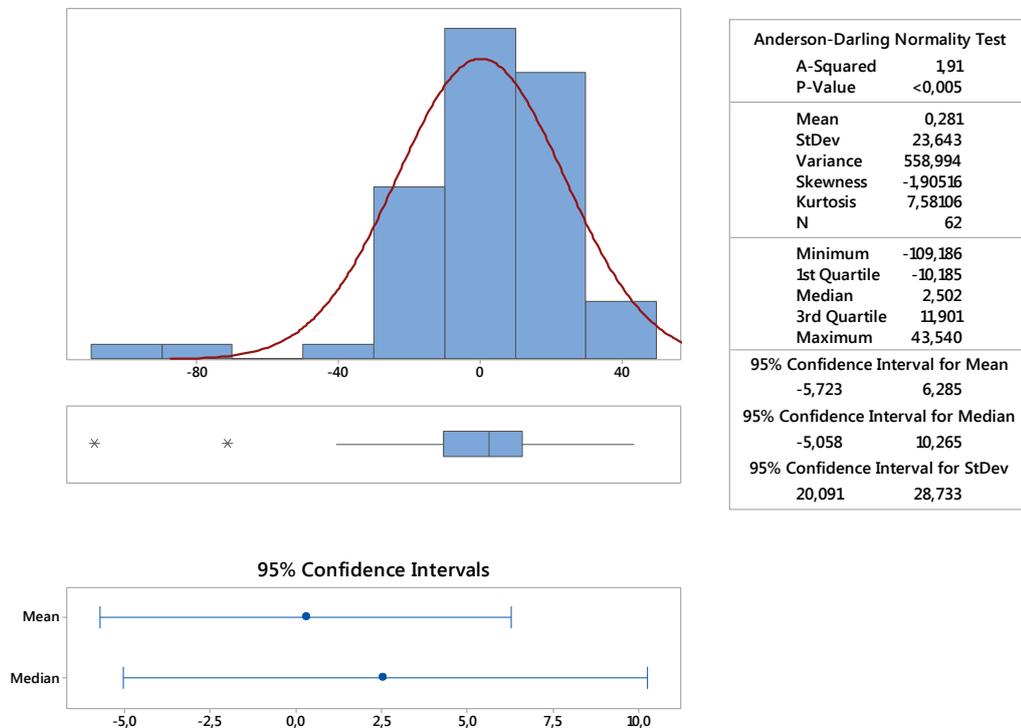
Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa model ARIMA(1,0,1) memiliki *p-value* lebih besar dari 0,05 pada parameter MA1 sehingga tidak memenuhi uji signifikansi parameter model. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa model yang memenuhi adalah model ARIMA(1,0,0). Selain melihat parameter yang signifikan maka selanjutnya dilakukan uji asumsi *white noise* dan uji kenormalan pada residual model yang sudah memenuhi uji signifikansi parameter sebelumnya.

Berdasarkan *p-value* pada Tabel 4.4, dapat disimpulkan bahwa residual dari model ARIMA (1,0,0) sudah memenuhi asumsi *white noise*. Hal itu ditunjukkan dari *p-value* yang lebih besar daripada taraf nyata 0,05.

**Tabel 4.4** Hasil Uji *White Noise* dan Kenormalan Residual Model ARIMA(1,0,0)

Model ARIMA	Uji <i>White Noise</i>		Uji Kenormalan
	Hingga Lag	<i>P-value</i>	<i>P-value</i>
(1,0,0)	12	0,959	<0,010
	24	0,438	
	36	0,765	
	48	0,762	

Pengujian kenormalan residual menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Terlihat pada Tabel 4.4, *p-value* hasil pengujian residual untuk model ARIMA(1,0,0) tidak berdistribusi normal dengan taraf nyata 0,05.



**Gambar 4.6** Kurva *Skewness* Pada *Residual* Model ARIMA(1,0,0)

Berdasarkan gambar 4.6 terlihat secara visual kurva miring ke kanan. Hal tersebut dilihat dari nilai *skewness* sebesar -1,90516. Selain itu, terdapat data yang *outlier* sehingga hal tersebut diduga menyebabkan *residual* tidak berdistribusi normal.

Selanjutnya berdasarkan kriteria kebaikan model akan ditentukan model terbaik untuk peramalan data debit air dengan membandingkan nilai *Mean Square Error* (MSE) dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** MSE dari model ARIMA

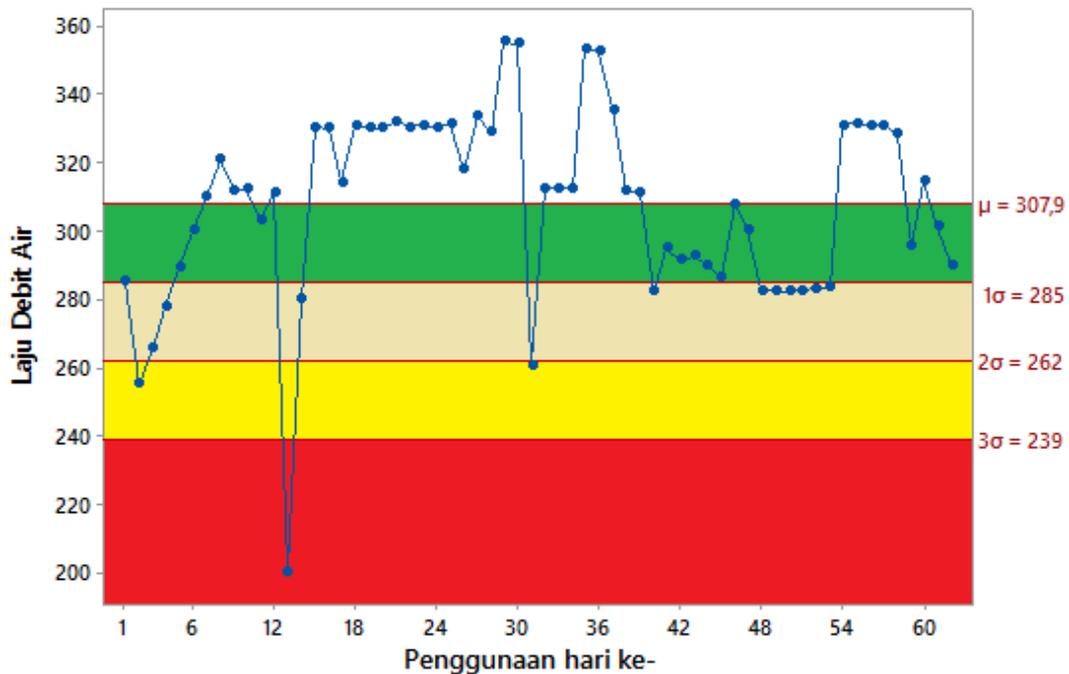
<b>Model ARIMA</b>	<b>MSE</b>
<b>(1,0,0)</b>	568,393
<b>(1,0,1)</b>	577,510

Pada Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa nilai *Mean Square Error* dengan nilai terkecil adalah model ARIMA (1,0,0) sehingga model yang paling sesuai adalah model ARIMA (1,0,0). Secara matematis, model ARIMA (1,0,0) ditulis sebagai berikut:

$$Z_t = 148,57 + 0,516Z_{t-1} + a_t$$

Berdasarkan model tersebut maka dapat dikatakan bahwa debit air saat ini dipengaruhi oleh debit air pada hari sebelumnya. Dengan kata lain, penggunaan *control valve* setiap harinya mempengaruhi performanya untuk hari setelahnya.

Nilai *standart error* hasil dari pemodelan tersebut menunjukkan nilai *sigma* yang akan digunakan untuk menentukan batas signal kerusakan peralatan pada proses desalinasi. Dalam hal ini nilai *sigma* yang diperoleh sebagai *threshold* untuk deteksi signal kerusakan. Batas signal kerusakan ini menggunakan 3 *sigma*. Berikut plot hasil *back testing* terhadap nilai *sigma* yang didapatkan digunakan pada data.



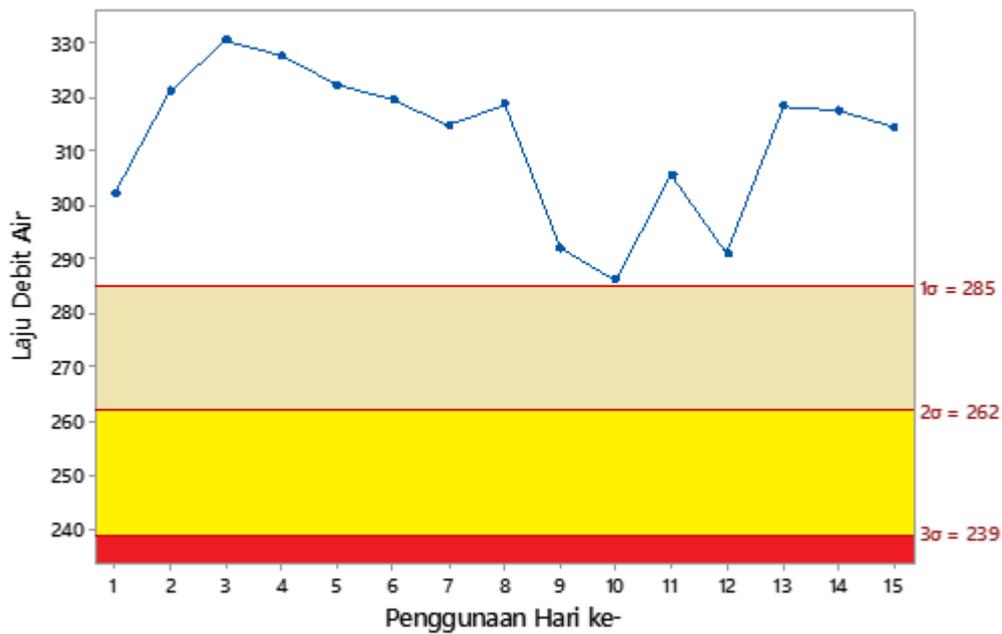
**Gambar 4.7** Garis Batas Signal Untuk Mendeteksi Kerusakan Peralatan Pada Proses Desalinasi Berdasarkan Laju Debit Air

Pada gambar 4.7 memperlihatkan batas signal untuk mendeteksi kerusakan peralatan pada proses desalinasi berdasarkan laju debit air yang ditentukan menggunakan 1 sigma, 2 sigma dan 3 sigma, sehingga diperoleh level signal. Perbedaan perlakuan juga perlu diperhatikan dari level yang dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Signal Prediksi Kerusakan Peralatan Pada Proses Desalinasi

Signal	Sigma	Batas debit air hingga titik (Ton/Jam)	Tindakan
Waspada	1 $\sigma$	285	Persiapan peralatan perbaikan
Siaga	2 $\sigma$	262	<i>Maintenance</i> harus di lakukan
Krisis	3 $\sigma$	239	<i>Breakdown</i>

Batas tersebut didukung juga dengan penjelasan dari perusahaan dimana pada penggunaan hari ke 13 terdapat kerusakan pada peralatan di proses desalinasi dan mengakibatkan gagal start pada proses desalinasi. Sehingga terjadi dibandingkan dengan menggunakan data *outsample* untuk melihat batas yang digunakan sudah sesuai dengan penerapan kedepannya seperti pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Penerapan Garis Batas Signal Data *Outsample* Pada Proses Desalinasi Berdasarkan Laju Debit Air

### 4.3 Analisis Nilai Reliabilitas *Control Valve* Dan Memprediksi Jadwal *Maintenance* Yang Sesuai

Data yang dikumpulkan adalah data komponen yang berada di proses desalinasi PT PJB UP Gresik. Data diambil dari bulan Januari 2017 sampai bulan Desember tahun 2017. Berikut data breakdown pada proses desalinasi.

**Tabel 4.7** Data Breakdown Pada Proses Desalinasi

Periode	Jumlah Kerusakan
Januari 2017	2
Februari 2017	2
Maret 2017	2
April 2017	2
Mei 2017	2
Juni 2017	2
Juli 2017	3
Agustus 2017	2

September 2017	2
Oktober 2017	3
November 2017	2
Desember 2017	2
<hr/>	
<b>Total</b>	<b>26</b>
<hr/>	

Perhitungan biaya perbaikan atau *repair cost* ( $Cr$ ) diperoleh dari biaya tenaga kerja ditambah biaya komponen. Dimana biaya tenaga kerja diabaikan karena gaji karyawan dibayarkan setiap bulannya maka biaya perbaikan adalah biaya perbaikan yang diganti sehingga diperoleh nilai sebagai berikut.

$$Cr = \frac{\text{Total Biaya Komponen}}{\text{Jumlah Komponen yang diganti}}$$

$$Cr = \frac{\$ 582.949}{30} = \$ 22.421,12 \text{ per kerusakan}$$

Kemudian biaya yang timbul dalam kebijakan repair (*repair policy*) ini adalah biaya *repair* dan biaya *downtime*.

$$TMC(r) = TCr + TCd$$

Penentuan biaya produksi pada proses desalinasi dapat diabaikan ( $TCd = 0$ ). Untuk menentukan  $TCr$  maka harus menghitung rata-rata *run-time* pada proses desalinasi, kemudian menghitung rata-rata *breakdown* tiap periode dengan melakukan perhitungan di persamaan 2.47.

$$Tb = \sum_{i=1}^{14} p_i \cdot T_i$$

$$\begin{aligned} Tb = & (0,066667 * 1) + (0,066667 * 2) + (0,066667 * 3) \\ & + (0,066667 * 4) + (0,066667 * 5) + (0,066667 * 6) \\ & + (0,1 * 7) + (0,066667 * 8) + (0,066667 * 9) + (0,1 * 10) \\ & + (0,066667 * 11) + (0,066667 * 12) \end{aligned}$$

$$Tb = 6,65 \text{ bulan}$$

Maka rata-rata jumlah *breakdown* per periode dihitung dengan persamaan 2.46 sebagai berikut

$$B = \frac{N}{Tb} = \frac{1}{6,65} = 0,15 \text{ per bulan}$$

Kemudian mencari biaya *repair* yang diperkirakan dengan persamaan 2.45 adalah sebagai berikut

$$TCr = BxCr = 0,15 \times \$ 22.421,12 = \$ 3.369,647 \text{ per bulan}$$

Maka biaya *repair policy* yang diperkirakan dengan persamaan 2.48 adalah :

$$TMC = TCr + TCd = \$ 3.369,647 + \$ 0 = \$ 3.369,647 \text{ per bulan}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh biaya *repair policy* untuk kerusakan pada proses desalinasi sebesar \$ 3.369,647 per bulan.

Perhitungan biaya *preventive maintenance* (*Cm*) adalah biaya yang dikeluarkan setiap perawatan pada proses desalinasi, meliputi biaya tenaga kerja dan biaya perawatan. Karena karyawan dibayarkan setiap bulan, maka biaya tenaga kerja dapat diabaikan. Sedangkan biaya perawatan dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Biaya Peralatan Untuk *Preventive Maintenance*

No.	Peralatan	Harga (\$)
1	Jockey Pump	207
2	Injection Pump 1	22.400
3	Injection Pump 2	24.150
4	Diesel Fire Pump	124.702
<b>Total</b>		<b>171459</b>

Perhitungan biaya *preventive maintenance* yang rutin dilakukan perusahaan adalah sebagai berikut.

$$Cm = (\text{Biaya TK} \times \text{Waktu Kerja} \times \text{Jumlah TK}) + (\text{Biaya Komponen})$$

$$Cm = (0) + (\$ 171.459) = \$ 171.459 \text{ per preventif}$$

Setelah itu melakukan perhitungan biaya *preventive maintenance policy* yang diperkirakan untuk kerusakan pada proses desalinasi pada 1 bulan operasi ( $n = 1$ ) adalah sebagai berikut.

1. Kumulatif jumlah *breakdown* per 1 bulan operasi

$$B_1 = N \times p_1 = (1)(0,076923) = 0,076923$$

2. Rata-rata jumlah *breakdown* per 1 bulan operasi

$$B = \frac{B_1}{n} = \frac{0,076923}{1} = 0,076923 \text{ per bulan}$$

3. Perkiraan biaya repair per 1 bulan operasi

$$TCr_1 = B \cdot Cr = (0,076923)(\$ 22.421,12) = \$ 1.724,701$$

4. Biaya *preventive maintenance* per 1 bulan operasi

$$TCm_1 = \frac{N \cdot Cm}{n} = \frac{(1)(\$ 171.459)}{1} = \$ 171.459$$

5. Total biaya *maintenance* per 1 bulan operasi menjadi

$$\begin{aligned} TMC_1 &= TCr_1 + TCm_1 + TCd \\ &= \$ 1.724,701 + \$ 171.459 + 0 = \$ 173.183,7 \end{aligned}$$

Perhitungan biaya perawatan dengan metode *preventive maintenance* untuk kerusakan pada proses desalinasi periode 2 bulan operasi ( $n = 2$ ) adalah sebagai berikut.

1. Kumulatif jumlah *breakdown* per 2 bulan operasi

$$\begin{aligned} B_2 &= N(p_1 + p_2) + B_1p_1 \\ &= (1)(0,076923 + 0,076923) + (0,076923)(0,076923) \\ &= 0,153846 \end{aligned}$$

2. Rata-rata jumlah *breakdown* per 2 bulan operasi

$$B = \frac{B_2}{n} = \frac{0,153846}{2} = 0,076923 \text{ per bulan}$$

3. Perkiraan biaya repair per 2 bulan operasi

$$TCr_2 = B \cdot Cr = (0,079882)(\$ 22.421,12) = \$ 1.791,036$$

4. Biaya *preventive maintenance* per 2 bulan operasi

$$TCm_2 = \frac{N \cdot Cm}{n} = \frac{(1)(\$ 1.791,036)}{2} = \$85.729,5$$

5. Total biaya *maintenance* per 2 bulan operasi menjadi

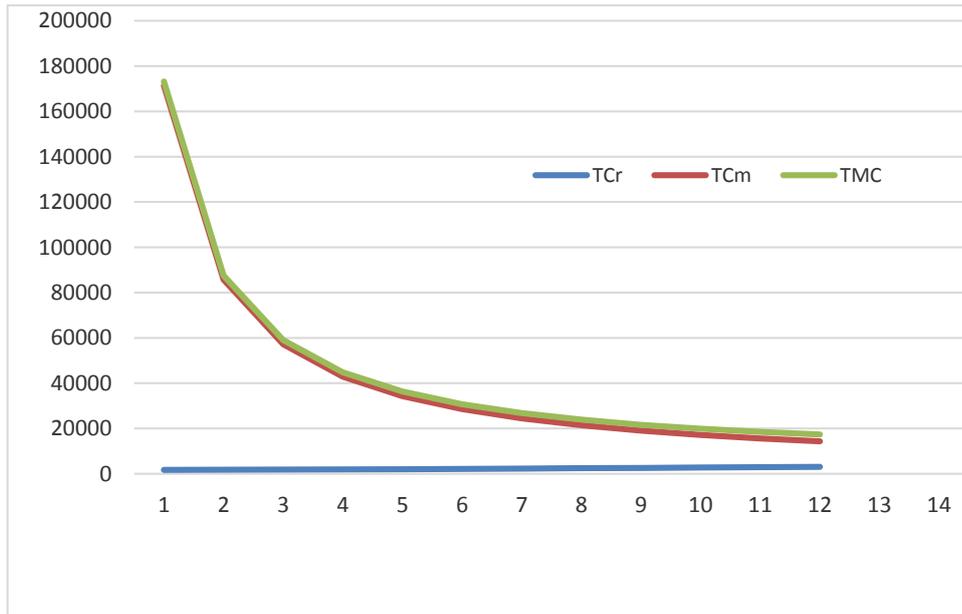
$$\begin{aligned} TMC_2 &= TCr_2 + TCm_2 + TCd \\ &= \$ 1.791,036 + \$85.729,5 + 0 = \$87.520,54 \end{aligned}$$

Dengan menerapkan cara yang sama, maka akan diperoleh hasil evaluasi biaya perawatan untuk kerusakan pada proses desalinasi pada tiap periode bulan yang berbeda. Hasil perhitungan *preventive maintenance policy* pada proses desalinasi dapat dilihat pada tabel 4.9. dan juga dapat dilihat secara grafis pada gambar 4.9.

**Tabel 4.9** Biaya *Preventive Maintenance* Pada Proses Desalinasi

Bulan	Probabilitas	Bn	B	TCr (\$)	TCm (\$)	TMc (\$)
1	0,076923077	0,076923	0,076923	1.724,701	171.459	173.183,7
2	0,076923077	0,159763	0,079882	1.791,036	85.729,5	87.520,54
3	0,076923077	0,166136	0,082992	1.860,772	57.153	59.013,77
4	0,076923077	0,166626	0,086263	1.934,107	42.864,75	44.798,86
5	0,076923077	0,166664	0,089703	2.011,248	34.291,8	36.303,05
6	0,076923077	0,166666	0,093323	2.092,416	28.576,5	30.668,92
7	0,115384615	0,205128	0,102628	2.301,04	24.494,14	26.795,18
8	0,076923077	0,215976	0,109777	2.461,314	21.432,38	23.893,69
9	0,076923077	0,17046	0,113632	2.547,763	19.051	21.598,76
10	0,115384615	0,20542	0,121674	2.728,076	17.145,9	19.873,98
11	0,076923077	0,21601	0,130369	2.923,021	15.587,18	18.510,2
12	0,076923077	0,170462	0,135108	3.029,272	14.288,25	17.317,52

Pada tabel 4.9 diperoleh biaya *maintenance* pada proses desalinasi yang paling rendah diperoleh di periode 12 bulan sekali, dengan biaya *preventive maintenance* setara dengan \$ 17.317,52 per bulan.



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Biaya *Preventive Maintenance* Dengan Biaya *Repair Maintenance* Pada Proses Desalinasi di PT PJB UP Gresik

Dari hasil pengolahan data di atas maka dapat diketahui total biaya masing-masing kebijakan perawatan pada proses desalinasi, baik menggunakan metode *repair policy* maupun dengan *preventive maintenance policy*. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.10

**Tabel 4.10** Perbandingan Biaya Perawatan

<i>Repair Policy</i>	<i>Preventive Maintenance Policy</i>
\$ 3.369,647	\$17.317,52

Pada tabel 4.10 memperlihatkan bahwa total biaya kerusakan pada *repair policy* lebih murah dibandingkan dengan *preventive maintenance*. Maka kebijakan optimal untuk kerusakan pada proses desalinasi adalah menerapkan *repair policy* dengan biaya setara \$3.369,647 per bulan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada studi ini mengenai *predictive maintenance* pada proses desalinasi di PT PJB UP Gresik, maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil yang telah didapat sebagai berikut:

1. Hasil karakteristik laju debit air yang masuk pada proses desalinasi memiliki rata-rata sebesar 307,93 Ton/Jam pada data tahun 2016.
2. Hasil batas signal yang ditentukan dengan metode *time series*, maka didapatkan model terbaik yaitu ARIMA(1,0,0) kemudian didapatkan pula batas kerusakan dengan membedakan 3 tindakan yaitu:
  - a. Signal waspada dengan batas debit air hingga titik 286 Ton/Jam melakukan persiapan perbaikan dengan menyiapkan peralatan
  - b. Signal siaga dengan batas debit air hingga titik 262 Ton/Jam maka *Maintenance* harus dilakukan
  - c. Signal krisis dengan batas debit air hingga titik 239 Ton/Jam  
*Breakdown*
3. Usulan kebijakan perawatan pada proses desalinasi di PT PJB UP Gresik adalah melakukan *repair policy* dengan biaya perbaikan lebih murah daripada *preventive maintenance policy* yaitu sebesar \$3.369,647 per bulan.

#### 5.2 Saran

Setelah menentukan batas dan penjadwalan yang sesuai dengan hasil perhitungan pada proses desalinasi di PT PJB UP Gresik, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam melakukan analisis *time series* pada proses desalinasi, sebaiknya menggunakan data yang memenuhi asumsi normal supaya mendapatkan model yang lebih baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Pustaka

- Bradley, D. (2001). *Predictive Maintenance – The Key to Power Quality*. United Kingdom: Rhopoint Systems Ltd.
- Chatfield, C. (2004). *The Analysis of Time Series : Introduction (6th Edition)*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Cryer, J. D., & Chan, K.S. (2008). *Time series Analysis with Application in R (2nd edition)*. New York: Springer.
- Ebeling, C, E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapura: Mc-Grow Hill Book.co.
- Keith, M. R. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance second edition*. United States of America: Elsevier science.
- Kyriakidis, E.G. & Dimitrakos, T.D. (2006). *Optimal preventive maintenance of a production system with an intermediete buffer*. European Journal of Operational Research, Vol. 168, pp. 86-99.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance*. United States of America: Industrial Press Inc.
- Pujotomo, D. & Kartha, R. (2007). *Analisa Sistem Perawatan Komponen Bearing Bottom Roller dan V-Belt Mesin Ring Frame RY-5 pada Departemen Spinning II A (Di PT Danrilis Surakarta)*. Jurnal Teknik Industri Undip. Vol. 2 (2), pp. 40 - 48.
- Saaty, T. L. (1988). *Decision Making for Leaders; The analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex Worlds*. Pittsburgh: RWS Publication.
- Smith, R. & Moubley, R. K. (2003). *Industrial Machinery Repair: Best Maintenance Practices Pocket Guide*. 1st Edition. USA: Elsevier Science.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analisis: Univarite and Multivariate Method (Second Edition)*. United States of America : Pearson Education.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran

### 1. Data Debit Air Yang Masuk Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2016

Hari ke-	Debit air (ton/jam)	Hari ke-	Debit air (ton/jam)
1	285	32	313
2	255	33	313
3	266	34	313
4	278	35	354
5	289	36	353
6	300	37	336
7	310	38	312
8	321	39	311
9	312	40	282
10	312	41	295
11	303	42	292
12	311	43	293
13	200	44	290
14	280	45	286
15	331	46	308
16	330	47	300
17	314	48	283
18	331	49	283
19	330	50	282
20	330	51	283
21	332	52	283
22	330	53	284
23	331	54	331
24	330	55	332
25	331	56	331
26	318	57	331
27	334	58	328
28	329	59	295
29	356	60	315
30	355	61	301
31	261	62	290

2. Data Biaya Kerusakan Pada Proses Desalinasi Pada Tahun 2017

Work Order Desc	Equip Ref	Equipment Description Line 1	Date	Calc Mat Cost	Calc Equip Cost (\$)	Est Lab Hrs	Est Lab Cost (\$)	Est Mat Cost (\$)	Est Equip Cost (\$)	Est Other Cost (\$)	Est Total Cost (\$)
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	13/01/2017	22,583.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.583
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	27/01/2017	22,583.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.583
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	10/02/2017	22,583.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.583
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	24/02/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	13/03/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	24/03/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	04/04/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	21/04/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400

Work Order Desc	Equip Ref	Equipment Description Line 1	Date	Calc Mat Cost	Calc Equip Cost (\$)	Est Lab Hrs	Est Lab Cost (\$)	Est Mat Cost (\$)	Est Equip Cost (\$)	Est Other Cost (\$)	Est Total Cost (\$)
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	05/05/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	19/05/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	02/06/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	16/06/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	06/07/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	20/07/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	27/07/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	10/08/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	24/08/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400

Work Order Desc	Equip Ref	Equipment Description Line 1	Date	Calc Mat Cost	Calc Equip Cost (\$)	Est Lab Hrs	Est Lab Cost (\$)	Est Mat Cost (\$)	Est Equip Cost (\$)	Est Other Cost (\$)	Est Total Cost (\$)
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	07/09/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	19/09/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	03/10/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	20/10/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	31/10/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	14/11/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	28/11/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	12/12/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400
PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	GC00QCD	PLTGU-FERROUS / Fe3SO4 INJECTION PUMP	26/12/2017	22,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.400

### 3. Program Model ARIMA(1,0,0) Pada Proses Desalinasi

```

data debitair;
input x;
datalines;
285.000
255.000
265.500
.
.
.
331.000
328.333
295.375
314.500
301.325
290.000
proc arima data=debitair;
/** Tahap Identifikasi **/
identify var = x;
/** Tahap Estimasi **/
estimate
p=(1)
noconstant method=cls;
/** Tahap Peramalan **/
forecast out=ramalan lead=15;
/** Tahap Deteksi Outlier **/
/**outlier maxnum= 20 alpha= 0.1;**/
proc print data=ramalan;
run;
/** Tahap Uji Normalitas Residual **/
proc univariate data=ramalan normal;
var residual;
run;

```

### 4. Output Timeseries Model ARIMA(1,0,0)

**The ARIMA Procedure**

Name of Variable = x

Mean of Working Series	307.9282
Standard Deviation	27.33432
Number of Observations	62

**Autocorrelations**

Lag	Covariance	Correlation	-1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	Std Error
0	747.165	1.00000											*****											0
1	378.618	0.50674											*****											0.127000
2	193.493	0.25897											*****											0.156245
3	126.540	0.16936											***											0.163021
4	20.378073	0.02727											*											0.165834
5	-31.040106	-0.04154											*											0.165907
6	9.527345	0.01275											.											0.166075
7	53.005386	0.07094											.											0.166090
8	79.446647	0.10633											.											0.166578
9	118.020	0.15796											.											0.167669
10	95.804888	0.12822											.											0.170053
11	99.048795	0.13257											.											0.171605
12	5.443013	0.00728											.											0.173249
13	-86.278005	-0.11547											.	**										0.173254
14	-115.730	-0.15489											.	***										0.174491
15	-178.212	-0.23852											.	*****										0.176694

". " marks two standard errors

**Partial Autocorrelations**

Lag	Correlation	-1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
1	0.50674												*****									
2	0.00294																					
3	0.04982												*									
4	-0.10489										**											
5	-0.03379										*											
6	0.07773											**										
7	0.07613											**										
8	0.05664											*										
9	0.07635											**										
10	-0.01403																					
11	0.06888											*										
12	-0.13009									***												
13	-0.10811									**												
14	-0.06280									*												
15	-0.14850									***												

**Autocorrelation Check for White Noise**

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	-----Autocorrelations-----						
6	23.25	6	0.0007	0.507	0.259	0.169	0.027	-0.042	0.013	
12	28.94	12	0.0040	0.071	0.106	0.158	0.128	0.133	0.007	

**Conditional Least Squares Estimation**

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr >  t	Lag
AR1,1	0.99641	0.01881	52.99	<.0001	1

Variance Estimate      2065.611  
Std Error Estimate      45.44899  
AIC                        650.1975  
SBC                        652.3246  
Number of Residuals      62  
\* AIC and SBC do not include log determinant.

**Autocorrelation Check of Residuals**

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	-----Autocorrelations-----						
6	1.91	5	0.8617	-0.158	-0.027	0.049	0.009	-0.015	0.026	
12	8.28	11	0.6882	0.038	-0.025	0.026	-0.031	0.069	-0.268	
18	14.27	17	0.6476	0.167	0.142	-0.001	-0.112	0.023	0.102	
24	14.82	23	0.9010	-0.026	0.024	0.032	-0.009	-0.056	-0.005	

Model for variable x  
No mean term in this model.

**Tests for Normality**

Test	--Statistic--		-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W	0.589297	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.251738	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	1.460585	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	7.486483	Pr > A-Sq	<0.0050