



TESIS BM185407

**ANALISIS *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE*  
(TPM) ALAT *LINEAR ACCELERATOR* (LINAC)  
DI RS. XYZ**

ETA OKTASARI  
09211750013004

DOSEN PEMBIMBING  
Dr.Ir.Bambang Syairudin, MT

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI  
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

# LEMBAR PENGESAHAN

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

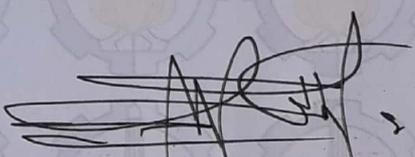
Oleh:

**ETA OKTASARI**  
NRP. 09211750013004

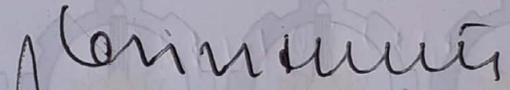
Tanggal Ujian : 18 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

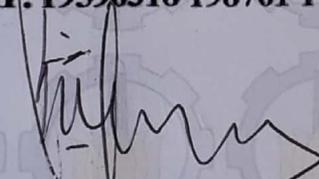
Disetujui oleh:

  
1. **Dr. Ir. Bambang Svairudin, MT**  
NIP. 19631008 199002 1 001

(Pembimbing)

  
2. **Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**  
NIP. 19590318 198701 1 001

(Penguji)

  
3. **Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc**  
NIP. 19590430 198903 1 001

(Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,



**Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**  
NIP. 19590318 198701 1 001

# **ANALISIS TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) ALAT LINEAR ACCELERATOR (LINAC) DI RS. XYZ**

Nama Mahasiswa : Eta Oktasari  
NRP : 09211750013004  
Pembimbing : Dr. Ir. Bambang Syairudin, MT

## **ABSTRAK**

Peralatan medis merupakan salah satu faktor penting dalam penyelenggaraan pelayanan kesehatan, baik di rumah sakit maupun fasilitas kesehatan lainnya. Sebagai salah satu pusat layanan kesehatan di Indonesia yang memiliki fasilitas radioterapi *Linear Accelerator* (Linac), tantangan yang dihadapi oleh RS. XYZ adalah menjaga ketersediaan dan keandalan sarana prasarananya.

Selama ini, RS. XYZ telah berupaya melalui kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setiap tahun. Linac merupakan teknologi terbaru radioterapi dalam pengobatan penyakit kanker dengan memanfaatkan radiasi energi tinggi untuk mengakselerasi partikel subatomik sehingga partikel mengalami percepatan dan melepaskan energi untuk membunuh sel kanker.

Di dalam menjalankan perannya, Linac 2300 iX memiliki *breakdowntime* yang cenderung melebihi standar setiap tahunnya. Dalam hal ini *breakdowntime* tentunya berpengaruh terhadap pelayanan pasien Linac 2300 iX dan efektifitas total Linac. Hal ini menjadi sangat penting bagi RS. XYZ untuk memperhatikan pemeliharaan Linac 2300 iX, dimana pemeliharaan Linac di RS. XYZ selama ini dilakukan oleh *outsourc*e yang juga merupakan agen tunggal, sehingga kualitas pemeliharaan Linac sudah sangat dipercaya oleh RS. XYZ. Pengukuran *Total Productive Maintenance* (TPM) dilakukan dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mengetahui keterlibatan operator dan petugas pemeliharaan dalam memaksimalkan efektifitas peralatan, mengurangi kegagalan dan kerugian produksi, yang dalam hal ini juga terkait dengan kualitas pemeliharaan yang dilakukan oleh *outsourc*e.

Hasil pengukuran TPM menunjukkan nilai OEE sebesar 58,07 % dengan unsur-unsur OEE yaitu *Availability* (71,60%), *Performance* (81,1%), dan *Quality* (100%). Hasil ini menunjukkan bahwa kinerja peralatan dan penerapan program TPM belum maksimal. Berdasarkan analisis penyebab *downtime* menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa kegagalan *control system* Linac 2300 iX menjadi faktor penyebab utama yang memberikan kontribusi terbanyak terhadap *breakdown loss*. Pengukuran dan analisis yang dilakukan oleh peneliti bisa menjadi referensi RS dalam mengelola Linac 2300 iX.

**Kata kunci** : Linac, TPM, OEE, FMEA

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## **TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) ANALYSIS OF LINEAR ACCELERATOR (LINAC) DEVICE IN HOSPITAL XYZ**

Name : Eta Oktasari  
NRP : 09211750013004  
Supervisor : Dr. Ir. Bambang Syairudin, MT

### **ABSTRACT**

Medical equipment is an important factor in the health services implementation, both in hospitals and other health facilities. The challenges across by Hospital XYZ as one of the health care centers in Indonesia which has Linear Accelerator (Linac) radiotherapy facilities, is maintaining the availability and reliability of its infrastructure.

During this time, Hospital XYZ has been working through maintenance activities carried out every year. Linac is the latest radiotherapy technology in the treatment of cancer by utilizing high-energy radiation to accelerate subatomic particles so that particles accelerate and release energy to kill cancer cells.

In carrying out its role, Linac 2300 iX has a breakdown that tends to exceed the standard every year. In this case, breakdown time certainly affects the service of the Linac 2300 iX patient and the total effectiveness of the Linac. This is very important for Hospital XYZ to pay attention to the maintenance of Linac 2300 iX, which maintenance of Linac in Hospital XYZ has been carried out by outsource, which is also the sole agent, so the quality of maintenance of Linac has been very trusted by the Hospital XYZ. Total Productive Maintenance (TPM) measurements are carried out using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) method to determine the involvement of operators and maintenance officers in maximizing the effectiveness of equipment, reducing production failures and losses, which in this case is also related to the quality of maintenance carried out by outsource.

The results of the TPM measurement show an OEE value of 58.07% with OEE elements namely Availability (71.60%), Performance (81.1%), and Quality (100%). These results indicate that performance of equipment and TPM program implementation are not maximal. Based on the causes analysis of downtime using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) shows that the failure of Linac 2300 iX control system is the main factor that contributes the most to the breakdown loss. This measurement and analysis can be a reference for RS in managing Linac 2300 iX.

**Key Words** : Linac, TPM, OEE, FMEA

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Kontribusi Penelitian .....	7
1.6. Batasan dan Asumsi Penelitian .....	7
1.6.1. Batasan Penelitian .....	7
1.6.2. Asumsi Penelitian .....	8
1.7. Sistematika Penulisan .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>11</b>
2.1. Tinjauan Umum Rumah Sakit .....	11
2.2. Linear Accelerator (Linac) .....	15
2.2.1. Radioterapi Linac .....	15
2.2.2. Prinsip Kerja Linac .....	19
2.3. <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) .....	21
2.3.1. Elemen-Elemen TPM .....	23
2.3.2. Karakteristik <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) .....	23
2.3.3. Pilar-Pilar TPM .....	24
2.4. <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) .....	26
2.5. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	30

2.5.1. Elemen-Elemen FMEA .....	32
2.5.2. Penilaian <i>Severity</i> , <i>Occurance</i> dan <i>Detection</i> .....	34
2.6. Pareto Analysis .....	38
2.7. Penelitian Terdahulu .....	40
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1. Jenis Penelitian .....	43
3.2. Alur Penelitian .....	44
3.3. Studi Literatur .....	44
3.4. Sumber Data .....	45
3.5. Teknik Pengumpulan Data .....	45
3.6. Identifikasi Variabel .....	46
3.7. Teknik Pengolahan Data .....	47
3.8. Teknik Analisis Data .....	47
<b>BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>49</b>
4.1. Mekanisme Kerja Linac 2300 iX .....	49
4.2. Penghitungan <i>Loading Time</i> .....	51
4.3. Penghitungan <i>Operating Time</i> .....	53
4.4. Penghitungan <i>Availability</i> .....	55
4.5. Penghitungan <i>Performance</i> .....	56
4.6. Penghitungan <i>Quality</i> .....	57
4.7. Penghitungan Nilai <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) .....	58
4.8. Penghitungan <i>Six Big Losses</i> .....	60
4.9. Penghitungan <i>Mean Time Between Failures</i> (MTBF) dan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR) .....	63
4.10. Analisis Mode Kegagalan .....	64
4.11. Analisis <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) .....	70
4.12. Implikasi Manajerial .....	71
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>73</b>
5.1. Kesimpulan .....	73
5.2. Saran .....	73

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik Jumlah Pelayanan Linac 2300 iX di RS. XYZ Berdasarkan Tahun .....	5
Gambar 2.1	Linac 2300 iX di RS. XYZ .....	16
Gambar 2.2	Skema Pesawat Linac Dalam Bidang Radioterapi .....	17
Gambar 2.3	Skema Bagian Kepala Linac .....	18
Gambar 2.4	Skema Prinsip Kerja Linac .....	19
Gambar 2.5	8 Pilar TPM .....	25
Gambar 2.6	Unsur dan Penghitungan OEE .....	27
Gambar 2.7	Diagram Pareto .....	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian .....	44
Gambar 4.1	Grafik Komposisi Waktu Linac 2300 iX .....	54
Gambar 4.2	Grafik <i>Six Big Losses</i> Linac 2300 iX .....	60
Gambar 4.3	Diagram Pareto <i>Six Big Losses</i> Linac 2300 iX .....	62
Gambar 4.4	Diagram Pareto Faktor Penyebab <i>Downtime</i> Linac 2300 iX ....	69

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jenis Penyakit di RS. XYZ Dan Peralatan Medis Yang Digunakan .....	2
Tabel 1.2	Fasilitas Radioterapi Dengan Radiasi Eksternal di RS. XYZ..	3
Tabel 1.3	Data <i>Breakdowntime</i> Alat Linac di RS. XYZ .....	4
Tabel 2.1	<i>World Class OEE</i> .....	30
Tabel 2.2	<i>Severity Rating</i> .....	35
Tabel 2.3	<i>Occurance Rating</i> .....	35
Tabel 2.4	<i>Detection Rating</i> .....	36
Tabel 2.5	Contoh <i>Template FMEA</i> .....	37
Tabel 2.6	Penelitian Terdahulu .....	40
Tabel 3.1	Variabel Penelitian .....	46
Tabel 4.1	Penghitungan Jam Kerja Pelayanan Radioterapi Linac 2300 iX ... .....	51
Tabel 4.2	Penghitungan <i>Loading Time</i> Linac 2300 iX .....	52
Tabel 4.3	Penghitungan <i>Operating Time</i> Linac 2300 iX .....	53
Tabel 4.4	Penghitungan <i>Availability</i> Linac 2300 iX .....	55
Tabel 4.5	Penghitungan <i>Performance</i> Linac 2300 iX .....	56
Tabel 4.6	Penghitungan <i>Quality</i> Linac 2300 iX .....	57
Tabel 4.7	Penghitungan OEE Linac 2300 iX .....	58
Tabel 4.8	Penghitungan <i>Six Big Losses</i> Linac 2300 iX .....	60
Tabel 4.9	Persentase <i>Six Big Losses</i> Linac 2300 iX .....	62
Tabel 4.10	Penghitungan <i>Mean Time Between Failures</i> (MTBF) dan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR) Linac 2300 iX .....	63
Tabel 4.11	Analisis Mode Kegagalan Penyebab <i>Downtime</i> Linac 2300 iX ... .....	64

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan ruang lingkup dalam hal batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

### **1.1 Latar Belakang**

Peralatan medis merupakan salah satu faktor penting dalam penyelenggaraan pelayanan kesehatan, baik di rumah sakit maupun fasilitas kesehatan lainnya.

Alat medis adalah sebuah artikel, instrumen, peralatan atau mesin yang digunakan dalam pencegahan, diagnosis atau perawatan penyakit atau penyakit, atau untuk mendeteksi, mengukur, memulihkan, memperbaiki atau memodifikasi struktur atau fungsi tubuh untuk tujuan kesehatan tertentu. Peralatan medis adalah perangkat medis yang memerlukan kalibrasi, pemeliharaan, perbaikan, pelatihan pengguna, dan dekomisioning. Kegiatan biasanya dikelola oleh para tenaga teknis (elektromedis/*clinical engineers*). Peralatan medis digunakan untuk tujuan diagnosis tertentu dan pengobatan penyakit atau rehabilitasi setelah penyakit atau cedera yang dapat digunakan sendiri atau dikombinasi dengan aksesoris, bahan operasional, atau bagian lain dari peralatan medis. Peralatan medis tidak termasuk implan, sekali pakai atau *disposable* (WHO, *Medical Equipment Maintenance Overview*, 2011).

Selain peran tenaga medis dokter dan perawat, peralatan medis juga memiliki peran penting dalam penanganan berbagai jenis penyakit yang ada di RS. XYZ. Dan hal ini menjadi sangat penting bagi RS. XYZ untuk menjaga ketersediaan dan keandalan alat. Berikut ini merupakan data jenis penyakit di RS. XYZ dan peralatan medis yang digunakan.

Tabel 1.1 Jenis Penyakit di RS. XYZ Dan Peralatan Medis Yang Digunakan

No.	Jenis Penyakit	Alat Medis Yang Digunakan
1	Kanker / tumor	Linac / Cobalt-60
2	Mata	Snellen
3	Kepala dan leher	Electro Encephalography (EEG)
4	Telinga/pendengaran, hidung, tenggorokan	Endoscopy
5	Kulit	Laser terapi
6	Kelamin	Speculum
7	Jiwa	Electro Convulsive Therapy (ECT), Tensimeter
8	Saraf dan otot	Electro Miography (EMG), Diathermy
9	Kandungan	Ultrasonography (USG), Stetoskop
10	Pernapasan, Paru-paru (TBC, Pneumonia)	Ventilator, Bedside Monitor
11	Kuning (hyperbilirubin)	Phototerapy
12	Ginjal	Hemodialisis, Tensimeter
13	HIV/AIDS	Syringe Pump, Infusion Pump, Tensimeter
14	Alergi, Cacar	Stetoskop, Tensimeter
15	Demam berdarah, Malaria	Infusion Pump, Tensimeter, Stetoskop
16	Hepatitis	Ultrasonography (USG), Stetoskop
17	Hyper/Hypotermia	Blanketrol, Thermometer
18	Patah tulang	Electrosurgery Unit (ESU), Bedside Monitor, Bor Tulang
19	Luka bakar	Infusion Pump, Bedside Monitor, Kasur Decubitus
20	Nyeri	Diathermy
21	Gigi dan mulut	Dental unit, Suction Pump, Electrosurgery Unit (ESU)
22	Hydrocephalus	Infusion Pump, Bedside Monitor, Kasur Decubitus
23	Thalassemia	Syringe Pump
24	Lambung, usus	Endoscopy
25	Gangguan keseimbangan cairan tubuh	Syringe Pump, Nebulizer
26	Gangguan metabolisme	Infusion Pump
27	Anaemia	Tensimeter
28	Hipertensi	Tensimeter, Infusion Pump, Stetoskop
29	Neoplasma ganas serviks uteri	Syringe Pump

30	Diabetes	Syringe Pump, Infusion Pump, Tensimeter, Nebulizer
31	Gastroenteritis dan kolitis	Pulse Oximeter, Tensimeter, Suction Pump, Laparoscopy
32	Gangguan sistem urin	Urodynamic, Uroflowmetry, ESWL

Sumber: website resmi RS. XYZ, diakses September 2018, hasil interview, diolah

RS. XYZ merupakan salah satu pusat layanan kesehatan di Indonesia yang memiliki fasilitas radioterapi. Berikut ini data fasilitas radioterapi yang ada di RS. XYZ.

Tabel 1.2 Fasilitas Radioterapi Dengan Radiasi Eksternal di RS. XYZ

No.	Nama Alat	Tahun Instal
1	Linac 2300 iX (alat radioterapi)	2014
2	Linac 2100 C (alat radioterapi)	2000
3	Linac 600 C/D (alat radioterapi)	2008
4	Cobalt-60 (alat radioterapi)	2007

Sumber: Laporan Rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, 2018, diolah

Sebagai salah satu pusat layanan kesehatan dengan berbagai sarana prasarana radioterapi yang dimiliki, tantangan yang dihadapi RS. XYZ adalah bagaimana menjaga ketersediaan dan keandalan sarana prasarannya. Dalam hal ini khususnya Linac 2300 iX yang merupakan pelayanan unggulan, *brand image* dan teknologi radioterapi terbaru yang dimiliki oleh RS. XYZ. Linac (*Linear Accelerator*) merupakan teknologi canggih dan terbaru radioterapi dalam pengobatan penyakit kanker, yaitu dengan memanfaatkan radiasi energi tinggi untuk mengakselerasi partikel subatomik sehingga partikel mengalami percepatan dan melepaskan energi untuk membunuh sel kanker. Hal ini menjadikan RS. XYZ untuk selalu menjaga kesiapan alat Linac agar selalu dalam kondisi siap pakai untuk pelayanan pasien. Untuk mencapai kondisi dan fungsi alat Linac yang baik, diperlukan adanya pengelolaan yang baik terhadap alat guna menunjang pelayanan kesehatan secara optimal. Selama ini, RS. XYZ telah berupaya menjaga keandalan serta ketersediaan Linac melalui kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setiap

tahunnya. Hal ini dapat dilihat pada data umur dan pemeliharaan Linac di RS. XYZ (terlampir).

Di dalam menjalankan perannya sebagai alat radioterapi untuk pengobatan kanker, Linac mengalami kerusakan yang bervariasi pada setiap tahunnya. Hal ini dapat dilihat pada data *breakdown time* Linac berikut.

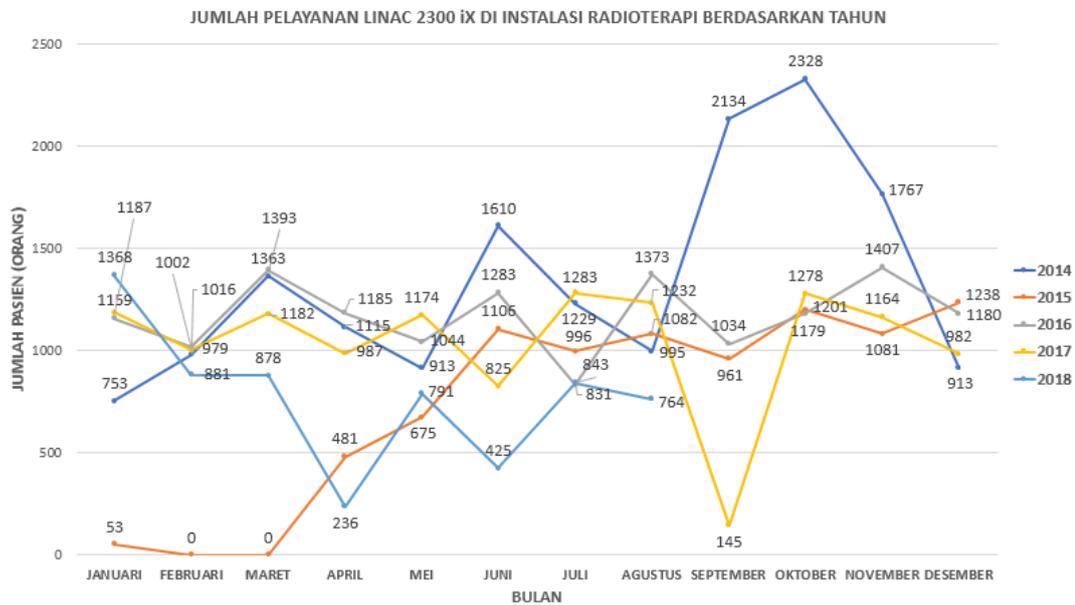
Tabel 1.3 Data *Breakdown time* Alat Linac di RS. XYZ

NO	LINEAR ACCELERATOR (LINAC)	TAHUN						STANDAR BDT
		2013	2014	2015	2016	2017	2018 (Jan - Agst)	
1	LINAC 2100 C	51.7%	79.4%	2.5%	4.5%	3.7%	1%	<5%
2	LINAC 600 C/D	12.3%	22.2%	9.8%	11.8%	2.4%	16%	<5%
3	LINAC 2300 iX	2%	3%	34%	2.2%	7.6%	13%	<5%

Sumber: Laporan Instalasi Radioterapi RS. XYZ, Agustus 2018

Berdasarkan laporan rutin tersebut, diketahui bahwa *breakdown time* Linac 2300 iX cenderung melebihi standar tiap tahunnya. Hal ini menjadi sangat penting bagi RS. XYZ untuk memperhatikan pemeliharaan Linac, dimana jika dilihat berdasarkan tahun instalnya, Linac 2300 iX merupakan Linac terbaru dan memiliki umur alat paling muda jika dibandingkan Linac lainnya yang ada di RS. XYZ. Namun pada tahun 2015 *breakdown time* Linac 2300 iX sebesar 34%, dan pada tahun 2018 sejak bulan Januari hingga Agustus *breakdown time* sudah sebesar 13%. Dalam hal ini *breakdown time* tentunya berpengaruh terhadap keandalan dan waktu ketersediaan alat Linac 2300 iX yang secara langsung juga berpengaruh terhadap pelayanan pasien Linac 2300 iX. Berikut ini disajikan data jumlah pelayanan Linac 2300 iX di RS. XYZ.

Grafik 1.1 Jumlah Pelayanan Linac 2300 iX di RS. XYZ Berdasarkan Tahun



Sumber: Laporan Rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, Agustus 2018

Dilihat dari laporan rutin tersebut, dapat diketahui adanya penurunan jumlah pelayanan Linac 2300 iX yang signifikan pada bulan April 2018 turun sebesar 645 orang atau 73% lebih rendah dari bulan Maret 2018, dengan estimasi kerugian pada bulan April sebesar Rp. 779.900.000. Dalam hal ini, jumlah pelayanan pasien Linac berpengaruh terhadap efektivitas total Linac. Sebagaimana pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kigsirisin, Soraphon (2016) dihasilkan bahwa untuk mengurangi kegagalan, kerugian produksi dan untuk memaksimalkan keefektifan peralatan diperlukan keterlibatan operator dan petugas pemeliharaan yang dalam hal ini merupakan implementasi dari *Total Productive Maintenance* (TPM).

Atas dasar uraian latar belakang tersebut maka penulis ingin melakukan penelitian untuk mengukur *Total Productive Maintenance* (TPM) alat Linac 2300 iX dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), menganalisis faktor-faktor penyebab *downtime* untuk selanjutnya menentukan strategi peningkatan OEE.

Dengan adanya penelitian yang penulis lakukan diharapkan dapat diketahui bagaimana *Total Productive Maintenance* (TPM) Linac 2300 iX di RS.

XYZ yang berdampak terhadap ketersediaan dan keandalan alat yang ditunjukkan melalui nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Dengan diketahuinya faktor-faktor penyebab *downtime* dapat dijadikan sebagai salah satu modalitas penting dalam menentukan strategi peningkatan OEE.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dalam penelitian ini terdapat rumusan masalah yang akan dibahas, yaitu:

1. Bagaimana *Total Productive Maintenance* (TPM) alat Linac 2300 iX di RS. XYZ berdasarkan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)?
2. Bagaimana pengaruh faktor-faktor penyebab *downtime* alat Linac 2300 iX?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengukuran *Total Productive Maintenance* (TPM) alat Linac 2300 iX di RS. XYZ dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).
2. Melakukan analisis faktor-faktor penyebab *downtime* alat Linac 2300 iX di RS. XYZ.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun harapan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Bagi RS. XYZ dapat mengetahui nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Linac 2300 iX dan dapat dijadikan suatu referensi kebijakan dalam mengelola alat Linac 2300 iX yang merupakan aset RS.
2. Manfaat bagi akademisi dan keilmuan khususnya bidang manajemen industri dapat memberikan gambaran tentang teknologi radioterapi Linac, permasalahan terkait *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) teknologi alat kesehatan radioterapi dan manajemen peralatan yang ada di industri jasa layanan kesehatan atau RS.

## **1.5 Kontribusi Penelitian**

Dalam dimensi praktis, penelitian ini untuk mengetahui nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Linac 2300 iX di RS. XYZ dan menjadi dapat membantu pihak manajemen RS. XYZ merumuskan kebijakan dalam manajemen peralatan medis, khususnya dalam hal pemeliharaan alat Linac sehingga kebijakan yang diambil dapat tepat sasaran.

## **1.6 Batasan dan Asumsi Penelitian**

Dalam pembahasan permasalahan, maka digunakan batasan/asumsi sebagai berikut.

### **1.6.1 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah sebagai berikut.

1. Penelitian difokuskan pada alat Linac 2300 iX yang merupakan pelayanan unggulan, *brand image*, dan teknologi radioterapi terbaru di RS. XYZ.
2. Penelitian TPM difokuskan pada *Autonomous Maintenance* (perawatan mandiri).
3. Tidak mengukur jumlah pasien, tingkat penurunan jumlah pasien kanker, tingkat keparahan dan tingkat kesembuhan pasien di RS. XYZ setelah diberikan radioterapi dengan alat Linac.
4. Tidak meneliti keberagaman jenis pasien, profil pasien, jenis penyakit kanker yang diderita pasien, pengaruh faktor-faktor penyebab penyakit kanker dan faktor-faktor internal dan eksternal kondisi tubuh pasien.
5. Tidak menghitung dosis paparan radiasi.
6. Tidak mengukur tingkat efektifitas dan efisiensi dari strategi yang disarankan.

### **1.6.2 Asumsi Penelitian**

Asumsi penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah sebagai berikut.

1. Semua pasien memiliki profil pasien, karakter, profil penyakit kanker, tingkat keparahan penyakit, dan dosis penyinaran yang sama.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan di dalam penyajian penelitian ini maka penulis membuat uraian secara garis besar setiap bab nya yaitu sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Membahas latar belakang penelitian mengenai *Total Productive Maintenance* (TPM) alat Linac di RS. XYZ dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat dan kontribusi penelitian, batasan dan asumsi yang digunakan dalam menyelesaikan masalah serta sistematika penulisan dari penelitian.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Melandasi teori-teori yang digunakan pada penelitian yang melingkupi teori-teori terkait pengukuran *Total Productive Maintenance* (TPM) dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang digunakan untuk membahas pokok permasalahan yang dituangkan pada BAB I.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Membahas tentang metode-metode yang digunakan dalam penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan.

#### **BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA**

Membahas mengenai pengolahan data-data dalam penelitian serta melakukan analisis terkait hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk perbaikan. Pengambilan kesimpulan dilakukan untuk menjawab tujuan dari penelitian.

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kajian pustaka, teori yang relevan dalam penelitian serta penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya.

#### **2.1 Tinjauan Umum Rumah Sakit**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2009 tentang Rumah Sakit, pada pasal 1 dikatakan bahwa rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Pelayanan Kesehatan Paripurna adalah pelayanan kesehatan yang meliputi promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif. Dan dikatakan juga bahwa rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan bagi masyarakat dengan karakteristik tersendiri yang dipengaruhi oleh perkembangan ilmu pengetahuan kesehatan, kemajuan teknologi, dan kehidupan sosial ekonomi masyarakat yang harus tetap mampu meningkatkan pelayanan yang lebih bermutu dan terjangkau oleh masyarakat agar terwujud derajat kesehatan yang setinggi-tingginya. Sedangkan fungsi Rumah Sakit adalah:

1. Penyelenggaraan pelayanan pengobatan dan pemulihan kesehatan sesuai dengan standar pelayanan rumah sakit.
2. Pemeliharaan dan peningkatan kesehatan perorangan melalui pelayanan kesehatan yang paripurna tingkat kedua dan ketiga sesuai kebutuhan medis.
3. Penyelenggaraan pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia dalam rangka peningkatan kemampuan dalam pemberian pelayanan kesehatan.
4. Penyelenggaraan penelitian dan pengembangan serta penapisan teknologi bidang kesehatan dalam rangka peningkatan pelayanan kesehatan dengan memperhatikan etika ilmu pengetahuan bidang kesehatan.

Pendirian rumah sakit juga memiliki tujuan tersendiri, sesuai dengan Undang-undang Republik Indonesia nomor 44 tahun 2009 tentang rumah sakit pada

pasal 3, yaitu:

1. Mempermudah akses masyarakat untuk mendapatkan pelayanan kesehatan.
2. Memberikan perlindungan terhadap keselamatan pasien, masyarakat, lingkungan rumah sakit, dan sumber daya manusia di rumah sakit.
3. Meningkatkan mutu dan mempertahankan standar pelayanan rumah sakit.
4. Memberikan kepastian hukum kepada pasien, masyarakat, sumber daya manusia rumah sakit, dan rumah sakit.

Sebagaimana yang juga telah disebutkan dalam undang-undang tersebut, sebuah rumah sakit sejatinya paling sedikit terdiri atas ruang:

- a. Rawat Jalan
- b. Rawat Inap
- c. Ruang Gawat Darurat
- d. Ruang Operasi
- e. Ruang Tenaga Kesehatan
- f. Ruang Radiologi
- g. Ruang Laboratorium
- h. Ruang Sterilisasi
- i. Ruang Farmasi
- j. Ruang Pendidikan dan Latihan
- k. Ruang Kantor dan Administrasi
- l. Ruang Ibadah dan Ruang Tunggu
- m. Ruang Penyuluhan Kesehatan Masyarakat Rumah Sakit
- n. Ruang Menyusui
- o. Ruang Mekanik
- p. Ruang Dapur
- q. Laundry
- r. Kamar Jenazah
- s. Taman
- t. Pengelolaan Sampah
- u. Pelataran Parkir yang Mencukupi

Peralatan di rumah sakit yang meliputi peralatan medis dan non medis sebagaimana persyaratannya telah disebutkan dalam undang-undang tersebut pasal 16 yaitu:

1. Memenuhi standar pelayanan, persyaratan mutu, keamanan, keselamatan dan laik pakai.
2. Harus diuji dan dikalibrasi secara berkala oleh Balai Pengujian Fasilitas Kesehatan dan/atau institusi pengujian fasilitas kesehatan yang berwenang.
3. Peralatan yang menggunakan sinar pengion harus memenuhi ketentuan dan harus diawasi oleh lembaga yang berwenang.
4. Penggunaan peralatan medis dan nonmedis di Rumah Sakit harus dilakukan sesuai dengan indikasi medis pasien.
5. Pengoperasian dan pemeliharaan peralatan Rumah Sakit harus dilakukan oleh petugas yang mempunyai kompetensi di bidangnya.
6. Pemeliharaan peralatan harus didokumentasi dan dievaluasi secara berkala dan berkesinambungan.
7. Ketentuan mengenai pengujian dan/atau kalibrasi peralatan medis, standar yang berkaitan dengan keamanan, mutu, dan manfaat dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Sebuah rumah sakit juga harus memiliki sumber daya manusia yang mencukupi. Dalam hal ini, sebuah rumah sakit harus memiliki tenaga tetap yang meliputi tenaga medis dan penunjang medis, tenaga keperawatan, tenaga kefarmasian, tenaga manajemen rumah sakit, dan tenaga nonkesehatan. Setiap tenaga medis yang melakukan praktik kedokteran di sebuah rumah sakit harus memiliki Surat Izin Praktik sesuai dengan undang-undang yang berlaku. Pengklasifikasian sebuah rumah sakit didasari oleh 4 hal, yaitu pelayanan, sumber daya manusia, peralatan, serta bangunan dan prasarana. Berdasarkan pelayanan, Rumah Sakit diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Rumah Sakit Umum, yaitu rumah sakit yang memberikan pelayanan kesehatan bagi seluruh bidang dan jenis penyakit. Dan Rumah Sakit Umum dapat diklasifikasikan lagi menjadi:
  - a. Rumah Sakit Umum Kelas A

- b. Rumah Sakit Umum Kelas B
  - c. Rumah Sakit Umum Kelas C
  - d. Rumah Sakit Umum Kelas D, dimana Rumah Sakit Umum Kelas D diklasifikasikan lagi menjadi Rumah Sakit Umum Kelas D dan Rumah Sakit Umum Kelas D Pratama.
2. Rumah Sakit Khusus, yaitu rumah sakit yang hanya memberikan pelayanan utama pada satu bidang atau suatu jenis penyakit tertentu, seperti rumah sakit mata, rumah sakit ibu dan anak, atau rumah sakit onkologi. Rumah Sakit Khusus pun diklasifikasikan menjadi Rumah Sakit Kelas A, Kelas B, dan Kelas C.

Sedangkan berdasarkan pengelolaannya, rumah sakit dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Rumah Sakit Publik, yaitu rumah sakit yang dikelola oleh pemerintah, pemerintah daerah, dan badan hukum yang bersifat nirlaba.
2. Rumah Sakit Privat, yaitu sebuah rumah sakit yang dikelola oleh sebuah badan hukum dengan tujuan profit yang berbentuk perseroan terbatas atau persero.

Setiap penyelenggara rumah sakit memiliki izin, yang terdiri dari izin mendirikan dan izin operasional. Izin mendirikan diberikan untuk jangka waktu 2 tahun dan dapat diperpanjang untuk 1 tahun. Sedangkan untuk Izin Operasional diberikan untuk jangka waktu 5 tahun dan dapat diperpanjang kembali selama memenuhi persyaratan. Sesuai dengan pasal 27 yang ada di dalam Undang-undang no 44, izin dari sebuah rumah sakit dapat dicabut, ketika:

- a. Habis masa berlakunya.
- b. Tidak lagi memenuhi persyaratan dan standar.
- c. Terbukti melakukan pelanggaran terhadap peraturan perundang-undangan.
- d. Atas perintah pengadilan dalam rangka penegakan hukum.

## 2.2 *Linear Accelerator (Linac)*

### 2.2.1 Radioterapi Linac

Radioterapi adalah suatu perlakuan (*treatment*) pengobatan terapi memanfaatkan radiasi pengion untuk mengobati suatu penyakit tumor ganas atau kanker. Radiasi pengion yang dimanfaatkan adalah seperti Sinar-X, sinar gamma ataupun elektron dengan tingkat energi tinggi.

Penemuan radiasi pengion merupakan awal dari perkembangan radioterapi. Radiasi pengion dimanfaatkan untuk pengobatan penyakit kanker karena interaksi radiasi pengion dengan jaringan mengakibatkan ionisasi, proses ionisasi sebagai hasil interaksi radiasi pengion dengan jaringan akan membuat rantai DNA terputus sehingga dapat merusak bahkan mematikan jaringan tersebut.

Perlakuan radioterapi di RS. XYZ dilakukan dengan beberapa kali pemaparan (*exposure*) radiasi (fraksinasi) selama selang waktu tertentu, untuk mendapatkan efek radiasi yang maksimum. Hubungan yang terjadi pada sistem radioterapi dengan akselerator linear yaitu terdapat hubungan antara waktu penembakan, dosis dan energi ion dengan tingkat keparahan (stadium) penyakit kanker, serta dosis radiasi yang diberikan berkaitan dengan tingkat keparahan kanker. Besarnya dosis radiasi sebagai fungsi arus berkas elektron/proton/ion dan waktu penembakan (waktu radiasi), sedangkan energi ion berkaitan dengan letak atau posisi kanker di dalam tubuh.

Pemberian dosis yang berlebih akan mengakibatkan kerusakan jaringan normal di luar lapangan penyinaran, sedangkan dosis yang tidak cukup untuk membunuh sel kanker akan mengakibatkan kambuh/residif. Kasus kesalahan penyinaran sehubungan dengan pesawat Radioterapi Linac biasanya berawal dari berkas radiasi yang keluar tidak sesuai harapan saat akan menyinari pasien. *American Association of Physicist in Medicine* (AAPM) merekomendasikan agar dosis yang diberikan dalam terapi pasien memiliki ketidakakuratan yang dapat ditolerir pada jangkauan  $\pm 5\%$ .

Untuk mengontrol tingkat kestabilan berkas sebagai bagian dari *quality assurance* (jaminan kualitas) merupakan hal yang sangat penting dilakukan mengingat ketepatan dan ketelitian dosis yang diberikan pada pasien sangat mempengaruhi efektivitas atau perlakuan terapi. Untuk mengetahui tingkat kestabilan berkas radiasi pada Linac adalah dengan menentukan besarnya *flatness* dan *symmetry* berkas radiasi. Flatness dan *symmetry* adalah parameter yang harus diperiksa pada waktu *acceptance test* perawatan radio terapi dan secara periodik. Flatness berkas radiasi foton didefinisikan sebagai prosentase variasi dosis maksimum yang diperbolehkan dalam suatu lapangan berkas radiasi. Flatness dapat dinyatakan sebagai perbandingan dosis maksimum yang terjadi dalam suatu lapangan berkas radiasi dengan dosis minimum yang terjadi di lapangan tersebut. Sedangkan *symmetry* adalah berkas radiasi foton yang didefinisikan sebagai prosentase deviasi maksimum yang diperbolehkan dari dosis di sisi kiri terhadap dosis disisi kanan berkas radiasi.



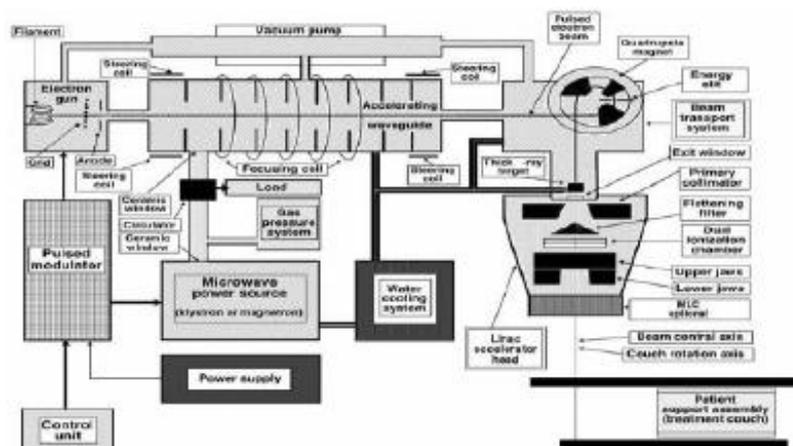
**Gambar 2.1 Linac 2300 iX di RS. XYZ**

Sumber: dokumentasi penulis

Elektron merupakan partikel bermuatan yang paling mudah diperoleh dan juga dipercepat untuk menghasilkan suatu berkas yang bisa digunakan untuk radiasi langsung maupun tak langsung (foton). Elektron

energi tinggi yang dihasilkan Linac digunakan untuk terapi tumor yang dekat pada permukaan (*superficial tumours*), atau ditembakkan ke sebuah target untuk menghasilkan Sinar-X untuk terapi tumor pada kedalaman tertentu. Pada masa sekarang ini elektron biasanya menjadi pilihan untuk perawatan tumor di permukaan atau sekitar 5 cm dari permukaan kulit sedangkan photon digunakan untuk perawatan tumor yang lebih di dalam. Hal ini dipengaruhi sifat partikel saat menembus suatu materi.

Linac menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi untuk mempercepat gerak partikel bermuatan negatif (elektron) yang bertujuan agar elektron memiliki energi tinggi (mencapai daerah satuan KeV dan MeV) saat melewati *linear tube* (Tabung Linear). Satuan energi dari setiap partikel adalah elektron volt, yaitu energi yang dibutuhkan elektron untuk terionisasi saat beda potensialnya 1 volt. Dalam hal ini, elektron yang dipercepat mampu bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya (elektron dengan energi 2 MeV bergerak dengan kecepatan 0,98 c, dengan c adalah kecepatan cahaya).

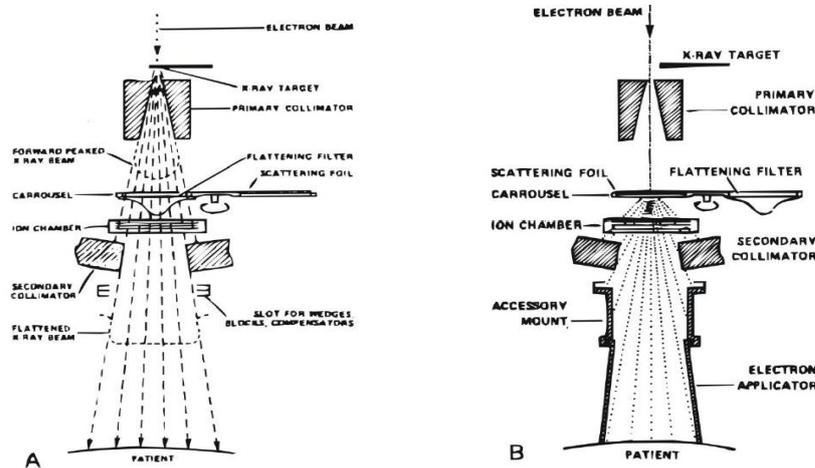


**Gambar 2.2 Skema Pesawat LINAC dalam bidang Radioterapi**

Sumber: Jumedi Marten P. (2016)

a. Bagian Bagian Kepala *Linear Accelerator*

Kepala LINAC memiliki komponen yang mempunyai peranan penting dalam produksi dan memonitor berkas yang dihasilkan oleh pesawat LINAC.



**Gambar 2.3 Skema Bagian Kepala LINAC (A) Komponen untuk Menghasilkan Berkas Sinar-X. (B) Komponen untuk Menghasilkan Berkas Elektron**

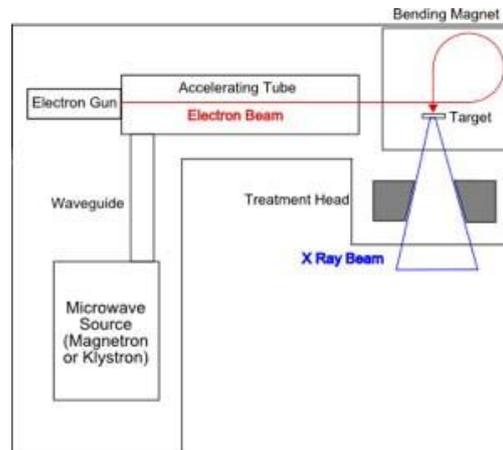
Sumber: Jumed Marten P. (2016)

Untuk berkas elektron, kedua kolimator ini tidak cukup untuk menghasilkan bentuk berkas yang diinginkan (*well defined beam*). Untuk menghindari hal ini, biasa digunakan sebuah aplikator yang fungsinya mengkolimasi elektron sedekat mungkin dengan permukaan terapi dan aplikator ini terbuat dari material dengan nomor atom rendah.

b. Karakteristik Berkas Elektron

Elektron telah digunakan untuk terapi sejak awal tahun 1950an. Elektron merupakan partikel subatom yang bermuatan negatif. Pada *mode* terapi berkas elektron, elektron sebelum sampai ke target terapi akan berinteraksi terlebih dahulu dengan ionisasi *chamber*, kolimator, udara dan aplikator sehingga energi yang sampai ke pasien akan berkurang. Saat elektron melewati medium, elektron akan berinteraksi dengan atom dengan beberapa variasi gaya coulomb.

## 2.2.2 Prinsip Kerja Linac



**Gambar 2.4. Skema prinsip kerja Linac**

Linac bekerja berdasarkan prinsip penjalaran gelombang frekuensi radio untuk mempercepat partikel bermuatan (elektron) sehingga elektron tersebut memiliki energi kinetik yang tinggi pada arah/*track* yang lurus.

Proses mempercepat partikel bermuatan tersebut dilakukan didalam sebuah tabung yang disebut *accelerator waveguide*. Untuk dapat menghasilkan foton yang digunakan untuk radioterapi, Linac membutuhkan sumber gelombang mikro, sumber elektron yang akan dipercepat, serta lempengan target yang akan ditumbuk.

Sumber gelombang mikro disuplai oleh Magnetron ataupun Klystron. Magnetron berfungsi sebagai osilator frekuensi yang mampu menghasilkan gelombang mikro dengan frekuensi tinggi. Gelombang mikro tersebut digunakan untuk menghasilkan medan magnet statis yang selanjutnya digunakan untuk mempercepat elektron yang dihasilkan oleh elektron gun. Klystron berfungsi untuk memperkuat gelombang sumber yang diberikan menggunakan sebuah amplifier penguat frekuensi. Dari hasil penguatan frekuensi sumber tersebut, akan dihasilkan sebuah sistem pandu gelombang dengan frekuensi mencapai 3 GHz. Magnetron digunakan untuk menghasilkan energi radiasi rendah yaitu 4 – 6 MeV. Sedangkan untuk rentang energi yang lebih tinggi digunakan klystron.

Elektron gun merupakan sumber elektron yang akan dipercepat. Setelah elektron dihasilkan maka berkas elektron tersebut akan diarahkan ke tabung pemercepat (*accelerating tube*) untuk dipercepat sehingga energi kinetiknya meningkat.

Pada tabung pemercepat (*accelerating tube*) dilengkapi pengendali arus (*drift tube*) yang berfungsi membalik polarisasi medan listrik agar terjadi lompatan partikel sehingga menambah kecepatan partikel. Apabila energi kinetik yang dibutuhkan sudah tercapai, maka berkas elektron dengan kecepatan tinggi ini akan diarahkan untuk menumbuk lempengan logam target. Pada bending magnet, berkas foton akan dibelokkan sehingga energi dan lintasannya dapat sesuai kembali dengan yang dikehendaki. Pada proses ini menghasilkan berkas foton.

Setelah dihasilkan foton dengan energi tertentu, maka dilakukan pengkondisian berkas agar energi atau intensitasnya seragam intensitas seragam dan sesuai dengan geometri yang dibutuhkan. Pengkondisian berkas dilakukan dengan menggunakan *flattening filter* (FF) dan collimator. *Flattening filter* (FF) bekerja dengan menyerap sebagian berkas foton pada bagian tertentu agar energy/intensitas berkas foton menjadi seragam/*uniform* dengan bagian lainnya. Sedangkan kolimator digunakan untuk memodifikasi geometri berkas dengan cara meloloskan berkas foton uniform pada sebuah kerangka sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Berkas foton hasil pemerata diteruskan ke *ion chamber* untuk membentuk dosis foton dalam jumlah Monitor Unit (MU) yang lalu diteruskan ke *secondary collimator* untuk lebih mendapatkan foton dalam MU yang datar (flat).

Selanjutnya, berkas foton tersebut akan keluar dari bagian pada Linac yang disebut *gantry*, yang berotasi sekitar pasien. Pasien berbaring di meja perawatan yang dapat bergerak. Untuk menjamin posisi pasien digunakan bantuan laser yang vertikal dan horizontal dan dipasang di dinding ruang perawatan. Radiasi bisa disampaikan pada tumor dengan berbagai sudut dari rotasi *gantry* (sampai  $360^0$ ) dan perpindahan meja perawatan yang bertujuan memaksimalkan pencapaian target.

### 2.3 *Total Productive Maintenance (TPM)*

Pemeliharaan atau perawatan dalam suatu industri merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung proses produksi. Menurut Daryus (2007) untuk mencapai peralatan yang siap bekerja setiap saat dan handal, maka peralatan penunjang proses produksi ini harus mendapatkan perawatan yang teratur dan terencana.

Menurut Corder (1996) tujuan dilakukannya pemeliharaan adalah :

- Memperpanjang kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
- Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk
- mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
- Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan
- darurat setiap waktu.
- Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

*Total Productive Maintenance (TPM)* adalah sebuah filosofi, serangkaian prinsip dan praktek spesifik yang ditujukan untuk peningkatan kinerja manufaktur dengan meningkatkan cara pemeliharaan peralatan. TPM dikembangkan di Jepang pada tahun 1960 dan 1970, berdasarkan pada *Preventive Maintenance* dan *Production Maintenance* yang dikembangkan di Amerika. TPM merupakan sistem baru khas Jepang tentang pemeliharaan. Ketika *preventive maintenance* berfokus pada divisi pemeliharaan dan mesin, TPM berbasis tim dan melibatkan semua bagian dan semua level di dalam organisasi, termasuk supervisor, *plant manager*, dan yang paling penting adalah operator. Hal itu mengarah pada *autonomous maintenance*, dimana mayoritas dikerjakan oleh operator. Dalam model ini, kelompok maintenance dapat lebih focus pada modifikasi peralatan dan pengembaga untuk meningkatkan *reliability*.

Menurut Suzaki Kyoshi (1999), pengertian dari *Total Productive Maintenance* adalah konsep pemeliharaan yang melibatkan seluruh pekerja

yang bertujuan mencapai efektifitas pada seluruh sistem produksi melalui partisipasi dan kegiatan pemeliharaan yang produktif, proaktif, dan terencana.

Menurut Muchiri dan Pintelon (2008), tujuan utama dari konsep TPM adalah kemampuan peralatan produksi untuk memiliki kontrol yang tinggi terhadap kualitas, produktivitas, biaya, persediaan, keselamatan dan kesehatan, dan output produksi.

Berdasarkan definisinya, TPM (Total Pemeliharaan Produktif) adalah sebagai berikut:

1. Target untuk mencapai efisiensi peralatan maksimum (efisiensi secara keseluruhan).
2. Menetapkan sistem TPM yang menargetkan pada kehidupan peralatan pemeliharaan pencegahan, pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif.
3. Semua orang yang terkait harus berpartisipasi bersama-sama, misalnya perencana peralatan, pengguna peralatan, dan pemelihara peralatan, dan lain sebagainya.
4. Mempromosikan TPM oleh aktivitas kelompok kecil yang independen.

Menurut Nakajima (1989) dalam Ljungberg (1998), *Total Productive Maintenance* (TPM) tergantung kepada tiga konsep:

1. Memaksimalkan penggunaan peralatan secara efektif.
2. Perawatan secara otomatis oleh operator.
3. Kelompok aktivitas kecil.

Dari tiga hal tersebut OEE dapat digunakan untuk mengabungkan operasi, perawatan dan manajemen dari peralatan manufaktur dan sumber daya (Dal, 1999: 1489). Dan tujuan TPM tersebut dapat dideskripsikan sebagai pengembangan yang kuat, stabil dengan memaksimalkan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

### 2.3.1 Elemen-Elemen TPM

Elemen-elemen TPM adalah sebagai berikut (Peter L King, 2009):

- *Preventive Maintenance*: pemeliharaan berbasis waktu, pemeliharaan yang dikerjakan sesuai jadwal yang didesain untuk mencegah kerusakan-kerusakan (*breakdowns*) sebelum terjadi.
- *Predictive Maintenance*: pemeliharaan berbasis kondisi, menggunakan instrumen atau sensor untuk mencoba mengantisipasi ketika peralatan menuju rusak sehingga dapat diperbaiki sebelum kegagalan terjadi.
- *Breakdown Maintenance*: memperbaiki peralatan setelah kerusakan terjadi.
- *Corrective Maintenance*: modifikasi peralatan untuk mengurangi frekuensi kerusakan dan membuat peralatan lebih mudah untuk diperbaiki.
- *Maintenance Prevention*: mendesain peralatan yang jarang rusak dan mudah untuk diperbaiki ketika peralatan tersebut gagal.
- *Autonomous Maintenance*: pemeliharaan berbasis tim, dilakukan terutama oleh operator pabrik.

Elemen TPM yang paling fundamental adalah dibutuhkan perubahan *culture*, pergerakan dari sebuah mindset bahwa kelompok maintenance memiliki tanggung jawab terhadap kinerja peralatan menjadi satu dimana setiap orang di pabrik memiliki tanggung jawab. Aspek produktif dari TPM adalah bahwa semua yang sebelumnya harus dilakukan dengan cara yang ekonomis dan efektif.

### 2.3.2 Karakteristik *Total Productive Maintenance* (TPM)

#### a. Motif TPM

- Mengadopsi pendekatan *lifecycle* untuk meningkatkan performa dan *reliability* mesin.
- Meningkatkan produktivitas dengan memotivasi operator disertai perluasan tanggung jawab pekerjaan

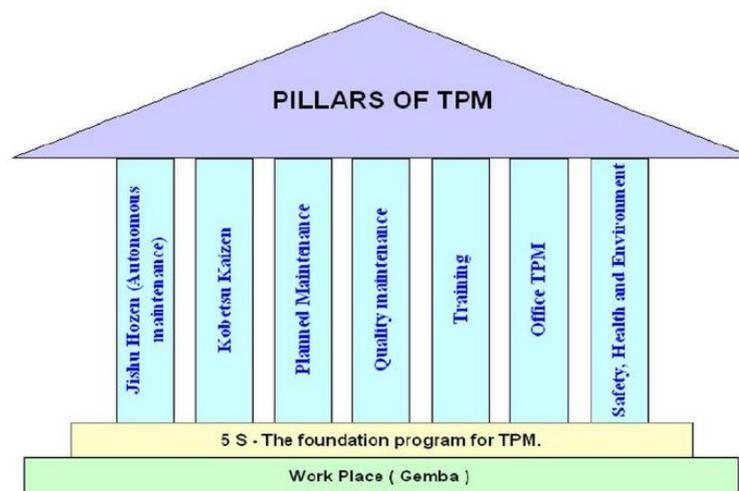
- Menggunakan peran *maintenance staff* untuk fokus pada *machine failure* dan bertanggung jawab terhadap kelancaran permesinan
- b. Keunikan dari TPM
- Operator dan *maintenance staff* berkolaborasi untuk menjamin dan membuat mesin agar selalu dapat berjalan normal.
- c. Tujuan TPM
- Untuk mencapai *zero defect*, *zero breakdown* dan *zero accident*.
  - Melibatkan dan mengkolaborasikan seluruh operator, staf *maintenance* dan *production engineering staff* yang terkait dengan peralatan, serta seluruh karyawan pada umumnya.
  - Fokus pada pengurangan *defect* dan *self maintenance*.
  - Menuntut operator untuk dapat mengatasi kerusakan ringan yang terjadi pada alat sehingga tidak menjadi kerusakan fatal.
- d. Manfaat TPM
- Meningkatkan produktivitas dan efisiensi peralatan
  - Mengurangi *manufacturing cost*
  - Mengurangi kecelakaan kerja
  - Meningkatkan kepuasan pelanggan terhadap produk yang dihasilkan
  - Meningkatkan kepuasan dan kepercayaan diri operator dan karyawan pada umumnya
  - Menjaga lingkungan kerja tetap rapi, bersih, dan menarik
  - Membawa kebiasaan yang baik bagi operator
  - Saling berbagi pengetahuan dan pengalaman terkait.

### **2.3.3 Pilar-Pilar TPM**

TPM mencakup delapan bagian yang terdiri dari :

1. Focussed improvement (Kobetsu Kaizen): melakukan perbaikan yang berkelanjutan walau sekecil apapun perbaikan tersebut.
2. Planned Maintenance: fokus meningkatkan availability dari mesin dan peralatan dan mengurangi kerusakan mesin.

3. Edukasi dan Pelatihan: membentuk formasi karyawan yang memiliki skill dan menguasai teknik untuk melakukan *autonomous maintenance*
4. Autonomous Maintenance (Jishu Hozen): melakukan perawatan terhadap mesin yang dipakai. Terdapat tujuh langkah dan aktifitas yang dilakukan pada Jisshu Hozen.
5. Quality Maintenance (Hinshitsu Hozen): quality maintenance adalah pengaturan mesin yang memperkecil kemungkinan terjadi cacat berulang kali. Hal ini dilakukan untuk memastikan tercapainya target zero defect
6. Office TPM: bagaimana membuat aktifitas kantor yang efisien dan menghilangkan kerugian yang mungkin terjadi.
7. Safety, Hygene & Environment (SHE): adalah aktifitas untuk menciptakan area kerja yang aman dan sehat, dimana sangat kecil kemungkinan terjadi kecelakaan. Temukan dan perbaiki area rawan kecelakaan untuk memastikan keselamatan sekaligus memelihara kesehatan lingkungan.
8. Tools Management: untuk meningkatkan ketersediaan equipment dengan mengurangi tools resetting time (waktu pengaturan ulang alat-alat) untuk mengurangi biaya pemeliharaan peralatan dan memperpanjang usia pakai peralatan.



**Gambar 2.5 8 Pilar TPM**  
 Sumber : Priyanta (2008)

## 2.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

*Overall Equipment Effectiveness* (OEE) adalah suatu cara untuk mengukur kinerja peralatan dalam penerapan program TPM (Total Productive Maintenance). OEE merupakan bagian dari keseluruhan konsep kinerja produktif (TPM) yang diluncurkan oleh Seiichi Nakajima pada tahun 1980-an. Hal ini OEE dianggap sebagai alat ukur penerapan program TPM dan bertujuan mengidentifikasi kerugian produksi terkait dengan peralatan (Williamson, 2006). Pengukuran OEE sangat penting untuk mengukur keberhasilan dari program TPM (*Total Productive Maintenance*) yang diterapkan dalam suatu perusahaan. Dengan kata lain, hasil OEE merupakan KPI utama dari hasil penerapan TPM.

Pengukuran kinerja peralatan dengan OEE terdiri dari 3 komponen utama, yaitu:

### a. *Availability* (Ketersediaan)

*Availability rate* merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. Menurut Pomorski (1997), *availability rate* mengukur efektivitas *maintenance* peralatan produksi dalam kondisi produksi sedang berlangsung. *Availability rate* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Availability Rate} = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$\text{Availability Rate} = \frac{\text{Loading Time} - \text{downtime}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (2.2)$$

### b. *Performance* (Jumlah unit yang diproduksi)

*Performance rate* adalah rasio yang menggambarkan kemampuan suatu mesin/ peralatan dalam menghasilkan suatu produk/barang. *Performance rate* mengukur seberapa efektif peralatan produksi yang digunakan. *Performance rate* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$Performance\ Rate = \frac{Processed\ amount}{Ideal\ cycle\ time \times operation\ time} \times 100\% \quad (2.3)$$

c. *Quality* (Mutu yang dihasilkan)

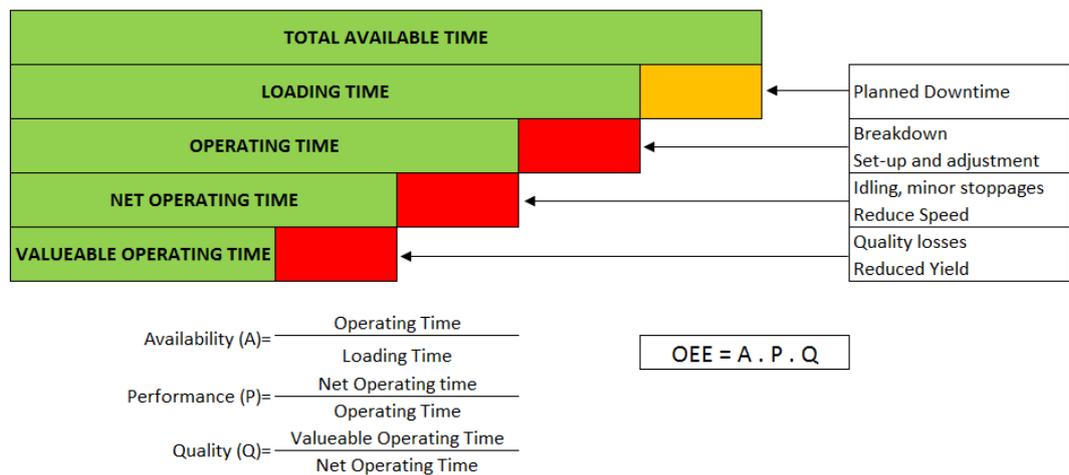
*Quality Rate* adalah rasio mesin dalam menghasilkan suatu produk sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. *Quality rate* mengukur efektivitas proses manufaktur untuk mengeliminasi *scrap*, *rework*, dan *yield loss* (Tangen, 2004). *Quality Rate* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$Quality\ Rate = \frac{Processed\ amount - Defect\ amount}{Processed\ amount} \times 100\% \quad (2.4)$$

Selanjutnya, nilai Efektifitas Keseluruhan Peralatan (OEE) dapat dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$OEE = Availability\ Rate \times Performance\ Rate \times Quality\ Rate \quad (2.5)$$

Ketiga unsur rasio OEE tersebut didefinisikan sebagaimana terlihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 2.6 Unsur dan Penghitungan OEE**

Sumber : diolah berdasarkan Nakajima, 1989

Pengertian *loading time* adalah *net time* selama waktu produksi peralatan dengan *acceptable product*. *Loading time* adalah jumlah jam dengan periode yang spesifik (tahun, bulan, minggu atau hari).

Adapun tujuan OEE:

1. OEE dapat digunakan sebagai “Benchmark” untuk mengukur rencana perusahaan dalam performansi.
2. nilai OEE, perkiraan dari suatu aliran produksi, dapat digunakan untuk membandingkan garis performansi melintang dari perusahaan, maka akan terlihat aliran yang tidak penting.
3. Sebagai alat ukur penerapan program TPM, mengidentifikasi kerugian produksi yang berkaitan dengan peralatan (Williamson, 2006).
4. Jika proses permesinan dilakukan secara individual, OEE dapat mengidentifikasikan mesin mana yang mempunyai performansi buruk, dan bahkan mengindikasikan fokus dari sumber daya TPM (Dal, 1999: 1490).

Nakajima (1988) menyatakan bahwa kerugian dari gangguan manufaktur menerapkan pendekatan *bottom up* dimana tenaga kerja yang dimasukkan berusaha untuk mencapai efektivitas peralatan secara keseluruhan dengan menghilangkan enam kerugian besar.

OEE menyoroti 6 kerugian utama (*the six big losses*) penyebab peralatan produksi tidak beroperasi dengan normal (Denso, 2006), yaitu:

- a. Kategori *Downtime Loss* sebagai fungsi dari *Availability*, terdiri dari:
  - *Setup/Adjustment Loss*: dikategorikan sebagai *downtime loss* karena adanya waktu yang “tercuri” akibat waktu *setup* yang lama yang disebabkan oleh *changeover* produk, tidak adanya material (*material shortages*), tidak adanya operator (*operator shortages*), *adjustment* mesin, *warm-up time*, dan sebagainya.
  - *Breakdown Loss*: dikategorikan sebagai *downtime loss* karena adanya kerusakan mesin dan peralatan, perawatan tidak terjadwal, dan sebagainya.
- b. Kategori *Speed Loss* sebagai fungsi dari *Performance*, terdiri dari:

- *Cycle Time Loss*: dikategorikan sebagai *speed loss* karena adanya penurunan kecepatan proses yang disebabkan oleh beberapa hal, misal: mesin sudah aus, di bawah kapasitas yang tertulis pada *nameplate*-nya, di bawah kapasitas yang diharapkan, ketidakefisienan operator, dan sebagainya.
  - *Chokotei Loss*: dikategorikan sebagai *speed loss* karena adanya *minor stoppage* yaitu mesin berhenti cukup sering dengan durasi tidak lama biasanya tidak lebih dari lima menit dan tidak membutuhkan personel *maintenance*. Ini dikarenakan mesin *hang* sehingga harus *reset*, adanya pembersihan/pengecekan, terhalangnya *sensor*, terhalangnya pengiriman, dan sebagainya.
- c. Kategori *Quality Loss* sebagai fungsi dari *Quality*, terdiri dari:
- *Startup Loss*: dikategorikan sebagai *quality loss* karena adanya *scrap/reject* saat *startup* produksi yang disebabkan oleh kekeliruan *setup* mesin, proses *warm-up* yang kurang, dan sebagainya.
  - *Defect Loss*: dikategorikan sebagai *quality loss* karena adanya *reject* selama produksi berjalan.

Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) telah menetapkan standar *benchmark* yang telah dipraktikkan secara luas di seluruh dunia. Berikut ini *OEE Benchmark* tersebut:

- Jika OEE = 100%, produksi dianggap sempurna. hanya memproduksi produk tanpa cacat, bekerja dalam *performance* yang cepat, dan tidak ada *downtime*.
- Jika OEE = 85%, produksi dianggap kelas dunia. Bagi banyak perusahaan, skor ini merupakan skor yang cocok untuk dijadikan *goal* jangka panjang.
- Jika OEE = 60%, produksi dianggap wajar, tetapi menunjukkan ada ruang yang besar untuk *improvement*.
- Jika OEE = 40%, produksi dianggap memiliki skor yang rendah, tapi dalam kebanyakan kasus dapat dengan mudah di-*improve* melalui pengukuran langsung (misalnya dengan menelusuri alasan-alasan

*downtime* dan menangani sumber-sumber penyebab *downtime* secara satu per satu).

Untuk standar *benchmark world class* yang dianjurkan JIPM, yaitu OEE = 85%, Berikut ini standar world class OEE:

Tabel 2.1 *World Class OEE*

OEE Factor	World Class
Availability	90.0%
Performance	95.0%
Quality	99.9%
Overall OEE	85.0%

Sumber: [www.oeec.com/world-class-oeec.html](http://www.oeec.com/world-class-oeec.html)

Jonsson dan Lesshammar (1999) menyatakan bahwa kontribusi terbesar OEE adalah sederhana, namun tetap komprehensif, mengukur efisiensi internal dan dapat bekerja sebagai indikator proses perbaikan berkelanjutan. Ljungberg (1998) juga menambahkan bahwa OEE merupakan cara efektif dalam menganalisis efisiensi sebuah mesin tunggal atau sebuah sistem permesinan terintegrasi (Tangen, 2004).

## 2.5 *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas. Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk itu.

Terdapat dua penggunaan FMEA yaitu:

1. Dalam bidang desain (Desain FMEA). FMEA Desain akan membantu menghilangkan kegagalan-kegagalan yang terkait dengan desain, misalnya kegagalan karena kekuatan yang tidak tepat, material yang tidak sesuai, dan lain-lain.
2. Dalam bidang proses (FMEA Proses). FMEA Proses akan menghilangkan kegagalan yang disebabkan oleh perubahan-perubahan dalam variabel proses, misal kondisi diluar batas-batas spesifikasi yang ditetapkan seperti ukuran yang tidak tepat, perubahan parameter proses yang tidak sesuai dengan desain awal peralatan, ketebalan yang tidak tepat, dan lain-lain.

Beberapa definisi FMEA:

1. Menurut Roger (2011), FMEA adalah analisa teknik yang apabila dilakukan dengan tepat dan waktu yang tepat akan memberikan nilai yang besar dalam membantu proses pembuatan keputusan dari engineer selama perancangan dan pengembangan. Analisa tersebut biasa disebut sebagai analisa “bottom up”, seperti dilakukan pemeriksaan pada proses produksi tingkat awal dan mempertimbangkan kegagalan sistem yang merupakan hasil dari keseluruhan bentuk kegagalan yang berbeda.
2. Menurut John Moubrey, FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan.

FMEA merupakan salah satu alat dari Six Sigma untuk mengidentifikasi sumber-sumber atau penyebab dari suatu masalah kualitas.

Menurut Chrysler (1995), FMEA dapat dilakukan dengan cara:

1. Mengenali dan mengevaluasi kegagalan potensi suatu produk dan efeknya.
2. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari potensi terjadinya kegagalan.
3. Pencatatan proses (*document the process*).

Tujuan dari FMEA adalah:

1. Mengenal dan memprediksi potensial kegagalan dari produk atau proses yang dapat terjadi.
2. Memprediksi dan mengevaluasi pengaruh dari kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada.
3. Menunjukkan prioritas terhadap perbaikan suatu proses atau sub sistem melalui daftar peningkatan proses atau sub sistem yang harus diperbaiki.
4. Mengidentifikasi dan membangun tindakan perbaikan yang bisa diambil untuk mencegah atau mengurangi kesempatan terjadinya potensi kegagalan atau pengaruh pada sistem.
5. Mendokumentasikan proses secara keseluruhan.

Langkah-langkah pembuatan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen dari sistem atau alat yang akan dianalisis
2. Mengidentifikasi mode-mode kegagalan potensial dari proses yang diamati
3. Mengidentifikasi akibat (*potential effect*) yang ditimbulkan oleh mode kegagalan potensial (*potential failure*)
4. Mengidentifikasi penyebab (*potential cause*) dari mode kegagalan potensial yang terjadi pada proses yang berlangsung
5. Menetapkan nilai tingkat keparahan (*Severity*), tingkat kejadian (*Occurance*), dan deteksi (*detection*). Menetapkan nilai dapat dilakukan dengan cara observasi dan brainstorming
6. Menentukan nilai RPN yaitu nilai yang menunjukkan keseriusan dari mode kegagalan potensial.

### **2.5.1 Elemen-Element FMEA**

Terdapat standar dalam metode FMEA, yaitu standar Inggris, British Standar 5760 (BS 5760) dan Standar Militer Amerika US MIL STD 1629 (*procedure for performing a failure modes effects and critically analysis*) yang banyak dipertimbangkan sebagai referensi standar. Element FMEA

dibangun berdasarkan informasi yang mendukung analisis. Elemen-elemen FMEA adalah sebagai berikut:

1. *FMEA number* (nomor FMEA), yaitu berisi nomor dokumentasi FMEA.
2. *Item* (jenis), yaitu berisi nama, kode nomor system, subsistem atau komponen dimana akan dilakukan analisis.
3. *Process Responsibility* (penanggung jawab proses), yaitu nama bagian/departemen yang bertanggung jawab.
4. *Prepared by* (disiapkan oleh), yaitu berisi nama, nomor telepon, dan perusahaan dari personal yang bertanggung jawab.
5. *Model Year(S)* (tahun model), yaitu kode tahun pembuatan item.
6. *Key Date* (tanggal berlaku).
7. *FMEA Date* (tanggal FMEA), yaitu tanggal FMEA selesai dibuat dengan tanggal revisi terkini.
8. *Core Team* (tim inti), yaitu berisi daftar nama anggota tim FMEA beserta bagian/departemennya.
9. *Process Function* (fungsi proses), yaitu deskripsi singkat mengenai proses pembuatan item dimana system akan dianalisis.
10. *Potential Failure Mode* (bentuk kegagalan potensial), yaitu suatu kejadian dimana proses dapat dikatakan secara potensial gagal untuk memenuhi kebutuhan proses atau tujuan akhir produk.
11. *Potential Effect(s)* (Efek potensial dari kegagalan), yaitu akibat yang ditimbulkan dari bentuk kegagalan.
12. *Severity* (tingkat keparahan), penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan dari bentuk kegagalan potensial.
13. *Classification* (klasifikasi), yaitu dokumentasi terhadap klasifikasi karakter khusus dari subproses untuk menghasilkan komponen, system atau subsistem tersebut.
14. *Potential Cause(s)* (penyebab potensial), yaitu bagaimana kegagalan tersebut dapat terjadi.
15. *Occurance* (tingkat kejadian), yaitu seberapa sering penyebab kegagalan spesifik dari suatu proyek tersebut terjadi.

16. *Current Process Control* (pengendali proses saat ini), yaitu deskripsi dari alat pengendali yang dapat mencegah kemungkinan bentuk kegagalan terjadi atau mendeteksi terjadinya bentuk kegagalan tersebut.
17. *Detection* (deteksi), yaitu penilaian dari kemungkinan alat tersebut dapat mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu bentuk kegagalan.
18. *Risk Priority Number* (RPN), merupakan angka prioritas resiko yang didapatkan dari hasil perkalian *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad (2.6)$$

19. *Recommended Action* (tindakan yang direkomendasikan).
20. *Responsibility for the Recommended Action* (penanggung jawab tindakan yang direkomendasikan).
21. *Action taken* (tindakan yang diambil)
22. *Resulting RPN* (hasil RPN). Setelah tindakan perbaikan diidentifikasi, perkiraan dan rekam *Occurance*, *Severity*, dan *Detection* baru yang dihasilkan serta hitung RPN yang baru.
23. *Follow up* (tindak lanjut).

### **2.5.2. Penilaian *Severity*, *Occurance*, dan *Detection***

*Severity* merupakan langkah pertama dalam menganalisis resiko, yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian dapat mempengaruhi output proses. Penilaian dampak tersebut dibuat dalam bentuk skala (mulai 1 – 10), dengan 10 merupakan dampak terburuk. Penetapan skala penilaian *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* ini berdasarkan standar AIAG (*Automotive Industry Action Group*).

Tabel 2.2. *Severity Rating*

<b>SEVERITY of Effect</b>	<b>Ranking</b>
Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe system operation without warning	<b>10</b>
Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe system operation with warning	<b>9</b>
System inoperable with destructive failure without compromising safety	<b>8</b>
System inoperable with equipment damage	<b>7</b>
System inoperable with minor damage	<b>6</b>
System inoperable without damage	<b>5</b>
System operable with significant degradation of performance	<b>4</b>
System operable with some degradation of performance	<b>3</b>
System operable with minimal interference	<b>2</b>
No effect	<b>1</b>

*Occurance* merupakan kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk.

Tabel 2.3. *Occurance Rating*

<b>PROBABILITY of Failure</b>	<b>Failure Prob</b>	<b>Ranking</b>
<b>Very High: Failure is almost inevitable</b>	>1 in 2	<b>10</b>
	1 in 3	<b>9</b>
<b>High: Repeated failures</b>	1 in 8	<b>8</b>

	1 in 20	7
<b>Moderate: Occasional failures</b>	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
<b>Low: Relatively few failures</b>	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
<b>Remote: Failure is unlikely</b>	<1 in 1,500,000	1

Nilai detection diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengontrol/mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi.

Tabel 2.4. *Detection Rating*

<b>Likelihood of DETECTION by Design Control</b>	<b>Ranking</b>
Design control <b>cannot</b> detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	<b>10</b>
<b>Very remote</b> chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	<b>9</b>
<b>Remote</b> chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	<b>8</b>
<b>Very low</b> chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	<b>7</b>
<b>Low</b> chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	<b>6</b>

Moderate chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	5
Moderately High chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	4
High chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	3
Very high chance the design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	2
Design control will detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	1

Tabel 2.5. Contoh Template FMEA

**Description of FMEA Worksheet**  
 Protection: The spreadsheets are not protected or locked.

System _____	<b>Potential Failure Mode and Effects Analysis (Design FMEA)</b>	FMEA Number _____
Subsystem _____	Key Date _____	Prepared By _____
Component _____		FMEA Date _____
Design Lead _____		Revision Date _____
Core Team _____		Page _____ of _____

Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Probability	Current Design Controls	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results			
											Actions Taken			
Coolant containment. Hose connection. Coolant fill. M	Crack/break. Burst. Side wall flex. Bad seal. Poor hose rete	Leak	8	Over pressure	8	Burst, validation pressure cycle.	1	64	Test included in prototype and production validation testing.	J.P. Aguire 11/1/95 E. Eglin 8/1/96				

Write down each failure mode and potential consequence(s) of that

**Severity** - On a scale of 1-10, rate the Severity of each failure (10= most severe). See Severity

**Likelihood** - Write down the potential cause(s), and on a scale of 1-10, rate the Likelihood of each failure (10= most likely). See

**Detectability** - Examine the current design, then, on a scale of 1-10, rate the Detectability of each failure (10 = least detectable). See Detectability sheet.

**Response Plans and Tracking**

## 2.6 Pareto Analysis

Diagram Pareto (*Pareto Chart*) adalah diagram yang dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi Italia yang bernama Vilfredo Pareto pada abad XIX. Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang yang pertama yang tertinggi serta ditempatkan pada sisi paling kiri dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit terjadi ditunjukkan oleh grafik batang terakhir yang terendah serta ditempatkan pada sisi paling kanan. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang paling penting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan masalah yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah) (Ariani, 2004).

Beberapa definisi Diagram Pareto:

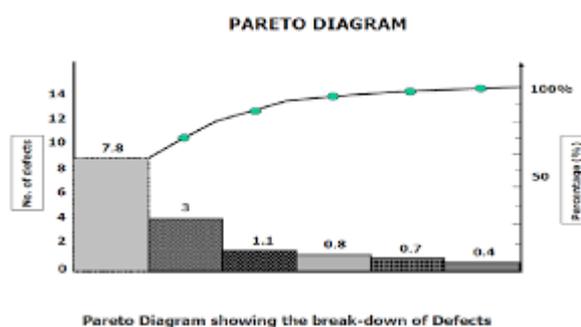
1. Diagram Pareto digunakan untuk memperbandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menuruturannya, dari yang paling besar di sebelah kiri ke yang paling kecil di sebelah kanan. Susunan tersebut membantu menentukan pentingnya atau prioritas kategori kejadian-kejadian atau sebab-sebab kejadian yang dikaji atau untuk mengetahui masalah utama proses (Nasution, 2004).
2. Diagram Pareto memiliki peranan penting dalam proses perbaikan kualitas. Prinsip diagram Pareto adalah dengan aturan 80/20 yang diadaptasi oleh Joseph Juran, yaitu 80% dari masalah (ketidaksesuaian) disebabkan oleh penyebab (*cause*) sebesar 20%. Diagram Pareto membantu pihak manajemen mengidentifikasi area kritis (area yang paling banyak mengakibatkan masalah) yang membutuhkan perhatian lebih dengan cepat. (Heizer, 2001).

Manfaat dan kegunaan diagram Pareto adalah:

1. Untuk menetapkan masalah utama dalam kualitas
2. Untuk menentukan setiap masalah secara komparatif terhadap masalah keseluruhan

3. Untuk menunjukkan tingkat perbaikan sesudah perbaikan tersebut. Dilakukan pada bagian – bagian yang terbatas.
4. Untuk menentukan perbandingan setiap masalah sebelum dan sesudah tindakan perbaikan dilakukan.

Dalam aplikasinya, Diagram Pareto sangat bermanfaat dalam menentukan dan mengidentifikasi prioritas permasalahan yang akan diselesaikan. Permasalahan yang paling banyak dan sering terjadi adalah prioritas utama untuk dilakukan tindakan.



**Gambar 2.7. Diagram Pareto**

Sumber: Girish (2013)

Langkah – langkah membuat diagram Pareto:

1. Menentukan rata-rata dari kualifikasi data, contoh berdasar penyebab masalah, tipe ketidaksesuaian atau hal lain yang khusus.
2. Menentukan sejauh mana kepentingan relatif yang akan diputuskan, apakah akan berdasar pada nilai finansial atau frekuensi dari kejadian.
3. Mengurutkan kategori prioritas dari yang terpenting sampai ke prioritas yang memiliki kepentingan terbawah.
4. Menghitung nilai frekuensi kumulatif dan persentase kumulatif dari kategori data berdasarkan urutannya.
5. Membuat diagram batang untuk menunjukkan kepentingan relatif dari masing-masing permasalahan dalam urutan angka. Mengidentifikasi sebab utama yang membutuhkan perhatian lebih.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Metode yang Digunakan	Hasil Penelitian
1.	C.- C. Shen (2015)	<i>Discussion on key successful factors of TPM in enterprises</i>	12 langkah implementasi TPM	Sebagian besar faktor kunci sukses implementasi TPM adalah menekankan pada komitmen dan keterlibatan manajemen, organisasi promosi dan keterlibatan keseluruhan.
2.	Ranteshwar Singh, dkk (2013)	<i>Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study</i>	<i>Overall Equipment Effectiveness (OEE), Fishbone Diagram, FMEA, 8 pilar TPM dan 5S</i>	Keberhasilan TPM bergantung pada berbagai pilar seperti 5-S, Jishu Hozen, Perawatan Terencana, Pemeliharaan kualitas, Kaizen, Office TPM dan Keselamatan, Kesehatan & Lingkungan, Efektifitas keseluruhan Peralatan mengalami peningkatan setelah implementasi yang ditunjukkan dengan peningkatan produktivitas dan peningkatan kualitas produk, Faktor utama implementasi TPM adalah keterlibatan pekerja dan dukungan manajemen puncak.
3.	Soraphon Kigsirisin, dkk (2016)	<i>Approach for Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant</i>	Overall Equipment Effectiveness (OEE), Net Equipment Effectiveness (NEE), Profit Cost (PC), strategi 8 pilar TPM,	Delapan pilar strategi (EPS) memotivasi petugas untuk mengambil konsep zero production defects, zero breakdowns dan kerugian produksi minimal dengan memaksimalkan peralatan keefektifan dan meningkatkan keterampilan tingkat lanjut kepada operator dan petugas pemeliharaan. Hal tersebut juga menghilangkan tingkat kegagalan, peningkatan keefektifan peralatan dan penurunan kehilangan air dari proses pengolahan air. OEE dan NEE setelah berlatih EPS lebih besar dari sebelumnya.
4.	Bupe. G. Mwanza, dkk (2015)	<i>Design of a total productive maintenance model for effective implementation: Case study of a chemical manufacturing company</i>	Overall Equipment Effectiveness (OEE), <i>Fishbone Diagram</i>	TPM dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan OEE peralatan perusahaan. Rekomendasi peneliti menyatakan bahwa TPM dapat mengurangi kerugian dan mengurangi pengerjaan ulang ke atau di bawah tingkat yang dapat diterima. TPM juga dapat membantu perusahaan untuk meningkatkan profitabilitas dan citra, yang keduanya akan memastikan daya saingnya.
5.	Nindita Hapsari, dkk (2012)	Pengukuran Efektivitas Mesin Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT. Setiaji Mandiri	TPM, OEE, Pareto, <i>Fishbone Diagram</i>	Nilai OEE belum memenuhi standar JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) sebesar 85%. Usulan perbaikannya adalah penerapan pilar TPM yaitu autonomous maintenance yang bertujuan meningkatkan tingkat kepekaan operator terhadap kondisi sheet machine serta meningkatkan kemampuan operator untuk melakukan pemeliharaan mandiri sehingga mengurangi lamanya downtime, perubahan sistem pemeliharaan yang semula <i>corrective maintenance</i> menjadi <i>preventive maintenance</i> .

6.	Nia Budi Puspitasari, dkk (2014)	Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal)	FMEA	Resiko kegagalan pada hasil FMEA digunakan sebagai prioritas dalam usulan perbaikan. Semua moda kegagalan yang teridentifikasi tetap diberikan usulan perbaikan disesuaikan dengan kondisi perusahaan. Usulan perbaikan yang diberikan untuk perusahaan secara keseluruhan adalah perusahaan agar lebih memerhatikan perawatan mesin agar mesin terhindar dari kegagalan fungsinya.
7.	Hasbullah Hasbullah, 2017	Analisis Kegagalan Proses Insulasi Pada Produksi Automotive Wires (AW) Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Pada PT. JLC	FMEA, Pareto, Fishbone Diagram	Prioritas perbaikan pada RPN tertinggi pertama dan kedua. Perbaikan sistem juga perlu dilakukan pada RPN terendah. Pelaksanaannya mengikuti urutan sesuai Pareto Chart Potential Failure Mode.
8.	Yunasfi, dkk (2003)	Penggunaan Akselerator Untuk Terapi di Indonesia	Studi Literatur dan Studi Lapangan	Pemanfaatan teknologi akselerator (LiNAC) untuk terapi penyakit kanker oleh rumah sakit-rumah sakit di Indonesia masih terbatas pada rumah sakit-rumah sakit besar di pulau Jawa dan sebagian besar rumah sakit rumah sakit besar di Jakarta. Perlu pengembangan dan pemanfaatan akselerator dapat secara efisien dan efektif.
9.	Amrussalam, dkk (2016)	Pengukuran dan Perbaikan <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) Menggunakan <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) dan <i>Root Cause Failure Analysis</i> (RCFA)	Pareto, OEE, Fishbone Diagram	Usulan TPM untuk perbaikan adalah penerapan pemeliharaan mandiri (autonomous maintenance) untuk menghilangkan secara menyeluruh losses, mengembangkan kemampuan operator untuk melakukan pembersihan secara rutin, pelumasan, inspeksi dan selalu menjaga tempat kerja dengan konsep 5R, dan lain sebagainya
10.	Didik Wahjudi, dkk (2009)	Studi Kasus Peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Melalui Implementasi <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	TPM, OEE	Nilai OEE meningkat setelah mengimplementasikan TPM

Dari tabel hasil penelitian terdahulu diatas, dapat dilihat bahwa penelitian efektifitas keseluruhan pada peralatan pada umumnya menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), analisis

menggunakan FMEA dan strategi peningkatan OEE dengan penerapan TPM. Sehingga peneliti mencoba menganalisis *Total Productive Maintenance* dengan fokus penelitian terhadap Autonomous Maintenance (perawatan mandiri) Linac 2300 iX. Pengukuran TPM dilakukan dengan metode OEE, kemudian menganalisis faktor-faktor penyebab *downtime* menggunakan FMEA. Dengan penelitian ini nantinya dapat dijadikan acuan apabila ada permasalahan tentang efektifitas peralatan pada unit yang setipe.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

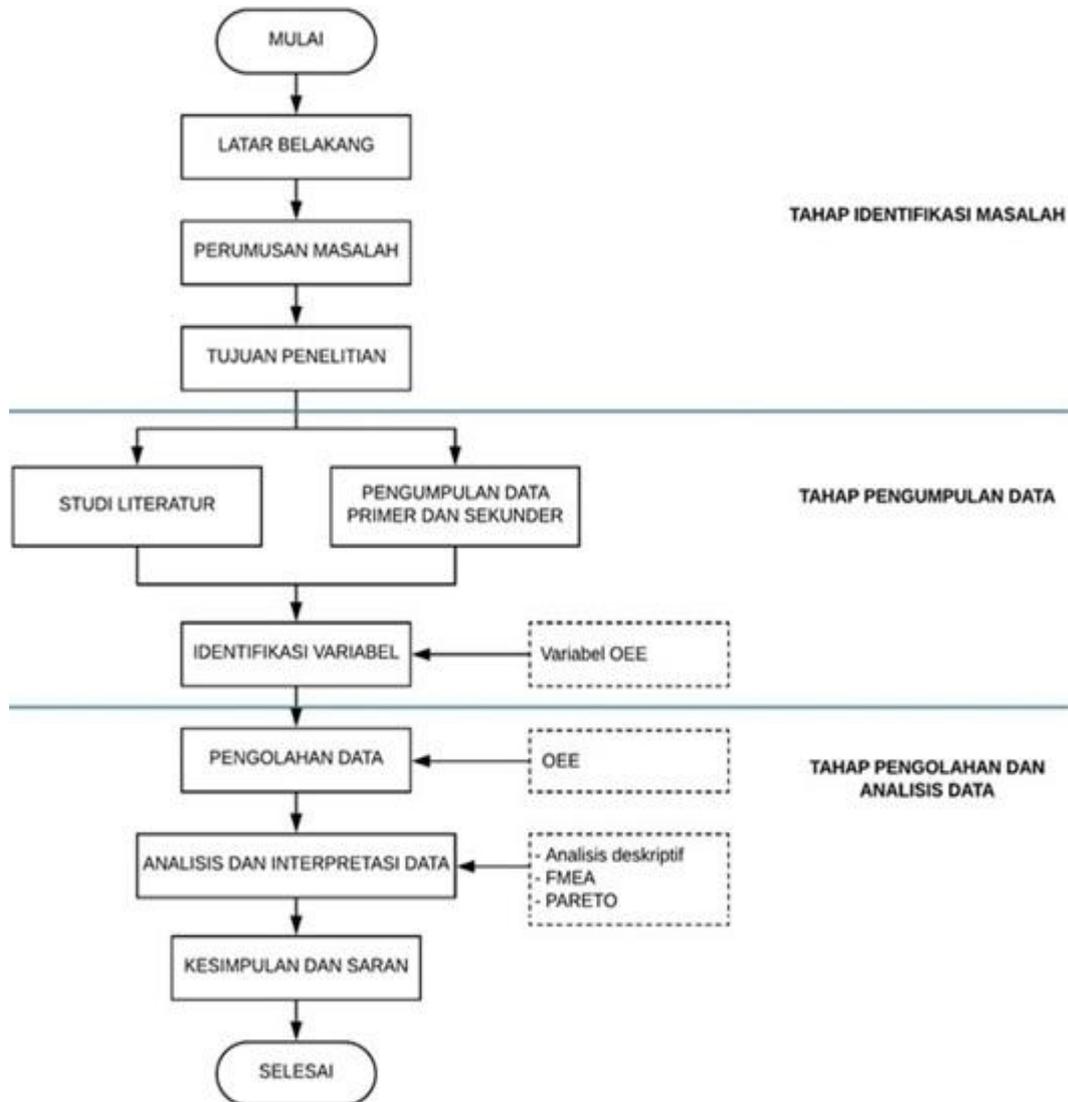
Dalam penelitian ini digunakan suatu metode penelitian yang dibuat secara terstruktur dan sistematis sesuai tujuan penelitian sehingga mempermudah penulis dan pembaca dalam memahami penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dijelaskan metodologi penelitian yakni tentang tahapan yang akan dilakukan dalam menyelesaikan penelitian.

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dan menggunakan desain studi eksplorasi pada alat Linac 2300 iX. Penelitian kuantitatif adalah penelitian dengan informasi atau data-data yang dikelola dengan statistik (Kontour, 2003). Penelitian ini adalah untuk mengukur TPM dengan menghitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan variabel yang berpengaruh terhadap nilai OEE, serta menganalisis faktor-faktor penyebab *downtime*. Kegagalan yang terjadi pada alat mencerminkan kegiatan pemeliharaan pada alat Linac 2300 iX belum terlaksana dengan baik. Hal ini terlihat pada bulan September 2017 terjadi penurunan jumlah pelayanan radioterapi Linac 2300 iX yang sangat signifikan, yaitu sebesar 88 % lebih rendah dari bulan Agustus 2017 atau hanya sebanyak 145 pelayanan pada bulan September 2017. Dengan pendekatan ini, peneliti ingin memperoleh pemahaman mendalam tentang dinamika yang ada dalam pemeliharaan peralatan atau teknologi di RS. XYZ. Pemilihan RS. XYZ sebagai lokasi penelitian, karena RS. XYZ merupakan organisasi di bidang layanan kesehatan dengan berbagai jenis peralatan kesehatan yang dimiliki sehingga memerlukan suatu metode pengukuran keefektifan alat.

### 3.2 Alur Penelitian

Adapun alur metode pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teoritis dan metode terkait dengan *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Literatur yang digunakan sebagai acuan dapat berupa buku, jurnal internasional, prosiding, artikel resmi dan informasi dari seminar atau workshop. Daftar literatur yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada bagian daftar pustaka.

### 3.4 Sumber Data

Adapun data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari sumber pertama atau data mentah yang nantinya diproses untuk tujuan-tujuan tertentu sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan (observasi) dan wawancara. Untuk *Focus Group Discussion*, data penelitian ini diperoleh dengan metode wawancara dilakukan kepada orang-orang yang memiliki informasi kunci (*key information*) yaitu operator Linac 2300 iX, teknisi RS, pimpinan, beberapa karyawan yang bersangkutan maupun pihak manajemen RS. XYZ.

#### 2. Data Sekunder

Dalam penelitian ini, data sekunder diperoleh dari RS. XYZ dalam bentuk data yang telah diolah sehingga lebih informatif jika digunakan oleh pihak yang berkepentingan. Sedangkan sumber data sekunder yang akan dipakai adalah sebagai berikut:

1. Laporan rutin pelayanan radioterapi
2. Laporan *service* rutin Linac 2300 iX
3. Data jumlah pelayanan Linac 2300 iX

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pengumpulan informasi sebagian atau seluruh elemen populasi yang menunjang dan mendukung penelitian. Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Menurut Sugiyono (2013), terdapat beberapa teknik pengumpulan data, yaitu dengan wawancara, observasi, kuesioner, dan studi dokumen.

#### 1. Wawancara

Wawancara dilakukan kepada operator Linac 2300 iX, teknisi RS, pimpinan, beberapa karyawan yang bersangkutan maupun pihak manajemen RS. XYZ karena responden tersebut memiliki pengetahuan dan pengalaman yang relatif

sama atau berkaitan langsung dengan pekerjaan di lapangan yang berhubungan dengan alat Linac 2300 iX.

## 2. Observasi

Observasi merupakan teknik pengumpulan data, dimana peneliti melakukan pengamatan secara langsung ke objek penelitian untuk melihat dari dekat kegiatan yang dilakukan (Riduwan, 2004). Observasi ini bertujuan untuk memperoleh data tentang aktivitas yang sedang berlangsung. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan observasi dengan cara terjun ke lapangan untuk mengamati langsung proses kegiatan pelayanan radioterapi Linac 2300 iX di RS. XYZ.

## 3. Studi dokumen

Peneliti mengumpulkan bahan-bahan pustaka untuk mendapatkan landasan teoritis mengenai *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) serta teori-teori lain yang digunakan sebagai acuan dasar penelitian.

### 3.6 Identifikasi Variabel

Berdasarkan tinjauan pustaka, didapatkan variabel-variabel untuk mencapai tujuan penelitian. Variabel yang ditetapkan merupakan hasil sintesa teori pada bab tinjauan pustaka yang relevan dengan ruang lingkup penelitian. Berikut ini pemetaan variabel-variabel yang berkaitan dengan tujuan penelitian.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

NO.	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL
1	Mengukur <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) Linac 2300 iX dengan metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Availability</i> (waktu kesediaan alat)</li> <li>• <i>Performance</i> (jumlah pelayanan)</li> <li>• <i>Quality</i> (kualitas yang dihasilkan)</li> </ul>
2	Menganalisis faktor-faktor penyebab <i>downtime</i> Linac 2300 iX	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Severity</i></li> <li>• <i>Occurance</i></li> <li>• <i>Detection</i></li> </ul>

### 3.7 Teknik Pengolahan Data

Data Linac 2300 iX yang digunakan sebagai *base line* adalah data dengan durasi sejak 01 Maret hingga 31 Agustus 2018. Data *base line* yang diambil meliputi:

1. Data jumlah pelayanan Linac 2300 iX
2. Data jam operasional pelayanan Linac 2300 iX
3. Data *downtime* alat Linac 2300 iX

Selanjutnya dilakukan penghitungan OEE untuk mengetahui efektifitas alat Linac 2300 iX seperti yang telah diuraikan pada bab tinjauan pustaka, yaitu pengukuran *Availability*, *Performance*, dan *Quality*.

Data *downtime* alat Linac 2300 iX digunakan untuk mengetahui faktor-faktor penyebab *downtime* yang juga didukung dengan hasil observasi dan wawancara yang dilakukan oleh peneliti.

### 3.8 Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif yang terdiri dari:

1. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan menganalisis dan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab *downtime* Linac 2300 iX. FMEA adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineers* untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya.
2. *Pareto Analysis* digunakan untuk menentukan prioritas permasalahan berdasarkan kontribusinya.

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## **BAB IV**

### **PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA**

Pada bab ini disajikan data penelitian beserta pengolahan dan analisisnya untuk mengetahui bagaimana OEE dan analisis FMEA alat Linac 2300 iX di RS. XYZ.

#### **4.1 Mekanisme Kerja Linac 2300 iX**

Berikut ini mekanisme/prosedur Linac 2300 iX (sumber: dokumen RS. XYZ) sebagai berikut:

##### **A. Prosedur *Stand By***

1. Putar Gantry pada posisi 90° atau 270°
2. Putar kunci pada posisi *Stand By* (ke kiri) pada kontrol konsul
3. Matikan CCTV pada ruang operator
4. Matikan monitor konsul
5. Matikan monitor dalam ruangan
6. Matikan monitor MLC 4 DTC

##### **B. Prosedur Persiapan *Morning Check Out***

1. Putar kunci pada kontrol konsul ke posisi ON (kanan)
2. Hidupkan monitor di kontrol konsul
3. Hidupkan monitor CCTV
4. Hidupkan komputer dan monitor MLC DTC
5. Hidupkan komputer dan monitor pengontrol MLC
6. Hidupkan penerangan di ruang *treatment*
7. Tekan tombol reset di Gantry
8. Periksa tekanan dan level air
9. Periksa tekanan gas
10. Periksa Handle power pump
11. Kerjakan *Morning Check Out*

C. Prosedur Pelaksanaan *Morning Check Out*

1. Putar Gantry pada posisi 0°
2. Pasang *Accessoris* untuk penyinaran elektron (Tray)
3. Pasang Aplikasi Elektron 10 x 10 cm
4. Pilih menu pada monitor konsul komputer ke posisi *Morning Check Out*
5. Lakukan penyinaran untuk tiap-tiap energi elektron 6, 9, 12, 15 dan 18 MeV
6. Lakukan juga penyinaran untuk energi photon 6 dan 10 MV
7. Bila telah selesai semua keluar dari program *Morning Check Out* dengan cara menekan F1
8. Isi data tekanan air, tekanan gas dan level air
9. Setelah selesai keluar untuk kembali ke menu utama

D. Prosedur *Treatment/*Penyinaran

1. Atur posisi sesuai dengan parameter dan *accessorisnya* yang terdapat pada status pasien
2. Pilih menu CLINICAL
3. Tentukan jenis dan energi penyinaran yang dipilih Photon/Elektron
4. Isi MONITOR UNIT yang digunakan
5. Pastikan *accessoris* yang dibutuhkan
6. Pastikan MLC ataupun menggunakan blok manual yang sesuai dengan *planning* pasien
7. Pastikan tidak ada indikator *interlock* yang aktif
8. Putar kunci pada kontrol konsul ke posisi *enable*
9. Periksa sekali lagi sesuai prosedur 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan lihat pasien pada monitor CCTV
10. Pastikan semuanya telah siap dilakukan penyinaran
11. Tekan tombol BEAM ON

E. Prosedur Selesai Penyinaran

1. Putar kunci pada kontrol konsul ke posisi *Disable*
2. Tekan *Set Up*
3. Turunkan pasien dari meja pemeriksaan

4. Kembalikan *accessoris* yang telah digunakan pada tempatnya semula

Catatan:

Bila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan, misalnya listrik padam, tidak stabil atau keadaan darurat segera tekan tombol *emergency* dan keluarkan pasien dari ruang penyinaran kemudian tutup pintu ruang penyinaran dan laporkan ke Ahli Fisika Medik dan Petugas Proteksi Radiasi.

- Segala sesuatu yang terjadi harap dicatat di *Log Book*
- Setelah selesai keluar untuk kembali ke menu utama

Uraian tersebut merupakan Standar Prosedur Operasional (SPO) Linac 2300 iX di RS. XYZ. Sedangkan tiap pasien baru menjalani radiasi antara 10 sampai 35 kali radiasi (radiasi dilakukan 1 kali/hari dan berturut-turut setiap hari).

#### 4.2 Penghitungan *Loading Time*

Berikut ini data penghitungan jam kerja pelayanan dan *loading time* radioterapi Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 sebagai dasar dalam penghitungan OEE Linac 2300 iX sebagai berikut:

Tabel 4.1 Penghitungan Jam Kerja Pelayanan Radioterapi Linac 2300 iX

Bulan	Jumlah Hari Kalender (Hari)	Jumlah Libur Pelayanan (Hari)	Jumlah Hari Kerja (Hari)	Jumlah Hari Kerja Senin s.d Kamis (Hari)		Jumlah Hari Kerja Jum'at (Hari)	Jumlah Jam Kerja Hari Senin s.d Kamis (Menit)		Jam Kerja Hari Jum'at (Menit)	Total Jam Kerja (Menit)
				Reguler	Bulan Puasa		Reguler	Bulan Puasa		
	A	B	C = A-B	D	E	F	G = D x 8,5 jam x 60 menit	H = E x 7 jam x 60 menit	I = jml hari x 7,5 jam x 60 menit	J = G+H+I
MARET	31	10	21	17	0	4	8670	0	1800	10470
APRIL	30	9	21	17	0	4	8670	0	1800	10470
MEI	31	10	21	8	9	4	4080	3780	1800	9660
JUNI	30	18	12	5	4	3	2550	1680	1350	5580
JULI	31	9	22	18	0	4	9180	0	1800	10980
AGUSTUS	31	10	21	17	0	4	8670	0	1800	10470
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>66</b>	<b>118</b>	<b>82</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>41820</b>	<b>5460</b>	<b>10350</b>	<b>57630</b>

Tabel 4.2 Penghitungan *Loading Time* Linac 2300 iX

Bulan	Jam Kerja (Menit)	Preventive Maintenance (Menit)	<i>Loading Time</i> (Menit)
	J	K	L= J-K
MARET	10470	0	10470
APRIL	10470	0	10470
MEI	9660	0 (sabtu & minggu)	9660
JUNI	5580	0	5580
JULI	10980	0	10980
AGUSTUS	10470	0 (minggu)	10470
<b>Total</b>	<b>57630</b>	<b>0</b>	<b>57630</b>

Sumber : laporan *maintenance*, diolah

Dari data tersebut diketahui bahwa kegiatan *preventive maintenance* Linac 2300 iX dilakukan setiap tiga bulan sekali dan pada hari libur pelayanan sehingga *preventive maintenance* tidak mempengaruhi/mengurangi *loading time* yang ada. Hal ini juga menguntungkan bagi RS karena:

1. Kegiatan *preventive maintenance* tidak mengganggu atau mengurangi jam kerja pelayanan, sehingga RS tidak kehilangan pasien jika pelayanan diliburkan untuk *maintenance*.
2. Lebih aman dari resiko pengunjung karena pada hari libur tidak ramai pengunjung seperti hari biasa sehingga kegiatan *maintenance* yang membutuhkan waktu sekitar 6 jam dapat dilakukan dengan tenang.

### 4.3 Penghitungan *Operating Time*

Berikut ini data penghitungan *operating time* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 sebagai dasar dalam penghitungan OEE sebagai berikut:

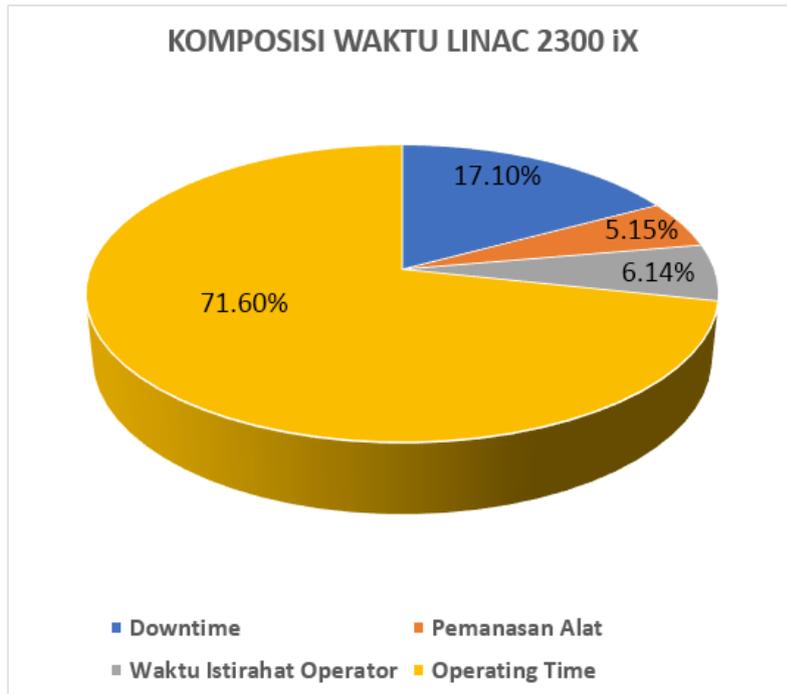
Tabel 4.3 Penghitungan *Operating Time* Linac 2300 iX

Bulan	Loading Time (Menit)	Restart (Menit)	Perbaikan Kerusakan Komponen (Menit)	Kerusakan Alat (Menit)	Waktu Pemanasan Alat (Menit)	Waktu Istirahat Operator (Menit)		Total Waktu Istirahat Operator (Menit)	Operating Time (Menit)
						Senin s.d Kamis	Jum'at		
	L	M	N	O	P	Q	R	S = Q+R	T = L - (M+N+O+P+S)
MARET	10470	80	780	870	540	450	180	630	7570
APRIL	10470	0	390	7590	150	120	60	180	2160
MEI	9660	30	0	0	630	510	240	750	8250
JUNI	5580	45	0	0	360	270	180	450	4725
JULI	10980	15	0	0	660	540	240	780	9525
AGUSTUS	10470	40	15	0	630	510	240	750	9035
<b>Total</b>	<b>57630</b>	<b>210</b>	<b>1185</b>	<b>8460</b>	<b>2970</b>	<b>2400</b>	<b>1140</b>	<b>3540</b>	<b>41265</b>

Sumber: Laporan *maintenance*, laporan rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, diolah

Dari data tersebut diketahui bahwa *operating time* turun sebanyak 16.005 menit (27,8 %) dari total *loading time*. Sebanyak 8460 menit (52,6 %) dari penurunan tersebut disebabkan karena kerusakan alat. Kerusakan alat merupakan suatu kondisi dimana alat rusak dan sedang menunggu untuk diperbaiki. Hal ini terkait dengan *respon time* teknisi dan ketersediaan suku cadang. Selama ini teknisi Linac 2300 iX hanya bersifat on call dan jarak teknisi dari RS adalah 9,3 kilometer, sehingga waktu yang dibutuhkan teknisi untuk tiba di RS adalah 13 menit dengan asumsi kecepatan kendaraan 40 km/jam, tanpa kemacetan dan lalu lintas. Sedangkan rata-rata akumulasi *respon time* teknisi dalam satu bulan adalah 60 menit. Waktu kerusakan yang lama ini sangat tidak efisien karena menyebabkan pelayanan terhenti dan operator menganggur. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh teknisi untuk memperbaiki kerusakan adalah sebesar 1185 menit (7,4 %) dari total penurunan *operating time*. Waktu perbaikan kerusakan ini dipengaruhi oleh faktor tingkat kerusakan alat, kualitas teknisi dan jumlah teknisi. Selama ini, Linac

2300 iX dipelihara oleh teknisi yang berpengalaman di bidang Linac dan yang telah tersertifikat. Jumlah teknisi yang memperbaiki adalah 2 orang.



**Gambar 4.1 Grafik Komposisi Waktu Linac 2300 iX**

Dari grafik tersebut diketahui bahwa *operating time* hanya sebesar 71,60% dari total *loading time*. Sedangkan *downtime* (*restart*, waktu perbaikan oleh teknisi, dan waktu kerusakan alat/menunggu perbaikan) telah melebihi standar yang seharusnya <5% tetapi pada kenyataannya adalah sebesar 17,10 %.

#### 4.4 Penghitungan *Availability*

Berikut ini data penghitungan *availability* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 sebagai dasar dalam penghitungan OEE sebagai berikut:

Tabel 4.4 Penghitungan *Availability* Linac 2300 iX

<b>Bulan</b>	<b><i>Loading Time</i> (Menit)</b>	<b><i>Operating Time</i> (Menit)</b>	<b><i>Availability Rate</i></b>
MARET	10470	7570	72.30%
APRIL	10470	2160	20.63%
MEI	9660	8250	85.40%
JUNI	5580	4725	84.68%
JULI	10980	9525	86.75%
AGUSTUS	10470	9035	86.29%
<b>AV Rata-Rata</b>	<b>57630</b>	<b>41265</b>	<b>71.60%</b>

Dari data tersebut diketahui bahwa pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin Linac 2300 iX belum mencapai standar *world class* OEE atau masih dibawah 90%. Pada bulan April 2018 terjadi penurunan *availability* yang sangat signifikan. Hal ini terjadi karena pada bulan April 2018 terjadi kerusakan pada kontrol Linac yang membutuhkan penggantian *board* CRADC PCB. Ketidaksiapan stok suku cadang mengakibatkan waktu tunggu perbaikan sangat lama, yaitu sebesar 7590 menit atau 126,5 jam kerja atau 15 hari kerja. Hal ini menunjukkan ketidakefektifan *preventive maintenance* Linac 2300 iX yang seharusnya dilakukan untuk mencegah dan mendeteksi awal terjadinya kerusakan sehingga apabila memerlukan suku cadang maka dapat segera dilakukan penggantian sebelum Linac rusak yang mengakibatkan pelayanan terhenti dan waktu nganggur meningkat.

#### 4.5 Penghitungan *Performance*

Berikut ini data penghitungan *performance* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 sebagai dasar dalam penghitungan OEE sebagai berikut:

Tabel 4.5 Penghitungan *Performance* Linac 2300 iX

Bulan	Jumlah Pasien (Orang)	Operating Time (Menit)	Performance Rate
MARET	878	7570	115.98%
APRIL	236	2160	109.26%
MEI	791	8250	95.88%
JUNI	425	4725	89.95%
JULI	843	9525	88.50%
AGUSTUS	764	9035	84.56%
<b>PF Rata-Rata</b>	<b>3937</b>	<b>41265</b>	<b>81.10%</b>

Penghitungan *cycle time* adalah sebagai berikut:

$$\text{cycle time} = \frac{2 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}}{12 \text{ pasien}} = 10 \text{ menit/pasien}$$

Contoh penghitungan *performance rate* sebagai berikut:

$$\text{PF rate Maret} = \frac{\text{ideal cycle time}}{\text{actual cycle time}} \times 100\% = \frac{878 \times 10}{7570} \times 100\% = 115,98 \%$$

Dari data tersebut menunjukkan bahwa efektifitas Linac 2300 iX belum mencapai standar *world class* OEE atau masih dibawah 95%. Pada bulan Maret dan April 2018 *performance* diatas 100%. Hal ini merupakan kondisi dimana material produksi yang dalam hal ini adalah pasien, dalam kondisi yang terbaik dalam arti mulai dari kemampuan pasien dalam bergerak/berpindah tempat menuju ruang Linac, tingkah laku pasien (persiapan/pasien ganti baju terlebih dahulu sebelum terapi), hingga pada proses terapi ke pasien (persiapan tindakan dan penyinaran) sehingga waktu tersebut benar-benar dapat diefisienkan secara maksimal. Berbeda halnya pada bulan-bulan berikutnya yang tidak dapat mencapai 100% yang

dikarenakan pasien dalam kondisi yang tidak memungkinkan untuk dapat melakukan pergerakan dengan cepat atau bahkan masih membutuhkan bantuan orang lain untuk berpindah tempat menuju ruang Linac (pasien terbaring di *brancard*). Dalam hal kecepatan alat pada proses terapi, Linac 2300 iX yang berusia 5 tahun sehingga memungkinkan Linac 2300 iX untuk dapat memberikan kinerja yang maksimal. RS. XYZ telah menetapkan SPO Linac 2300 iX terkait prosedur *stand by*, *warming up* (pemanasan), *treatment* (penyinaran), dan selesai penyinaran. SPO tersebut dilaksanakan setiap harinya oleh operator Linac 2300 iX.

#### 4.6 Penghitungan *Quality*

Berikut ini data penghitungan *quality* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 sebagai dasar dalam penghitungan OEE sebagai berikut:

Tabel 4.6 Penghitungan *Quality* Linac 2300 iX

Bulan	Jumlah Pasien (Orang)	Jumlah Pasien Defect (Orang)	<i>Quality Rate</i>
MARET	878	0	100.00%
APRIL	236	0	100.00%
MEI	791	0	100.00%
JUNI	425	0	100.00%
JULI	843	0	100.00%
AGUSTUS	764	0	100.00%
<b>Q Rata-Rata</b>	<b>3937</b>	<b>0</b>	<b>100.00%</b>

Dari data tersebut diketahui bahwa kualitas hasil terapi Linac 2300 iX pada pasien adalah 100%. Kualitas ini menunjukkan proses terapi yang efektif karena tidak adanya produk cacat/pasien cacat/gagal setelah terapi. Instalasi Radioterapi RS. XYZ melalui Koordinator Penjaminan Mutu dan Audit Pelayanannya telah membuat suatu prosedur *quality control* harian, bulanan, dan tahunan yang dilakukan oleh fisikawan medis. Tidak adanya produk cacat/pasien gagal/cacat

setelah terapi ini dikarenakan setiap hari dilakukan *quality control* terhadap Linac 2300 iX oleh fisikawan medis sebelum pelayanan pasien dimulai. Apabila ditemukan suatu kejanggalan kualitas ketika *quality control* dilakukan, maka alat dihentikan atau tidak dipakai untuk pelayanan pasien sehingga hal ini tidak sampai menyebabkan adanya pasien cacat/gagal. Selain itu, setiap dua tahun dilakukan kalibrasi Linac 2300 iX oleh badan yang berwenang (BATAN) untuk mengukur berkas elektron dan foton energi tinggi. Kalibrasi oleh BATAN terakhir dilakukan pada bulan Oktober 2016.

#### 4.7 Penghitungan Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Berikut ini data penghitungan OEE Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018:

Tabel 4.7 Penghitungan OEE Linac 2300 iX

Bulan	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
MARET	72.30%	115.98%	100.00%	83.86%
APRIL	20.63%	109.26%	100.00%	22.54%
MEI	85.40%	95.88%	100.00%	81.88%
JUNI	84.68%	89.95%	100.00%	76.16%
JULI	86.75%	88.50%	100.00%	76.78%
AGUSTUS	86.29%	84.56%	100.00%	72.97%
<b>OEE Rata-Rata</b>	<b>71.60%</b>	<b>81.10%</b>	<b>100.00%</b>	<b>58.07%</b>

Dari hasil penghitungan perkalian antara *Availability*, *Performance*, dan *Quality* didapatkan nilai OEE Linac 2300 iX mulai bulan Maret 2018 sampai Agustus 2018 adalah sebesar 58,07 %. Nilai OEE ini belum mencapai standar *world class* OEE atau masih dibawah 85 %. Berdasarkan standar *benchmark* OEE dari JIPM menunjukkan bahwa dalam hal ini produksi dianggap memiliki skor yang rendah, tapi dapat dengan mudah di-*improve* melalui pengukuran langsung, misalnya dengan menelusuri alasan-alasan *downtime* dan menangani sumber-sumber penyebab *downtime* secara satu per satu. Dari ketiga rasio unsur OEE tersebut, unsur *availability* (ketersediaan waktu) adalah yang paling rendah

dibanding unsur-unsur OEE lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlu adanya penelusuran tentang sumber penyebab *downtime* sehingga dapat direncanakan strategi pencegahan untuk meningkatkan ketersediaan yang berdampak terhadap nilai OEE. Berdasarkan data yang ada, berikut ini merupakan faktor penyebab utama *downtime* Linac 2300 iX:

1. Kerusakan Alat (85,84 % dari total *downtime*)

Merupakan kondisi dimana alat rusak dan menunggu perbaikan. Menunggu perbaikan dalam hal ini dapat dikarenakan respon time teknisi (rata-rata akumulasi per bulan 1 jam), dan ketidaksiapan suku cadang yang mengakibatkan proses produksi terhenti dan operator menganggur. Berdasarkan data yang ada kerusakan disebabkan oleh lampu *flow pump* (870 menit atau 10,28 % dari total waktu kerusakan alat), dan I/C *Control* yang rusak dan butuh penggantian *board* CRADC PCB (7590 menit atau 89,72 % dari total waktu kerusakan alat).

2. Perbaikan Kerusakan Komponen (12,02 % dari total *downtime*)

Merupakan kondisi waktu lama proses perbaikan alat oleh teknisi. Waktu perbaikan kerusakan ini dipengaruhi oleh faktor tingkat kerusakan alat, kualitas teknisi dan jumlah teknisi. Dari tingkat kerusakannya, sebanyak 795 menit (67,09 %) dari total waktu perbaikan adalah untuk perbaikan tingkat komponen yaitu valve regular *in flow* dan lampu *flow pump*, dan sebanyak 390 menit (32,91 %) dari total waktu perbaikan adalah untuk perbaikan tingkat modul (*board*) yaitu I/C *Control* dan *board* CRADC PCB. Selama ini, Linac 2300 iX dipelihara oleh teknisi yang berpengalaman di bidang Linac dan yang telah tersertifikat. Jumlah teknisi yang memperbaiki adalah 2 orang.

3. *Restart* (2,13 % dari total *downtime*)

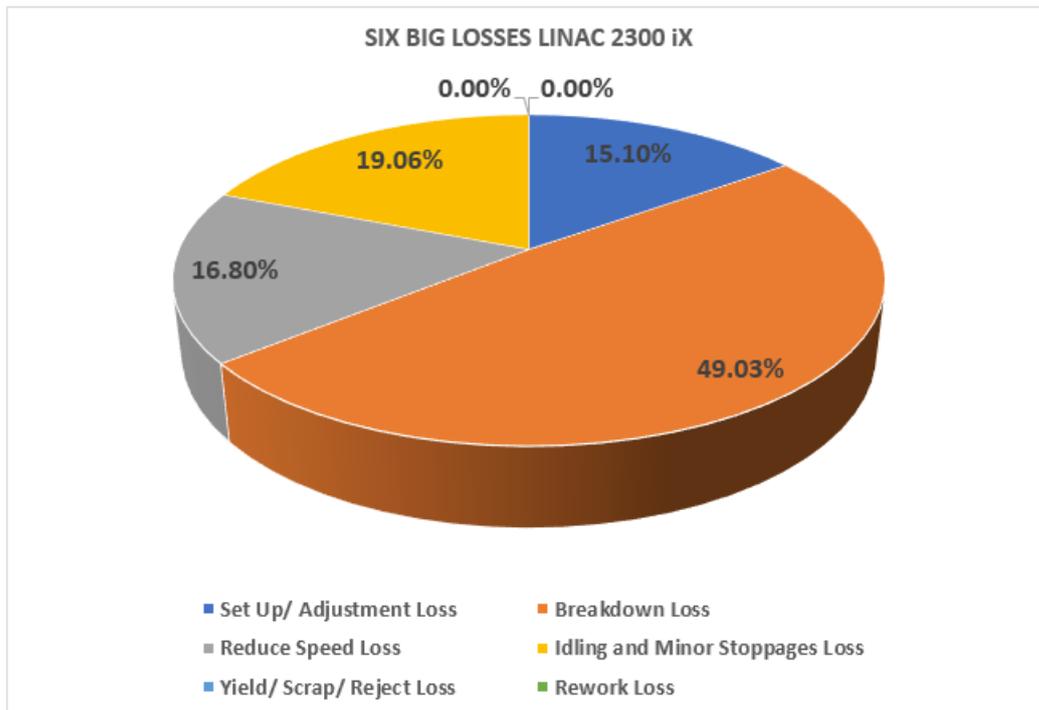
Merupakan kondisi dimana alat dilakukan *restart* atau *initial*. Sebanyak 70 menit (33,33 %) dari total waktu *restart/initial* adalah untuk *restart* semua system, sebanyak 40 menit (19,05 %) untuk *restart* Chiller, sebanyak 40 menit (19,05 %) untuk *restart Flow Pump*, sebanyak 30 menit (14,28 %) untuk *restart Multileaf Collimators* (MLC), sebanyak 20 menit (9,52 %) untuk *restart Gun Power Supply* PCB, dan sebanyak 10 menit (4,76 %) untuk *restart* PV.

#### 4.8 Penghitungan Six Big Losses

Berikut ini data penghitungan dan grafik *Six Big Losses* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018:

Tabel 4.8 Penghitungan *Six Big Losses* Linac 2300 iX

Bulan	Loading Time	Set Up/ Adjustment Loss		Breakdown Loss		Reduce Speed Loss		Idling and Minor Stoppages Loss		Yield/ Scrap/ Reject Loss		Rework Loss	
	Menit	Menit	%	Menit	%	Menit	%	Menit	%	Menit	%	Menit	%
MARET	10470	540	5.16%	1650	15.76%	0	0.00%	710	6.78%	0	0.00%	0	0.00%
APRIL	10470	150	1.43%	7980	76.22%	0	0.00%	180	1.72%	0	0.00%	0	0.00%
MEI	9660	630	6.52%	0	0.00%	340	3.52%	780	8.07%	0	0.00%	0	0.00%
JUNI	5580	360	6.45%	0	0.00%	475	8.51%	495	8.87%	0	0.00%	0	0.00%
JULI	10980	660	6.01%	0	0.00%	1095	9.97%	795	7.24%	0	0.00%	0	0.00%
AGUSTUS	10470	630	6.02%	15	0.14%	1395	13.32%	790	7.55%	0	0.00%	0	0.00%
<b>Total</b>	<b>57630</b>	<b>2970</b>	<b>5.14%</b>	<b>9645</b>	<b>16.74%</b>	<b>3305</b>	<b>5.73%</b>	<b>3750</b>	<b>6.51%</b>	<b>0</b>	<b>0.00%</b>	<b>0</b>	<b>0.00%</b>



Gambar 4.2. Grafik *Six Big Losses* Linac 2300 iX

Dari data tersebut diketahui bahwa total *losses* adalah sebesar 19670 menit (34,13 %) dari total *loading time*. Berdasarkan data yang ada, berikut ini merupakan faktor penyebab utama *losses* Linac 2300 iX:

1. *Breakdown Loss* (49,03 % dari total *losses*)

*Breakdown loss* merupakan *loss* terbesar dibandingkan *losses* lainnya yaitu sebesar 9645 menit. Sebesar 8460 menit (87,71 %) dari total *Breakdown Loss* adalah disebabkan karena kerusakan alat, dimana alat rusak dan menunggu untuk diperbaiki. Sedangkan sebesar 1185 menit (12,29 %) dari total *Breakdown Loss* disebabkan karena perbaikan kerusakan komponen.

2. *Idling and Minor Stoppages Loss* (19,06 % dari total *losses*)

Adanya *idling and minor stoppages loss* ini disebabkan karena waktu istirahat operator, yaitu sebesar 3540 menit (94,4 %) dari total *idling and minor stoppages loss*, dan adanya *restart/initial* sebesar 210 menit (5,6 %) dari total *idling and minor stoppages loss*.

3. *Reduce Speed Loss* (16,80 % dari total *losses*)

*Reduce speed loss* merupakan fungsi dari *performance*, dimana terdapat *loss* dalam proses produksi/pelayanan pasien yaitu melebihi *cycle time* yang seharusnya untuk 1 pasien adalah 10 menit. Adanya keterlambatan ini dikarenakan faktor pergerakan dan tingkah laku pasien (kondisi pasien), persiapan dan proses penyinarannya. Pasien dalam kondisi normal dapat bergerak cepat untuk berpindah ke ruang Linac, sedangkan dalam kondisi yang tidak normal, pasien sulit bergerak bahkan dibantu oleh orang lain untuk bergerak memasuki ruang Linac. Ini merupakan faktor dominan penyebab keterlambatan proses produksi yang tidak sesuai target waktu.

4. *Set Up/Adjustment Loss* (15,10 % dari total *losses*)

*Set up/adjustment loss* disebabkan karena adanya pemanasan alat yaitu sebesar 2970 menit.

5. *Yield/Scrap/Reject Loss* (0 % dari total *losses*)

Dalam proses terapi Linac 2300 iX tidak ada produk cacat/pasien gagal/ditolak atau dibatalkan. Hal ini karena alat dilakukan *quality control* setiap hari sebelum alat dipakai untuk ke pasien. Sehingga apabila ditemukan kejanggalan alat ketika *quality control* dilakukan maka alat dihentikan/tidak dipakai ke pasien sehingga tidak sampai menghasilkan produk cacat/pasien gagal/cacat.

6. *Rework Loss* (0 % dari total *losses*)

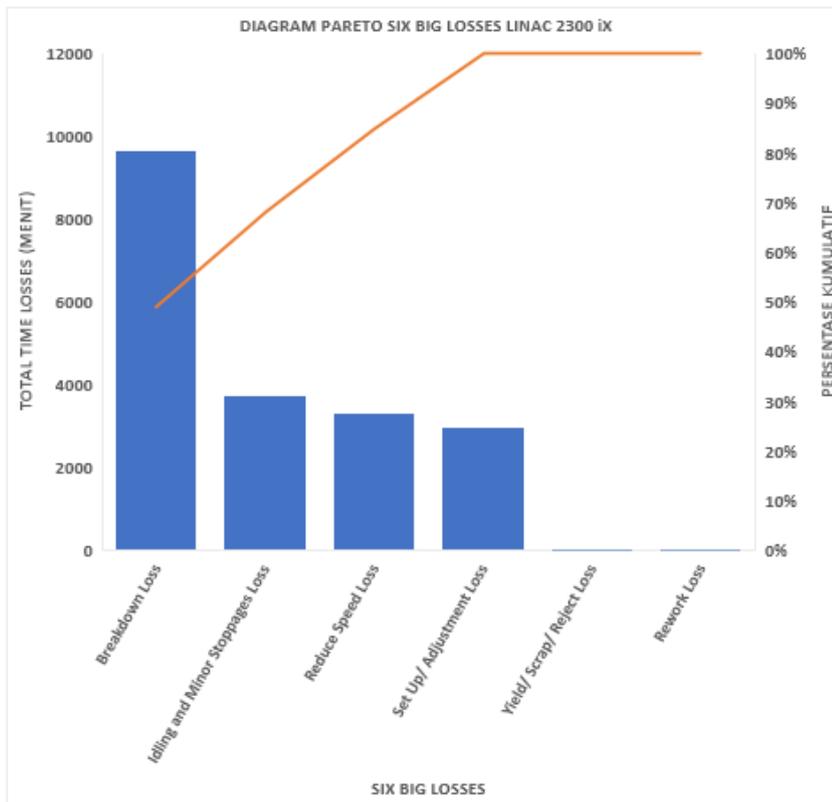
Dalam proses terapi Linac 2300 iX juga tidak ada *rework loss* karena apabila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan, misalnya listrik kedip ketika proses terapi

pasien dilakukan, maka data penyinaran terakhir secara otomatis tersimpan di dalam server dan proses penyinaran pada pasien tersebut dapat dilanjutkan seketika. Sehingga dalam hal ini tidak ada pengerjaan ulang untuk terapi Linac 2300 iX.

Berikut ini data dan pareto kontribusi *Six Big Losses* Linac 2300 iX:

Tabel 4.9 Persentase *Six Big Losses* Linac 2300 iX

<i>Six Big Losses</i>	Total Time Losses (Menit)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
Breakdown Loss	9645	49.03%	49.03%
Idling and Minor Stoppages Loss	3750	19.06%	68.10%
Reduce Speed Loss	3305	16.80%	84.90%
Set Up/ Adjustment Loss	2970	15.10%	100.00%
Yield/ Scrap/ Reject Loss	0	0.00%	100.00%
Rework Loss	0	0.00%	100.00%
<b>Total</b>	<b>19670</b>	<b>100.00%</b>	



Gambar 4.3 Diagram Pareto *Six Big Losses* Linac 2300 iX

Dari data dan pareto tersebut diketahui bahwa permasalahan utama dalam *losses* adalah karena *breakdown loss*. *Breakdown loss* ini merupakan area kritis yang paling banyak menyebabkan masalah sehingga membutuhkan perhatian lebih dan menjadi prioritas utama untuk dilakukan tindakan.

#### 4.9 Penghitungan *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Berikut ini data penghitungan MTBF dan MTTR Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018:

Tabel 4.10 Penghitungan *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) Linac 2300 iX

Bulan	<i>Loading Time</i> (Menit)	<i>Restart</i> (Menit)	Perbaikan Kerusakan Komponen (Menit)	Kerusakan Alat (Menit)	Total <i>Downtime</i> (Menit)	Total Kerusakan (Kali)	<i>Up Time</i> (Menit)	MTBF (Menit)	MTTR (Menit)
	A	B	C	D	B+C+D	F	G = A-E	H = G/F	I = E/F
MARET	10470	80	780	870	1730	11	8740	794.545	157.273
APRIL	10470	0	390	7590	7980	17	2490	146.471	469.412
MEI	9660	30	0	0	30	9	9630	1070	3.33333
JUNI	5580	45	0	0	45	2	5535	2767.5	22.5
JULI	10980	15	0	0	15	6	10965	1827.5	2.5
AGUSTUS	10470	40	15	0	55	9	10415	1157.22	6.11111
<b>Total</b>	<b>57630</b>	<b>210</b>	<b>1185</b>	<b>8460</b>	<b>9855</b>	<b>54</b>	<b>47775</b>	<b>884.722</b>	<b>182.5</b>

Sumber: Laporan *maintenance*, laporan rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, diolah

Dari data tersebut diketahui bahwa rata-rata waktu antar kerusakan adalah 884,722 menit atau 14,75 jam. Sehingga, jumlah kerusakan yang terjadi dalam 1 menit adalah 0,0011 kerusakan. Dalam hal ini 1 kali kerusakan akan terjadi setelah alat dipakai selama 14,75 jam atau setelah 1,73 hari pemakaian (8,5 jam kerja/hari). Sedangkan rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh teknisi dalam melakukan 1 kali perbaikan adalah 182,5 menit atau 3 jam. Dengan ini maka dibutuhkan upaya untuk meningkatkan nilai MTBF dan menurunkan nilai MTTR.

#### 4.10 Analisis Mode Kegagalan

Berikut ini analisis mode kegagalan penyebab *downtime* Linac 2300 iX bulan Maret 2018 sampai dengan Agustus 2018 menggunakan FMEA dan diagram pareto:

Tabel 4.11 Analisis Mode Kegagalan Penyebab *Downtime* Linac 2300 iX

Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Prob	Current Design Controls	Det	RPN
Gun Filament	Interlock GFIL	Pemanasan filamen tidak dapat dilakukan	5	Sistem pada Gun Power Supply error	5	Melakukan restart Gun Power Supply, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	7	<b>175</b>
Flow Pump	Interlock Flow & Pump	Chiller tidak dapat bekerja	5	Suhu Chiller tidak dingin, freon kurang	7	Merestart Chiller, mengisi freon bila diperlukan, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	5	<b>175</b>

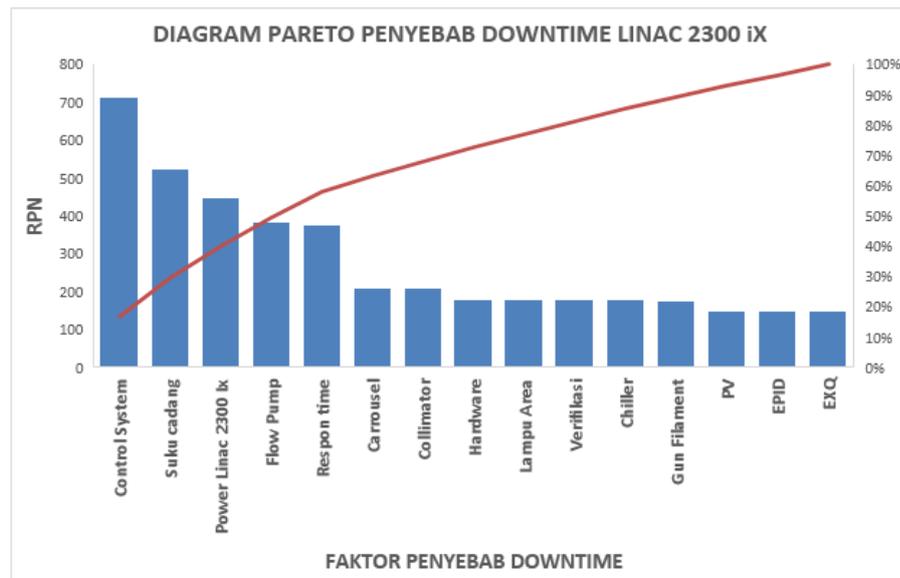
Flow Pump	Lampu Flow Pump mati	Sistem Flow dan Pump tidak dapat bekerja	6	Terjadi error pada sistem Flow Pump, Penggantian lampu Flow Pump	7	Pengecekan dan perbaikan pada sistem Flow Pump, penggantian lampu Flow Pump bila mengalami kerusakan, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	5	<b>210</b>
Control System	Interlock Control	Sistem kontrol Linac tidak dapat bekerja	5	Sistem kontrol error	6	Merestart sistem kontrol, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	7	<b>210</b>
Control System	I/C Control trap	Dose Rate tidak bisa naik	9	Board CRADC PCB rusak	8	Mengganti CRADC PCB Board dan PCB di Console bila terjadi kerusakan	7	<b>504</b>

Hardware	Interlock Hardware Failure (HWFA)	Setting posisi meja tidak dapat dilakukan	5	Sistem untuk mengatur posisi meja error	6	Override meja, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>180</b>
Lampu Area	Lampu area mati	Luas area penyinaran tidak dapat dilihat dengan baik	6	Penggantian lampu area	5	Penggantian lampu area bila mengalami kerusakan, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>180</b>
Carrousel	Carrousel Foil	Pemilihan mode Carrousel tidak dapat dilakukan	5	Carrousel tidak dalam posisi yang benar untuk mode yang dipilih, Pin pengunci carrousel tidak dalam posisi rumah	7	Perbaiki sistem pengunci Carrousel bila terjadi kerusakan	6	<b>210</b>
Collimator	Interlock Multileaf Collimators (MLC)	Colimator tidak dapat bekerja	5	Sistem pada MLC error	6	Merestart dan initial MLC, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	7	<b>210</b>

Power Linac 2300 lx	Listrik PLN kedip	Kerusakan alat, proses inisialisasi alat terganggu, pelayanan terhenti	10	Keandalan listrik	5	Back Up listrik oleh Genset	9	<b>450</b>
Verifikasi	Beam On gagal	Beam On tidak dapat dilakukan	6	DV bermasalah	5	Melakukan DV Controlled	6	<b>180</b>
PV	PV error	Sistem tidak dapat bekerja	5	PV bermasalah	5	Restart PV, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>150</b>
EPID	EPID error	Sistem tidak dapat bekerja	5	EPID bermasalah	5	Perbaiki sistem terkait EPID, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>150</b>

EXQ	EXQ2 error	Sistem tidak dapat bekerja	5	EXQ bermasalah	5	Perbaiki sistem terkait EXQ, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>150</b>
Chiller	Suhu Chiller tidak dingin	Linac tidak dapat bekerja	5	Kurang Freon	6	Melakukan pengisian freon bila diperlukan, preventive maintenance setiap 3 bulan, inspeksi setiap minggu oleh teknisi	6	<b>180</b>
Respon time	Respon time teknisi lama	Peningkatan downtime	7	Jarak teknisi ke RS	8	Teknisi on-call	3	<b>168</b>
Respon time	Respon time service lama	Peningkatan downtime	7	Jenis dan tingkat kerusakan alat, kualitas, pengalaman dan jumlah teknisi	6	Teknisi tersertifikat dan berpengalaman, jumlah teknisi 2 orang	5	<b>210</b>
Suku cadang	Alat tidak dapat difungsikan karena menunggu suku cadang	Peningkatan downtime	8	Stok suku cadang, delivery time suku cadang impor	5	RS tidak mengontrol stok suku cadang yang diperlukan	7	<b>280</b>

Suku cadang	Suku cadang yang dipasang tidak sesuai/ tidak orisinal	Suku cadang tidak bertahan lama, alat sering rusak	7	Kualitas suku cadang	5	RS kurang memonitor suku cadang	7	245
-------------	--	--	---	----------------------	---	---------------------------------	---	-----



**Gambar 4.4 Diagram Pareto Faktor Penyebab Downtime Linac 2300 iX**

Dari analisis FMEA dan diagram pareto tersebut diketahui bahwa penyebab utama *downtime* Linac 2300 iX adalah *control system*. Kerusakan pada *control system* ini terjadi pada bulan April 2018, dimana terdapat kerusakan tingkat *board* pada I/C Control dan memerlukan penggantian suku cadang *board* CRADC PCB. Ketidaktersediaan suku cadang ketika itu sehingga menyebabkan *downtime* yang seharusnya bisa 60 menit (untuk proses perbaikan) menjadi 7650 menit. Hal ini menjadi sangat penting untuk diperhatikan bagi RS.XYZ untuk ikut terlibat dalam perencanaan, monitoring dan evaluasi suku cadang Linac 2300 iX, sehingga bila terjadi kerusakan Linac 2300 iX yang memerlukan penggantian suku cadang segera maka dapat diantisipasi dengan baik agar *downtime* tidak terlalu lama.

#### 4.11 Analisis *Total Productive Maintenance* (TPM)

Nilai OEE Linac 2300 iX yang hanya sebesar 58,07% menunjukkan kinerja peralatan dan penerapan program *Total Productive Maintenance* (TPM) belum maksimal. Berdasarkan hasil pengamatan, berikut ini analisis tentang penerapan program TPM di RS. XYZ:

##### 1. *Preventive Maintenance*

Dari hasil pengamatan dan wawancara yang dilakukan bahwa kegiatan *preventive maintenance* masih dilakukan oleh *outsourcing*. Hal ini dikarenakan RS. XYZ melalui Instalasi Pemeliharaan Sarana Medik (IPSRM) belum memiliki tenaga yang kompeten dan peralatan kerja yang memadai. Perlu adanya *training* bagi teknisi di IPSRM agar selain dapat melakukan perbaikan, juga dapat melakukan evaluasi pemeliharaan yang dilakukan oleh *outsourcing*. Kegiatan pemeliharaan selama ini dilaksanakan tanpa mengetahui teknisi RS dan hanya didampingi oleh operator dan penanggung jawab peralatan ruangan saja yang mana tidak sesuai dengan kompetensi peralatan medis, sehingga tidak dapat melakukan penilaian terhadap kualitas pemeliharaan yang telah dilakukan. Hal ini menjadikan teknisi RS tidak dapat memonitor dan mengevaluasi pelaksanaan pemeliharaan dan penggantian suku cadangnya. Tidak adanya penginformasian tentang rencana suku cadang selama 1 tahun pemeliharaan dari pihak *outsourcer* juga menyebabkan RS. XYZ tidak dapat mengantisipasi bila terjadi kerusakan yang dapat mengakibatkan *loss* bagi RS.

##### 2. *Breakdown/Corrective Maintenance*

Dari hasil pengamatan dan wawancara yang dilakukan didapatkan bahwa *breakdown/corrective maintenance* yang dilakukan teknisi masih belum maksimal. Operator mengeluhkan bahwa untuk memperbaiki kerusakan-kerusakan yang ada, seringkali teknisi mengakali suku cadang yang seharusnya dilakukan penggantian tetapi tidak segera dilakukan penggantian. Hal ini menyebabkan setelah perbaikan selesai, tidak lama kemudian kerusakan yang sama terjadi lagi. Dalam hal ini diperlukan adanya sikap tegas dari manajemen pemeliharaan terkait penggantian suku cadang oleh teknisi. Dimana hal ini dapat menimbulkan *loss* karena proses pelayanan menjadi terhambat jika

kerusakan sering terjadi atau dapat menurunkan kualitas alat/rusak lebih parah akibat keterlambatan penggantian suku cadang.

### 3. *Autonomous Maintenance*

Dari hasil pengamatan yang dilakukan didapat bahwa perawatan mandiri yang dilakukan operator masih kurang, karena mesin jarang dibersihkan dan masih ditemui debu di bagian meja Linac. Hal ini disebabkan karena kurang disiplinnya operator dalam melakukan pembersihan dan pemeriksaan rutin terhadap kondisi fisik bagian-bagian Linac, terutama pada bagian yang bergerak, dan juga kurang perhatian terhadap kondisi seluruh peralatan yang ada di dalam ruangan Linac.

### 4. *Predictive Maintenance*

Dari hasil pengamatan didapat bahwa *predictive maintenance* dilakukan secara berkala, ada yang bersifat harian, bulanan dan tahunan. Inspeksi harian terhadap fungsi-fungsi Linac dilakukan oleh operator dan fisikawan medis. Hal ini sangat baik dilakukan sebagai deteksi awal terjadinya kerusakan sehingga apabila ditemukan kejanggalan fungsi alat pada saat inspeksi dilakukan, maka alat dihentikan sementara sehingga kerusakan alat tidak sampai berdampak ke pasien.

## **4.12 Implikasi Manajerial**

Pada hari Jumat, 21 Desember 2018 telah dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) dengan pihak internal RS. XYZ dalam rangka perumusan strategi peningkatan OEE. Hasil dari penghitungan OEE didiskusikan bersama sehingga pihak internal mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi nilai OEE. Selama ini, RS. XYZ belum pernah melakukan evaluasi OEE alat-alat kedokterannya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi RS. XYZ dalam mengelola peralatan medisnya. Diskusi ini diadakan di ruang pertemuan RS. XYZ dengan hasil sebagai berikut:

1. RS. XYZ akan berupaya meningkatkan kualitas dan kompetensi SDM teknis peralatan medis, terutama untuk peralatan dengan teknologi canggih *high risk* dan unit penghasil seperti Linac, Cathlab, CT-Scan, dan lain sebagainya. Upaya yang akan dilakukan antara lain memberikan *training*, pendidikan, dan

penelitian terhadap kerusakan-kerusakan alat serta mewajibkan kepada teknisi di IPSRS untuk selalu mengikuti dan memonitor pelaksanaan pemeliharaan alat canggih tersebut yang selama ini selalu dilakukan oleh teknisi *outsourcing*. Upaya peningkatan kualitas dan kompetensi SDM teknisi ini diharapkan nantinya teknisi dapat melakukan perbaikan-perbaikan yang sifatnya *emergency* tanpa harus menunggu kedatangan teknisi *outsourcing*.

2. RS. XYZ akan melakukan evaluasi OEE secara kontinyu untuk dapat mengetahui efektifitas total peralatan yang ada.
3. RS. XYZ melalui IPSRS akan ikut terlibat dalam perencanaan dan monev suku cadang peralatan yang dipelihara oleh *outsourcing*. Sehingga dengan ini RS. XYZ dapat mengontrol ketersediaan suku cadang peralatannya, meskipun pemeliharaan dilakukan oleh *outsourcing*.
4. RS. XYZ akan meningkatkan perjanjian terhadap *outsourcing* terkait pemeliharaan alat kedokteran teknologi tinggi dan *high risk* bahwa mewajibkan teknisi untuk *stand by* di RS. XYZ selama jam operasional pelayanan. RS. XYZ juga berencana menyediakan tempat/ruangan bagi para teknisi *outsourc*e peralatan canggih tersebut sehingga dengan ini diharapkan teknisi *outsourc*e dapat *stand by* di RS. XYZ dengan nyaman dan aman.
5. RS. XYZ akan terus berupaya mempertahankan kualitas alat agar tidak sampai ada produk cacat/pasien gagal setelah terapi dengan Linac. Hal ini dikarenakan jika ada produk cacat/pasien gagal, maka ijin operasional Linac akan dihentikan oleh badan yang berwenang (BATAN). RS. XYZ juga mengikutsertakan teknisi RS untuk ikut mendampingi kegiatan inspeksi yang selalu dilakukan oleh operator dan fisikawan medis.
6. RS. XYZ akan melakukan optimalisasi kehandalan infrastruktur penunjang sarana dan prasarana unit pelayanan melalui standarisasi tata kelola di IPSRS yang didukung oleh penggunaan teknologi informasi. Penggunaan teknologi informasi dalam hal ini untuk inventarisasi prioritas pemeliharaan alat berdasarkan kategori *high risk*, *medium risk*, dan *low risk*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Linac 2300 iX sebesar 58,07 % menunjukkan kinerja peralatan dan penerapan program *Total Productive Maintenance* (TPM) belum maksimal. Nilai dari masing-masing unsur OEE antara lain *Availability* (71,60%), *Performance* (81,1%), dan *Quality* (100%).
2. Faktor utama penyebab *downtime* Linac 2300 iX adalah karena *control system*. Terdapat 2 mode kegagalan pada *control system*, yaitu *I/C control trap* (7980 menit) dan *interlock control* (50 menit).

#### **5.2 Saran**

Setelah melakukan analisis TPM dengan metode OEE dan faktor penyebab *downtime* Linac 2300 iX, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam melakukan penghitungan dan analisis OEE suatu alat penunjang proses pelayanan, selain dari kecepatan alat dalam berproduksi hendaknya mempertimbangkan juga terkait material produksi, alur dan SPO pelayanan sehingga dapat dianalisis lebih detail tentang pengaruh faktor tersebut terhadap OEE.
2. Pada penelitian selanjutnya, dalam mengevaluasi pemeliharaan perlu dilakukan analisis hubungan biaya *maintenance* yang dikeluarkan terhadap kualitas *maintenance* yang diterima.
3. Dari hasil analisis *six big loss*, terkait *Breakdown Loss* selain dari proses perbaikan alat juga sangat perlu adanya perhatian dari manajemen pemeliharaan

terhadap ketersediaan suku cadang peralatan untuk meminimalisir resiko peningkatan *downtime* karena penggantian suku cadang.

## DAFTAR PUSTAKA

Amrussalam., Santoso, Purnomo Budi., Tama, Ishardita Pambudi. (2016), “Pengukuran Dan Perbaikan Total Productive Maintenance (TPM) Menggunakan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Root Cause Analysis (RCFA)”, *JEMIS*, Vol. 4, No. 2, hal. 102-108.

Andersson, Carin., Bellgram, Monica. (2011), “Combining Overall Equipment Efficiency (OEE) And Productivity Measures As Drivers For Production Improvements”, *Swedish Production Symposium*, Lund University, Lund, hal. 20-29.

Ansori, Nachnul., Mustajib, M. Imron, (2013), *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Carlson, Carl S, (2012), *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, And Economical Products And Processes Using Failure Mode And Effects Analysis*, series in quality & reliability engineering, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Hapsari, Nindita., Amar, Kifayah., Perdana, Yandra Rahadian. (2012), “Pengukuran Efektifitas Mesin Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT. Setiaji Mandiri”, *Spektrum Industri*, Vol. 10, No. 2, hal. 108-199.

Hasbullah, Hasbullah., Kholil, Muhammad., Santoso, Dwi Aji. (2017), “Analisis Kegagalan Proses Insulasi Pada Produksi Automotive Wires (AW) Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Pada PT JLC”, *SINERGI*, Vol. 21, No. 3, hal. 193-203.

Hiswara, Eri. (2017), “Status Terkini dan Perspektif Masa Depan Radioterapi di Indonesia”, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, hal. 47-52.

Kigsirisin, Soraphon., Pussawiro, Sirawit., Noohawm, Onurai. (2016), “Approach For Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant”, *12<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics, HIC 2016*, Eds: The Authors, Kasetsart University, Bangkok, hal. 260-267.

King, Peter L, (2009), *Lead For The Process Industries: Dealing With Complexity*, Taylor & Francis Group, New York.

Mwanza, Bupe G., Mbohwa, Charles. (2015), “Design Of Total Productive Maintenance Model For Effective Implementation: Case Study Of A Chemical Manufacturing Company”, *Industrial Engineering and Service Science 2015*,

*IESS 2015*, Eds: The Authors, University of Johannesburg, Johannesburg, hal. 461-470.

Puspitasari, Nia Budi., Martanto, Arif. (2014), “Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung Tangan ATM (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal)”, *J@TI Undip*, Vol IX, No. 2, hal. 93-98.

Republik Indonesia. (2009), *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 tahun 2009 tentang Rumah Sakit*, Patrialis Akbar, Jakarta.

Sadek, Sodikin. (2015), *Pedoman Pengelolaan Peralatan Kesehatan di Fasilitas Pelayanan Kesehatan*, Direktorat Jenderal Bina Upaya Kesehatan: Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik dan Sarana Kesehatan.

Santoso, Edi. (2017), *Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) Guna Meningkatkan Efektivitas Gas Turbine (Studi Kasus Turbines Mars-Compressor Set)*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Shen, C.-C. (2015), “Discussion on Key Successful Factors Of TPM in Enterprises”, *Journal of Applied Research and Technology*, 13, hal. 425-427.

Singh, Ranteshwar., Gohil, Ashish M., Shah, Dhaval B., Sanjay, Desai. (2013), “Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study”, *Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference on Engineering*, Eds: The Authors, Nirma University, Ahmedabad, hal. 592-599.

Wahjudi, Didik., Tjitro, Soejono., Soeyono, Rhismawati. (2009), “Studi Kasus Peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Melalui Implementasi Total Productive Maintenance (TPM)”, *Seminar Nasional Teknik Mesin IV*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

World Health Organization. (2011), *Medical Equipment Maintenance Programme Overview*, WHO Medical device technical series, WHO, Geneva.

Yusnafi., Mudjiono., Irwanti, Dwi., Hanifa. (2003), “Penggunaan Akselerator Untuk Terapi di Indonesia”, *Prosiding Seminar Pengembangan Teknologi Dan Perekayasaan Instrumentasi Nuklir*, Pusat Pendayagunaan Iptek Nuklir (PPdIN), BATAN, Serpong, hal. 97-100.

LAMPIRAN 1

TABEL DATA UMUR DAN PEMELIHARAAN LINAC DI RS. XYZ

NO	LINEAR ACCELERATOR (LINAC)	TAHUN INSTAL	UMUR ALAT (TAHUN)	PEMELIHARAAN BERDASARKAN TAHUN											
				2013		2014		2015		2016		2017		2018	
				JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM	JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM	JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM	JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM	JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM	JUMLAH PM (KALI)	JENIS PM
1	LINAC 2100 C	2000	19	2	outsorce	1	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce
2	LINAC 600 C/D	2008	11	2	outsorce	1	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce
3	LINAC 2300 iX	2014	5	tak tentu	outsorce	tak tentu	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce	4	outsorce

Sumber : Data Pemeliharaan IPSM, diolah

## LAMPIRAN 2

### PEMELIHARAAN LINAC 2300 iX BULAN MARET s.d AGUSTUS 2018

NO	JOB WORK	MARET				APRIL				MEI				JUNI				JULI				AGUSTUS			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Modulator																								
2	Stand																								
3	Gantry																								
4	Console																								
5	Linac Waveforms																								
6	MLC																								
7	OBI Parameters																								
8	Analog Meters																								

Sumber : Laporan *maintenance* RS. XYZ, diolah

### LAMPIRAN 3

#### DATA KEGAGALAN LINAC 2300 iX BULAN MARET S.D AGUSTUS 2018

NO	HARI/TANGGAL	MASALAH	TINDAKAN	JAM KUNJUNGAN		DOWNTIME (MENIT)
				START TIME	FINISH TIME	
1	Selasa-Kamis, 6-8 Maret 2018	Lampu Flow Pump	-	-	-	120
2	Kamis, 8 Maret 2018	Interlock CTRL	Restart semua system	09.00	14.00	20
3	Jumat, 9 Maret 2018	Lampu Flow Pump	-	-	-	450
4	Senin, 12 Maret 2018	Lampu Flow Pump	-	-	-	300
5	Senin-Selasa, 12-13 Maret 2018	Lampu Flow Pump	Perbaikan sistem Flow Pump	09.00	14.00	720
6	Kamis, 15 Maret 2018	Interlock Flow Pump	Restart semua system control, flow dan pump. Pengisian freon pada Chiller	09.00	15.00	30
7	Selasa, 20 Maret 2018	Flow Pump	Perbaikan valve reguler di stand (in flow)	09.00	14.00	60
8	Kamis, 29 Maret 2018	Interlock CTRL	Restart semua system	09.00	15.00	30
9	Kamis, 5 April 2018	Kerusakan I/C CTRL Intermitent	Perbaikan Chiller, restart Flow Pump	09.00	14.00	30
10	Senin, 9 April 2018	kerusakan I/C CTRL, CTRL Trap sejam keluar lagi	Perlu penggantian board CRADC PCB	09.00	15.00	300
		Dose Rate tidak bisa naik	Penggantian I/F PCB di Console			
11	Senin-Jumat, 9-13 April 2018	Kerusakan I/C CTRL	Menunggu sparepart CRADC PCB	-	-	2160
12	Senin-Jumat, 16-20 April 2018	Kerusakan I/C CTRL	Menunggu sparepart CRADC PCB	-	-	2490
13	Senin-Senin, 23-30 April 2018	Kerusakan I/C CTRL	Menunggu sparepart CRADC PCB	-	-	2940
14	Senin, 30 April 2018	Kerusakan I/C CTRL	Perbaikan/penggantian sparepart CRADC PCB & kalibrasi	09.00	14.00	60
15	Rabu, 2 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	-	-	0
16	Jumat, 4 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	-	-	0
17	Jumat, 4 Mei 2018	-	Check Unit	09.00	15.00	0
18	Sabtu-Minggu, 5-6 Mei 2018	-	Maintenance ke I oleh Teknisi Varian	15.00	20.00	0
19	Selasa, 8 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	-	-	0
20	Kamis, 10 Mei 2018	Interlock GFIL	Restart Gun Power Supply PCB	09.00	14.00	20
21	Selasa, 15 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	-	-	0
22	Rabu, 16 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	-	-	0
23	Jumat, 18 Mei 2018	Carr Foil	Perbaikan Carrousel	09.00	14.00	0
24	Jumat, 18 Mei 2018	PV Error	Restart PV	09.00	14.00	10
25	Jumat, 25 Mei 2018	-	Check Unit	09.00	14.00	0
26	Kamis, 31 Mei 2018	Lampu area mati	Penggantian lampu area	09.00	14.00	0

27	Senin, 4 Juni 2018	-	Check Unit	09.00	14.00	0
28	Selasa, 12 Juni 2018	Interlock MLC	Restart & initial MLC	09.00	14.00	15
29	Selasa, 26 Juni 2018	Interlock Flow Pump	Restart Chiller	09.00	15.00	30
30	Kamis, 28 Juni 2018	-	Check Unit	09.00	14.00	0
31	Senin, 2 Juli 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
32	Senin, 2 Juli 2018	MLC	Perbaikan MLC	-	-	0
33	Senin, 9 Juli 2018	Listrik kedip	Check Unit	-	-	0
34	Rabu, 11 Juli 2018	Interlock MLC	Restart MLC	09.00	14.00	15
35	Rabu, 11 Juli 2018	HWFA	Perbaikan hardware	-	-	0
36	Kamis, 12 Juli 2018	HWFA	Perbaikan hardware	-	-	0
37	Selasa, 17 Juli 2018	-	Check Unit	09.00	14.00	0
38	Kamis, 26 Juli 2018	-	Check Unit	09.00	15.00	0
39	Rabu, 1 Agustus 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
40	Kamis, 2 Agustus 2018	Flow Pump	Restart Chiller & isi freon	09.00	15.00	40
41	Jumat, 3 Agustus 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
42	Senin, 6 Agustus 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
43	Rabu, 8 Agustus 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
44	Senin, 13 Agustus 2018	EPID	Perbaikan EPID	-	-	0
45	Selasa, 14 Agustus 2018	Tidak dapat Beam On ketika verifikasi	Dilakukan DV Controlled	09.00	15.00	15
46	Senin, 20 Agustus 2018	Flow Pump	Perbaikan Flow Pump	-	-	0
47	Minggu, 26 Agustus 2018	-	Maintenance ke II oleh Teknisi Varian	08.00	14.00	0
48	Jumat, 31 Agustus 2018	EXQ2	Perbaikan EXQ2	-	-	0

Sumber : Laporan *maintenance* , laporan rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, diolah

## LAMPIRAN 4

### REKAPITULASI JENIS KERUSAKAN LINAC 2300 iX BULAN MARET s.d AGUSTUS 2018

Nama Item/Fungsi	Jenis Kerusakan	Frekuensi Kerusakan (kali)	Downtime (Menit)
Flow Pump	Lampu Flow Pump	7	1590
	Interlock Flow Pump	2	60
	Flow Pump	8	100
CTRL	Interlock Control	2	50
	I/C Control	17	7980
Carr Foil	Carr Foil	6	0
GFIL	Interlock GFIL	1	20
PV	PV error	1	10
Lampu Area	Lampu area mati	1	0
Listrik	Listrik kedip	1	0
MLC	Interlock MLC	3	30
HWFA	HWFA error	2	0
DV Control	Tidak dapat Beam On	1	15
EPID	EPID error	1	0
EXQ2	EXQ2 error	1	0
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>	<b>9855</b>

Sumber : Laporan *maintenance* , laporan rutin Instalasi Radioterapi RS. XYZ, diolah

## BIODATA PENULIS



**Eta Oktasari**, lahir di Surabaya pada tanggal 27 Oktober 1992, adalah anak terakhir dari 3 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Semolowaru IV Sukolilo Surabaya, SMPN 19 Surabaya, SMAN 4 Surabaya. Pada tahun 2013 penulis lulus jenjang DIII di Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya jurusan Teknik Elektromedik. Penulis melanjutkan studi S1 pada tahun 2014 di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya jurusan Teknik Elektro dan lulus pada tahun 2017. Setelah menyandang gelar Sarjana Teknik Elektro, pada tahun 2017 penulis melanjutkan program studi Magister di Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini penulis masih aktif bekerja sebagai peneliti dan professional di bidang teknologi alat-alat kedokteran di RS. Penulis dapat dihubungi melalui email [etaokta01@gmail.com](mailto:etaokta01@gmail.com)