



TESIS - BM185407

**PERBAIKAN PROSES *OVERHAUL* PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
MENGUNAKAN *LEAN THINKING***

DEVI OKTAVIANINGTYAS

09211750016005

**Dosen Pembimbing:
Putu Dana Karningsih, S.T, M.Eng.Sc, Ph.D**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Devi Oktavianingtyas

NRP: 09211750016005

Tanggal Ujian: 13 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

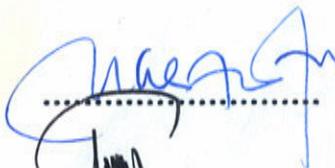
Pembimbing:

1. **Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.**
NIP: 197405081999032001

.....


Penguji:

1. **Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.**
NIP: 197504081998022001
2. **Dr. Adithya Sudiarno, S.T., M.T.**
NIP: 198310162008011006

.....

.....


Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital



Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP.

NIP: 196912311994121076

PERBAIKAN PROSES OVERHAUL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN LEAN THINKING

Nama : Devi Oktavianingtyas

Pembimbing : Putu Dana Karningsih S.T, M.Eng.Sc, Ph.D

ABSTRAK

PLTU PAITON merupakan PLTU yang melakukan inovasi *coal switching* untuk mengatasi masalah ketersediaan yang terbatas dan naiknya harga batubara kalori tinggi dan menengah. Keberhasilan program *coal switching* yang dilakukan oleh PLTU PAITON juga memiliki dampak lain pada kondisi peralatan yang menyebabkan *derating*. *Derating* yang terjadi menyebabkan penurunan nilai EAF (*Equivalent Availability Factor*) pembangkit listrik PAITON dari 93,07 pada 2017 menjadi 90,21 pada 2018 dan 89,74 (estimasi EAF) pada 2019. Untuk mempertahankan nilai EAF masih di atas nilai 90% atau masih di *Top 10% NERC* maka diperlukan perbaikan. Berdasarkan hasil observasi, komponen dari EAF yang dapat dilakukan perbaikan adalah pada proses *overhaul* dikarenakan merupakan komponen EAF yang dapat diprediksi dan direncanakan. Pada proses *overhaul* PLTU Paiton terindikasi adanya pemborosan (*waste*) misalnya *waiting* dan pengulangan perbaikan. Berdasarkan permasalahan yang terjadi, pendekatan *lean thinking* yang berkolaborasi dengan *Life Cycle Inventory* merupakan salah satu cara untuk mengoptimalkan EAF dari sisi *overhaul*. Dengan metode ini diperoleh 3 pemborosan kritis yaitu *waiting*, *unnecessary inventory* dan *unnecessary motion* dengan rekomendasi perbaikan yang dilakukan adalah membuat sistem *Periodical Presence*, 5S material dan *workshop IK & SOP*. Dengan melakukan rekomendasi perbaikan pemborosan pada proses *overhaul* maka dapat diperoleh nilai EAF sebesar 90.56%.

Kata kunci— *Coal Switching Program, Lean Thinking, EAF, VSM, LCI.*

IMPROVING OVERHAUL PROCESS ON STEAM POWER PLANTS USING LEAN THINKING

Name : Devi Oktavianingtyas

Supervisor : Putu Dana Karningsih S.T, M.Eng.Sc, Ph.D

ABSTRAK

PAITON Power Plant is a coal power plant that innovates coal switching to overcome the problem of limited availability and rising prices of high and medium calorie coal. The success of the coal switching program carried out by the PAITON power plant also has another impact on the condition of the equipment that causes derating. Derating that occurred causes a decrease in the value of the EAF (Equivalent Availability Factor) PAITON power plant from 93.07 in 2017 to 90.21 in 2018 and 89.74 (estimated EAF) in 2019. To maintain the EAF value is still above 90% or still at the Top 10% NERC, improvement is needed. Based on observations, the component of the EAF that can be improved is the overhaul process because it is an EAF component that can be predicted and planned. In the Paiton power plant overhaul process there is indication of waste such as waiting and repetition of repairs. Based on the problems that occur, the lean thinking approach that collaborates with the Life Cycle Inventory is one way to optimize EAF from the overhaul side. With this method, 3 critical wastes were obtained, namely waiting, unnecessary inventory and unnecessary motion with recommendations for improvements made to make the system of Periodical Presence, 5S material and IK & SOP workshops. By making recommendations for improving waste in the overhaul process, an EAF value of 90.56% can be obtained.

Keywords— *Coal Switching Program, Lean Thinking, EAF, VSM, LCI.*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, tidak lupa shalawat serta salam akan selalu tercurahkan bagi Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul:

“PERBAIKAN PROSES *OVERHAUL* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN *LEAN THINKING*”.

Selesainya tesis ini tidak terlepas dari peran serta dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Putu Dana Karningsih, ST, M.Eng.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing di Magister Manajemen Teknologi (MMT) ITS.
2. Prof.Ir.I Nyoman Pujawan,M.Eng.,Ph.D.,CSCP, selaku Kepala Departemen Manajemen Teknologi ITS.
3. Seluruh Dosen MMT ITS yang telah memberikan banyak ilmu, serta segenap karyawan MMT ITS.
4. Suami saya Bima Cahya Nugraha , yang selalu memberikan dukungan, nasehat dan kasih sayang yang tidak akan pernah bisa digantikan dengan apa pun
5. Ibu, Ayah, Mamah , Bapak serta kakak dan adik yang selalu memberikan dukungan, nasehat dan kasih sayang yang tidak akan pernah bisa digantikan dengan apa pun.
6. Seluruh Pihak PLTU PAITON, yang telah membantu dalam proses pengarahan untuk penelitian ini.
7. Rekan-rekan Manajemen Industri MMT ITS Angkatan 2017/2018 (Semester Genap).

Penulis berharap semoga laporan penelitian ini bermanfaat dan menambah wawasan keilmuan bagi pembaca. Penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Surabaya, 13 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Sistematika Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Sistem PLTU Batubara	9
2.2 Kualitas Batubara	13
2.3 <i>Outage</i>	14
2.4 <i>Derating</i>	15
2.5 <i>Reserve Shutdown</i>	15
2.6 Durasi	16
2.7 Indikator Kinerja Pembangkit.....	17
2.8 <i>Lean</i>	18
2.9 Konsep <i>Seven Waste</i>	20
2.10 <i>Value Stream Mapping</i>	21
2.11 <i>Process Activity Mapping</i>	26
2.12 <i>Root Cause Analysis Tools</i>	26
2.13 <i>Borda Count Method</i>	29
2.14 <i>5S Visual Management</i>	30
2.15 <i>Life Cycle Assesment</i>	31
2.16 Konsep AHP (<i>Analytical Hierarchy Process</i>)	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1. Tahap Pemetaan Aliran Informasi dan Material	38
3.2. Tahap Pemetaan Aktivitas Proses	38
3.3. Tahap Penentuan <i>Waste</i>	38
3.4. Tahap Penentuan <i>Waste</i> Kritis	40
3.5. Tahap Penentuan akar penyebab <i>Waste</i> kritis.....	40
3.6. Tahap Analisa Usulan Perbaikan dan Pemilihan Usulan Terbaik	40

3.7.	Tahap Kesimpulan dan Saran.....	40
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		41
4.1.	Profil Perusahaan	41
4.2.	<i>Prognosa</i> EAF PLTU PAITON	42
4.3.	Identifikasi Pemborosan dan Limbah pada proses <i>overhaul</i>	44
BAB V ANALISA DAN REKOMENDASI		65
5.1.	Analisa Akar Penyebab Masalah dengan 5 Why's analysis	65
5.2.	Rekomendasi Perbaikan	67
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		83
6.1.	Kesimpulan	83
6.2.	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN.....		87

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Pengaruh Waktu Overhaul dan Derating terhadap Nilai EAF PLTU PAITON selama 3 Tahun	4
Tabel 2.1.	Spesifikasi Boiler PLTU PAITON	11
Tabel 2.2.	Spesifikasi Turbine PLTU PAITON.....	12
Tabel 2.3.	Sampling Kualitas Batubara.....	14
Tabel 2.4.	Rangkuman Aplikasi <i>Value Stream Mapping</i> (tidak <i>et al</i>).....	24
Tabel 2.5.	Contoh peringkat waste.....	30
Tabel 4.1.	Estimasi Perhitungan EAF ideal PLTU PAITON.....	44
Tabel 4.2.	Proses <i>Activity Mapping</i>	50
Tabel 4.3.	Hasil Rekapitulasi Klasifikasi dan Pengelompokan Seluruh Aktivitas ..	55
Tabel 4.4.	Hasil 7 Pemborosan yang terjadi berdasarkan BCM	58
Tabel 4.5.	<i>Value Calculation for BCM</i>	58
Tabel 4.6.	<i>Critical waste ranking results</i>	58
Tabel 4.7.	<i>Life Cycle Inventory</i>	61
Tabel 4.8.	Total Limbah B3	63
Tabel 4.9.	Biaya Limbah.....	63
Tabel 5.1.	5 <i>Why's</i> untuk pemborosan <i>waiting, unnecessary, inventory</i> dan <i>unnecessary motion</i>	66
Tabel 5.2.	Pembobotan Kriteria	68
Tabel 5.3.	Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap kriteria.....	69
Tabel 5.4.	Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>).....	70
Tabel 5.5.	Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>)	71
Tabel 5.6.	Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>)	71
Tabel 5.7.	Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>).....	71
Tabel 5.8.	Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>effective</i>).....	71
Tabel 5.9.	Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>effective</i>)	72
Tabel 5.10.	Ranking pada pilihan <i>alternative</i> rekomendasi perbaikan terbaik.....	72
Tabel 5.11.	Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>).....	74

Tabel 5.12. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>)	75
Tabel 5.13. Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>)	75
Tabel 5.14. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>).....	75
Tabel 5.15. Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>efective</i>).....	76
Tabel 5.16. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>efective</i>)	76
Tabel 5.17. Ranking pada pilihan <i>alternative</i> rekomendasi perbaikan terbaik.....	76
Tabel 5.18. Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>).....	78
Tabel 5.19. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi biaya (<i>cost</i>)	79
Tabel 5.20. Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>)	79
Tabel 5.21. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi waktu (<i>time</i>).....	79
Tabel 5.22. Pembobotan <i>alternative</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>efective</i>).....	80
Tabel 5.23. Nilai <i>Eigen Vector</i> setiap <i>alternative</i> perbaikan pemborosan kritis <i>waiting</i> dilihat dari sisi efektifitas (<i>efective</i>)	80
Tabel 5.24. Ranking pada pilihan <i>alternative</i> rekomendasi perbaikan terbaik.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Ringkasan RUPTL 2019 - 2028.....	1
Gambar 1.2. Bauran Energi 2018-2027 & 2019-2028.....	3
Gambar 2.1. Diagram Alir Batubara.....	10
Gambar 2.2. <i>Value Stream Mapping</i>	22
Gambar 3.1. Flowchart Penelitian.....	37
Gambar 4.1. Prognosa EAF PLTU PAITON.....	42
Gambar 4.2. <i>Value Stream Mapping</i> Proses <i>Overhaul</i> PLTU PAITON	47
Gambar 4.3. Grafik <i>Overhaul Process Activity Mapping</i>	54
Gambar 5.1. <i>Analytical Hierarchy Process</i> untuk pemborosan kritis <i>waiting</i>	70
Gambar 5.2. <i>Analytical Hierarchy Process</i> untuk pemborosan kritis <i>unnecessary inventory</i>	74
Gambar 5.3. <i>Analytical Hierarchy Process</i> untuk pemborosan kritis <i>unnecessary motion</i>	78

DAFTAR SINGKATAN

AH	= <i>Availability Hours</i>
BTS	= <i>Build to Scheduled</i>
DAM	= <i>Demand Amplification Mapping</i>
DMN	= <i>Daya Mampu Netto</i>
DTD	= <i>Dock to Dock Time</i>
DPA	= <i>Decision Pont Analysis</i>
EAF	= <i>Equivalent Availability Factor</i>
EFDH	= <i>Equivalent Forced Derated Hours</i>
EFDHRS	= <i>Equivalent Forced Derated Hours During Reserve Shutdown</i>
EFOR	= <i>Equivalent Forced Outage Rate</i>
EMDH	= <i>Equivalent Maintenance Derated Hours</i>
EPDH	= <i>Equivalent Planned Derated Hours</i>
ESDH	= <i>Equivalent Seasonal Derated Hours</i>
FO	= <i>Forced Outage</i>
FOH	= <i>Forced Outage Hours</i>
FTT	= <i>First Time Through</i>
HPH	= <i>High Pressure Heater</i>
LCA	= <i>Life Cycle Analysis</i>
LCI	= <i>Life Cycle Inventory</i>
LPH	= <i>Low Pressure Heater</i>
MO	= <i>Maintenance Outage</i>
MOH	= <i>Maintenance Outage Hours</i>
MW	= <i>Mega Watt</i>
NERC	= <i>North American Electric Reliability Corporation</i>

NVA	= <i>Non Value Added</i>
NNVA	= <i>Necessarry Non Value Added</i>
OEE	= <i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OH	= <i>Overhaul</i>
PAM	= <i>Process Activity Mapping</i>
PH	= <i>Period Hours</i>
PO	= <i>Planed Outage</i>
POH	= <i>Planed Outage Hours</i>
PS	= <i>Listrik Pemakaian Sendiri</i>
PVF	= <i>Production Variety Funnel</i>
QFM	= <i>Quality Filter Mapping</i>
RSH	= <i>Reserve Shutdown Hours</i>
SH	= <i>Service Hours</i>
SCRM	= <i>Supply Chain Response Matrix</i>
VA	= <i>Value Added</i>

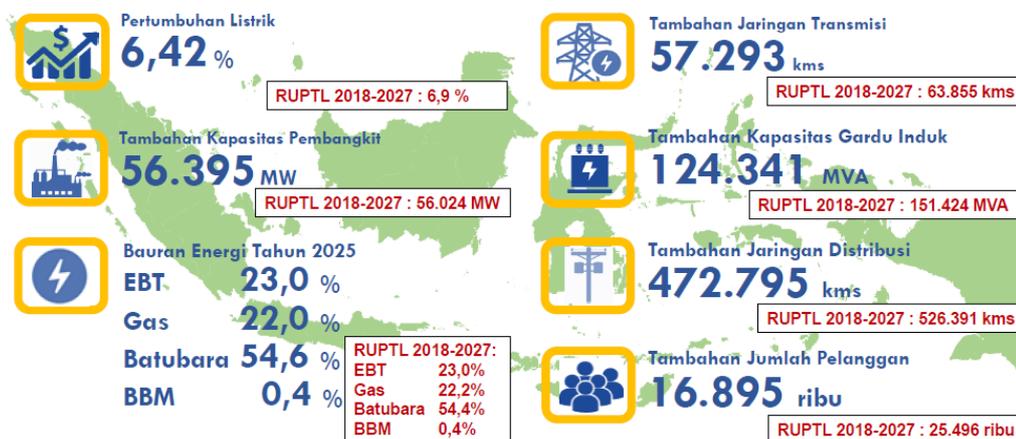
BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Persaingan bisnis pada industri pembangkitan listrik yang semakin berkembang menuntut setiap perusahaan untuk terus melakukan perbaikan dan peningkatan kinerjanya. Industri pembangkit listrik Indonesia khususnya di pulau Jawa saat ini masih didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara. Untuk dapat memenuhi rasio *elektrifikasi* sesuai dengan RUPTL PLN 2019 – 2028 seperti pada gambar 1.1, maka terjadi penambahan pembangunan PLTU dengan teknologi *ultra supercritical*, ramah lingkungan serta memakai batubara jenis kalori rendah (4000 – 4700 kcal).



Gambar 1.1. Ringkasan RUPTL 2019 – 2028 (RUPTL PT PLN Persero, 2019)

Kondisi ini mengharuskan PLTU dengan teknologi lama dan yang sudah melewati umur ekonomisnya harus melakukan inovasi. Karena harga yang ditawarkan PLTU dengan teknologi baru tersebut lebih rendah, otomatis pembebanan jaringan banyak disalurkan dari PLTU kalori rendah. Inovasi

dilakukan untuk dapat tetap bersaing dengan PLTU baru dan memenuhi kebutuhan listrik dengan harga jual listrik yang murah kepada PLN sebagai *customer*.

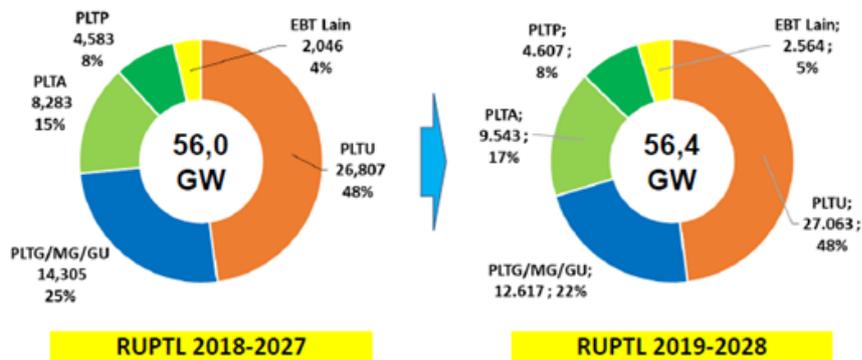
PLTU PAITON merupakan salah satu PLTU yang melakukan inovasi untuk dapat tetap bersaing dengan PLTU yang menggunakan teknologi baru dengan cara melakukan perubahan nilai konsumsi batubara (dari kalori tinggi menjadi kalori rendah) atau biasa disebut *Coal Switching* pada tahun 2018. PLTU PAITON memiliki desain boiler yang memakai jenis batubara kalori tinggi yaitu 5700 – 6200 kkal sebagai bahan bakarnya . Selain itu, saat ini umur dari PLTU PAITON yang sudah melebihi umur ekonomisnya tentunya menyebabkan PLTU PAITON memiliki harga jual listrik yang lebih mahal daripada PLTU dengan teknologi baru.

Dalam pemilihan suplai listrik, PLN memiliki peringkat penilaian untuk pembelian dari PLTU yaitu *Merit Order*. Dan tidak berlaku penuh terhadap pembangkit swasta yang memang memiliki kontrak untuk lebih dibeli. Jadi dengan adanya inovasi *Coal Switching* yang dilaksanakan PLTU PAITON berhasil menurunkan harga jual listrik karena terdapat penurunan biaya pokok produksi dari sisi biaya bahan bakar sehingga tetap dapat memiliki peringkat penilaian teratas dalam hal *merit order*.

Keberhasilan inovasi *coal switching* yang dilakukan PLTU PAITON juga memiliki dampak lain terhadap kondisi *equipment*. Batubara dengan kalori rendah dan memiliki *water contain* yang tinggi menyebabkan adanya gangguan pada *equipment* pembangkit yang tidak jarang juga menimbulkan *derating* pada unit. *Derating* terjadi karena dengan melakukan inovasi *coal switching*, *redundant equipment* jadi tidak ada pada beberapa *equipment* penting area *auxiliary boiler*. Kondisi ini karena untuk memenuhi kondisi beban *full load* dengan nilai kalori batubara yang awalnya *high calory* diubah menjadi *low calory* menyebabkan jumlah pasokan batubara yang dimasukkan ke dalam boiler jadi lebih banyak dibandingkan dengan kondisi sesuai desain awalnya.

Sehingga ketika terjadi gangguan pada satu *equipment auxiliary boiler*, maka akan menyebabkan pemenuhan beban tidak bisa *full load* atau disebut dengan *derating*. *Derating* disebabkan terjadinya gangguan *equipment* yang membutuhkan waktu cukup lama dalam proses perbaikannya seperti *belt coal feeder* rusak, *belt conveyor* rusak, *silo plugging* dan *gearbox mill* mengalami kerusakan karena kondisi batubara yang tidak bagus.

Derating yang terjadi menyebabkan penurunan nilai EAF (*Equivalent Availability Factor*) PLTU PAITON dari 93.07 Pada tahun 2017 menjadi 90.21 Pada tahun 2018 dan 89.74 (estimasi EAF) pada 2019. Untuk mempertahankan nilai EAF masih berada diatas nilai 90% atau masih berada pada *Top 10% NERC* maka diperlukan *improvement*.



Gambar 1.2. Bauran Energi 2018-2017 & 2019-2028, (RUPTL PT PLN Persero 2019)

Untuk tetap dapat menjadi pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan listrik sesuai dengan bauran energi RUPTL 2019 – 2028 pada gambar 1.2 dan dapat bersaing dengan pembangkit lainnya PLTU PAITON harus tetap memiliki *merit order* tinggi, EAF tinggi dan ramah lingkungan. *Merit order* tinggi diperoleh dengan melakukan *coal switching* yang merupakan salah satu penyebab *derating* sehingga menurunkan nilai EAF seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.1. Dimana terlihat bahwa peningkatan waktu *overhaul* dan *derating* membuat nilai EAF semakin menurun.

Tabel 1.1 Pengaruh Waktu *Overhaul* dan *Derating* terhadap Nilai EAF dari PLTU PAITON selama 3 tahun

<i>Year</i>	POH (Jam)	EAF (%)
2017	422.33	93.07
2018	626.61	90.21
2019	636	89.74

Keterangan tabel :

POH : *Planed outage hours* ; EFDH : *Equivalet Forced Derating Hours* ;
EAF : *Equivalent Availability Factor*

Komponen dari nilai EAF adalah *availability hour* yang dikurangi dengan total *derating, forced outage, maintenance outage* dan *planed outage*. Atau untuk mendapatkan nilai EAF dapat disederhanakan dengan cara *availability hour* dikurangi dengan *uptime* dan *downtime* kemudian dibagi dengan *total hour* dikalikan 100%. Berdasarkan komponen-komponen yang mempengaruhi nilai EAF tersebut yang dapat dilakukan perbaikan dalam prosesnya adalah *planed outage* atau yang biasa disebut dengan *overhaul*. Hal ini dikarenakan, *overhaul* merupakan *project* pemeliharaan yang terencana, memiliki *scoope* pekerjaan yang pasti dan dapat diprediksi. Sementara untuk komponen lainnya seperti *derating, forced ouatage* dan *maintenance outage* merupakan komponen yang tidak dapat di control atau terjadi karena terdapat gangguan pada unit.

Dalam prosesnya, PLTU PAITON mengimplementasikan program perbaikan SE (*Serious Inspection*) yang membutuhkan 53 hari perbaikan berdasarkan riwayat pekerjaan terakhir dan masih dapat dilakukan perbaikan dari segi proses dan waktunya. *Overhaul* pada PLTU PAITON masih terdapat pemborosan yang dapat diperbaiki untuk dapat mempertahankan nilai EAF tinggi. Kondisi saat ini, beberapa pemborosan yang terjadi pada proses *overhaul* dikarenakan adanya keterlambatan material, kondisi perbaikan *equipment* yang membutuhkan perbaikan ulang (*rework*) dikarenakan hasil tidak maksimal dan komunikasi yang belum seluruhnya efektif antar divisi. Pemborosan yang terjadi menyebabkan proses *overhaul* menjadi semakin lama dan nilai EAF menurun.

Lean thinking merupakan metode yang ideal untuk mengoptimalkan performansi dari keseluruhan sistem proses *overhaul* karena mampu mengidentifikasi, mengukur, menganalisa dan mencari solusi perbaikan atau peningkatan performansi secara komprehensif. Pendekatan *lean* berfokus pada efisiensi tanpa mengurangi efektivitas proses diantaranya peningkatan operasi yang *value added*, mereduksi pemborosan (*waste*), dan dapat memenuhi kebutuhan pelanggan (Hines & Taylor, 2000). *Value Stream Mapping* (VSM) merupakan salah satu metode dalam aplikasi *lean thinking*.

Value stream mapping digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi pemborosan dari suatu sistem manufaktur untuk mencari akar permasalahan. *5S visual management* juga merupakan *tool* metode *Lean Thinking* yang digunakan untuk mengubah efektivitas dan efisiensi akan sebuah proses. Keuntungan yang didapatkan dengan menerapkan *tool* ini karena dengan memiliki lingkungan kerja yang informatif sehingga semua aktivitas kerja berjalan sesuai dengan apa yang seharusnya terjadi. Efisiensi juga dilakukan dalam hal penanganan limbah pada proses *overhaul* dengan metode *Life Cycle Assesment* untuk dapat melakukan inventarisasi limbah untuk mengetahui *environment cost* yang timbul dalam proses *overhaul*.

Berdasarkan uraian diatas, proses menghilangkan pemborosan yang terjadi pada *overhaul* PLTU PAITON menggunakan pendekatan *lean thinking* dengan metode *value stream mapping* dan *5S visual management* yang dikolaborasikan dengan *life cycle assesment* merupakan cara yang efektif untuk optimasi EAF dari sisi *plant outage* atau *overhaul*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah mengeliminasi *waste* pemborosan pada proses *overhaul* PLTU PAITON untuk optimalisasi EAF unit pembangkit serta menilai potensi dampak lingkungan dari proses *overhaul* unit berdasarkan tahapan pekerjaan.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengeliminasi *waste* pada proses *overhaul* PLTU PAITON untuk optimalisasi EAF unit pembangkit.
2. Memperoleh nilai potensi dampak lingkungan dari proses *overhaul* unit berdasarkan tahapan pekerjaan.
3. Memperoleh rekomendasi untuk mempertahankan nilai EAF pada PLTU PAITON dan meminimalisir dampak lingkungan yang terjadi pada proses *overhaul* unit pembangkit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Dari hasil proses inventarisasi pemborosan dan limbah pada proses *overhaul*, dapat memberikan informasi dan masukan kepada perusahaan terkait potensi optimalisasi EAF dari proses *overhaul*.
2. Dari hasil penilaian dampak lingkungan yang terjadi pada proses *overhaul*, dapat memberikan masukan bagi perusahaan untuk tetap menjadi pembangkit yang ramah lingkungan dari sisi proses *overhaul*.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Data historis yang digunakan pada penelitian ini adalah data EAF tahun 2017, 2018 dan semester 1 2019.
2. Prioritas utama perbaikan difokuskan pada hasil identifikasi *waste* proses *overhaul* yang paling dominan.

1.6 Sistematika Penelitian

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

- BAB I** Pendahuluan
- Membahas mengenai latar belakang penelitian mengenai penerapan *lean thinking* upaya optimalisasi EAF di PLTU PAITON, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan yang digunakan dalam menyelesaikan masalah serta sistematika penulisan dari penelitian.
- BAB II** Tinjauan Pustaka
- Melandasi teori-teori yang digunakan pada penelitian penerapan *lean thinking* upaya optimalisasi EAF di PLTU PAITON yang digunakan untuk membahas pokok permasalahan yang dituangkan pada BAB I.
- BAB III** Metode Penelitian
- Membahas tentang metode-metode yang digunakan dalam penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan.
- BAB IV** Pengumpulan Dan Pengolahan Data
- Membahas mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian, pengolahan data dilakukan dengan menerapkan *Lean thinking* dan LCA.
- BAB V** Analisis Dan Intrepretasi Hasil
- Melakukan analisis terkait hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Berisikan hasil pengolahan data yang digunakan sebagai dasar dalam pemecahan masalah.
- BAB VI** 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

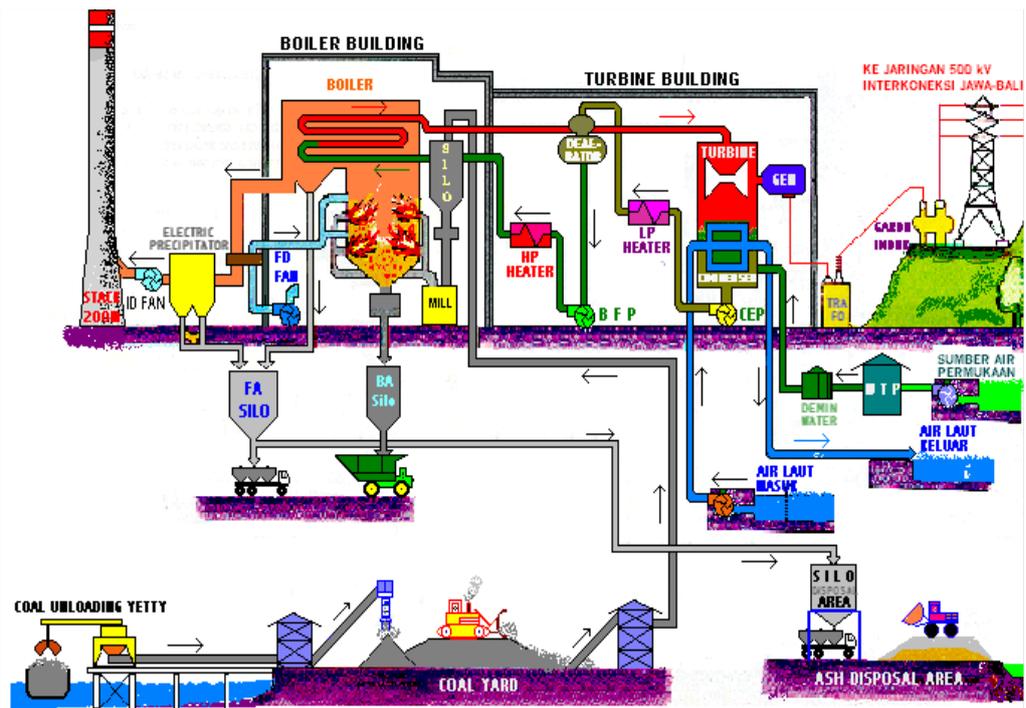
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan. Landasan teori terdiri dari penjelasan mengenai Sistem PLTU Batubara, Kualitas Batubara, *Equivalent Availability Factor*, *Outage*, *Lean Thinking tools*, *Quality tools*, dan *Life Cycle Analysis*.

2.1 Sistem PLTU Batubara

Berbeda dengan Pembangkit yang menggunakan BBM atau Gas sebagai bahan bakarnya, PLTU Batubara memiliki banyak komponen pendukung sebagai penggerak *Boiler*, *Turbine* dan *Generator*. Banyaknya sistem yang diharuskan memakai banyak peralatan agar mencapai *output* MW yang diharapkan. Batubara yang dipakai tidak langsung didatangkan dari tongkang melainkan disimpan terlebih dahulu dan memiliki berbagai macam nilai kalori. Kemudian setelah melalui jalur pengiriman ke *Boiler*, batubara tersebut dapat dibakar dengan cara *mixing* secara bersamaan ke *Boiler*. Proses ini diharapkan membantu unit untuk menggabungkan batubara dengan kualitas baik dan kurang baik. Tentunya akan ada kegagalan operasi saat normal maupun *start-up*. Kegagalan ini harus dipetakan agar memberi mitigasi yang tepat untuk permasalahan tertentu.



Gambar 2.1 Diagram Alir Batubara

Terdapat beberapa pembagian pengoperasian dalam PLTU Batubara, yaitu:

a. Pengoperasian *Boiler*

Boiler berfungsi utama sebagai pengubah air menjadi uap dengan tekanan dan suhu yang diinginkan. Perubahan fase ini terjadi karena adanya pembakaran. Proses pembakaran menggunakan bahan utama Batubara saat normal operasi. Sedangkan saat *start* awal digunakan solar. Dibutuhkan juga adanya udara agar pembakaran dapat terjadi. Peralatan bantu pada *Boiler* seperti *Pulverizer* untuk menghaluskan Batubara agar mudah terbakar di *Boiler*, *Forced Draft Fan* untuk menyuplai udara kebutuhan pembakaran *Boiler*, *Primary Air Fan* untuk membantu mengirim Batubara yang sudah dihaluskan ke *Boiler*, *Induced Draft Fan* berfungsi menyedot gas buang sisa pembakaran, *Electrostatic Precipitator* untuk menangkap debu hasil pembakaran dan *Air Heater* berfungsi sebagai transfer panas antara gas buang dengan udara pembakaran yang dibutuhkan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Boiler PLTU PAITON

BOILER	
Type	<i>Vertical Balance Draft, Dry Bottom & Drum Unit, Control Circulation</i>
Manufacture	<i>Combustion Engineering, USA</i>
Steam Capacity	
<i>Main Stem Flow</i>	1.330.000 kg/hour
<i>Reheat Steam Flow</i>	1.200.000 kg/hour
Steam Pressure	
<i>Superheater Outlet</i>	169 kg/cm ²
<i>Reheater Outlet</i>	43 kg/cm ²
<i>Reheater Inlet</i>	45,8 kg/cm ²
Steam Temperature	
<i>Superheater Outlet</i>	538 °C
<i>Reheater Outlet</i>	538 °C
Fuel	
<i>Start Up Fuel</i>	<i>High Speed Diesel</i>
<i>Main Fuel</i>	<i>Coal</i>
Coal Design	<i>Wide Range Coal</i>
<i>COD</i>	1993/1994

b. Pengoperasian *Turbine* dan *Generator*

Turbine adalah pusat energi mekanik dan kinetik dikonversi menjadi energi listrik setelah dikopling dengan *Generator*. Uap yang telah dihasilkan *Boiler* dikirim ke *Turbine* sebagai penggerak *Generator* secara kontinu. Uap penggerak tersebut nantinya akan dikonversi kembali menjadi air lalu kembali dikirim ke *Boiler*, maka dapat disimpulkan bahwa proses ini adalah siklus tertutup. Sama seperti *Boiler*, *Turbine* juga memiliki peralatan bantu. Peralatan bantu pada *Turbine* seperti *Condenser* sebagai pengubah uap ke air menggunakan air laut, *Deaerator* sebagai penampung air kondensat dan pemisah O_2 dari air, *Condensate Pump* sebagai pemompa air dari kondensor

menuju *deaerator*, *FeedWater Pump* untuk pompa air dari *deaerator* menuju *steam drum* pada *Boiler*, *LP* dan *HP Heater* sebagai pemanas air dalam sistem *condensate* dan *feedwater*.

Tabel 2.2 Spesifikasi Turbine PLTU PAITON

TURBINE	
Type	<i>Tandem Compound 3 Cylinder 4 Flow Exhaust, Reheat Turbinee</i>
Manufacture	<i>Toshiba Corporation, Japan</i>
Nominal Power	400.000 KW
Speed	3000 rpm
Steam	
<i>Main Steam Pressure</i>	169 kg/cm ²
<i>Main Steam Temperature</i>	43 kg/cm ²
<i>Reheat Temperature</i>	45,8 kg/cm ²
Turbinee Blade	
<i>High Pressure</i>	8 Stage
<i>Medium Pressure</i>	6 Stage
<i>Low Pressure</i>	6 Stage * 4 Flow
COD	1993/1994

c. Pengoperasian *Coal Handling*

Coal Handling ditujukan untuk memproses penerimaan dan pengiriman Batubara dari tongkang menuju ke *Boiler*. *Coal Handling* berperan penting untuk memilah Batubara yang akan digunakan. Batubara dengan kualitas baik dipilah ke RH1 sedangkan yang kurang baik dipilah ke RH2.

d. Pengoperasian *Ash Handling*

Peran *Ash Handling* sebagai pengolah limbah *Boiler* dari hasil pembakaran Batubara. Terdapat dua limbah utama yaitu *Bottom Ash* yang berbentuk padat dan *Fly Ash* yang berbentuk seperti debu. Kedua limbah tersebut dikumpulkan dalam wadah yang disebut *Silo*. Kemudian dibuang ke tempat pembuangan khusus yaitu *Ash Disposal*.

e. Pengoperasian *Water Treatment Plant*

Water Treatment Plant memproduksi air yang digunakan bagi PLTU. Air tersebut adalah air demin dengan besaran nilai kandungan yang telah ditetapkan. Nilai kandungan tersebut seperti *Conductivity* (α), *Silica* (SiO_2), *Phospat* (PO_4), *Chloride* (Cl) dan pH dengan besaran kurang dari 1.

2.2 Kualitas Batubara

Sebelum menyepakati pembelian Batubara, diperiksa terlebih dahulu spesifikasi yang diinginkan. Spesifikasi ini diterima oleh divisi perencanaan yang selanjutnya dibongkar muat oleh operator. Operator nantinya akan menentukan batubara tersebut ditaruh di RH1 atau RH2. Kewenangan untuk penentuan penempatan batubara tersebut dilakukan sepenuhnya oleh operator *Coal Handling*.

Saat melakukan proses bongkar batubara dilakukan pengecekan kembali oleh pihak PLTU, apakah batubara yang diterima sesuai atau tidak dengan kesepakatan pembelian sebelumnya. Pengecekan ini sangat penting mengingat kebutuhan unit akan batubara yang cocok agar pengoperasian PLTU berjalan dengan normal.

Basis dalam perhitungan batubara adalah dasar yang dipakai untuk menyatakan nilai dari suatu parameter dan menginterpretasikan nilai tersebut pada kondisi tertentu batubara. Interpretasi dari basis tersebut sesuai dengan istilah 4 basis berikut:

- a. *As received basis* : nilai parameter pada saat batubara diterima
- b. *Air dried basis* : nilai kualitas pada kondisi batubara setelah di keringkan
- c. *Dry basis* : nilai kualitas batubara kering / tidak memiliki *moisture*
- d. *Dry ash free*: nilai kualitas pada kondisi batubara kering dan bebas dari *ash*

Tabel 2.3 Sampling Kualitas Batubara

<i>Parameter</i>		<i>Unit</i>	<i>As Received Basis</i>	<i>Air Dried Basis</i>	<i>Dry Basis</i>	<i>Dry Ash Free</i>
<i>Proximate Analysis</i>						
<i>Total Moisture</i>		%	28,67	-	-	-
<i>Moisture in the Analysis Sample</i>		%	-	12,83	-	-
<i>Ash Content</i>		%	4	4,75	5,45	-
<i>Volatile Meter</i>		%	33,71	41,19	47,25	49,98
<i>Fixed Carbon by Difference</i>		%	33,74	41,23	47,3	50,02
<i>Total Sulphur</i>		%	0,29	0,35	0,4	0,42
<i>Gross Calorific Value</i>		Kcal/k g	4731	5781	6632	7014
<i>Nitrogen</i>		%	0,78	0,95	1,09	1,15
<i>Hardgrove Grindability Index</i>		index	46			
<i>Sizing</i>	> 70 mm	%	0,27			
	< 70 mm	%	99,73			
	> 50 mm	%	3,68			
	< 50 mm	%	96,32			
	< 32 mm	%	80,8			
	< 2.38 mm	%	18,17			
<i>Ash Fusion Temperatures</i>			<i>Reducing</i>		<i>Oxidizing</i>	
<i>Deformation</i>		°C	1170		1200	
<i>Spherical</i>		°C	1180		1210	
<i>Hemisphere</i>		°C	1200		1250	
<i>How</i>		°C	1250		1270	

2.3 Outage

Pada SPLN K7.001:2007 Outage adalah Istilah yang di gunakan apabila suatu unit pembangkit Keluar dari sistem atau tidak sinkron ke jaringan karena ada nya pemeliharaan maupun perbaikan. *Outage* terjadi apabila suatu unit tidak sikron ke jaringan dan bukan dalam status *Reserve Shutdown*. Suatu *outage* di mulai ketika unit di dikeluarkan ke jaringan atau pindah status, misalnya dari *reserve shutdown*

menjadi *Maintenance Outage*. *Outage* berakhir ketika unit terhubung ke jaringan. Status *outage* di bedakan menjadi beberapa status yaitu :

2.3.1 *Planned Outage* (PO) yaitu keluarnya unit pembangkit akibat adanya pekerjaan pemeliharaan periodik pembangkit seperti inspeksi, overhaul atau pekerjaan lainnya yang sudah di jadwalkan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit atau sesuai rekomendasi pabrikan.

2.3.2 *Maintenance Outage* (MO) yaitu keluarnya pembangkit untuk keperluan pengujian, pemeliharaan preventif, pemeliharaan korektif, perbaikan atau penggantian suku cadang atau pekerjaan lainnya pada pembangkit yang di anggap perlu di lakukan yang tidak dapat di tunda pelaksanaannya.

2.3.3 *Forced Outage* (FO) yaitu keluarnya pembangkit akibat adanya kondisi emergensi pada pembangkit atau adanya gangguan yang tidak dapat diantisipasi sebelumnya serta tidak di golongankan ke dalam MO dan PO.

2.4 Derating

Menurut Protap DKP IKP thn 2007 *Derating* merupakan turunnya beban generator akibat adanya gangguan pada sistem. *Derating* terjadi apabila daya keluaran (MW) unit kurang dari DMN-Nya. *Derating* di golongankan menjadi beberapa kategori yang berbeda. *Derating* mulai ketika unit tidak mampu mencapai 98% DMN dan lebih lama dari 30 menit. *Derating* berakhir ketika peralatan yang menyebabkan *derating* tersebut kembali normal, terlepas dari apakah pada saat itu unit di perlukan sistem atau tidak. Kapasitas yang tersedia didasarkan pada keluaran unit.

2.5 Reserve Shutdown

Reserve Shutdown menurut SPLN K7.001 2007 merupakan suatu kondisi apabila unit siap operasi namun tidak di sinkronkan ke sistem karena beban yang rendah. Kondisi ini di kenal juga sebagai ekonomi faktor. Jika suatu unit keluar karena permasalahan peralatan, baik unit di perlukan oleh sistem, maka kondisi ini di anggap sebagai FO, MO, dan PO. Pada saat unit dalam status RS, seringkali

pekerjaan pemeliharaan dilakukan yang menyebabkan unit *outage* atau *derating* ketika di minta di sinkronkan ke sistem.

2.6 Durasi

2.6.1 *Service Hours* (SH) : adalah jumlah jam operasi unit pembangkit baik dalam kondisi operasi normal maupun kondisi *derating*.

2.6.2 *Available Hours* (AH) : adalah jumlah jam unit siap dioperasikan yaitu *service hour* ditambah *Reserve Shutdown Hours*.

2.6.3 *Period Hours* (PH) : adalah total jumlah jam dalam suatu periode tertentu yang sedang diamati.

2.6.4 *Planned Outage Hours* (POH) : adalah jumlah jam unit tidak dapat beroperasi sebagai akibat dari *Planned Outage* untuk pelaksanaan pemeliharaan, inspeksi dan overhaul, yang telah dijadwalkan jauh hari sebelumnya (misalkan : *Simple Inspection, Major inspection*)

2.6.5 *Force Outage Hours* (FOH) : adalah jumlah jam unit keluar paksa sebagai akibat dari gangguan. Bila unit yang periode *forced hours* lebih dari hari Jumat jam 24.00 pada Minggu dimana unit keluar, maka *Forced Outage Hours* dihitung hanya sampai hari Jumat jam 24.00 selebihnya disebut *Maintenance Outage Hours* (MOH).

2.6.6 *Maintenance Outage Hours* (MOH) : adalah jumlah jam unit tidak dapat beroperasi untuk keperluan pengujian, pemeliharaan preventif, pemeliharaan korektif, perbaikan atau penggantian suku cadang pada pembangkit yang dianggap perlu dilakukan yang pelaksanaannya tidak dapat ditunda pada jadwal *Planned Outage* berikutnya dan telah dijadwalkan dalam ROM berikutnya.

2.6.7 *Equivalent Forced Derated Hours* (EFDH) : adalah perkalian antara jumlah jam unit pembangkit derating secara paksa (*Forced derating*) dan besar penurunan *derating* dibagi dengan kapasitas.

2.6.8 *Equivalent Planned Derated Hours* (EPDH) : adalah perkalian antara jumlah jam unit pembangkit mengalami *maintenance derating* dan besar penurunan *derating* dibagi dengan kapasitas.

2.6.9 *Equivalent Forced Derated Hours During Reserve Shutdown* (EFDHRS) : adalah perkalian antara jumlah jam unit pembangkit *force derating* selama *reserve shutdown* dan besar penurunan *derating* dibagi dengan kapasitas.

2.7 Indikator Kinerja Pembangkit

Indikator Kinerja Pembangkit sangat diperlukan dalam operasi unit pembangkit. Keakurasian data perhitungan, kecepatan dan ketepatan informasi merupakan pendukung dan masukan terhadap pengambilan keputusan manajemen dalam mengelola unit pembangkit. Disamping itu, kebutuhan sistem saat ini menghendaki pengertian yang sama tentang formulasi indeks kinerja pembangkit. Oleh karena itu untuk memudahkan dan dapat melakukan dalam perhitungan indeks kinerja pembangkit disusun panduan sesuai ketentuan yang berlaku. Menurut Protap DKP-IKP tahun 2007 yang mengacu pada SPLN K7.001:2007.*Inactive* adalah status unit tidak siap operasi untuk jangka waktu lama, karena unit di keluarkan untuk alasan ekonomi atau alasan lainnya yang tidak berkaitan dengan peralatan/instalasi pembangkit. Sedangkan *Active* terdiri dari berbagai status operasi unit pembangkit dengan rincian hingga empat tingkatan (SPLN K7.001:2007). Maka Indikator kinerja pembangkit (IKP) yakni EAF (*Equivalent Availability Factor*) Total kesiapan unit pembangkit beroperasi dapat di hitung dengan rumus persamaan sebagai berikut :

$$EAF = \frac{AH - (EFDH + EPDH + ESDH)}{PH} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

EAF = *Equivalent Availability Factor*

AH = *Availability Hour*

EFDH = *Equivalent Forced Derated Hours*

EPDH = *Equivalent Planned Derated Hours*

ESDH = *Equivalent Seasonal Derated Hours*

Jika pembangkit memiliki EAF 100% maka pembangkit tersebut siap beroperasi selama setahun penuh (8760 jam) tanpa berhenti, namun realisasi seperti ini tidak mungkin terjadi karena dalam satu tahun setiap pembangkit mengalami *outage* dan pemeliharaan yang memaksa pembangkit untuk mengubah status menjadi *outage* yang dapat mempengaruhi produksi energy listrik yang akan di hasilkan. Semakin baik nilai EAF maka semakin baik pula kinerja unit pembangkit tersebut dalam memproduksi energi listrik yang di hasilkan. Kebalikan dari EAF yaitu EFOR, dimana EFOR merupakan keadaan dimana unit pembangkit tidak dapat beroperasi karena adanya *outage* dan pemeliharaan yang memaksa unit menjadi berstatus *outage*. Sesuai ketentuan yang mengacu pada GADS DRI NERC 2007. Untuk menghitung total tingkat gangguan mesin pembangkit EFOR (*Equivalent Forced Outage Rate*) yaitu :

$$EFOR = \frac{EFDH+FOHD}{SH+FODH+EFDH} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- EFOR = *Equivalent Forced Outage Rate*
- EFDH = *Equivalent Forced derating Hours*
- FOHD = *Forced Outage Hour Dalam/gangguan dalam*
- SH = *Service Hour*
- EFDHRS = *Equivalent Forced Derated Hour during Reserve Shutdown*

2.8 Lean

Menurut Gaspersz (2008) lean adalah suatu upaya terus menerus (*continuous improvement effort*) untuk menghilangkan pemborosan, meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk (barang dan/ jasa) dan memberikan nilai kepada pelanggan (*customer value*). *Lean* dapat didefinisikan sebagai suatu pendekatan sistematis dan sistematis untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan atau aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai

tambah (*non value adding activities*) melalui peningkatan terus menerus secara radikal (*radical continuous improvement*) dengan cara mengalirkan produk (*material, work in process, output*) dan informasi menggunakan sistem tarik (*pull system*) dan pelanggan internal dan eksternal untuk mengejar keunggulan dan kesempurnaan. Menurut Hines & Taylor (2000) prinsip dari *lean thinking* adalah mencari cara untuk proses penciptaan nilai dengan urutan terbaik yang dimungkinkan, menyusun aktivitas ini tanpa interupsi, dan menjelaskan secara lebih dan lebih efektif. *Lean thinking* menyediakan cara untuk lebih dengan sedikit manusia, peralatan, waktu, dan ruang, tetapi semakin dekat dengan konsumen.

Menurut Gaspersz (2007) terdapat lima prinsip dasar lean yaitu :

1. Mengidentifikasi nilai produk (barang dan/jasa) berdasarkan perspektif pelanggan, dimana pelanggan menginginkan produk (barang/jasa) berkualitas superior, dengan harga yang kompetitif pada pelayanan yang tepat waktu.
2. Mengidentifikasi *value stream process mapping* (pemetaan proses pada value stream) untuk setiap produk (barang/jasa).
3. Menghilangkan pemborosan yang tidak bernilai tambah dari semua aktivitas sepanjang *value stream*.

Secara terminologi *lean* berarti rangkaian aktivitas atau solusi untuk mengeliminasi pemborosan, mereduksi operasi *non value added* (NVA) dan meningkatkan operasi *value added* (VA) (Wee, H.M and Simon Wu, 2009). Selain itu, pendekatan ini dapat mengurangi *unnecessary inventory*, menambah pengetahuan mengenai proses produksi, menghemat biaya, pengurangan cacat sehingga kualitas meningkat, mengurangi *lead time* produksi dan mengurangi pemborosan (Melton, T, 2005).

Identifikasi aktivitas yang memberikan nilai tambah dan tidak memberikan nilai tambah merupakan proses penting dalam pendekatan *lean*. Dalam *manufacturing* dapat dikategorikan tiga jenis aktivitas menurut (Monden, 1993) yaitu, sebagai berikut :

1. *Value Adding Activity (VA)*

Aktivitas yang dapat memberikan nilai tambah dari sudut pandang pelanggan pada suatu material produk yang dibuat atau diproses. Aktivitas untuk *raw material* atau *semi finished product* melalui penggunaan *manual labour*. Contohnya adalah *sub assembly process*, *painting bodywork*.

2. *Non Value Adding Activity (NVA)*

Aktivitas untuk membuat produk tetapi tidak memberikan nilai tambah bagi pelanggan. Aktivitas ini disebut sebagai pemborosan yang harus dijadikan fokus utama untuk segera dihilangkan atau dieliminasi sepenuhnya. Misalkan *waiting time*, *double handling* dan *stacking intermediate products*

3. *Necessary Non Value Adding Activity (NNVA)*

Aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah tetapi dibutuhkan dalam prosedur proses yang ada. Misalnya kegiatan memindahkan material, memindahkan *tool* dari satu tangan ke tangan yang lainnya, dan *unpacking deliveries*. Kegiatan ini tidak memiliki nilai tambah tapi sulit untuk dihilangkan kecuali dengan melakukan perubahan prosedur, membuat struktur dan standar baru, perubahan keseluruhan pada layout produksi, dan lain – lain. Demikian juga pada kegiatan transportasi dan penyimpanan, kedua kegiatan ini juga tidak memberikan nilai tambah namun seringkali memang harus dilakukan.

2.9 Konsep Seven Waste

Prinsip utama dari pendekatan *lean* adalah pengurangan atau eliminasi pemborosan (*waste*). *Waste* bisa diartikan juga sebagai aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah bagi *throughput* perusahaan.

Terdapat tujuh tipe pemborosan (*seven waste*) yang diidentifikasi oleh Shigeo Shingo (Hines & Taylor,2000) sebagai berikut:

1. *Over Production*

Merupakan kegiatan produksi yang terlalu banyak atau terlalu cepat yang menyebabkan terganggunya aliran informasi atau barang, dan inventori yang berlebih. (Hines & Taylor,2000)

2. *Defect (Reject)*

Merupakan *waste* berupa kesalahan yang terjadi pada proses pengerjaan, permasalahan kualitas produk, atau rendahnya performansi dari pengiriman barang atau jasa.

3. *Unnecessary Inventory*

Merupakan *waste* yang berupa penyimpanan dan penundaan yang berlebihan dari informasi dan produk yang menimbulkan peningkatan biaya dan penurunan *customer service*. (Hines & Taylor,2000)

4. *Inappropriate Processing*

Merupakan *waste* yang disebabkan oleh proses kerja yang dilaksanakan dengan menggunakan set peralatan, prosedur, atau sistem yang tidak sesuai dengan kapasitas dan kemampuan suatu operasi kerja. (Hines & Taylor,2000)

5. *Excessive Transportation*

Merupakan *waste* yang berupa perpindahan yang berlebihan dari manusia, informasi dan barang yang mengakibatkan pemborosan waktu, usaha, dan biaya. (Hines & Taylor,2000)

6. *Waiting/Idle*

Merupakan *waste* yang berupa kondisi tidak aktifnya manusia, informasi atau barang dalam periode yang lama yang menyebabkan aliran terganggu dan panjangnya *lead time*. (Hines & Taylor,2000)

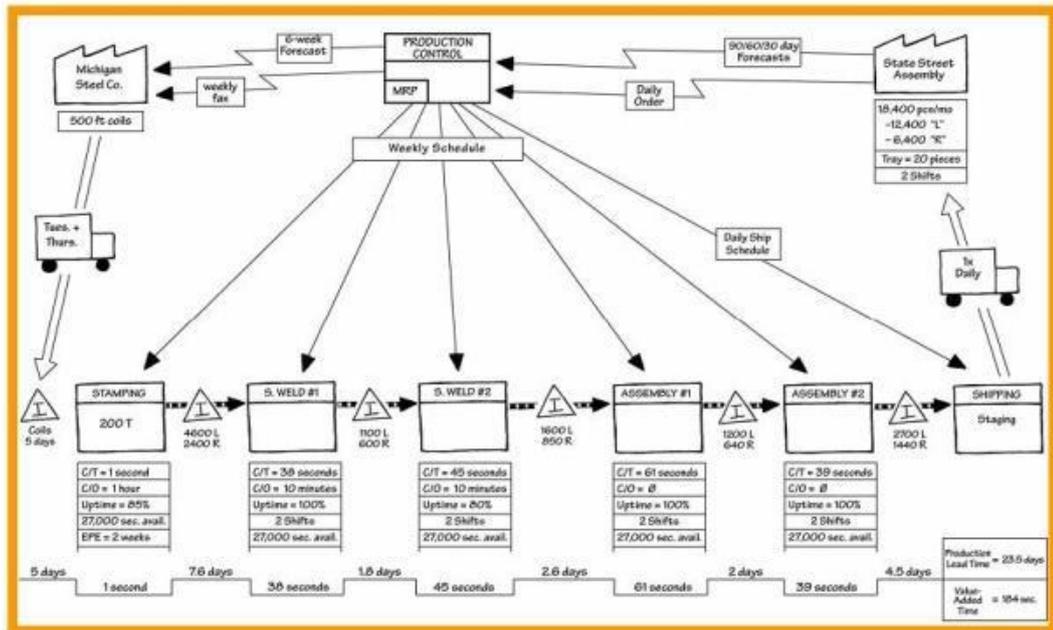
7. *Unnecessary Motion*

Merupakan *waste* yang berupa kondisi buruknya organisasi tempat kerja yang menyebabkan rendahnya tingkat ergonomis didalamnya, seperti pergerakan *bending* atau *stretching* yang berlebihan dan sering terjadinya kehilangan item-item tertentu (Hines & Taylor,2000).

2.10 Value Stream Mapping

Value stream mapping adalah sebuah metode visual untuk memetakan jalur produksi dari sebuah produk yang di dalamnya termasuk material dan informasi

dari masing-masing stasiun kerja (M.L. George, 2002). Menggunakan *value stream mapping* berarti memulai dengan gambaran besar dalam menyelesaikan permasalahan bukan hanya pada proses-proses tunggal dan melakukan peningkatan secara menyeluruh dan bukan hanya pada proses-proses tertentu saja (M.L. George, 2002).



Gambar 2.2 Value Stream Mapping

Value stream mapping terdiri dari 2 tipe (Tilak et al), yaitu:

1. *Current state map* merupakan konfigurasi *value stream* produk saat ini, menggunakan ikon dan terminologi spesifik untuk mengidentifikasi *waste* dan area untuk perbaikan atau peningkatan (*improvement*).
2. *Future state map* merupakan cetak biru untuk transformasi *lean* yang diinginkan di masa yang akan datang.

Kedua tipe diatas mengindikaasikan semua informasi penting terkait *value stream* produk seperti *cycle time*, *level inventori*, dan lain-lain yang akan membantu untuk membuat perbaikan yang nyata.

Indeks pengukuran atau indikator *performance* dari VSM adalah kualitas, biaya , dan *lead time* (Wee, H.M and Simon Wu,2009), secara detail diantaranya yaitu:

1. FTT (*first time through*): persentase unit yang diproses sempurna dan sesuai dengan standard kualitas pada saat pertama proses (tanpa *scrap, rerun, retest, repair* atau *returned*)
2. BTS (*build to schedule*): pembuatan penjadwalan untuk melihat eksekusi rencana pembuatan produk yang tepat pada waktu dan urutan yang benar.
3. DTD (*dock to dock time*): waktu antara *unloading raw material* dan selesainya produk jadi untuk siap dikirim.
4. OEE (*overall equipment effectiveness*): mengukur ketersediaan, efisiensi dan kualitas dari suatu peralatan dan juga sebagai batasan utilisasi kapasitas dari suatu operasi.
5. *Value rate (ratio)*: persentase dari seluruh kegiatan yang *value added*

Indikator lainnya:

- a. *A/T: Available Time* = Total waktu kerja - waktu istirahat
- b. *T/T: Takt Time* = *Available Time*/Volume Produksi
- c. *C/T: Cycle Time* = (*Available Time* - Rataan *Downtime* - *Defect time*)/Volume produksi
- d. *W/T: Working Time* = waktu kerja dari setiap operator
- e. *VA*: waktu yang *value added*
- f. *NVA*: waktu yang *non-value added* (termasuk *waste*)

Tabel 2.4. Rangkuman Aplikasi *Value Stream Mapping* (Tilak et al)

Tipe Industri	Manufaktur (Baja)	Komponen Elektronik	Manufactur (Pesawat Terbang)	Manufaktur (Otomotif)
<i>Unit Improvement</i>	<i>Supply Chain</i>	<i>Supply Chain</i>	<i>Door-to Door</i>	<i>Door-to Door</i>
Tuntutan Perubahan	Benchmarking ke manufaktur kendaraan yang diindikasikan impor dapat mereduksi biaya 40%	Tidak Spesifik	Perubahan TA KT Time Kekuatan pelanggan untuk memindahkan operasi	Kebutuhan peningkatan profit Level Scrap yang tinggi
Mapping Tools	PAM DAM	PAM SCRM DAM QPM DPA	Tidak Spesifik	Tidak Spesifik
Pencantuman Current dan Future State Map	Current dan Future State Map terdefiniskan	Tidak dimasukkan	Current dan Future State Map terdefiniskan	Current dan Future State Map terdefiniskan
Konsep Lean/ Tools	Kanban Supermarket Aliran kontinu dengan FIFO Memperkenalkan <i>Electronic Data Interchange</i> (EDI)	Milkrun Memperkenalkan <i>Electronic Data Interchange</i> (EDI)	Kanban Aliran kontinu dengan FIFO	Kanban Visualisasi Pabrik
Dukungan Infrastruktur untuk inisiatif perubahan	Program kepedulian senior manajemen Perwakilan dari setiap pabrik terlihat untuk membentuk tim mapping	Dewan pembina yang dipimpin oleh kepala pembelian strategis Cross-functional tim Dukungan untuk tim Cross-functional Menggunakan konsultan eksternal	Tidak Spesifik	Wakil presiden secara langsung mengendalikan upaya perubahan
Fitur/tools tambahan untuk implementasi		Co manajemen Inventori Sortifikasi internal	Rotasi Karyawan	Transisi ke bentuk sel "U"
Hasil Perolehan 1. <i>Lead Time</i> 2. <i>Cycle Time</i> 3. <i>Inventor Turnovers</i>	1. Dari 49,56 hari menjadi 11,5 hari 2. Dari 7262 detik menjadi 6902 detik 3. Tidak Spesifik	1. Dari 8 hari menjadi 7 hari 2. Tidak Spesifik 3. Meningkatkan sebesar 25%	1. Dari 64 hari menjadi 55 hari 2. Dari 9 hari menjadi 8 hari 3. Tidak spesifik	1. Dari 8,5 hari menjadi 4 hari 2. Konstan 3. Tidak Spesifik
Rentang waktu untuk realisasi perbaikan	Tidak Spesifik (3 bulan dari aktivitas VSM)	Tidak Spesifik	1,5 tahun	1 tahun

Dari tabulasi diatas terlihat bahwa aplikasi *value stream mapping* dapat dilakukan diberbagai tipe industri dengan hasil peningkatan performansi yang cukup signifikan.

Terdapat 7 macam *detailed mapping tools* yang paling umum digunakan (Hines and Rich, 1997), yaitu:

1. *Process Activity Mapping* (PAM)

Tool ini digunakan untuk mengidentifikasi lead time dan produktivitas baik aliran produk fisik maupun aliran informasi, tidak hanya dalam ruang lingkup perusahaan maupun juga pada areaa lain dalam supply chain.

2. *Supply Chain Response Matrix* (SCRM)

Merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara inventori dan lead time pada jalur distribusi, sehingga dapat diketahui adanya peningkatan maupun penurunan tingkat persediaan pada waktu distribusi pada tiap area supply chain.

3. *Production Variety Funnel* (PVF)

Merupakan teknik pemetaan visual dengan memetakan jumlah variasi produk pada tiap tahapan proses manufaktur. *Tools* ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik dimana sebuah produk generic diproses menjadi beberapa produk yang spesifik. Selain itu, *tools* ini juga dapat digunakan untuk menunjukkan area bottleneck pada desain proses untuk merencanakan perbaikan kebijakan inventori.

4. *Quality Filter Mapping (QFM)*

Merupakan tool yang digunakan untuk mengidentifikasi letak permasalahan cacat kualitas pada rantai suplai yang ada. *Tools* ini mampu menggambarkan 3 tipe cacat pada kualitas, yakni *product defect* yang lolos ke customer karena tidak berhasil diseleksi pada saat proses inspeksi, *scrap defect* dan *service defect*.

3. *Demand Amplification Mapping (DAM)*

Peta yang digunakan untuk membisualisasikan perubahan demand disepanjang rantai suplai. Fenomena ini menganut *low of industrial dynamics*, dimana demand yang ditransmisikan disepanjang rantai suplai melalui rangkaian kebijakan order dan inventori akan mengalami variasi yang semakin meningkat dalam setiap pergerakannya mulai dari *downstream* sampai dengan *upstream*.

4. *Decision Point Analysis (DPA)*

Menunjukkan berbagai pilihan sistem produksi yang berbeda, dengan *trade off* antara *lead time* masing-masing pilihan dengan tingkat inventori yang diperlukan untuk meng-cover selama proses *lead time*. *Decision point analysis* merupakan titik dalam *supply chain* dimana permintaan aktual memberikan kesempatan untuk mem-*forecast driven push*.

5. *Physical Structure (PS)*

Merupakan sebuah *tool* yang digunakan untuk memahami kondisi rantai suplai di rantai produksi. Hal ini diperlukan untuk memahami kondisi industri itu, bagaimana operasinya, dan dalam mengarahkan perhatian pada area yang mungkin belum mendapatkan perhatian yang cukup untuk pengembangan.

2.11 Process Activity Mapping

Tool ini digunakan untuk mengidentifikasi *lead time* dan produktivitas baik aliran produk fisik maupun aliran informasi, tidak hanya dalam ruang lingkup perusahaan maupun juga pada area lain dalam *supply chain*. Konsep dasar dari *tools* ini adalah memetakan setiap tahap aktivitas yang terjadi mulai dari operasi, transportasi, inspeksi, *delay*, dan *storage* kemudian mengelompokkannya ke dalam tipe-tipe aktivitas yang ada mulai dari *value adding activities* (VA), *necessary but non-value adding activities* (NNVA), dan *non-value adding activities* (NVA). Ada lima tahap pendekatan dalam *process activity mapping* secara umum:

1. Memahami aliran proses
2. Mengidentifikasi pemborosan
3. Mempertimbangkan apakah proses dapat disusun ulang pada rangkaian yang lebih efisien
4. Mempertimbangkan aliran yang lebih baik, melibatkan aliran layout dan rute transportasi yang berbeda.
5. Mempertimbangkan apakah segala sesuatu yang telah dilakukan pada tiap stage benar-benar perlu dan apa yang akan terjadi jika hal-hal yang berlebihan tersebut dihilangkan.

2.12 Root Cause Analysis Tools

RCA secara lengkap diulas dalam IAEA Tecdoc Series 1756 (IAEA, 2015) tentang *root cause analysis following an event at nuclear installation: reference manual*, terdapat berbagai macam tools dan teknik yang dapat dipergunakan yaitu:

1. Interviewing

Wawancara adalah komunikasi tatap muka antara penyelidik dan saksi untuk mendapatkan fakta yang berkaitan dengan suatu masalah atau peristiwa.

2. *Task Analysis*

Analisis tugas membandingkan bagaimana tugas seharusnya dilakukan dengan bagaimana tugas itu sebenarnya dilakukan, *output* seringkali menjadi *input* ke dalam analisis perubahan.

3. *Change Analysis*

Alat analisis ini digunakan dalam banyak kasus ketika salah satu tugas atau elemen tugas telah selesai dengan sukses sebelumnya

4. *Barrier Analysis*

Atribut alat analisis penghalang adalah:

- Berguna untuk mengevaluasi pertahanan secara mendalam.
- Membutuhkan orang yang berpengalaman secara teknis di daerah yang dianalisis
- Paling baik digunakan bersama dengan metode lain.

5. *Event and Causal Factor Charting*

Metode ini selalu digunakan untuk menyelidiki peristiwa apa pun di mana garis waktu atau urutan peristiwa dapat berlaku terlepas dari peristiwa awal yang merupakan kegagalan peralatan atau kinerja manusia.

6. *Cause and Effect Analysis*

Analisis sebab dan akibat sering digunakan dalam menangani peristiwa yang diprakarsai oleh kegagalan kinerja manusia dan peralatan.

7. *Fault Tree Analysis*

Analisis pohon kesalahan adalah alat untuk investigasi yang lebih rinci dari hubungan sebab dan akibat yang secara visual menggambarkan semua cara yang mungkin bahwa kondisi yang tidak diinginkan yang sedang diselidiki bisa terjadi.

8. *Event Tree Analysis*

Analisis pohon kejadian adalah alat yang digunakan untuk membantu dalam menilai signifikansi keselamatan dari peristiwa baik dalam Analisis Sebab Penyebab dan dalam analisis keselamatan probabilistik.

9. *The 5 Whys (Why Staircase)*

5 Why adalah teknik mengajukan pertanyaan yang digunakan untuk mengeksplorasi hubungan sebab-akibat yang mendasari suatu masalah tertentu. Tujuan akhirnya untuk menentukan akar penyebab masalah.

10. *Common Cause Analysis*

Common Cause Analysis (CCA) adalah pendekatan sistematis untuk mengevaluasi kemungkinan penyebab.

11. *Current Reality Tree*

CRT mengatasi masalah dengan mengaitkan banyak factor, bukan kejadian yang terisolasi. Tujuannya adalah untuk membantu para praktisi menemukan hubungan antara faktor-faktor simptomatik, yang disebut efek yang tidak diinginkan dari masalah inti. CRT dirancang untuk menunjukkan kondisi saat ini dalam rangkaian sistem.

12. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

FMEA adalah prosedur langkah demi langkah untuk mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan dan efeknya.

13. *Human Factor Investigation tool (Human Performance)*

Alat ini membantu pengumpulan empat jenis informasi faktor manusia termasuk (a) kesalahan tindakan yang terjadi sebelum kejadian, (b) mekanisme pemulihan kesalahan, dalam kasus hampir terjadi, (c) proses pemikiran yang mengarah pada kesalahan tindakan dan (d) penyebab yang mendasarinya.

14. *Psychological and Physiological Evaluation*

Alat ini dapat digunakan dalam analisis akar masalah dan mendeteksi karyawan yang bersalah pada tingkat psikologi dan fisiologi.

15. *Ergonomic Analysis*

Metode ini digunakan oleh spesialis faktor manusia yang mengambil bagian dalam analisis akar masalah, desain tempat kerja, penilaian kualitas peralatan, penyelidikan kondisi kerja estetika dan psikofisiologis.

16. *Kepner Tregoe Analysis*

Kepner-Tregoe digunakan ketika analisis komprehensif diperlukan untuk investigasi kejadian. Kekuatannya terletak pada penyediaan kerangka kerja yang efisien dan sistematis untuk mengumpulkan, mengatur, dan mengevaluasi informasi.

2.12.1 *5-whys*

Menurut observasi Taiichi Ohno ketika kesalahan terjadi di bagian produksi atau lingkungan manufaktur, orang akan saling menyalahkan satu dengan yang lainnya, padahal kesalahan merupakan sebuah hal yang tak terhindarkan dan pendekatan yang terbaik dalam menyelesaikan permasalahan adalah mengidentifikasi akar dari permasalahan tersebut serta melakukan tindakan. *5-Whys Analysis* merupakan salah satu *tool problem solving* yang sering digunakan oleh Taiichi Ohno (Ohno, 1998)

Hal ini menjadikan *5-whys analysis* sebagai tindakan perbaikan dan juga tindakan preventif. Contohnya Toyota yang menggunakan metode dan *tool* yang sederhana di semua hal yang memungkinkan dan sangat menekankan pada penyelesaian masalah dengan analisa akar permasalahan yang bertujuan untuk mendapatkan solusi yang permanen menggunakan *5-whys analysis* (Alukal, 2007).

Penerapan *5-whys analysis* memberikan pendekatan terstruktur yang berdasarkan fakta untuk identifikasi dan perbaikan masalah yang berfokus tidak hanya mengurangi *defects* tetapi juga mengeliminasinya. Solusi permanen dari permasalahan untuk mengeliminasi *waste* daripada hanya mereduksi *waste* saja (Murugaiah, 2009).

2.13 *Borda Count Method*

Borda Count Method ditemukan oleh Jean Charles de Borda, merupakan teknik langsung untuk melakukan perhitungan peringkat dari beberapa alternatif pilihan (Nash, Zhang, & Strawderman, 2011). Menurut Singh dan Sharan (2015), responden/pemilih mengisi pilihan preferential, sesuai dengan peringkatnya dari pertama sampai dengan terakhir. Apabila ada n pilihan, maka peringkat pertama

nilainya n, kemudian peringkat kedua nilainya n-1, pilihan ketiga nilainya n-2 dan seterusnya. Hasil dari nilai tersebut dapat menentukan peringkat dari semua pilihan tersebut, yang mendapatkan nilai tertinggi adalah peringkat pertama. Borda Count Method ini dapat digunakan untuk menentukan prioritas waste mana yang akan diselesaikan terlebih dahulu menggunakan kuesioner kepada bagian yang terkait. Contoh Borda Count Method dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Contoh peringkat waste

Waste	Responden			
	Alfa	Beta	Charlie	Delta
A	1	1	3	2
B	3	2	1	4
C	2	4	2	1
D	4	3	4	3

Maka akan didapatkan nilai sebagai berikut :

$$\text{Waste score (A)} = 4+4+2+3=13$$

$$\text{Waste score (B)} = 2+3+4+1=10$$

$$\text{Waste score (C)} = 3+1+3+4=11$$

$$\text{Waste score (D)} = 1+2+1+2=6$$

Dari hasil tersebut maka didapatkan peringkat A, C, B dan D.

2.14 5S Visual Management

Gerakan 5S merupakan *tool* yang berasal dari *tools lean thinking* yang digunakan untuk mengubah efektivitas dan efisiensi akan sebuah proses. Keuntungan yang begitu besar yang didapatkan dengan menerapkan tool ini karena dengan memiliki lingkungan kerja yang *informative* sehingga semua aktivitas kerja berjalan sesuai dengan apa yang seharusnya terjadi. Dalam aplikasinya terdapat 5 program antara lain (Gasperz, V & Fontana, 2011):

1. Seiri (Sort) / Pemilahan
2. Seiso (Shine) / Pembersihan
3. Seiton (Set in Order) / Penataan
4. Seiketsu (Standardize) / Standarisasi

5. Shitsuke (Sustain) / Pembiasaan

Metodologi ini adalah salah satu praktik dasar pembuatan *lean*. Ini adalah kerangka kerja sistematis untuk organisasi ruang kerja berdasarkan ide bahwa lingkungan kerja yang lebih baik menghasilkan operasi yang lebih baik, yang pada gilirannya mengarah ke produk yang lebih baik. 5S membantu mengurangi pemborosan dengan mempertahankan ruang kerja yang terorganisir secara sistematis di mana masalah segera menjadi jelas dan dengan demikian mudah dideteksi dan diperbaiki.

Visual Management adalah kunci keberhasilan implementasi 5S. Tujuan dari manajemen visual adalah untuk membuat situasi menjadi jelas hanya dengan melihatnya dengan sesedikit mungkin pengamatan atau waktu. Manajemen visual juga terkait erat dengan konsep lean "*going to gemba*," atau "*the real place*." John Shook, Penasihat Senior dan Ketua Eksekutif Lean Enterprise Institute, menulis tentang pentingnya manajemen visual: "Mengutip Dr. Thoralf Sundt dari Mayo Clinic," Jika saya bisa melihatnya, saya bisa memperbaikinya. "Sebaliknya juga harus benar - sulit untuk memperbaiki apa yang tidak dapat Anda lihat. "Jenis *Visual Management* termasuk tampilan visual, yang berbagi informasi, dan kontrol visual, yang mencegah kelainan terjadi.

2.15 *Life Cycle Assessment*

Life Cycle Assessment (LCA) adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk menganalisa dampak suatu produk lingkungan selama siklus hidup produk. Konsep *Life Cycle Assessment* didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak lepas kaitannya dengan lingkungan tempat industri itu berada. *Life cycle assessment* secara umum merupakan pendekatan untuk mengukur dampak lingkungan yang diakibatkan oleh produk atau aktivitas mulai dari pengambilan raw material, diikuti proses produksi dan penggunaan, dan berakhir pada pengelolaan sampah/ limbah.

Metodologi dalam LCA terdapat empat komponen meliputi definisi tujuan dan ruang lingkup, LCI (*Life Cycle Inventory*), penilaian dampak, dan penilaian improve. *Life Cycle Assessment* (LCA) dikenal sebagai "*cradle to grave*" dimana

proses evaluasi dampak pada produk terhadap lingkungan yang terjadi dilakukan sepanjang umur hidupnya. LCA dapat digunakan untuk membantu strategi bisnis perusahaan dalam membuat keputusan, peningkatan kualitas produk dan proses dan untuk mempelajari aspek lingkungan dari produk. Prosedur dari LCA merupakan bagian dari ISO 14000, ISO 14040 : 2006 (ISO 14044 yang diganti dengan versi dari ISO 14041 menjadi ISO 14043).

Untuk melakukan pendekatan *Life Cycle Assessment* terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan meliputi mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup, ekstraksi *inventory* dan emisi, penentuan dampak dan penentuan perbaikan.

1. Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

Tahapan ini merupakan petunjuk yang dapat membantu konsistensi dari penelitian LCA. Tujuan menunjukkan alasan dari dilakukannya penelitian dan siapa pembaca dari penelitian tersebut. Ruang lingkup yang dideskripsikan meliputi tujuan penelitian yang ingin dicapai, batasan-batasan fungsi dari sistem yang diamati, penentuan produk, proses atau aktivitas yang diteliti, penentuan parameter-parameter, pengukuran, pendekatan alokasi, data yang diperlukan dan tipe pelaporan Ruang lingkup pelaksanaan LCA harus ditentukan secara jelas karena akan sangat menentukan bagaimana LCA akan dilaksanakan. Dalam menentukan ruang lingkup pada *Life Cycle Assessment* terdapat beberapa bagian antara lain:

- a. *Cradle to grave* dimana pada bagian ini ruang lingkup dimulai dari *raw material* sampai proses operasi produk.
- b. *Cradle to gate* dimana pada bagian ini ruang lingkup dimulai dari *raw material* sampai ke gate sebelum proses operasi.
- c. *Gate to gate* dimana ruang lingkup ini merupakan siklus terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat
- d. *Gate to grave* dimana ruang lingkup ini dimulai dari *raw material* sampai pada daur ulang material.

2. Ekstraksi *Inventory* dan Emisi (LCI)

Tujuan dari *inventory* adalah untuk menunjukkan pengaruh lingkungan per bagian dari *life cycle*. LCI baik digunakan dalam pencarian area yang memiliki kesempatan besar untuk melakukan perbaikan kualitas lingkungan melalui konservasi sumber daya dan pengurangan emisi. Pada tahap ini dibuat model yang dapat menggambarkan *input* dan *output* sistem melalui fase produksi, transportasi, penggunaan dan disposal. Hasil dari tahapan ini nantinya dapat digambarkan dalam sebuah *flow sheet* atau *process tree*. Pada tahapan ini merupakan tahapan yang paling intensif dan membutuhkan waktu lebih karena pengumpulan data. Pengumpulan data dapat memakan waktu yang tidak banyak jika database yang tersedia baik.

3. Penentuan Dampak (*Life Cycle Impact Assessment*)

Pada tahapan ini dilakukan pengelompokan dan penilaian mengenai efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan data-data yang diperoleh pada tahapan LCI. Pada tahapan ini terdiri dari tiga langkah utama yaitu *characterization*, *normalization*, *wieghting*. Karakterisasi menyediakan cara untuk membandingkan secara langsung hasil LCI dalam tiap kategori. Faktor karakterisasi sering disebut sebagai faktor kesetaraan. Normalisasi memiliki tujuan untuk memberikan besaran relatif dari dampak potensial dan konsumsi/penggunaan sumber daya, selain itu juga untuk menyajikan hasil dalam bentuk yang sesuai untuk bobot akhir dan pengambilan keputusan. Tahapan normalisasi dapat dihitung dengan membagi hasil karakterisasi dengan nilai normalisasi. Untuk membandingkan berbagai potensi dampak lingkungan, penilaian harus dibuat dengan kategori relatif terhadap satu sama lain. Hal ini dapat dilakukan dengan *weighting*/ pembobotan. Pembobotan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil normalisasi atau dampak normalisasi nilai potensial oleh faktor bobot. Setelah langkah pembobotan, semua potensi dampak lingkungan dikonversi ke *single score*/nilai tunggal.

4. Penentuan Perbaikan

Penentuan perbaikan merupakan tahapan interpretasi dari keseluruhan tahap sebelumnya. Interpretasi ini nantinya akan mengarah pada perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari sistem, produk atau proses yang diamati. Pada tahapan ini hasil dari fase LCA sebelumnya dibandingkan dengan tujuan penelitian yang disebutkan pada definisi tujuan dan ruang lingkup.

2.16 Konsep AHP (*Analytical Hierarchy Process*)

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki, menurut Saaty (1993), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis. (Syarifullah:2010). AHP sering digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan sebagai berikut :

1. Struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai pada sub kriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

Penggunaan AHP bukan hanya untuk institusi pemerintahan atau swasta namun juga dapat diaplikasikan untuk keperluan individu terutama untuk penelitian-penelitian yang berkaitan dengan kebijakan atau perumusan strategi prioritas. AHP dapat diandalkan karena dalam AHP suatu prioritas disusun dari berbagai pilihan yang dapat berupa kriteria yang sebelumnya

telah didekomposisi (struktur) terlebih dahulu, sehingga penetapan prioritas didasarkan pada suatu proses yang terstruktur (hirarki) dan masuk akal.

Jadi pada intinya AHP membantu memecahkan persoalan yang kompleks dengan menyusun suatu hirarki kriteria, dinilai secara subjektif oleh pihak yang berkepentingan lalu menarik berbagai pertimbangan guna mengembangkan bobot atau prioritas (kesimpulan). Peralatan utama AHP adalah sebuah hierarki fungsional dengan input utamanya persepsi manusia. Keberadaan hierarki memungkinkan dipecahnya masalah kompleks atau tidak terstruktur dalam sub – sub masalah, lalu menyusunnya menjadi suatu bentuk hierarki (Kusrini, 2007).

2.16.1 Prosedur AHP

Terdapat tiga prinsip utama dalam pemecahan masalah dalam AHP menurut Saaty, yaitu: Decomposition, Comparative Judgement, dan Logical Concistency. Secara garis besar prosedur AHP meliputi tahapan sebagai berikut:

1. Dekomposisi masalah

Dekomposisi masalah adalah langkah dimana suatu tujuan (Goal) yang telah ditetapkan selanjutnya diuraikan secara sistematis kedalam struktur yang menyusun rangkaian sistem hingga tujuan dapat dicapai secara rasional. Dengan kata lain, suatu tujuan yang utuh, didekomposisi (dipecahkan) kedalam unsur penyusunnya.

2. Penilaian/pembobotan untuk membandingkan elemen-elemen

Apabila proses dekomposisi telah selesai dan hirarki telah tersusun dengan baik. Selanjutnya dilakukan penilaian perbandingan berpasangan (pembobotan) pada tiap-tiap hirarki berdasarkan tingkat kepentingan relatifnya.

3. Penyusunan matriks dan Uji Konsistensi

Apabila proses pembobotan atau pengisian kuisioner telah selesai, langkah selanjutnya adalah penyusunan matriks berpasangan untuk melakukan normalisasi bobot tingkat kepentingan pada tiap-tiap elemen pada hirarkinya masing-masing. Pada tahapan ini analisis dapat dilakukan secara manual ataupun dengan menggunakan program komputer seperti Expert Choice.

4. Penetapan prioritas pada masing-masing hirarki

Untuk setiap kriteria dan alternatif, perlu dilakukan perbandingan berpasangan (pairwise comparisons). Nilai-nilai perbandingan relatif kemudian diolah untuk menentukan peringkat alternatif dari seluruh alternatif. Baik kriteria kualitatif, maupun kriteria kuantitatif, dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan bobot dan proritas. Bobot atau prioritas dihitung dengan manipulasi matriks atau melalui penyelesaian persamaan matematik.

5. Sistesis dari prioritas

Sistesis dari prioritas didapat dari hasil perkalian prioritas lokal dengan prioritas dari kriteria bersangkutan yang ada pada level atasnya dan menambahkannya ke masing-masing elemen dalam level yang dipengaruhi oleh kriteria. Hasilnya berupa gabungan atau lebih dikenal dengan istilah prioritas global yang kemudian dapat digunakan untuk memberikan bobot prioritas lokal dari elemen yang ada pada level terendah dalam hirarki sesuai dengan kriterianya.

6. Pengambilan/penetapan keputusan.

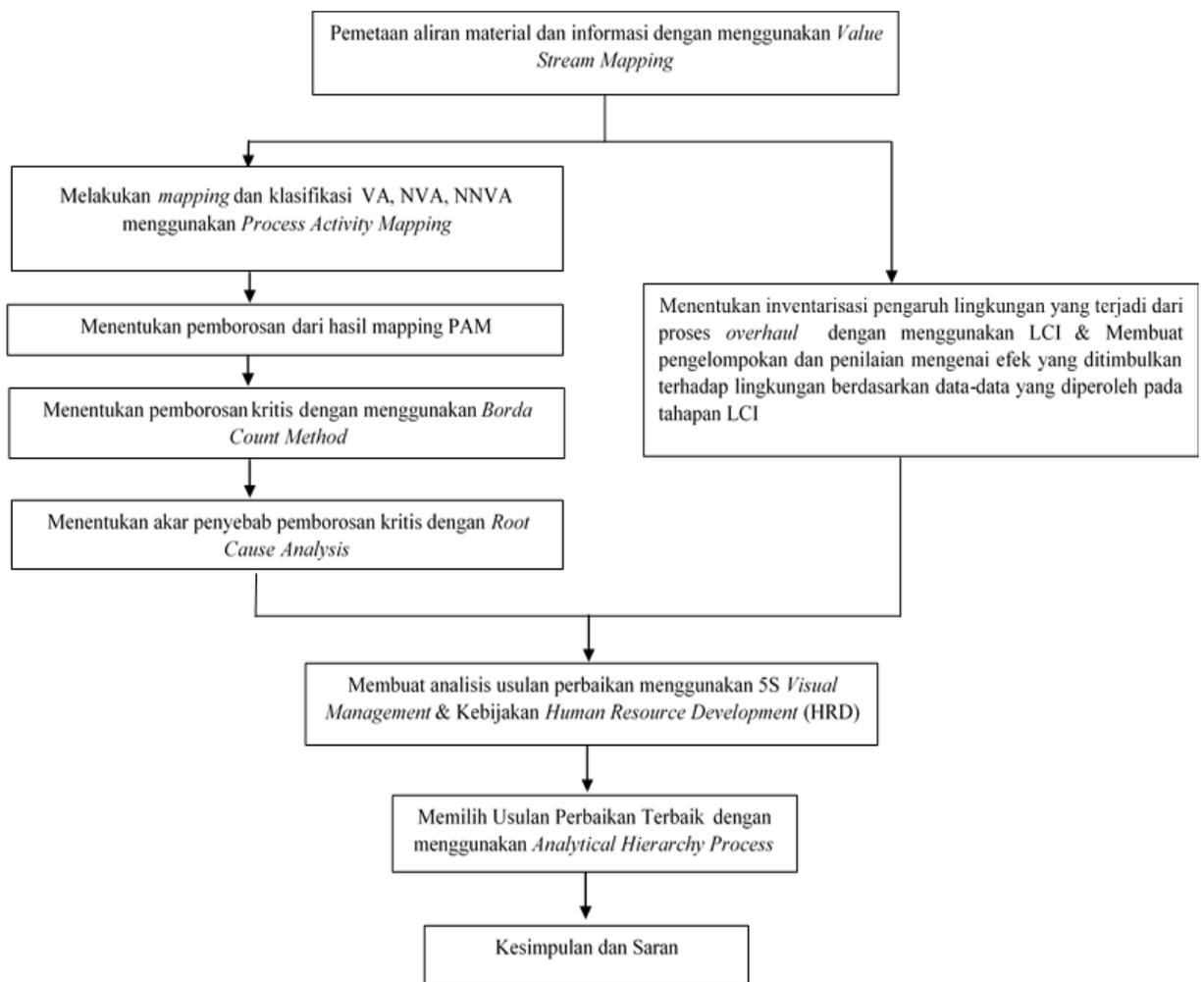
Pengambilan keputusan adalah suatu proses dimana alternatif-alternatif yang dibuat dipilih yang terbaik berdasarkan kriterianya.

2.1.2 Kelebihan dan kelemahan AHP Layaknya sebuah metode analisis, AHP pun memiliki kelebihan dan kelemahan dalam system analisisnya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah atau pendekatan yang akan dilakukan dalam penelitian untuk melakukan *waste management* dengan menggunakan *lean thinking* dan LCA untuk tercapainya optimalisasi EAF. Penyusunan penelitian ini secara garis besar digambarkan dalam *flowchart* seperti pada gambar :



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.1. Tahap Pemetaan Aliran Informasi dan Material

Pada tahapan ini peneliti melakukan penentuan *waste* pada proses *overhaul* dengan menggunakan *value stream mapping*. Melakukan pemetaan proses *overhaul* mulai dari aliran proses, informasi dan material. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari divisi *management outage*.

3.2. Tahap Pemetaan Aktivitas Proses

3.2.1. Identifikasi dan klasifikasi rangkaian proses *overhaul* menggunakan *Process Activity Mapping*. Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari *value stream mapping*, dilanjutkan dengan melakukan identifikasi dan klasifikasi data lebih detail dengan menggunakan *Process Activity Mapping*. Melakukan *time breakdown* dari setiap proses yang dilakukan untuk mengetahui *delay time* atau *waste* yang terjadi. Data yang diambil merupakan data primer yang diperoleh dari divisi *management outage* PLTU PAITON, yang berupa data jadwal *overhaul* pada lampiran 1.

3.2.2. Menentukan inventarisasi pengaruh lingkungan yang terjadi dari proses *overhaul* dengan menggunakan LCI. Pada tahapan ini peneliti akan melakukan inventarisasi dampak lingkungan yang terjadi pada proses *overhaul*. Data yang diambil merupakan data primer yang diperoleh dari divisi lingkungan PLTU PAITON, yang berupa data rekap limbah hasil *overhaul*. Berdasarkan hasil inventarisasi limbah yang telah diperoleh dengan menggunakan Life Cycle Inventory, dilanjutkan dengan membuat pengelompokan dan penilaian mengenai efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan data-data yang diperoleh. Selanjutnya dipilih prioritas limbah yang dapat dilakukan inovasi untuk pengurangan jumlah timbulan limbah.

3.3. Tahap Penentuan Waste

Pada tahap ini menentukan *waste* yang terjadi dengan menggunakan data aktivitas dan aliran informasi berasal dari hasil *process activity mapping & value stream mapping*. Pemborosan yang muncul diklasifikasikan kedalam *seven waste* sebagai berikut :

1. **Overproduction** (produksi berlebih) merupakan pemborosan yang disebabkan oleh produksi yang berlebih atau produksi yang terlalu awal dan produksi diluar jadwal yang telah dibuat.
Contoh: produksi produk / item yang sudah banyak stock di jalur karena ada produk yang tidak bisa diproduksi.
2. **Defects** Merupakan waste berupa kesalahan yang terjadi pada proses pengerjaan, permasalahan kualitas produk, atau rendahnya performansi dari pengiriman barang atau jasa.
Contoh: defect pada shaft pompa yang diakibatkan kesalahan proses assembly sehingga menyebabkan shaft direpair ulang dan membutuhkan tambahan waktu.
3. **Unnecessary** Merupakan waste yang berupa penyimpanan dan penundaan yang berlebihan dari informasi dan produk yang menimbulkan peningkatan biaya dan penurunan customer service.
Contoh: material yang terlalu lama disimpan di warehouse akan mengalami karat/rusak.
4. **Inappropriate Processing** Merupakan waste yang disebabkan oleh proses kerja yang dilaksanakan dengan menggunakan set peralatan, prosedur, atau sistem yang tidak sesuai dengan kapasitas dan kemampuan suatu operasi kerja.
Contohnya melakukan proses perbaikan namun tidak sesuai dengan SOP yang ada.
5. **Excessive Transportation** Merupakan waste yang berupa perpindahan yang berlebihan dari manusia, informasi dan barang yang mengakibatkan pemborosan waktu, usaha, dan biaya
Contoh: pemindahan material dari warehouse menuju unit overhaul yang dilakukan secara bertahap dan tidak ditata sesuai kaidah 5S.
6. **Waiting** Merupakan waste yang berupa kondisi tidak aktifnya manusia, informasi atau barang dalam periode yang lama yang menyebabkan aliran terganggu dan panjangnya lead time.
Contoh: menunggu kedatangan single part yang dapat menunda proses.

7. **Unnecessary** Merupakan waste yang berupa kondisi buruknya organisasi tempat kerja yang menyebabkan rendahnya tingkat ergonomis didalamnya, seperti pergerakan bending atau stretching yang berlebihan dan sering terjadinya kehilangan item-item tertentu.

Contoh: penataan workstation yang tidak ergonomis, tool/komponen di luar jangkauan teknisi.

3.4. Tahap Penentuan Waste Kritis

Pada tahap ini menentukan *waste* kritis yang terjadi dengan menggunakan *borda count method*. Data *waste* berasal dari hasil identifikasi yang telah diperoleh dari *process activity mapping & value stream mapping*. Penentuan pemborosan kritis ini dengan menggunakan form kuosioner pada lampiran 2.

3.5. Tahap Penentuan akar penyebab Waste Kritis

Menentukan akar penyebab *waste* kritis yang diprioritaskan dengan *Root Cause Analysis*. Akar penyebab *waste* kritis ditentukan dengan menggunakan 5 *Why's* yang merupakan salah satu *tools* dari *Root Cause Analysis*. Data 5 *Why's* diperoleh dengan cara *interview* yang dilakukan kepada *Analyst Outage Management* dan *Supervisor Outage Management*.

3.6. Tahap Analisa Usulan Perbaikan dan Pemilihan Usulan Terbaik

Pada tahap ini membuat analisis usulan perbaikan menggunakan 5S *Visual Management* dan menggunakan kebijakan *human resources development (HRD)*. Dari usulan perbaikan yang diperoleh kemudian dipilih usulan perbaikan terbaik dengan memperhatikan parameter nilai biaya (*cost*), lama waktu implementasi (*time*) dan efektifitas dari hasil usulan perbaikan.

3.7. Tahap Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir yang dilakukan pada penelitian ini adalah penentuan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan serta pemberian rekomendasi terhadap pemborosan dan limbah yang timbul pada saat *overhaul* PLTU untuk dapat.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah prognosa EAF unit PLTU PAITON, penentuan waste , identifikasi dan klasifikasi rangkaian proses overhaul, inventarisasi pengaruh lingkungan yang muncul pada proses overhaul , penentuan waste kritis serta membuat analisa usulan perbaikan yang dapat dilakukan pada proses overhaul PLTU PAITON.

4.1. Profil Perusahaan

Sejarah berdirinya PT X tidak dapat dilepaskan dari sejarah panjang PT Y. Perkembangan dan perubahan situasi bisnis yang dihadapi PT Y di era 90 an membuat perusahaan lisrik negara itu membuat beberapa terobosan. Diantaranya melakukan restrukturisasi dengan membentuk anak perusahaan di bidang pembangkitan pada tanggal 3 Oktober 1995. Pembentukan anak perusahaan itu bertujuan untuk (Rencana Jangka Panjang Unit, 2017):

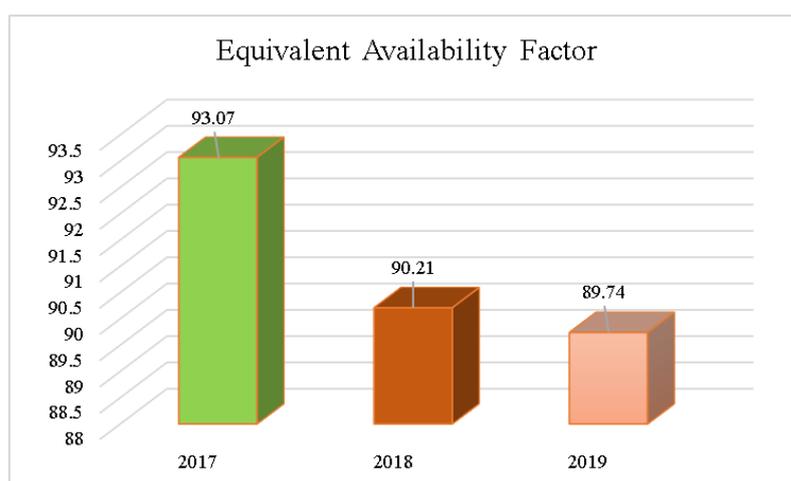
- a. Meningkatkan pelayanan, efisiensi dan efektivitas PT Y melalui persaingan yang sehat di bidang pembangkitan tenaga listrik juga berkompetisi dengan perusahaan listrik swasta (*Independent Power Producer* atau "IPP")
- b. Memperoleh dana (*equity*) melalui penjualan saham kepada masyarakat (*go public* atau *Initial Public Offering* / "IPO") untuk membangun pembangkit baru guna memenuhi pertumbuhan *demand*
- c. Menciptakan peluang bisnis melalui anak perusahaan dengan memberikan desentralisasi kewenangan secara penuh

Sejak terbentuk pada 3 Oktober 1995 dimulailah kiprah PT X dalam usaha ketenagalistrikan di Indonesia. Perusahaan yang pada awal berdirinya bernama PT X itu terus berkembang dan bertransformasi hingga menjadi perusahaan pembangkit yang maju dan terintegrasi seperti saat ini. Dan PLTU PAITON merupakan salah satu pembangkit listrik yang dikelola oleh PT X.

4.2. Gambaran Kondisi PLTU PAITON

Salah satu indikator *performance* dari PLTU adalah diukur berdasarkan nilai *Equivalent Availability Factor* (EAF). EAF adalah faktor kesiapan unit pembangkit. Nilai EAF berupa perbandingan yang didapat dari kesiapan unit untuk beroperasi dibagi terhadap waktu. Fungsi EAF tidak hanya sebagai salah satu parameter utama baik buruknya kinerja tetapi juga berkontribusi sebagai salah satu sumber pendapatan Unit Pembangkit. Gambar 4.1 menunjukkan nilai *Equivalent Availability Factor* (EAF) dari unit Pembangkit Listrik PAITON dari 2017 hingga 2019 (sebelum dan sesudah program switching batubara). Di mana terlihat kondisi penurunan nilai EAF yang disebabkan oleh peningkatan nilai *Equivalent Forced Derating Hour* (EFDH). Penurunan nilai EAF PLTU PAITON dari 93.07 pada tahun 2017 menjadi 90.21 pada tahun 2018 dan 89.61 (estimasi EAF) pada 2019. Oleh karena itu untuk menjaga nilai EAF tetap di atas 90% (masih termasuk dalam standar NERC), maka PLTU PAITON perlu untuk mempercepat proses perbaikan pada tahun 2019.

Bila digambarkan dalam bentuk grafik, nilai EAF menunjukkan terjadi penurunan sehingga akan berdampak juga pada penurunan pendapatan.



Gambar 4.1. Nilai EAF PLTU PAITON 2019

Dalam prosesnya pembangkit listrik PAITON mengimplementasikan program perbaikan *Semi Inspection* (SE) yang membutuhkan 53 hari perbaikan berdasarkan riwayat pekerjaan terakhir. Dengan nilai EAF yang dalam kurun

waktu 3 tahun kebelakang terlihat mengalami penurunan, sehingga diperlukan waktu *overhaul* yang lebih singkat untuk dapat mencapai nilai diatas 90%.

Untuk mengetahui potensi peningkatan nilai EAF dengan cara optimalisasi proses *overhaul* maka dilakukan perhitungan proyeksi nilai EAF tahun 2019 sebagai berikut:

1. Estimasi nilai entitas EAF 2019 dengan *State Power Plant SE (Semi Inspection)* selama 53 hari (dengan asumsi *derating* tidak terjadi):

$$\begin{aligned}
 \text{EAF} &= \frac{AH - EDH}{PH} \times 100\% \\
 &= \frac{\{PH - (POH + FOH + MOH)\} - \{EPDH + EMDH\}}{PH} \times 100\% \\
 &= \frac{\{8760 - (636 + 61.57 + 118.07)\} - \{82.34 + 0.83\}}{8760} \times 100\% \\
 &= \frac{7944.36 - 83.17}{8760} \times 100\% \\
 &= \mathbf{89.74\%}
 \end{aligned}$$

2. Estimasi nilai entitas EAF 2019 dengan *State Power Plant SE (Semi Inspection)* selama 45 hari (dengan asumsi *derating* tidak terjadi):

$$\begin{aligned}
 \text{EAF} &= \frac{AH - EDH}{PH} \times 100\% \\
 &= \frac{\{PH - (POH + FOH + MOH)\} - \{EPDH + EMDH\}}{PH} \times 100\% \\
 &= \frac{\{8760 - (540 + 61.57 + 118.07)\} - \{82.34 + 0.83\}}{8760} \times 100\% \\
 &= \frac{7940.36 - 83.17}{8760} \times 100\% \\
 &= \mathbf{90.84\%}
 \end{aligned}$$

3. Estimasi nilai entitas EAF 2019 dengan *State Power Plant SE (Semi Inspection)* selama 35 hari (dengan asumsi *derating* tidak terjadi):

$$\begin{aligned}
\text{EAF} &= \frac{AH - EDH}{PH} \times 100\% \\
&= \frac{\{PH - (POH + FOH + MOH)\} - \{EPDH + EMDH\}}{PH} \times 100\% \\
&= \frac{\{8760 - (420 + 61.57 + 118.07)\} - \{82.34 + 0.83\}}{8760} \times 100\% \\
&= \frac{8160.36 - 83.17}{8760} \times 100\% \\
&= \mathbf{92.20\%}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan estimasi nilai EAF pada PLTU PAITON untuk tetap berada pada TOP 10% NERC maka proses overhaul yang dilakukan diharapkan kurang dari 45 hari. Hasil perhitungan estimasi tersebut diringkas pada tabel 4.1. dibawah ini:

Tabel 4.1. Estimasi perhitungan EAF ideal PLTU PAITON

Durasi Overhaul		EAF
Hari	Jam	
53	636	89.74%
50	600	90.15%
45	540	90.84%
40	480	91.52%
35	420	92.20%

Berdasarkan kondisi tersebut, maka pendekatan *lean thinking* dipilih pada penelitian ini. Pendekatan *lean* bertujuan meningkatkan *leadtime* dengan cara mengurangi atau menghilangkan pemborosan yang terjadi pada proses *overhaul*.

4.3. Identifikasi Pemborosan dan Limbah pada proses *overhaul*

Identifikasi pemborosan yang terdapat pada proses *overhaul* PLTU PAITON dilakukan dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer didapat dari kuesioner kepada pekerja di bidang pemeliharaan, meliputi Manajer Pemeliharaan, Supervisor *Management Outage* dan Supervisor Bidang. Data sekunder merupakan yang dikumpulkan berdasar dari *overhaul schedule* yang telah dibuat oleh divisi *Management Outage* (MO), data laporan hasil *overhaul* dan laporan *commisioning* pembangkit.

4.3.1. Pemetaan dengan *Value Stream Mapping*

Planned Outage (PO) yaitu keluarnya unit pembangkit akibat adanya pekerjaan pemeliharaan periodik pembangkit seperti inspeksi, *overhaul* atau pekerjaan lainnya yang sudah di jadwalkan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit atau sesuai rekomendasi pabrikan.

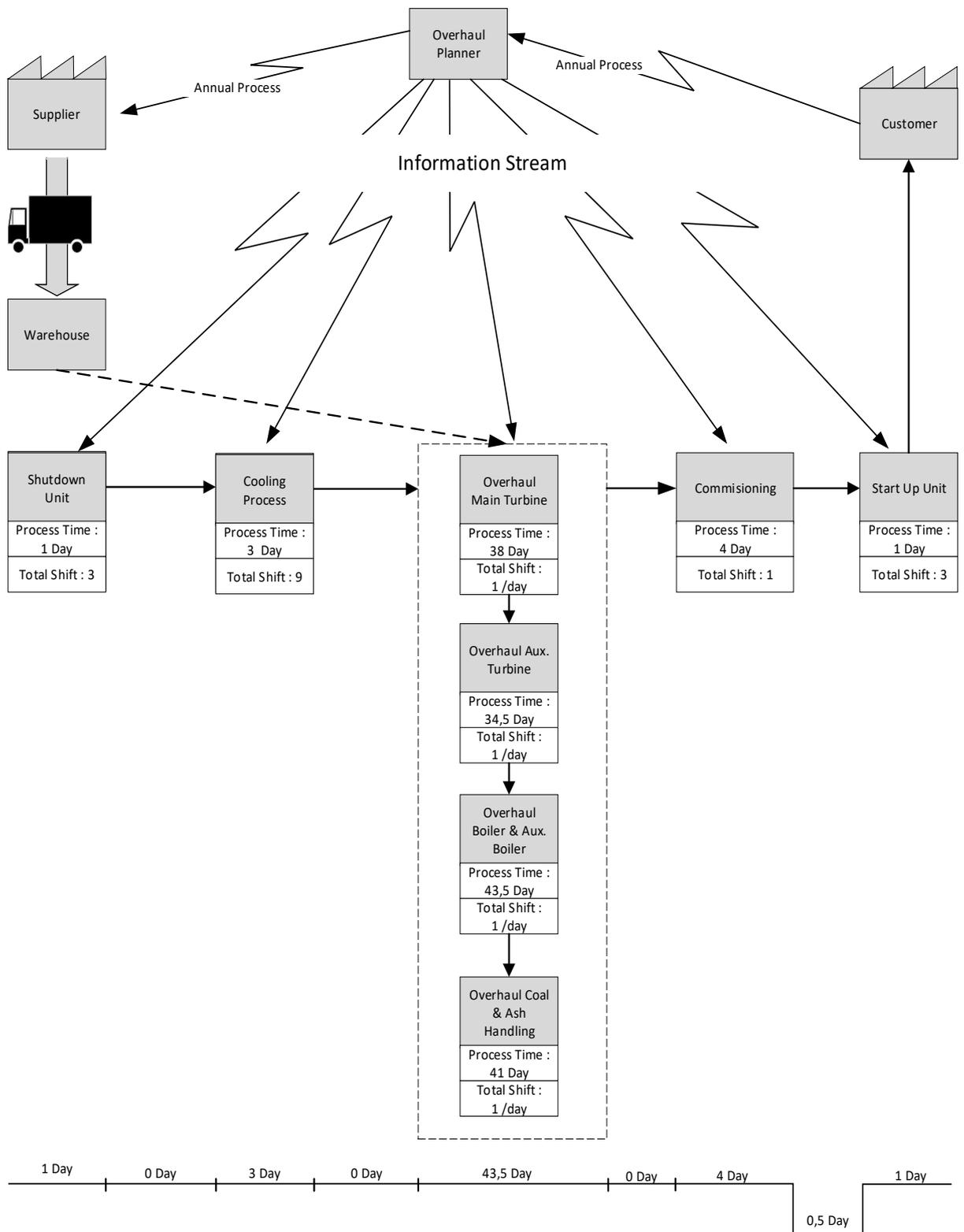
Planned Outage (PO) juga merupakan salah satu komponen perhitungan yang dapat mempengaruhi nilai EAF unit pembangkit. Berdasarkan komponen-komponen yang mempengaruhi nilai EAF, *planned outage* atau yang biasa disebut dengan *overhaul* merupakan komponen yang dapat dilakukan perbaikan dalam prosesnya. Hal ini dikarenakan, *overhaul* merupakan *project* pemeliharaan yang terencana, memiliki *scoope* pekerjaan yang pasti dan dapat diprediksi. Sementara untuk komponen lainnya seperti *derating*, *forced outage* dan *maintenance outage* merupakan komponen yang tidak dapat di control atau terjadi karena terdapat gangguan pada unit.

Pada prosesnya, *overhaul* di PLTU PAITON dibagi menjadi 4 sub sistem yaitu *overhaul main turbine*, *overhaul aux. turbine*, *overhaul boiler & aux. boiler* dan *overhaul coal & ash handling system*.

Pemetaan dengan menggunakan *value stream mapping* (VSM) bermanfaat untuk melihat aliran proses fisik dan informasi pada proses *overhaul* PLTU PAITON. Setelah semua data terkumpul selanjutnya dibuat dalam bentuk aliran informasi dan material dengan menggunakan VSM. VSM ini menunjukkan kondisi aktual yang terjadi pada keseluruhan proses *overhaul* PLTU PAITON yang dapat dilihat pada gambar 4.2. Dimana pada aliran prosesnya menggambarkan aliran sebagai berikut:

1. Pertama-tama *overhaul planner* mengajukan *scheduled overhaul* melalui bagian niaga kepada Bidang Operasi Sistem Kantor Pusat yang selanjutnya akan diteruskan ke *holding* sekaligus *customer* PLTU PAITON dalam hal ini PT. PLN Persero.

2. Selanjutnya PT. PLN Persero akan *me-release schedule overhaul* yang berupa Rencana Operasi Tahunan (ROT) melalui email resmi kepada Bidang Operasi Sistem Kantor Pusat. Informasi dari Kantor Pusat ini selanjutnya akan diteruskan kembali ke bagian niaga dan MO (*Management Outage*) atau bisa disebut *overhaul planner* pada PLTU PAITON. Dalam proses tahun berjalan apabila terjadi kondisi siaga dan diluar perencanaan tahunan yang telah dibuat, maka *schedule overhaul* yang telah ditetapkan pada ROT dapat berubah menjadi lebih maju atau muncur berdasarkan hasil keputusan Rencana Operasi Bulanan (ROB).
3. Selanjutnya bagian MO akan membuat penjadwalan seluruh kegiatan *overhaul* serta kebutuhan material untuk *overhaul*. Selanjutnya list kebutuhan material dibuatkan *requisisi* untuk kemudian diproses oleh bagian *logistic*. Oleh bagian *logistic* pemesanan material kepada suplier dilakukan dengan batas waktu pemesanan sesuai dengan *Term of reference* yang telah dibuat oleh bidang MO.
4. Proses pemesanan material oleh bidang *logistic* dilakukan dengan beberapa cara seperti proses lelang pengadaan dan proses pengadaan langsung. Dengan adanya proses pengadaan yang membutuhkan waktu lama membuat pengadaan material untuk *overhaul* direncanakan dan dilaksanakan sejak 1 tahun sebelum proses *overhaul* dilaksanakan.
5. Dengan adanya persiapan material yang lebih awal artinya proses pemesanan material utama dan persiapan material ini tidak menjadi *waste* dalam proses inti *overhaul*. Material yang telah dipesan datang di *warehouse* PLTU PAITON sesuai dengan *levering* atau *disburse* yang telah ditetapkan, dimana terdapat peraturan maksimal kedatangan material adalah 2 minggu sebelum proses *overhaul* dimulai.



Gambar 4.2. Value stream mapping Proses Overhaul PLTU PAITON

Aliran aktivitas pada proses *overhaul* sesuai dengan gambar 4.2. adalah sebagai berikut:

1. Proses *Overhaul* dimulai dengan proses *shutdown* unit saat *customer* dalam hal ini PT.PLN P2B mengijinkan unit untuk lepas dari sistem. *Shutdown unit* membutuhkan waktu 1 hari (24 jam) dan proses pendinginannya sampai unit siap untuk dilaksanakan perbaikan membutuhkan waktu kurang lebih selama 3 hari (72 jam).
2. Setelah proses pendinginan secara normal selesai maka dimulai proses *overhaul* yang dibagi menjadi 4 sub sistem *overhaul*. 4 sub sistem tersebut adalah *overhaul main turbine*, *overhaul aux. turbine* , *overhaul boiler & aux. boiler* dan *overhaul coal & ash handling system*. Keempat sub sistem ini dimulai dalam waktu yang bersamaan dan harus selesai bersamaan untuk dapat *start up* unit pada waktu yang telah ditetapkan oleh PLN P2B.
3. Proses *overhaul main turbine* dilaksanakan selama 38 hari dengan sistem 1 shift teknisi. Proses *overhaul main turbine* dimulai dengan proses mobilisasi material dan setting crane yang membutuhkan waktu total selama 2 hari. Dilanjutkan dengan pembongkaran turbin dan generator yang membutuhkan waktu total selama 6 hari. Setelah pembongkaran dilakukan dilaksanakan inspeksi, penggantian part yang rusak serta melakukan repair bila dibutuhkan, serangkaian proses ini membutuhkan waktu 9 hari apabila tidak memerlukan repair pekerjaan diluar scope. Untuk proses terakhir yang dilaksanakan pada sub sistem ini adalah *install DCS* , *assembly turbine* dan *assembly generator*, *cleaning condenser* dan *cleaning limbah sisa overhaul* yang membutuhkan waktu total keseluruhan selama kurang lebih 21 hari.
4. Proses *overhaul aux. turbine* dilaksanakan selama 34,5 hari dengan sistem 1 shift teknisi. Proses *overhaul aux. turbine* dimulai dengan mobilisasi material selama 1 hari. Dilanjutkan dengan proses pembongkaran pompa baik pompa dengan kapasitas besar hingga kapasitas kecil. Proses

pembongkaran ini membutuhkan waktu selama 4 – 6 hari. Selanjutnya dilaksanakan proses inspeksi, penggantian part dan repair equipment (bila diperlukan) yang membutuhkan waktu 12 – 18 hari bergantung dari besar kecilnya kapasitas pompa. Apabila diperoleh temuan bersifat major, maka diperlukan waktu tambahan untuk repair material. Paralel dengan aktivitas tersebut dilakukan proses lainnya yaitu inspeksi valve dan repair insituyang membutuhkan waktu selama 12 hari. Setelah keseluruhan aktivitas selesai dilanjutkan dengan proses install DCS, inspeksi elektrik dan pengelolaan sisa limbah proses yang membutuhkan waktu total 14,5 hari.

5. Proses *overhaul boiler & aux. boiler* dilaksanakan selama 43.5 hari dengan sistem 1 *shift* teknisi. Proses *overhaul boiler & aux. boiler* dimulai dengan mobilisasi material selama 1 hari, dilanjutkan dengan pemasangan *scaffolding* yang membutuhkan waktu selama 3 hari. Selanjutnya dilaksanakan inspeksi pipa boiler selama 3 hari dan dilanjutkan dengan pembongkaran pipa boiler yang membutuhkan waktu 6 hari. Setelah dilakukan inspeksi dan pembongkaran , dilanjutkan dengan penggantian pipa boiler selama 12 hari. Setelah proses penggantian pipa dilakukan proses pengujian titik kebocoran dengan cara Xray dan leak test yang membutuhkan waktu selama 3 hari. Apabila masih terjadi kebocoran maka dilakukan perbaikan kembali dan tes ulang. Bersamaan dengan aktivitas *overhaul* pada main boiler , parallel juga dilaksanakan *overhaul* pada *aux. boiler* seperti *pulverizer* dan *fan* yang membutuhkan waktu selama 15 hari. Setelah keseluruhan aktivitas selesai dilanjutkan dengan proses install DCS, inspeksi elektrik dan pengelolaan sisa limbah proses yang membutuhkan waktu total 12,5 hari.
6. Proses *overhaul coal & ash handling system* dilaksanakan selama 41 hari dengan sistem 1 *shift* teknisi. Proses *overhaul coal & ash handling system* dimulai dengan mobilisasi material selama 1 hari. Dilanjutkan dengan persiapan *scaffolding* dan *cleaning ESP* selama 3 hari.Selanjutnya dilaksanakan proses inspeksi, pembongkaran dan penggantian part ESP

yang membutuhkan waktu selama 21 hari. Paralel dengan aktivitas *overhaul* ESP juga dilakukan inspeksi dan perbaikan pada CEMS selama 9 hari. Proses *overhaul* pada *belt conveyor* dan *ship unloader* juga parallel dilaksanakan dengan aktivitas *overhaul* pada ESP dan CEMS yang membutuhkan waktu selama 30 hari. Setelah keseluruhan aktivitas selesai dilanjutkan dengan proses install DCS, inspeksi elektrik dan pengelolaan sisa limbah proses yang membutuhkan waktu total 16 hari.

4.3.2. Pemetaan pemborosan dengan *Process Activity Mapping*

Process Activity Mapping merupakan sebuah *tool* untuk menggambarkan proses *overhaul* pada PLTU PAITON yang dilakukan secara jelas per detail langkah demi langkah. Tujuan penggunaan *Process Activity Mapping* untuk mengetahui klasifikasi aktivitas yang bernilai tambah maupun aktivitas yang tidak bernilai tambah, baik yang bisa dikurangi maupun tidak. *Tool* ini dapat memudahkan untuk melihat *flow process* dan identifikasi terjadinya *waste* serta memperbaiki *value-added flow process*. Penggambaran *mapping* ini dapat membantu identifikasi adanya *waste* atau pemborosan sepanjang *value stream*, serta mengetahui apakah proses *overhaul* dapat dibuat lebih efisien, dan mengidentifikasi bagian-bagian proses yang perlu dilakukan perbaikan dengan mengeliminasi aktivitas yang tidak perlu. Berdasarkan data yang terkumpul melalui observasi seluruh proses *overhaul* dan berdasarkan data *overhaul schedule* yang telah dibuat oleh bagian MO, selanjutnya diolah menjadi *Process Activity Mapping* dari proses *overhaul* PLTU PAITON pada Tabel 4.2 berikut. Data *overhaul schedule* berisikan aktivitas pemeliharaan *overhaul* mulai dari *shutdown unit* hingga *start up unit*. Dibagi menjadi 4 sub sistem utama pada proses *overhaul* yaitu *Main Turbine*, *Auxiliary Turbine*, *Boiler & Auxiliary Boiler* dan *Coal & Ash Handling*.

Tabel 4.2. *Process Activity Mapping*

No.	Aktivitas	Waktu (jam)	Waktu (Hari)	Aktivitas	Klasifikasi
A	Shutdown Unit		4		
1	Shutdown Unit	24	1	O	NNVA

2	Natural Cooling	72	3	O	NNVA
B	Overhaul Main Turbine		38		
1	Pemindahan Material	8	1	T	NNVA
2	Menunggu proses pemindahan material	0.5		D	NVA
3	Istirahat melebihi batas waktu	2		D	NVA
4	Setting Crane	8	1	D	NNVA
5	Menunggu tim setting lengkap	0.5		D	NVA
6	Istirahat melebihi batas waktu	2		D	NVA
7	Mencari tools setting	0.5		D	NNVA
8	Pembongkaran Turbin	24	3	I	NNVA
9	Menunggu tim lengkap	1.5		D	NVA
10	Istirahat melebihi batas waktu	6		D	NVA
11	Mencari tools	1.5		D	NVA
12	Pembongkaran Generator	24	3	I	NNVA
13	Menunggu tim lengkap	1.5		D	NVA
14	Istirahat melebihi batas waktu	6		D	NVA
15	Mencari tools	1.5		D	NVA
16	Inspeksi kondisi turbin & Generator	24	3	I	VA
17	Penggantian Part Turbin & Generator	48	6	I	VA
18	Assembly turbin	24	3	I	VA
19	Assembly Generator	24	3	I	VA
20	Instal DCS	48	6	I	VA
21	Inspeksi Elektrik	24	3	I	VA
22	Menunggu informasi dari tim mekanik	3		D	NNVA
23	Cleaning Condensor	24	3	O	VA
24	Pengelolaan Limbah sisa OH turbine	24	3	S	NNVA
25	Melakukan pemilahan limbah yang tidak sejenis	8	1	D	NNVA
C	Overhaul Aux. turbine		34.5		
1	Mobilisasi Material	8	1	T	NNVA
2	Pembongkaran Pompa	56	7	I	NNVA
3	Menunggu tim lengkap	3.5		D	NVA
4	Istirahat melebihi batas waktu	14		D	NVA
5	Mencari tools	3.5		D	NVA
6	Inspeksi Pompa	96	12	I	VA
7	Melakukan pengulangan <i>repair</i> pada part	24	3	D	VA
8	Assembly Boiler Feed Pump	32	10	I	VA
9	Inspeksi Valve	96	12	I	VA

10	Melakukan pengulangan <i>repair</i> pada part	24	3	D	VA
11	Instal DCS	48	6	I	VA
12	Inspeksi Elektrik	44	5.5	I	VA
13	Menunggu informasi dari tim mekanik	3		D	NVA
14	Pengelolaan Limbah sisa OH Aux.Turbine	24	3	S	NNVA
15	Melakukan pemilahan limbah yang tidak sejenis	8	1	D	VA
D	Overhaul Boiler dan Aux.Boiler		43.5		
1	Mobilisasi Material	8	1	T	NNVA
2	Cooling Boiler	72	3	O	NNVA
3	Pemasangan Scaffolding	24	3	I	NNVA
4	Pembongkaran pipa boiler	48	6	I	NNVA
5	Inspeksi Boiler	23	3	I	VA
6	Penggantian Part Pipa Boiler	96	12	I	VA
7	X-Ray	24	2	I	VA
8	Leak Test	12	1	I	VA
9	Memperbaiki pipa yang masih bocor setelah leak test	48	2	D	VA
10	Pembongkaran Pulverizer & Fan	48	6	I	NNVA
11	Menunggu tim lengkap	3.5		D	NVA
12	Istirahat melebihi batas waktu	12		D	NVA
13	Mencari tools	3.5		D	NVA
14	Inspeksi Pulverizer & Fan	24	3	I	VA
15	Penggantian Part Pulverizer & Fan	48	6	I	VA
16	Melaksanakan <i>repair</i> ulang part yang rusak	24	3	D	VA
17	Assembly Pulverizer & Fan	24	3	I	VA
18	Instal DCS	48	6	I	VA
19	Inspeksi Elektrik	30	3.5	I	VA
20	Menunggu informasi dari tim mekanik	3		D	NVA
21	Pengelolaan Limbah sisa OH Boiler & Aux.Boiler	24	3	S	NNVA
22	Melakukan pemilahan limbah yang tidak sejenis	8			
E	Overhaul Coal & Ash Handling		41		
1	Mobilisasi Material	8	1	T	NNVA
2	Menunggu proses mobilisasi	0.5		D	NVA
3	Cleaning ESP	24	3	O	VA
4	Inspeksi ESP & coal handling system	48	6	I	VA

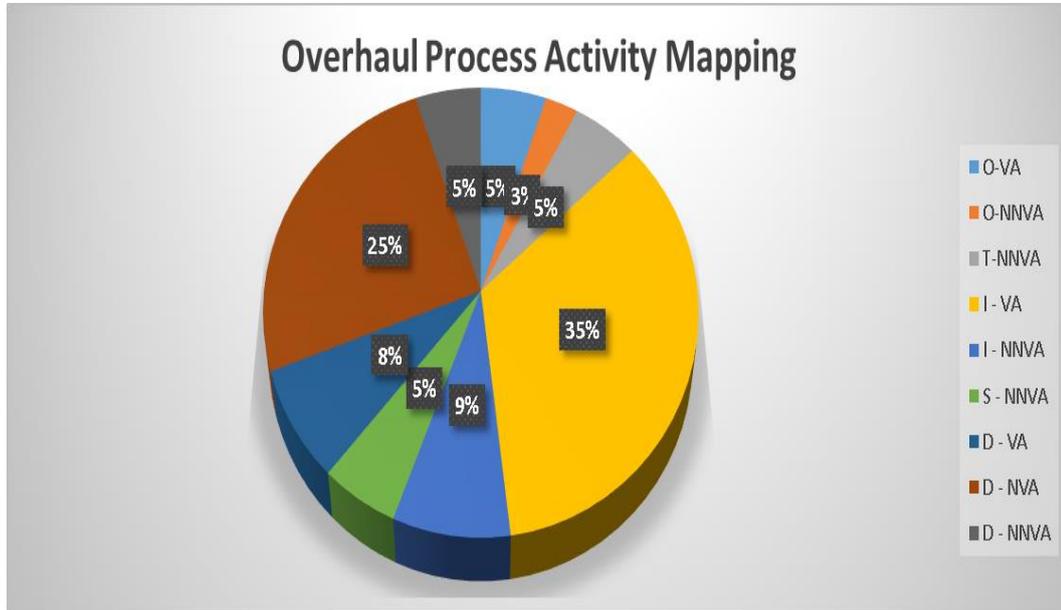
5	Penggantian part ESP & coal handling system	120	15	I	VA
6	Inspeksi CEMS	24	3	I	VA
7	Penggantian part CEMS	48	6	I	VA
8	Instal DCS	48	6	I	VA
9	Inspeksi Elektrik	48	6	I	VA
10	Menunggu informasi dari tim mekanik	3		D	NVA
11	Pengelolaan Limbah sisa OH Aux.Turbine	32	4	S	NNVA
12	Melakukan pemilahan limbah yang tidak sejenis	8	1	D	VA
F	Commisioning Test	80	10	O	VA
G	Start Up Unit	24	1	O	VA

Pada pengelompokan aktivitas dibagi menjadi lima kategori, yaitu O (*operation*), T (*transport*), I (*inspection*), S (*storage*) dan D (*delay*). Dari tabel *Process Activity Mapping* klasifikasi dapat dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu aktivitas yang bernilai tambah atau *value added* (VA), aktivitas yang tidak bernilai tambah atau *non-value added* (NVA), dan aktivitas yang tidak bernilai tambah tetapi diperlukan dalam proses produksi atau *necessary non-value added* (NNVA).

Berdasarkan PAM pada tabel 4.3 diperoleh hasil operasi dengan klasifikasi *value added* adalah 2 aktivitas, operasi dengan klasifikasi *non value added* adalah 2 aktivitas. Aktivitas transfer dengan klasifikasi *necessary non value* adalah 4 kegiatan. Aktivitas inspeksi dengan klasifikasi *value added* adalah 26 kegiatan, sedangkan aktivitas inspeksi dengan klasifikasi *necessary non value* adalah 6 kegiatan. Aktivitas *storage* dengan klasifikasi *non-value added* adalah 4 aktivitas. Dan untuk aktivitas delay dengan klasifikasi, *non-value added* diperlukan 26 aktivitas.

Pada hasil PAM terdapat aktivitas operasi dengan klasifikasi *non value added*, hasil ini berbeda dengan hasil PAM pada manufaktur yang menghasilkan produk jadi. Hal ini karena PAM digunakan untuk memetakan aktivitas pada proses *overhaul*, dimana proses inti dari *overhaul* adalah

inspection dan perbaikan. Keseluruhan rekap aktivitas tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3. Grafik *Overhaul Process Activity Mapping*

Berdasarkan pemetaan proses *overhaul* yang digambarkan dalam *Value Stream Mapping* pada Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa untuk melaksanakan proses *overhaul semi inspection* (SE) membutuhkan waktu selama 60 hari. Pada VSM tersebut dapat dilihat bahwa waktu proses pembuatan *overhaul scheduled*, pengadaan dan penerimaan *material* dari *supplier* hingga proses *unloading* ke *Warehouse* tidak dimasukkan ke dalam *timeline process lead time* proses produksi. Hal ini disebabkan karena proses tersebut hanyalah proses penerimaan *material* ke dalam *warehouse* saja. Sedangkan waktu *lead time* yang diukur dalam sebuah VSM dimulai ketika proses *shutdown* unit hingga proses *start up* unit.

Setiap detail proses *overhaul* dilakukan pemetaan dengan menggunakan *process activity mapping* (PAM). Berdasarkan hasil PAM diperoleh tahap aktivitas yang terjadi mulai dari operasi, transportasi, inspeksi, *delay*, dan *storage* kemudian mengelompokkannya ke dalam tipe-tipe aktivitas yang ada mulai dari *value adding activities* (VA), *necessary but non-value adding*

activities (NNVA), dan *non-value adding activities* (NVA). Prosentase aktivitas berdasarkan jumlah aktivitas dan waktu aktivitas dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Hasil Rekapitulasi Klasifikasi dan Pengelompokan Seluruh Aktivitas

No	Klasifikasi - Aktivitas	Jumlah	Prosentase	Waktu (Jam)	Prosentase
1	O-VA	4	5%	152	7%
2	O-NNVA	2	3%	96	5%
3	T-NNVA	4	5%	32	2%
4	I – VA	23	31%	1093	54%
5	I – NNVA	9	13%	304	15%
6	S – NNVA	4	5%	104	5%
7	D – VA	6	8%	136	7%
8	D – NVA	19	25%	75.5	4%
9	D – NNVA	4	5%	19.5	1%
Total		75	100%	2007	100%

Total jumlah keseluruhan aktivitas yaitu 75 aktivitas, aktivitas bernilai tambah (VA) terdapat 33 aktivitas yaitu aktivitas *operation* dengan prosentase 5%, aktivitas *inspection* dengan prosentase 31% dan aktivitas *delay* dengan prosentase 8%. Aktivitas aktivitas yang tidak bernilai tambah (NVA) terdapat 19 aktivitas yaitu aktivitas *delay* dengan prosentase 25%. Kemudian aktivitas yang tidak bernilai tambah tetapi diperlukan (NNVA) terdapat 23 aktivitas yaitu aktivitas *operation* dengan prosentase 3%, aktivitas *transport* dengan prosentase 5%, aktivitas *inspection* dengan prosentase 13% dan aktivitas *delay* dengan prosentase 5%.

Prosentase aktivitas berdasarkan waktu aktivitas dapat dilihat pada Tabel 4.9 total waktu aktivitas yaitu 2007 jam. Total waktu tersebut juga termasuk waktu – waktu aktivitas yang dilakukan secara *parallel*. Aktivitas bernilai tambah (VA) sebesar 1381 jam dengan prosentase 68 %. Aktivitas yang tidak bernilai tambah (NVA) sebesar 75.5 jam dengan prosentase 4% hal ini terjadi karena terjadi proses *waiting* pada beberapa subproses *overhaul*. Kemudian

aktivitas yang tidak bernilai tambah tetapi diperlukan (NNVA) sebesar 555.5 jam dengan prosentase 28 %.

Besarnya jumlah *non-value added activity* (NNVA) disebabkan oleh proses *setting* alat, mobilisasi material, *shutdown* dan *startup unit*, proses pembongkaran serta *cooling boiler*. Aktivitas tersebut merupakan aktivitas yang tidak bernilai tambah tetapi tetap harus dilakukan dalam serangkaian proses *overhaul*. Berdasarkan hasil dari *process activity mapping* maka pada proses *overhaul* membuktikan bahwa masih banyak aktivitas yang tidak bernilai tambah tetapi perlu untuk dilakukan.

Pada proses serangkaian proses *overhaul* aktivitas yang tidak memiliki nilai tambah sejumlah 25 aktivitas yaitu sebesar 75.5 jam proses *overhaul*, hal ini yang diklasifikasikan sebagai *delay* pada proses produksi karena proses *overhaul* menjadi tidak efektif selama 75.5 jam. Kondisi ini terjadi dikarenakan, adanya aktivitas *waiting* selama 23,5 jam, dan total waktu untuk mencari *tools* selama 10 jam sepanjang proses *overhaul*. Aktivitas *non value added* yang menyebabkan *delay* lainnya adalah istirahat melebihi batas waktu selama 42 jam Kondisi ini disebabkan oleh para teknisi yang bertugas sebagai pengawas dan pelaksana pekerjaan terlambat 1 – 2 jam per harinya. Dimana seharusnya istirahat dimulai jam 11.30 – 12.30, justru istirahat dimulai lebih awal dan datang lebih terlambat. Berdasarkan hasil dari *process activity mapping* maka pada proses *overhaul* membuktikan bahwa masih banyak aktivitas yang tidak bernilai tambah yang membutuhkan perbaikan pada prosesnya untuk dapat mencapai target perusahaan tanpa menambah *cost* dan *manhour* pada pekerjaan inti.

Hasil dari pemetaan menggunakan VSM dan PAM diidentifikasi pemborosan yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. *Overproduction* : pada aktivitas *overhaul* tidak terjadi pemborosan karena pada PLTU PAITON tidak memproduksi barang jadi.
2. *Defect* : Terjadi kerusakan part setelah perbaikan.

3. *Unnecessary inventory* : Melaksanakan *repair* ulang *part* yang rusak yang disebabkan kondisi material.
4. *Inappropriate processing* : Terdapat *tools* yang mengalami kerusakan
5. *Excessive transportation* : Pemindahan material secara bertahap dan tidak ditata secara 5S
6. *Waiting* : Menunggu proses pemindahan material , menunggu tim lengkap, menunggu informasi dari tim mekanik & istirahat melebihi batas waktu.
7. *Unnecessary motion* : Mencari *tools* setting

4.3.3. Pemetaan pemborosan dengan *Borda Count Method*

Penentuan *waste* kritis pada penelitian ini diklasifikasikan menjadi 7 *waste* yaitu *overproduction*, *defects*, *unnecessary inventory*, *inappropriate processing*, *excessive transportation*, *waiting* dan *unnecessary motion* dengan menggunakan *Borda Count Method* (BCM). Penggunaan metode BCM ini dengan melakukan penyebaran kuesioner (lampiran 1) kepada responden sebanyak lima orang kepada bagian yang terkait dan bertanggung jawab langsung pada proses *overhaul*, yaitu *manager* pemeliharaan, *supervisor management outage*, *supervisor* pemeliharaan mesin , teknisi ahli bidang mesin dan staff ahli *management outage*. Ketentuan pemberian skor yaitu nilai 1 merupakan nilai tertinggi atau *waste* yang sering/banyak terjadi sedangkan nilai 7 merupakan nilai terendah atau *waste* yang jarang terjadi pada proses di rantai produksi. Hasil dari kuesioner BCM 7 *waste* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Penentuan limbah kritis yang kelebihan produksi, cacat, inventaris yang tidak perlu, pemrosesan yang tidak tepat, transportasi yang berlebihan, menunggu dan gerakan yang tidak perlu dengan menggunakan *Borda Count Method* (BCM).

Tabel 4.4. Hasil 7 pemborosan yang terjadi berdasarkan BCM

Waste	Responden				
	Manager of Maintenance	SPV S Outage	SPV S Mech.	Mech. Engineer	Analyst of Outage
<i>Overproduction</i>	-	-	-	-	-
<i>Defects</i>	6	4	6	4	6
<i>Unnecessary Inventory</i>	1	1	1	5	4
<i>Inappropriate Processing</i>	4	5	4	6	5
<i>Excessive Transportation</i>	3	6	5	3	3
<i>Waiting</i>	2	2	3	1	2
<i>Unnecessary Motion</i>	5	3	2	2	1

Berdasarkan hasil kuesioner 7 pemborosan berdasarkan BCM pada tabel 4.4, hasil kalkulasi peringkat dicari menggunakan perhitungan nilai dan skor pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Value Calculation for BCM

Value	Score
1	7
2	6
3	5
4	4
5	3
6	2
7	1

Kemudian hasil yang diperoleh dari 7 peringkat limbah dalam proses produksi di PLTU PAITON, dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Critical waste ranking results

<u>Waste</u>	<u>TOTAL</u>	<u>Ranking</u>
Overproduction	0	7
Defects	14	6
Unnecessary Inventory	28	2
Inappropriate Processing	16	5
Excessive Transportation	20	4
Waiting	30	1
Unnecessary Motion	25	3

Berdasarkan hasil dari *Borda Count Method*, ditemukan bahwa 3 peringkat pemborosan kritis tertinggi adalah *waiting* dengan skor 30, pemborosan *Unnecessary Inventory* dengan skor 28 dan pemborosan *Unnecessary Motion* yang tidak perlu dengan skor 25. Ini terjadi karena ketiga *waste* tersebut memiliki dampak pemborosan yang signifikan pada proses perbaikan pembangkit listrik PAITON, yang tidak ergonomis dalam pengaturan stasiun kerja, alat / komponen di luar jangkauan seorang teknisi, ada kesalahan koordinasi, serta bahan yang melebihi volume penyimpanan.

Berdasarkan hasil dari kuesioner identifikasi pemborosan kritis dengan *Borda Count Method* yang ditunjukkan pada sub bab 4.3.3, terlihat bahwa pemborosan kritis yang segera perlu ditangani pada proses *overhaul* PLTU.PAITON adalah pemborosan *waiting*, *unnecessary inventory* dan *unnecessary motion*. Hal ini terjadi karena ketiga pemborosan tersebut memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap proses *overhaul*, yaitu mulai dari proses *shutdown* unit, proses perbaikan sistem pembangkit, *commissioning* hingga proses *startup* unit.

Pada pemborosan *waiting* dapat dilihat terjadi pada proses perbaikan yang terbagi menjadi 4 area yaitu *main turbine*, *aux. turbine*, *boiler & aux. boiler* dan *coal & ash handling system*. Hal ini dibuktikan dengan adanya aktivitas menunggu proses pemindahan material, menunggu tim lengkap, menunggu informasi dari tim mekanik dan menunggu proses mobilisasi material. Selain itu, istirahat yang lebih dari jadwal seharusnya juga merupakan salah satu pemborosan yang menyebabkan *waiting* pada serangkaian proses *overhaul*. Karena dampak yang dihasilkan oleh pemborosan ini bersifat berantai / *domino*, karena menimbulkan permasalahan *delay* pada proses selanjutnya dalam *overhaul* yang berpengaruh pada kurang efektifnya waktu pada proses *overhaul* maka pemborosan *waiting* ini menjadi prioritas untuk segera diselesaikan dan ditangani untuk dapat membantu perusahaan melaksanakan *overhaul*nya menjadi lebih cepat.

Pada pemborosan *unnecessary inventory* dapat dilihat bahwa pemborosan ini terjadi di area *warehouse* PLTU PAITON. Hal ini dibuktikan oleh adanya sejumlah material dengan kategori *deadstock* dan kemudian menjadi material baik tidak berguna (material T). Kategori material *deadstock* merupakan material yang sudah dibeli dan menjadi *stock* gudang lebih dari 2 tahun. Sedangkan material T ini merupakan yang masih memiliki kondisi dapat digunakan tetapi tidak dapat digunakan kembali karena *equipment* utama pada pembangkit yang berubah spesifikasi atau mengalami inovasi. Selain itu, material yang terlalu lama disimpan atau tidak dipakai melebihi dari *lifetime* material tersebut juga mengalami kondisi kerusakan. Contohnya adalah bearing yang penyimpanannya lebih dari *lifetime* maka ketika bearing dipasang pada *equipment* seperti pompa akan menyebabkan kerusakan pada pompa menjadi lebih cepat daripada waktu seharusnya. Apabila kondisi ini terjadi maka akan berpengaruh pada kualitas perbaikan yang telah dilaksanakan pada proses *overhaul* dan menimbulkan pemborosan lainnya yaitu *defect*. Oleh karena itu pemborosan *unnecessary inventory* ini harus segera ditangani, agar tidak menimbulkan pemborosan lainnya.

Pada pemborosan *unnecessary motion* dapat dilihat bahwa pemborosan ini terjadi di area unit *overhaul* PLTU PAITON. Hal ini dibuktikan dengan adanya aktivitas mencari *tools* yang digunakan pada proses *overhaul*. Peletakkan *tools* yang masih jauh dari area *equipment* yang dilakukan perbaikan menyebabkan adanya pergerakan yang berlebih oleh teknisi. Kondisi dimana *tools* tidak ditata sesuai dengan kegunaan dan *toollist* juga dapat membuat proses mencari *tools* membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu, material yang diperlukan saat proses perbaikan yang masih berada pada *warehouse* dan tidak masuk dalam *list* utama material yang diganti juga menimbulkan adanya pergerakan tambahan. Kondisi ini juga dapat menimbulkan pemborosan lainnya yaitu *waiting*. Karena dampak yang dihasilkan oleh pemborosan ini bersifat berantai / *domino*, *unnecessary motion* ini juga menjadi prioritas untuk segera diselesaikan dan ditangani

untuk dapat membantu perusahaan melaksanakan overhaulednya menjadi lebih cepat dan efektif.

Ketiga pemborosan kritis yang terjadi merupakan kondisi yang dapat diperbaiki untuk mempercepat proses pelaksanaan *overhaul*. Dengan percepatan proses *overhaul*, maka nilai EAF dari PLTU Paiton dapat meningkat atau lebih tinggi apabila dibandingkan dengan pelaksanaan *overhaul* selama 53 hari. Dimana total waktu dari pemborosan kritis berdasarkan *borda count method* adalah selama 148 jam atau selama 6 hari 4 jam. Apabila pemborosan ini dihilangkan maka dapat merubah waktu *overhaul* menjadi 47 hari dan diperoleh nilai EAF sebesar 90.56%. Dengan nilai EAF sebesar 90.56% maka PLTU PTN tetap berada pada TOP 10% NERC.

4.3.4. Pemetaan limbah dengan *Life Cycle Inventory*

Tujuan dari *inventory* adalah untuk menunjukkan pengaruh lingkungan per bagian dari *life cycle*. *Life Cycle Inventory* (LCI) baik digunakan dalam pencarian area atau sumber limbah yang memiliki kesempatan besar untuk melakukan perbaikan kualitas lingkungan melalui konservasi sumber daya dan pengurangan emisi. Pada tahap ini dibuat model yang dapat menggambarkan *input* dan *output* sistem melalui fase produksi, transportasi, penggunaan dan disposal. Hasil dari tahapan ini dapat dilihat pada tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7. *Life Cycle Inventory*

<i>Area</i>	<i>Boundaries</i>	<i>Waste</i>
<i>Main Turbine</i>	<i>Hazardous Waste</i>	<i>Lubricant</i>
		<i>Welding Electrodes</i>
		<i>Contaminated cotton waste</i>
	<i>Solid waste</i>	<i>Masker</i>
		<i>Scrap metal</i>
<i>Auxiliary Turbine</i>	<i>Waste water</i>	<i>Aux. Turbine cleaning</i>
		<i>Domestic waste water</i>
	<i>Hazardous Waste</i>	<i>Lubricant</i>
		<i>Contaminated cotton waste</i>

		<i>Welding Electrodes</i>
		<i>Plastic</i>
	<i>Solid waste</i>	<i>Masker</i>
		<i>Scrap metal</i>
<i>Boiler & Aux. boiler</i>	<i>Waste water</i>	<i>Boiler blowdown</i>
		<i>Aux. boiler cleaning</i>
		<i>Slagging spray</i>
		<i>Domestic waste water</i>
	<i>Hazardous Waste</i>	<i>Lubricant</i>
		<i>Contaminated cotton waste</i>
		<i>Welding Electrodes</i>
		<i>Plastic</i>
	<i>Solid waste</i>	<i>Masker</i>
		<i>Scrap metal</i>
<i>Radiation</i>	<i>X-Ray</i>	
<i>Coal & Ash Handling</i>	<i>Waste water</i>	<i>Coal run off pond</i>
		<i>Ash run off pond</i>
		<i>Domestic waste water</i>
		<i>Cleaning area</i>
	<i>Gas emission</i>	<i>Coal dan Ash Dust</i>
		<i>Ash transport</i>
	<i>Hazardous waste</i>	<i>Fly ash & bottom ash</i>
		<i>Lubricant</i>
		<i>Contaminated cotton waste</i>
		<i>Welding Electrodes</i>
	<i>Solid waste</i>	<i>Plastic</i>
		<i>Masker</i>
		<i>Scrap metal</i>
<i>Generator Transformer</i>	<i>Hazardous Waste</i>	<i>Lubricant</i>
		<i>Contaminated cotton waste</i>
		<i>Plastic</i>
<i>Electrical</i>	<i>Solid waste</i>	<i>Wire</i>
		<i>Masker</i>
		<i>Cotton waste</i>
<i>Control System</i>	<i>Solid waste</i>	<i>Wire</i>
		<i>Masker</i>
		<i>Cotton waste</i>

		<i>Control Instrument Equipment Receptacle</i>
--	--	--

Dari hasil inventaris siklus hidup dalam tabel 4.7, limbah dikelompokkan menjadi beberapa jenis limbah tergantung pada lokasi perbaikan. Limbah yang muncul adalah limbah berbahaya, limbah cair, emisi gas, limbah padat, dan radiasi. Dari lima jenis limbah yang muncul, hasilnya menunjukkan bahwa limbah berbahaya memerlukan penanganan khusus dalam proses pembuangannya. Di mana limbah berbahaya harus dibuang melalui pihak khusus yang memiliki izin khusus untuk pengelolaan limbah B3 dari pemerintah. Timbulan limbah berbahaya dan beracun membutuhkan penanganan khusus ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Total Limbah B3

Waste	Treatment	Unit	2016	2017	2018	2019
			Total Waste	Total Waste	Total Waste	Total Waste
Lubricant	Reused	Ton	40.32	31.86	34.65	34.65
Contaminated cotton waste	Dismissed	Ton	0.109	0.443	0.296	0.859
Bateray	Dismissed	Ton	0.042	0.016	0.016	0.016
Welding Electrodes	Dismissed	Ton	0.025	0.025	0.025	0.025
Plastic	Dismissed	Ton	0.05	0.05	0.05	0.05

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah timbulan limbah yang dihasilkan pada proses *overhaul* untuk kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) diperoleh nilai biaya pengelolaan limbah seperti pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Biaya Limbah

Waste	Treatment	Cost/ ton	2016	2017	2018	2019
			Cost	Cost	Cost	Cost
Lubricant	Reused	0	0	0	0	0
Contaminated cotton waste	Dismissed	16500000	1,798,500.00	7,309,500.00	4,884,000.00	14,173,500.00
Bateray	Dismissed	33000000	1,386,000.00	528,000.00	528,000.00	528,000.00
Welding Electrodes	Dismissed	11000000	275,000.00	275,000.00	275,000.00	275,000.00
Plastic	Dismissed	11000000	550,000.00	550,000.00	550,000.00	550,000.00

Pada tabel 4.9 terlihat jumlah biaya yang muncul untuk pengelolaan limbah B3 pada PLTU PAITON. Untuk *lubricant* tidak membutuhkan biaya

pelimbahan dikarenakan limbah *lubricant* dimanfaatkan kembali oleh pihak yang memiliki ijin pemanfaat.

Untuk limbah, *bateray*, *welding electrodes* dan *plastic* membutuhkan biaya dalam proses pengolahannya oleh pihak yang memiliki izin pengolahan limbah B3. Limbah *contaminated cotton waste* membutuhkan biaya pelimbahan sebesar 1.650.000 per ton. Limbah *bateray* membutuhkan biaya pelimbahan sebesar 3.300.000 per ton. Limbah *welding electrodes* membutuhkan biaya pelimbahan sebesar 1.100.000 per ton. Dan untuk limbah *plastic* membutuhkan biaya pelimbahan sebesar 1.100.000 per ton.

Dilihat dari jumlah limbah yang timbul dengan jumlah biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan , maka limbah *contaminated cotton waste* memiliki biaya limbah terbesar pada tahun 2019 yaitu sebesar Rp 14.173.500,00. Sementara untuk *bateray*, *welding electrodes* dan *plastic* memiliki nilai biaya pelimbahan dibawah Rp. 1000.000,00. Berdasarkan biaya pelimbahan yang terhitung maka inovasi untuk mengurangi *contaminated cotton waste* diperlukan untuk dapat meminimalisir jumlah dan biaya limbah.

BAB V

ANALISA DAN REKOMENDASI

Pada sub bab ini dijelaskan mengenai tahap analisa dari Value Stream Mapping dan Process Activity Mapping, analisa penentuan waste kritis dengan Borda Count Method, Root Cause Analysis, penentuan alternatif solusi perbaikan pada sistem *overhaul* dengan menggunakan konsep *lean thinking*, dan penentuan rekomendasi perbaikan yang layak dilakukan dengan menggunakan 5S.

5.1. Analisa Akar Penyebab Masalah dengan 5 *Whys's Analysis*

Analisa akar penyebab permasalahan yang memicu terjadinya pemborosan kritis dengan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) dengan menggunakan *5Why's Analysis* melibatkan beberapa *expert* di perusahaan. *Expert* yang dilibatkan dalam *brainstorming* ini adalah *supervisor management outage* (bertanggung jawab dalam perencanaan proses *overhaul*), *supervisor Inventory dan cataloger* (bertanggung jawab dalam proses penyimpanan material dan perencanaan pengadaan material) dan *supervisor lingkungan* (bertanggung jawab dalam proses pengelolaan limbah dan 5S) . Berikut ini merupakan hasil *brainstorming 5Why's* untuk *waste waiting* dan *waste defects* yang ditunjukkan pada Tabel 4.10. Hasil analisa akar penyebab permasalahan *waste* kritis ini berdasarkan diskusi dan keadaan aktual yang terjadi pada proses *overhaul* di PLTU PAITON.

Tabel 5.1. 5 Why's untuk pemborosan *waiting*, *unnecessary inventory* dan *unnecessary motion*

No.	Waste	Sub Waste	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
1	<i>Waiting</i>	Proses <i>Overhaul</i> tidak efektif	Proses terlambat (<i>downtime</i> proses)	Menunggu material dan <i>tools</i>	Letak material dan <i>tools</i> yang tidak berada di dekat <i>equipment</i> yang diperbaiki	Material berada di <i>warehouse</i>	Inventarisasi kebutuhan material dan <i>tools</i> yang belum lengkap
				Menunggu <i>manhour</i>	Istirahat melebihi batas waktu	Belum dilaksanakannya 5S secara optimal pada <i>tools</i>	
2	<i>Unnecessary inventory</i>	Kerusakan <i>equipment</i> lebih cepat	Material yang digunakan sudah melebihi <i>lifetime</i> .	Material yang digunakan disimpan terlalu lama	Belum menerapkan FIFO sepenuhnya	NA	NA
					<i>Planner</i> pemeliharaan belum melaksanakan monitoring dari barang yang di <i>requisisi</i>	Kurang koordinasi dengan divisi <i>Inventory</i>	NA
3	<i>Unnecessary Motion</i>	Proses pencarian material dan <i>tools</i> lama	Terjadi pengulangan pencarian material dan <i>tools</i>	Aliran informasi belum optimal	Belum dilaksanakannya 5S secara optimal pada <i>tools</i>	NA	NA
		Terjadi pengulangan repair material	Kesalahan pemasangan yang menyebabkan merusakkan	Tidak membaca SOP Perbaikan <i>equipment</i>	SOP & IK tidak semua berada pada area kerja	NA	NA

Berdasarkan Tabel 5.1. dapat dilihat pada *sub waste* untuk *waste waiting* yaitu proses *overhaul* tidak efektif atau terjadi *bottleneck* pada proses *overhaul* disebabkan oleh beberapa akar permasalahan, yaitu terjadi keterlambatan proses yang diakibatkan oleh menunggu material dan *tools* serta menunggu *manhour*. Menunggu material dan *tools* disebabkan oleh beberapa kondisi yaitu letak material dan *tools* yang tidak berada di dekat *equipment* dikarenakan material berada di *warehouse* yang membutuhkan waktu untuk mobilisasi material serta belum dilaksanakannya 5S secara optimal pada *tools*. Hingga diperoleh akar masalah dari pemborosan *waiting* ini adalah inventarisasi kebutuhan material dan *tools* yang belum lengkap serta kompensasi *overtime*. Kompensasi *overtime*

menjadi salah satu kemungkinan yang menyebabkan keterlambatan *manhour* pada saat istirahat. Karena dengan *overtime*, *manhour* akan memperoleh tambahan pendapatan.

Pada pemborosan *unnecessary inventory* memiliki *sub waste* yaitu kerusakan *equipment* lebih cepat. Kondisi ini disebabkan karena material yang digunakan pada proses perbaikan sudah melebihi *lifetime*. Hal ini dikarenakan material yang digunakan disimpan terlalu lama yang diakibatkan oleh belum menerapkan FIFO sepenuhnya dan *planner* pemeliharaan belum melaksanakan monitoring dari barang yang di *requisisi*. *Monitoring* belum dapat dilaksanakan secara maksimal dikarenakan kurangnya koordinasi antara *overhaul planner* dengan divisi *inventory* terkait material-material yang harus segera digunakan dan diserap secara keuangan.

Pada pemborosan *unnecessary motion* memiliki *sub waste* yang terbagi menjadi dua yaitu proses pencarian material dan tools lama serta terjadi pengulangan *repair* material. Pada *sub waste* pertama yaitu proses pencarian material dan tools lama disebabkan oleh terjadi pengulangan pencarian material dan tools. Pemborosan ini diakibatkan karena aliran informasi belum optimal. Hingga diperoleh akar masalah dari *sub waste* pemborosan *unnecessary motion* yang pertama ini adalah belum dilaksanakannya 5S secara optimal pada tools. Pada *sub waste* kedua yaitu terjadi pengulangan *repair* material disebabkan oleh kesalahan pemasangan yang menyebabkan kerusakan. Pemborosan ini diakibatkan karena tidak membaca SOP Perbaikan *equipment*. Hingga diperoleh akar masalah dari *sub waste* pemborosan *unnecessary motion* yang kedua ini adalah SOP & IK tidak semua berada pada area kerja *overhaul*.

5.2. Rekomendasi Perbaikan

Setelah didapatkan akar permasalahan dari tiap pemborosan kritis menggunakan *Root Cause Analysis* maka dapat ditentukan akar permasalahan mana yang perlu segera ditangani untuk diberikan rekomendasi perbaikan. Rekomendasi perbaikan ini nantinya diharapkan dapat mengurangi maupun mengeliminasi pemborosan yang terjadi sehingga proses *overhaul* lebih efisien.

Pemilihan rekomendasi perbaikan dilakukan dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Pada pemilihan rekomendasi perbaikan menggunakan 3 kriteria yaitu:

1. Biaya (*cost*) : seberapa besar biaya yang diperlukan
2. Waktu (*time*) : seberapa lama waktu perbaikan yang diperlukan
3. Efektif (*effective*) : seberapa efektif perbaikan yang dilakukan untuk mengatasi pemborosan yang terjadi.

Dimana bobot pada masing – masing kriteria tersebut adalah sebagai berikut:

1. Efektif 4x lebih penting dari pada waktu
2. Efektif 3x lebih penting dari pada biaya
3. Biaya 2x lebih penting dari waktu

Tabel 5.2.. Pembobotan kriteria

	<i>Cost</i>	<i>Time</i>	<i>Effective</i>
<i>Cost</i>	1/1	2/1	1/3
<i>Time</i>	½	1/1	1/4
<i>Effective</i>	3/1	4/1	1/1

	<i>Cost</i>	<i>Time</i>	<i>Effective</i>
<i>Cost</i>	1	2	0.33
<i>Time</i>	0.5	1	0.25
<i>Effective</i>	3	4	1
Jumlah	4.5	7	1.58

Tabel 5.3. Nilai *Eigen Vector* setiap kriteria

Perhitungan				Total	<i>Eigen Vector</i>
<i>Cost</i>	0.2222	0.2857	0.2089	0.7168	0.2389
<i>Time</i>	0.1111	0.1429	0.1582	0.4122	0.1374
<i>Effective</i>	0.6667	0.5714	0.6329	1.8710	0.6237

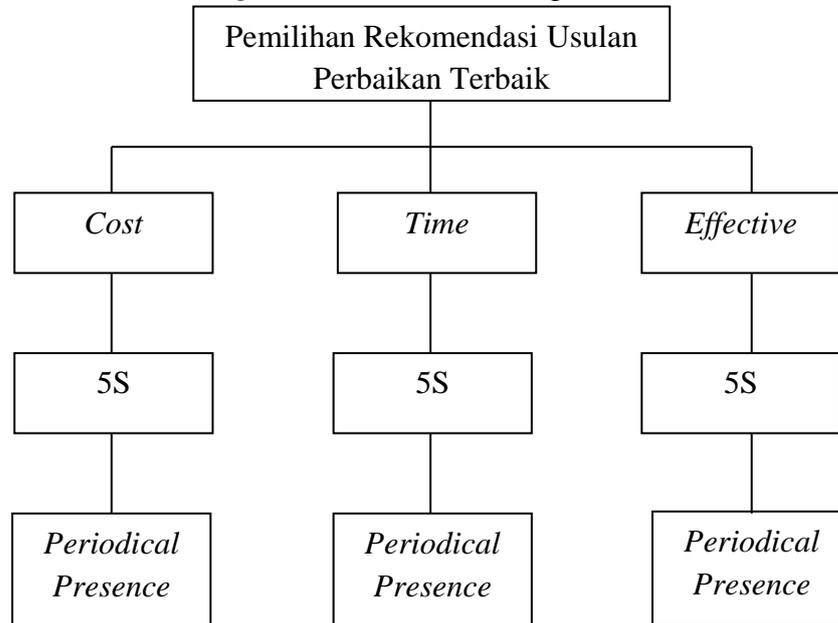
Berikut ini merupakan rekomendasi perbaikan yang dapat diusulkan penulis terhadap akar permasalahan dari tiap pemborosan kritis.

5.2.1. Rekomendasi Perbaikan untuk Pemborosan kritis *Waiting*

Pada aktivitas perbaikan pemborosan kritis *waiting* yang diakibatkan oleh inventarisasi kebutuhan material dan tools yang belum lengkap serta tidak disiplin teknisi dalam proses pergantian waktu saat istirahat, maka terdapat dua *alternative* perbaikan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Alternative* perbaikan yang pertama adalah melakukan 5S tools dengan cara penataan (*set in order*) dan inventarisasi. *Alternative* perbaikan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *waiting* yang diakibatkan oleh karena letak material dan *tools* yang tidak berada di dekat equipment yang diperbaiki sehingga menyebabkan pencarian *tools* menjadi lebih lama.
2. *Alternative* perbaikan yang kedua adalah dengan penambahan sistem presensi secara berkala yang dilaksanakan sebelum dan sesudah istirahat. Presensi ini dilaksanakan dengan cara *finger print* yang dilakukan oleh teknisi *overhaul* dengan tujuan tidak ada lagi personil yang terlambat sehingga menyebabkan pekerjaan menjadi terlambat.

Untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan yang dapat dilaksanakan pada pemborosan kritis *waiting* dilakukan analisa sebagai berikut:



Gambar 5.1. *Analytical Hierarchy Process* untuk pemborosan kritis *waiting*

Berdasarkan *analytical hierarchy process* untuk pemborosan kritis *waiting* pada gambar 5.1, maka dibuat pembobotan *alternative* seperti pada tabel 5.4, 5.6 serta 5.8 dan perhitungan nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *waiting* seperti pada tabel 5.5, 5.7 serta 5.9.

Dimana bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)** tersebut adalah *alternative* 5S 3x lebih *low cost* dari pada *periodical presence*.

Tabel 5.4. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

	<i>5S</i>	<i>Periodical Presence</i>
<i>5S</i>	1/1	3/1
<i>Periodical Presence</i>	1/3	1/1

	<i>5S</i>	<i>Periodical Presence</i>
<i>5S</i>	1	3
<i>Periodical Presence</i>	0.3333	1
Total	1.3333	4

Tabel 5.5. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *waiting* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

Perhitungan			Total	<i>Eigen Vector</i>
5S	0.7500	0.7500	1.5000	0.7500
<i>Periodical Presence</i>	0.2500	0.2500	0.5000	0.2500

Dimana bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)** tersebut adalah *alternative* 5S 5x lebih cepat dari pada *periodical presence*.

Tabel 5.6. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)**

	5S	<i>Periodical Presence</i>
5S	1/1	1/3
<i>Periodical Presence</i>	3/1	1/1

	5S	<i>Periodical Presence</i>
5S	1	0.3333
<i>Periodical Presence</i>	3	1
Total	4	1.3333

Tabel 5.7. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *waiting* dilihat dari sisi **waktu (time)**

Perhitungan			Total	<i>Eigen Vector</i>
5S	0.8333	0.0556	0.8889	0.4444
<i>Periodical Presence</i>	2.5000	0.1667	2.6667	1.3333

Dimana bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)** tersebut adalah *alternative periodical presence* 2x lebih *effective* dibandingkan 5S.

Tabel 5.8. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)**

	5S	<i>Periodical Presence</i>
5S	1/1	1/2
<i>Periodical Presence</i>	2/1	1/1

	<i>5S</i>	<i>Periodical Presence</i>
<i>5S</i>	1	0.5
<i>Periodical Presence</i>	2	1
Total	3	1.5

Tabel 5.9. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *waiting* dilihat dari sisi **efektifitas** (*effective*)

Perhitungan		Total	<i>Eigen Vector</i>
<i>5S</i>	0.3333	0.3333	0.3333
<i>Periodical Presence</i>	0.6667	0.6667	0.6667

Tahap terakhir menentukan ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik dari pemborosan kritis *waiting* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.10. Ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik

	<i>Cost</i>	<i>Time</i>	<i>Effective</i>
<i>Eigen Vector</i>	0.2389	0.1374	0.6237
5S	0.75	0.444444	0.3333
<i>Periodical Presence</i>	0.25	1.333333	0.6667

	<i>Eigen Vector</i>			Total	Ranking
5S	0.179175	0.061067	0.207879	0.4481	2
<i>Periodical Presence</i>	0.059725	0.592593	0.222211	0.8745	1

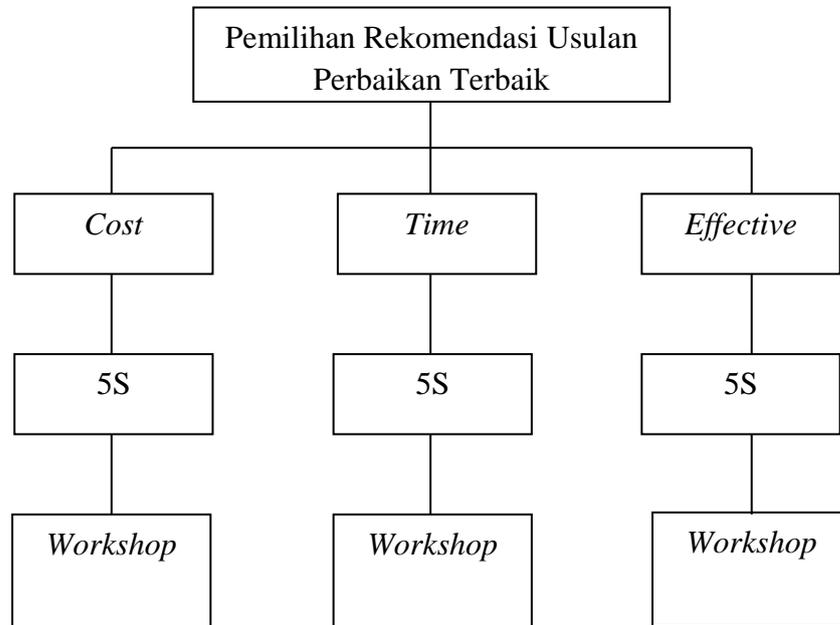
Berdasarkan hasil perhitungan nilai *eigen vector* pada tabel 4.10 diperoleh hasil bahwa *alternative* rekomendasi perbaikan untuk pemborosan kritis *waiting* yang memperoleh total *eigen vector* lebih besar adalah dengan melaksanakan *Periodical Presence* pada proses *overhaul* dengan nilai EV sebesar 0.8745. Hasil ini diperoleh karena waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan *Periodical Presence* lebih cepat dibandingkan *alternative* perbaikan *5S tools*. Selain itu, *Periodical Presence* dinilai lebih efektif untuk mengatasi pemborosan *waiting* karena waktu tunggu *manhour* jadi tidak ada, kedisiplinan tercapai dan mengurangi biaya overtime.

5.2.2. Rekomendasi Perbaikan untuk Pemborosan kritis *Unnecessary Inventory*

Pada aktivitas perbaikan pemborosan kritis *unnecessary inventory* yang diakibatkan oleh belum menerapkan FIFO sepenuhnya dan kurangnya koordinasi antara divisi perencanaan pemeliharaan dengan divisi perencanaan *inventory*, maka terdapat dua *alternative* perbaikan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Alternative* perbaikan yang pertama adalah melakukan 5S material gudang dengan cara penataan (*set in order*) dan inventarisasi material sesuai dengan waktu kedatangan *material*. Memberikan tambahan kolom waktu penerimaan *material* pada *sticker* keterangan *stockcode*. *Alternative* perbaikan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *unnecessary Inventory* yang diakibatkan oleh karena pemakaian *material* yang belum menerapkan FIFO sehingga menyebabkan terdapat beberapa atau banyak *material* yang terlalu lama disimpan di gudang dan menjadi cepat rusak saat digunakan.
2. *Alternative* perbaikan yang kedua adalah dengan melaksanakan *workshop* terkait *monitoring material*. *Workshop* ini dilaksanakan dengan mengundang tim dari divisi perencanaan pemeliharaan dan tim dari divisi *inventory*. Membuat *tools* monitoring bersama untuk kebutuhan *overhaul* serta keluar masuknya material yang telah dilakukan *requisisi* oleh perencana pemeliharaan. *Alternative* perbaikan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *unnecessary inventory* yang diakibatkan oleh karena kurangnya koordinasi dengan divisi *inventory* dan perencana pemeliharaan belum melaksanakan monitoring dari barang yang di *requisisi* sehingga menyebabkan terdapat beberapa atau banyak *material* yang terlalu lama disimpan di gudang dan menjadi cepat rusak saat digunakan.

Untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan yang dapat dilaksanakan pada pemborosan kritis *unnecessary inventory* dilakukan analisa sebagai berikut:



Gambar 5.2. *Analytical Hierarchy Process* untuk pemborosan kritis *unnecessary inventory*

Berdasarkan *analytical hierarchy process* untuk pemborosan kritis *unnecessary inventory* pada gambar 5.2, maka dibuat pembobotan *alternative* seperti pada tabel 5.11, 5.13 serta 5.15 dan perhitungan nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis waiting seperti pada table 5.12, 5.14 serta 5.16.

Dimana bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)** tersebut adalah *alternative workshop* 2x lebih *low cost* dari pada 5S.

Tabel 5.11. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

	5S	Workshop
5S	1/1	1/2
Workshop	2/1	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1	0.5
<i>Workshop</i>	2	1
Total	3	1.5

Tabel 5.12. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary inventory* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.3333	0.3333	0.6667	0.3333
<i>Workshop</i>	0.6667	0.6667	1.3333	0.6667

Bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)** tersebut adalah *alternative 5S* 3x lebih cepat dari pada *workshop*.

Tabel 5.13. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)**

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1/1	3/1
<i>Workshop</i>	1/3	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1	3
<i>Workshop</i>	0.3333	1
Total	1.3333	4

Tabel 5.14. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary inventory* dilihat dari sisi **waktu (time)**

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.7500	0.7500	1.5000	0.7500
<i>Workshop</i>	0.2500	0.2500	0.5000	0.2500

Bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)** tersebut adalah *alternative 5S* 5x lebih *effective* dibandingkan *workshop*.

Tabel 5.15. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)**

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1/1	5/1
<i>Workshop</i>	1/5	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1	5
<i>Workshop</i>	0.2000	1
Total	1.2000	6

Tabel 5.16. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary inventory* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)**

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.8333	0.8333	1.6667	0.8333
<i>Workshop</i>	0.1667	0.1667	0.3333	0.1667

Tahap terakhir menentukan ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik dari pemborosan kritis *unnecessary inventory* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.17. Ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik

	<i>Cost</i>	<i>Time</i>	<i>Effective</i>
<i>Eigen Vector</i>	0.2389	0.1374	0.6237
5S	0.3333	0.7500	0.8333
<i>Workshop</i>	0.6667	0.2500	0.1667

<i>Eigen Vector</i>				Total	Ranking
5S	0.07963	0.10305	0.51975	0.70243	1
<i>Workshop</i>	0.15927	0.03435	0.10395	0.29757	2

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *eigen vector* pada tabel 5.17 diperoleh hasil bahwa *alternative* rekomendasi perbaikan untuk pemborosan kritis *unnecessary inventory* yang memperoleh total *eigen vector* lebih besar adalah dengan melaksanakan 5S material gudang pada PLTU PAITON dengan nilai

EV sebesar 0.79243. Hasil ini diperoleh karena waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan 5S material gudang lebih cepat dibandingkan *alternative* perbaikan pelaksanaan *workshop* monitoring material. Kondisi ini dikarenakan untuk pelaksanaan workshop harus dilakukan secara bertahap dan disesuaikan dengan waktu masing – masing *planner*. Selain itu, efektivitas yang dihasilkan dengan penerapan 5S material gudang lebih besar dibandingkan dengan *workshop*. Hal ini dikarenakan sistem first in first out (FIFO) dapat langsung diterapkan dan meminimalisir adanya material yang melebihi *lifetime* material tersebut. Sehingga tidak menyebabkan kerusakan *equipment* yang lebih cepat ketika terdapat perbaikan menggunakan material yang disimpan pada gudang PLTU PAITON.

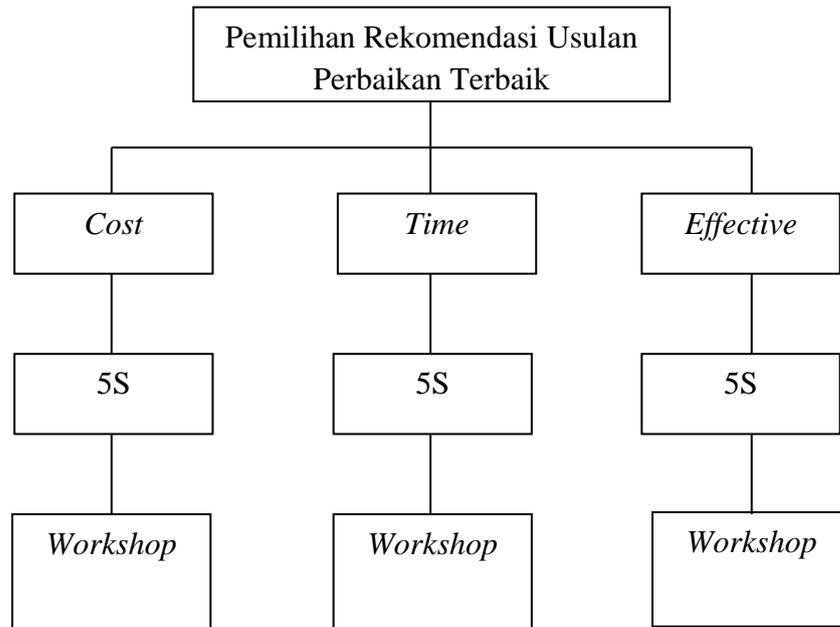
5.2.3. Rekomendasi Perbaikan untuk Pemborosan kritis *Unnecessary Motion*

Pada aktivitas perbaikan pemborosan kritis *unnecessary motion* yang diakibatkan oleh belum dilaksanakannya 5S secara optimal pada tools dan SOP & IK tidak semua berada pada area kerja, maka terdapat dua *alternative* perbaikan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Alternative* perbaikan yang pertama adalah melakukan 5S tools dengan cara penataan (*set in order*) dan inventarisasi. *Alternative* perbaikan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *unnecessary motion* yang diakibatkan oleh karena letak material dan *tools* yang tidak berada di dekat *equipment* yang diperbaiki sehingga menyebabkan terjadinya gerakan yang tidak diperlukan dalam pencarian *tools*.
2. *Alternative* perbaikan yang kedua adalah dengan melaksanakan *workshop* terkait pembuatan SOP dan IK pekerjaan. *Workshop* ini dilaksanakan dengan mengundang tim dari divisi pemeliharaan dan produksi. Membuat list IK dan SOP yang belum lengkap atau belum ada pada area kerja *overhaul* PLTU PAITON. *Alternative* perbaikan ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *unnecessary motion* yang diakibatkan oleh

karena kesalahan pemasangan yang menyebabkan kerusakan sehingga menyebabkan pekerjaan *repair* ulang harus dilakukan.

Untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan yang dapat dilaksanakan pada pemborosan kritis *unnecessary motion* dilakukan analisa sebagai berikut:



Gambar 5.3. *Analytical Hierarchy Process* untuk pemborosan kritis *unnecessary motion*

Berdasarkan *analytical hierarchy process* untuk pemborosan kritis *unnecessary inventory* pada gambar 5.3, maka dibuat pembobotan *alternative* seperti pada tabel 5.18, 5.20 serta 5.22 dan perhitungan nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis waiting seperti pada table 5.19, 5.21 serta 5.23.

Dimana bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)** tersebut adalah *alternative workshop* 2x lebih *low cost* dari pada 5S.

Tabel 5.18. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

	5S	Workshop
5S	1/1	1/2
Workshop	2/1	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1	0.5
<i>Workshop</i>	2	1
Total	3	1.5

Tabel 5.19. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary motion* dilihat dari sisi **biaya (cost)**

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.3333	0.3333	0.6667	0.3333
<i>Workshop</i>	0.6667	0.6667	1.3333	0.6667

Bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)** tersebut adalah *alternative workshop* 3x lebih cepat dari pada *5S*.

Tabel 5.20. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **waktu (time)**

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1/1	1/3
<i>Workshop</i>	3/1	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1.0000	0.3333
<i>Workshop</i>	3.0000	1.0000
Total	4.0000	1.3333

Tabel 5.21. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary motion* dilihat dari sisi **waktu (time)**

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.2500	0.2500	0.5000	0.2500
<i>Workshop</i>	0.7500	0.7500	1.5000	0.7500

Bobot pada masing – masing *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas (effective)** tersebut adalah *alternative workshop* 3x lebih *effective* dibandingkan *5S*.

Tabel 5.22. Pembobotan *alternative* dilihat dari sisi **efektifitas** (*effective*)

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1/1	1/3
<i>Workshop</i>	3/1	1/1

	<i>5S</i>	<i>Workshop</i>
<i>5S</i>	1.0000	0.3333
<i>Workshop</i>	3.0000	1.0000
Total	4.0000	1.3333

Tabel 5.23. Nilai *Eigen Vector* setiap *alternative* perbaikan pemborosan kritis *unnecessary inventory* dilihat dari sisi **efektifitas** (*effective*)

Perhitungan			Total	Eigen Vector
<i>5S</i>	0.2500	0.2500	0.5000	0.2500
<i>Workshop</i>	0.7500	0.7500	1.5000	0.7500

Tahap terakhir menentukan ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik dari pemborosan kritis *unnecessary motion* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.24. Ranking pada pilihan *alternative* rekomendasi perbaikan terbaik

	<i>Cost</i>	<i>Time</i>	<i>Effective</i>
<i>Eigen Vector</i>	0.2389	0.1374	0.6237
5S	0.3333	0.2500	0.2500
Workshop	0.6667	0.7500	0.7500

<i>Eigen Vector</i>				Total	Ranking
5S	0.07963	0.03435	0.15593	0.26991	2
Workshop	0.15927	0.10305	0.46778	0.73009	1

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *eigen vector* pada tabel 5.24 diperoleh hasil bahwa *alternative* rekomendasi perbaikan *unnecessary motion* yang memperoleh total *eigen vector* lebih besar adalah dengan melaksanakan *workshop* pembuatan IK dan SOP dengan nilai EV sebesar 0.73009. Hasil ini

dikarenakan dari kriteria yang digunakan pada AHP yaitu *cost*, *time* dan *effective* rekomendasi perbaikan pemborosan kritis dengan cara *workshop* pembuatan IK dan SOP memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan dengan *5S tools*. Pembuatan IK dan SOP yang belum ada ini juga dapat mempercepat proses perbaikan meskipun teknisi yang melaksanakan perbaikan berbeda-beda setiap tahunnya. Hal ini karena *knowledge sharing* dapat berjalan dengan melalui IK dan SOP yang berada pada setiap area kerja.

5.2.4. Rekomendasi Perbaikan untuk Mengurangi timbulan limbah *contaminated cotton waste*

Berdasarkan hasil analisa timbulan limbah yang dihasilkan pada proses *overhaul* dengan menggunakan *Life Cycle Inventory* diperoleh hasil bahwa *contaminated cotton waste* merupakan jenis limbah bahan berbahaya dan beracun yang membutuhkan biaya pengolahan terbesar yaitu Rp. 14.173.500,00. Untuk mengatasi jumlah timbulan limbah yang besar dibutuhkan inovasi terkait pengurangan jumlah timbulan. Berdasarkan permasalahan tersebut rekomendasi yang diberikan untuk pengurangan jumlah timbulan adalah dengan melakukan *resizing contaminated cotton waste*.

Resizing contaminated cotton waste merupakan program untuk mengubah standard ukuran *contaminated cotton waste* dari yang semula berukuran 25 x 30 cm menjadi 20 x 20 cm. Dengan adanya inovasi ini dapat meminimalkan potensi permukaan majun yang masih bersih untuk ikut terbuang. Selain itu, inovasi ini juga dapat menurunkan biaya pelimbahan dari *contaminated cotton waste* menjadi lebih kecil. Karena dengan berkurangnya volume juga akan mengurangi berat dari timbulan limbah *contaminated cotton waste*.

Berkaitan dengan melakukan perbaikan pemborosan kritis yang terjadi pada *overhaul* dari sisi pengelolaan limbah, direkomendasikan juga untuk menyediakan tempat pembuangan sementara yang disesuaikan dengan jenis limbah dalam proses perbaikan yang ditempatkan di setiap area sesuai dengan aturan 5S. Perbaikan ini perlu dilakukan supaya tidak terjadi pemborosan *waiting* pada aktivitas pengelolaan limbah.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian yang diinginkan dan saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut yang akan datang.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi yang dilakukan dalam penelitian di pembangkit listrik PAITON, beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil prognosis perhitungan EAF PLTU PAITON, untuk menjaga nilai EAF pada 10% NERC teratas, proses *overhaul* yang sebelumnya direncanakan selama 53 hari direkomendasikan menjadi 45 - 35 hari dengan menghilangkan proses pemborosan yang terjadi pada *overhaul*.
2. Berdasarkan hasil dari *Borda Count Method*, ditemukan bahwa 3 peringkat pemborosan kritis tertinggi adalah *waiting* dengan skor 30, pemborosan *Unnecessary Inventory* dengan skor 28 dan pemborosan *Unnecessary Motion* yang tidak perlu dengan skor 25.
3. Berdasarkan perhitungan, jika pemborosan dapat dihilangkan dengan dilakukan perbaikan maka dapat merubah waktu *overhaul* dari 53 hari menjadi 47 hari dan diperoleh nilai EAF sebesar 90.56%. Dengan nilai EAF sebesar 90.56% maka PLTU PTN tetap berada pada TOP 10% NERC.
4. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *eigen vector* diperoleh hasil bahwa *alternative* rekomendasi perbaikan untuk pemborosan kritis *waiting* yang dengan total *eigen vector* paling besar adalah dengan melaksanakan *periodical presence* pada proses *overhaul*. Rekomendasi perbaikan untuk

pemborosan kritis *unnecessary inventory* yang memperoleh total *eigen vector* paling besar adalah dengan melaksanakan 5S material gudang pada PLTU PAITON. Rekomendasi perbaikan *unnecessary motion* yang memperoleh total *eigen vector* paling besar adalah dengan melaksanakan *workshop* pembuatan IK dan SOP.

5. Berdasarkan hasil analisa timbulan limbah yang dihasilkan pada proses *overhaul* dengan menggunakan *Life Cycle Inventory* diperoleh hasil bahwa *contaminated cotton waste* merupakan jenis limbah bahan berbahaya dan beracun yang membutuhkan biaya pengolahan terbesar yaitu Rp. 14.173.500,00. Untuk mengatasi jumlah timbulan limbah yang besar adalah dengan melakukan *resizing contaminated cotton waste*. *Resizing contaminated cotton waste* merupakan program untuk mengubah standard ukuran *contaminated cotton waste* dari yang semula berukuran 25 x 30 cm menjadi 20 x 20 cm. Dengan adanya inovasi ini dapat meminimalkan potensi permukaan majun yang masih bersih untuk ikut terbang.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Penyelesaian *waste* kritis tidak hanya terbatas pada 3 *waste* kritis yang tertinggi saja tetapi keseluruhan 7 *waste* yang ada di rantai produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto,Wahyu & Kholil,Muhammad.(2015). Analisis Penerapan Lean Production Process Untuk Mengurangi Lead Time Process Perawatan Engine (Studi Kasus Pt.Gmf Aeroasia).Jakarta: Universitas Mercubuana
- Copyright © Februari, 2010 Syaifullah08.Wordpress.Com
<https://syaifullah08.files.wordpress.com/2010/02/pengenalan-analytical-hierarchy-process.pdf> (diakses pada tanggal 7 Oktober 2019)
- Daonil. (2012). Implementasi Lean Manufacturing untuk Eliminasi Waste pada Lini Produksi Machining Cast Wheel dengan Menggunakan Metode WAM dan VALSAT. Depok: Universitas Indonesia
- E. Andrés-López, I. González-Requena & A. Sanz-Lobera.2015. Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. *Procedia Engineering* 132 (2015) 23 – 30
- Gasperz, V., & Fontana, A. (2011). *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. Bogor: Vinchristo Publication.
- Hazmi,W.F , Karniangsih,P.D dan Supriyanto,Hari. (2012). Penerapan *Lean Manufacturing* Untuk Mereduksi *waste* di PT ARISU. Surabaya: ITS.
- Hines, P., & Taylor, D. *Going Lean*. (2000). Lean Enterprise Research Centre. Cardiff Business School. UK.
- Khalif Isnain, Satria. (2017). Perancangan Perbaikan Proses Produksi Bodi Mobil Daihatsu Xenia Dengan Lean Manufacturing Di Pt. Inti Pantja Press Industri. Surabaya: MMT ITS.
- Kumar, Naveen et al. 2013. Implementing Lean Manufacturing System: ISM Approach. *Journal of Industrial Engineering and Management: Volume* 6(4): 996-1012.
- Melton, T. (2005).The Benefits Of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research And Design*, 83(6), 662-673. Doi:10.1205/Cherd.04351.

- M.L. George .(2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*, McGraw-Hill Companies Inc. US.
- Modi, D. B., & Thakkar, H. (2014, March). *Lean Thinking: Reduction of Waste, Lead Time, Cost through Lean Manufacturing Tools and Technique*. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(3), 339 - 334. Retrieved from www.ijetae.com
- Nanova, Gabriela et al. Nov-2012. *Lean Manufacturing Approach In Aircraft Maintenance Repair and Overhaul*. *Recent*, Vol. 13. no 3 (36)
- Richard J. Schonberger. 2018. *The disintegration of lean manufacturing and lean management*. Elsevier : BUSHOR-1553; No. of Pages 13
- Rohani, J. M., & Zahraee, S. M. (2015). *Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry*. 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference (pp. 6-10). Bali: *Procedia Manufacturing*.
- Rother, M., & Shook, J. (2009). *Learning to See-Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Cambridge: *Lean Enterprise Institute*.
- Sabta Adi, Kusuma. (2010). *Penerapan Lean Manufacturing Dalam Mengidentifikasi Dan Meminimasi Waste Di PT. Hilton Surabaya*. Undergraduate Thesis. UPN Jatim: Surabaya.
- Suherman & Ilma, Amarina. (2016). *Analisa Penjadwalan Proyek Menggunakan PDM dan Pert Serta Crash Project*. UIN Sultan Syarif: Riau.
- Thomas L. Saaty. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. University of Pittsburgh: Pittsburgh, PA 15260, USA.

LAMPIRAN

Kuesioner Borda Count Method



Jabatan: *Spr. Senior Mesin 1*
Paraf : *[Signature]*

Kuesioner Wawancara Analisa Peringkat Waste Kritis

Kuesioner ini diisi untuk memberikan peringkat 7 waste yang terjadi di proses overhaul di PLTU PTN.

Ketentuan Pengisian :

- Nilai 1 merupakan skor tertinggi atau sering terjadi pada lantai/proses overhaul
- Nilai 7 merupakan skor terendah atau jarang terjadi pada lantai/proses overhaul

Peringkat Waste yang terjadi dalam proses overhaul di PT. PLTU PTN (1-7)

Pemberian nilai waste yang terjadi dengan ketentuan sebagai berikut:

Nilai 1 merupakan skor tertinggi (sering) dan nilai 7 merupakan skor terendah (jarang)

• Overproduction	<u> </u>
• Defects	<u> 6 </u>
• Unnecessary Inventory	<u> 1 </u>
• Inappropriate Processing	<u> 4 </u>
• Excessive Transportation	<u> 5 </u>
• Waiting	<u> 3 </u>
• Unnecessary Motion	<u> 2 </u>

Kuesioner Borda Count Method



Jabatan: Spv. S Outage M.

Paraf : *JL*

Kuesioner Wawancara Analisa Peringkat Waste Kritis

Kuesioner ini diisi untuk memberikan peringkat 7 waste yang terjadi di proses overhaul di PLTU PTN.

Ketentuan Pengisian :

- Nilai 1 merupakan skor tertinggi atau sering terjadi pada lantai/proses overhaul
- Nilai 7 merupakan skor terendah atau jarang terjadi pada lantai/proses overhaul

Peringkat Waste yang terjadi dalam proses overhaul di PT. PLTU PTN (1-7)

Pemberian nilai waste yang terjadi dengan ketentuan sebagai berikut:

Nilai 1 merupakan skor tertinggi (sering) dan nilai 7 merupakan skor terendah (jarang)

• Overproduction	<u>-</u>
• Defects	<u>4</u>
• Unnecessary Inventory	<u>1</u>
• Inappropriate Processing	<u>5</u>
• Excessive Transportation	<u>6</u>
• Waiting	<u>2</u>
• Unnecessary Motion	<u>3</u>

Kuesioner Borda Count Method



Jabatan: Manajer Pemeliharaan

Paraf : [Signature]

Kuesioner Wawancara Analisa Peringkat Waste Kritis

Kuesioner ini diisi untuk memberikan peringkat 7 waste yang terjadi di proses overhaul di PLTU PTN.

Ketentuan Pengisian :

- Nilai 1 merupakan skor tertinggi atau sering terjadi pada lantai/proses overhaul
- Nilai 7 merupakan skor terendah atau jarang terjadi pada lantai/proses overhaul

Peringkat Waste yang terjadi dalam proses overhaul di PT. PLTU PTN (1-7)

Pemberian nilai waste yang terjadi dengan ketentuan sebagai berikut:

Nilai 1 merupakan skor tertinggi (sering) dan nilai 7 merupakan skor terendah (jarang)

• Overproduction	<u>-</u>
• Defects	<u>6</u>
• Unnecessary Inventory	<u>1</u>
• Inappropriate Processing	<u>4</u>
• Excessive Transportation	<u>3</u>
• Waiting	<u>2</u>
• Unnecessary Motion	<u>5</u>

Kuesioner Borda Count Method



Jabatan: *Assistant Engineer*
Pemeliharaan Mesin 1
Paraf : *[Signature]*

Kuesioner Wawancara Analisa Peringkat Waste Kritis

Kuesioner ini diisi untuk memberikan peringkat 7 waste yang terjadi di proses overhaul di PLTU PTN.

Ketentuan Pengisian :

- Nilai 1 merupakan skor tertinggi atau sering terjadi pada rantai/proses overhaul
- Nilai 7 merupakan skor terendah atau jarang terjadi pada rantai/proses overhaul

Peringkat Waste yang terjadi dalam proses overhaul di PT. PLTU PTN (1-7)

Pemberian nilai waste yang terjadi dengan ketentuan sebagai berikut:

Nilai 1 merupakan skor tertinggi (sering) dan nilai 7 merupakan skor terendah (jarang)

• Overproduction	<u>7</u>
• Defects	<u>4</u>
• Unnecessary Inventory	<u>5</u>
• Inappropriate Processing	<u>6</u>
• Excessive Transportation	<u>3</u>
• Waiting	<u>1</u>
• Unnecessary Motion	<u>2</u>

Kuesioner *Borda Count Method*



Jabatan: *Analyst Outage*

Paraf : *[Signature]*

Kuesioner Wawancara Analisa Peringkat Waste Kritis

Kuesioner ini diisi untuk memberikan peringkat 7 waste yang terjadi di proses overhaul di PLTU PTN.

Ketentuan Pengisian :

- Nilai 1 merupakan skor tertinggi atau sering terjadi pada lantai/proses overhaul
- Nilai 7 merupakan skor terendah atau jarang terjadi pada lantai/proses overhaul

Peringkat Waste yang terjadi dalam proses overhaul di PT. PLTU PTN (1-7)

Pemberian nilai waste yang terjadi dengan ketentuan sebagai berikut:

Nilai 1 merupakan skor tertinggi (sering) dan nilai 7 merupakan skor terendah (jarang)

• Overproduction	<u>7</u>
• Defects	<u>6</u>
• Unnecessary Inventory	<u>4</u>
• Inappropriate Processing	<u>5</u>
• Excessive Transportation	<u>3</u>
• Waiting	<u>2</u>
• Unnecessary Motion	<u>1</u>

BIOGRAFI PENULIS



Devi Oktavianingtyas adalah nama penulis pada tesis ini. Penulis merupakan istri dari Bapak Bima Cahya Nugraha. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN Karangrejo 01-02 Semarang (lulus tahun 2004), melanjutkan ke SMP N 11 Semarang (lulus tahun 2007), melanjutkan SMA di SMA N 4 Semarang Jurusan IPA (lulus tahun 2010). Kemudian untuk jenjang perguruan tinggi, penulis berkuliah S1 Jurusan Akuntansi pada Universitas Semarang (lulus tahun 2014) bersamaan dengan mengambil kuliah D3 Jurusan Teknik Mesin pada Politeknik Negeri Semarang (lulusan 2014). Hingga akhirnya penulis dapat menempuh pendidikan S2 di Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digitas, Departemen Manajemen Teknologi, Jurusan Management Industri pada ITS Surabaya. Hingga kini penulis aktif bekerja sebagai staff pada salah satu anak perusahaan BUMN yang ada di Indonesia. Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya tesis yang berjudul "Perbaikan Proses Overhaul Pada Pembangkit Listrik tenaga Uap Menggunakan *Lean Thinking*."

Penulis,

Devi Oktavianingtyas