



TESIS - BM185407

**ANALISA *ENERGY WASTE* PADA INDUSTRI  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN METODE  
*ENERGY VALUE STREAM MAPPING (EVSM)***

WAHYU ISA ARIFIN  
09211650016007

Dosen Pembimbing:  
Prof. Iwan Vanany, ST, MT, PhD

Departemen Manajemen Teknologi  
Fakultas Bisnis Dan Manajemen Teknologi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Manajemen Teknologi (M.MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Wahyu Isa Arifin**

**NRP: 09211650016007**

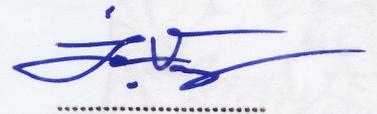
**Tanggal Ujian: 29 Juni 2019**

**Periode Wisuda: September 2019**

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

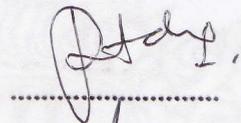
1. Prof. Iwan Vanany, ST, MT, PhD  
NIP: 197109271999031002



.....

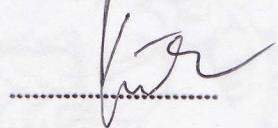
**Penguji:**

1. Putu Dana K, ST, MEng Sc, PhD  
NIP: 197405081999032001



.....

2. Niniet Indah A, ST, MT, PhD  
NIP: 198407062009122007



.....

Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi



  
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP  
NIP: 196912311994121076

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA *ENERGY WASTE* PADA INDUSTRI  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN  
METODE *ENERGY VALUE STREAM MAPPING (EVSM)*

Nama : Wahyu Isa Arifin  
NRP : 09211650016007  
Jurusan : Manajemen Industri MMT ITS  
Pembimbing : Prof. Iwan Vanany, ST, MT, PhD

**ABSTRAK**

PT X merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pembangkitan energi listrik yang salah satunya mengelola unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara yang telah beroperasi lebih dari 20 tahun. Terdapat indikasi pemborosan energi (*energy losses/ energy waste*) berupa penurunan performa dari pelatatan pembangkit ataupun pemborosan energi akibat dari pola pengoperasian. Pemborosan energi dari peralatan dinyatakan dengan adanya gap pemakaian energi saat ini terhadap pemakaian energi pada kondisi performa terbaiknya (*baseline energy*) atau kondisi komisioning (*commissioning test*). Pemborosan energi saat pengoperasian dinyatakan dengan adanya *heat loss* selama proses pengoperasian. Penelitian ini membahas mengenai penerapan *lean manufacturing* pada proses pembangkitan untuk meminimalkan pemborosan penggunaan energi pada proses diantaranya pemakaian energi listrik pada proses pembongkaran batubara menuju *stock pile*, pengisian batubara menuju *coal silo* untuk proses pembakaran dan pemborosan energi pada proses pembangkitan pada peralatan-peralatan utama seperti di *turbine, boiler, condenser* dengan menggunakan pendekatan metode *Energy Value Stream Mapping (EVSM)*. Metodologi penelitian yang digunakan adalah eksploratori deskriptif analitik dimana pengambilan data dilakukan dengan pengukuran energi pada semua proses produksi. Analisa dilakukan dengan penyusunan *framework EVSM* yang menggambarkan keseluruhan proses dalam *stream* energi. Tingkat signifikansi pemborosan energi proses disusun dalam *Pareto diagram* sebagai prioritas penyelesaian permasalahan dan rekomendasi penyelesaian masalah disusun dengan menggunakan analisa *Ishikawa diagram* dan *Fault Tree Analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, nilai *energy waste* pada proses *Unloading* sebesar 42904,98 kWh. *Energy waste* pada proses *Loading* sebesar 7086,08 kWh. *Energy waste* Pada proses pembangkitan sebesar 372,49 kcal/kWh. Hasil prioritas penyelesaian permasalahan dan rekomendasi perbaikan, didapatkan potensi penghematan sebesar Rp 200.004.788,16.

**Kata kunci:** *lean manufacturing, energy value stream mapping (EVSM), energy waste, energy loss.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## ENERGY WASTE ANALYSIS IN STEAM POWER PLANT INDUSTRY USING ENERGY VALUE STREAM MAPPING METHOD (EVSM)

Student Name : Wahyu Isa Arifin  
Student ID : 09211650016007  
Department : Industry Management  
Supervisor : Prof. Iwan Vanany, ST, MT, PhD

### ABSTRACT

PT X is an electrical energy company which is managing a Coal Steam Power Plant has been operating for more than 20 years. There are any indications of energy waste in the form of performance decrease in the power plant equipment or energy waste due to the operating system. The equipment energy waste is expressed by gap between current energy use and energy use in the best performance or commissioning condition. Energy waste during operation is stated by the presence of heat loss during the operation process. This study discusses about the application of lean manufacturing in power plant process to minimize waste of energy use including electrical energy use in the coal unloading process to the stockpile, coal loading process to coal silos for combustion processes and energy waste in major equipment of power plant process such as turbine, boiler, and condenser with the Energy Value Stream Mapping (EVSM) approach. The research methodology used is descriptive analytic exploratory which data collected by measuring energy in all production processes. The analysis is done by compiling the EVSM framework that describes the whole process in the energy stream. The level of significance of energy waste process is arranged in Pareto diagrams as problem solving prioritization and the recommendations are prepared using Ishikawa Diagram Analysis and Fault Tree Analysis. The results showed the energy waste in the Unloading process was 42904.98 kWh. Energy waste in the loading process is 7086.08 kWh. Energy waste in the generation process of 372.49 kcal / kWh. The results of the prioritization of problem solving and recommendations for improvement, obtained potential savings of IDR. 200,004,788.16.

**Keywords:** *lean manufacturing, energy value stream mapping (EVSM), energy waste, energy loss.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil alamin puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis dengan baik. Tesis dengan judul “ANALISA *ENERGY WASTE* PADA INDUSTRI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN METODE *ENERGY VALUE STREAM MAPPING (EVSM)*” disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Manajemen Teknik pada Program Studi Manajemen Industri, Fakultas Bisnis Dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari peran banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis sebelum dan selama penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya yang takterhingga, serta syafaat Rosululloh Muhammad SAW
2. Prof. Ir. I. Nyoman Pujawan M.Eng., Ph.D selaku ketua program studi MMT ITS
3. Prof. Iwan Vanany, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, saran dan bimbingannya.
4. Mustofa Abdillah, ST, MT selaku General Manager PLTU Paiton yang mengizinkan untuk pengambilan data dan penelitian tesis ini.
5. Semua pihak yang membantu penyelesaian tesis ini yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik, masukan dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 11 Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| Lembar Pengesahan .....  | i    |
| Abstrak Bahasa Indonesia .....   | iii  |
| Abstrak Bahasa Inggris .....   | v    |
| Kata Pengantar .....   | vii  |
| DAFTAR ISI.....  | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xiii |
| DAFTAR TABEL.....  | xvii |
| BAB I. PENDAHULUAN.....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 7    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....  | 7    |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....   | 7    |
| 1.5 Batasan Masalah .....  | 7    |
| 1.6 Sistematika Penelitian .....   | 8    |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....  | 10   |
| 2.1 Energi Proses Pembangkitan.....  | 10   |
| 2.1.1 Proses Produksi .....  | 10   |
| 2.1.2 Kebutuhan Listrik Pembangkit.....  | 13   |
| 2.1.3 <i>Energy Waste</i> Pembangkitan.....                                    | 16   |
| 2.2 <i>Lean Manufacturing/ Lean Production</i> .....                           | 19   |
| 2.2.1 Pengertian <i>Lean Manufacturing / Lean Production</i> .....             | 19   |
| 2.2.2 Prinsip dari filosofi <i>Lean</i> .....                                  | 20   |
| 2.2.3 Kategori <i>Waste</i> .....  | 21   |
| 2.3 <i>Value Stream Mapping (VSM)</i> .....                                    | 22   |
| 2.3.1 Pengertian <i>Value Stream Mapping (VSM)</i> .....                       | 22   |
| 2.3.2 Bagian- bagian dari <i>Value Stream Mapping (VSM)</i> .....              | 23   |
| 2.4 <i>Energy Value Stream Mapping (EVSM)</i> .....                            | 24   |
| 2.4.1 <i>Value Stream Mapping</i> dan <i>Energy Value Stream Mapping</i> ..... | 25   |
| 2.4.2 Hubungan antara penggunaan <i>Lean</i> dan Energi.....                   | 26   |
| 2.4.3 Pemakaian Energi pada <i>current state EVSM</i> .....                    | 27   |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 2.4.4   | Pemakaian Energi pada <i>Future State EVSM</i> .....  | 28 |
| 2.4.5   | Proses Audit <i>Energy Value Stream Mapping (EVSM)</i> .....  | 28 |
| 2.5   | Uji Kecukupan dan Keseragaman Data .....  | 32 |
| 2.6   | <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i> .....  | 33 |
| BAB III. METODE PENELITIAN .....              |   | 35 |
| 3.1   | Jenis dan Sumber Data.....  | 35 |
| 3.2   | Metode Pengumpulan Data.....  | 37 |
| 3.3   | Pengolahan Data .....   | 38 |
| 3.4   | Tahap Analisis .....  | 39 |
| 3.5   | Tahap Kesimpulan dan Saran .....  | 40 |
| BAB IV. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA ..... |   | 41 |
| 4.1   | Pengumpulan Data.....   | 41 |
| 4.2   | Gambaran Umum dan Perusahaan.....   | 41 |
| 4.3   | Proses Bisnis Industri PLTU Batubara .....  | 43 |
| 4.4   | <i>Big Picture Mapping</i> .....  | 44 |
| 4.5   | Data Proses Pembongkaran ( <i>Unloading</i> ).....  | 46 |
| 4.6   | Data Proses Pengisian ( <i>Loading</i> ).....   | 54 |
| 4.7   | Data Proses Pembangkitan Energi Listrik .....   | 67 |
| 4.8   | Pengolahan Data .....   | 70 |
| 4.8.1   | <i>Energy Waste</i> Proses Pembongkaran ( <i>Unloading</i> ).....   | 70 |
| 4.8.2   | <i>Energy Waste</i> Proses Pengisian ( <i>Loading</i> ).....  | 72 |
| 4.8.3   | <i>Energy Waste</i> Proses Pembangkitan .....   | 75 |
| BAB V. ANALISA DAN DISKUSI .....              |   | 81 |
| 5.1   | <i>Current State Energy Value Stream Mapping</i> .....  | 81 |
| 5.2   | Identifikasi <i>Energy Waste/ Energy Loss</i> .....   | 82 |
| 5.2.1   | Identifikasi <i>Energy Waste</i> Pada Jalur <i>Unloading</i> Batubara<br>Menuju <i>Stock Pile 1</i> ..... | 82 |
| 5.2.2   | Identifikasi <i>Energy Waste</i> Pada Jalur <i>Unloading</i> Batubara<br>Menuju <i>Stock Pile 2</i> ..... | 84 |
| 5.2.3   | Identifikasi <i>Energy Waste</i> Pada Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile 1</i> .....                  | 85 |
| 5.2.4   | Identifikasi <i>Energy Waste</i> Pada Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile 2</i> .....                  | 86 |
| 5.2.5   | Identifikasi <i>Energy Waste</i> Pada Proses Pembangkitan.....  | 87 |

|                                    |   |     |
|------------------------------------|---|-----|
| 5.3                                | Analisa Penyebab Dan Perbaikan <i>Energy Waste/ Energy Loss</i> .....   | 88  |
| 5.3.1.                             | Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian Energy Waste<br>Pada Jalur Unloading Batubara Menuju Stock Pile 1 .....    | 88  |
| 5.3.2.                             | Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian Energy Waste<br>Pada Jalur Unloading Batubara Menuju Stock Pile 2 .....    | 91  |
| 5.3.3.                             | Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian Energy Waste<br>Pada Pada Jalur Pengisian (Loading) Dari Stockpile 1 ..... | 94  |
| 5.3.4.                             | Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian Energy Waste<br>Pada Pada Jalur Pengisian (Loading) Dari Stockpile 2 ..... | 97  |
| 5.3.5.                             | Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian Energi Loss<br>Pada Proses Pembangkitan.....                               | 99  |
| BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN ..... |   | 111 |
| 6.1                                | Kesimpulan.....   | 111 |
| 6.2                                | Saran.....  | 113 |
| DAFTAR PUSTAKA .....               |   | 115 |
| LAMPIRAN.....                      |   | 119 |
| BIOGRAFI PENULIS .....             |   | 125 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1.1 Proyeksi Bauran Energi Tahun .....                                    | 2  |
| Gambar 1.2 Rencana Tambahan Kebutuhan Pembangkit.....                            | 2  |
| Gambar 1.3 Sasaran Strategis 2017-2021 .....                                     | 3  |
| Gambar 1.4 Pemakaian energi tahunan PT PJB UP Paiton .....                       | 6  |
| Gambar 2.1 Diagram Proses Produksi Pada PLTU Paiton .....                        | 11 |
| Gambar 2.2 Sistem Pengelolaan Bahan Bakar PLTU Paiton .....                      | 14 |
| Gambar 2.3 <i>Single Line Diagram</i> PLTU Paiton .....                          | 15 |
| Gambar 2.4 Karakteristik <i>Energy Losses</i> Pada PLTU Batubara.....            | 18 |
| Gambar 2.5 Definisi standart dari efisiensi termal unit .....                    | 19 |
| Gambar 2.6 Tahapan Utama Dari Metodologi VSM.....                                | 26 |
| Gambar 2.7 Kerangka Kerja <i>Energy Value Stream Mapping (EVSM)</i> .....        | 30 |
| Gambar 2.8 <i>Current State EVSM</i> .....                                       | 31 |
| Gambar 2.9 <i>Future State EVSM</i> .....  | 32 |
| Gambar 2.10 Simbol <i>FTA</i> .....  | 34 |
| Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....   | 36 |
| Gambar 4.1 Grafik Trend Nilai Kalor Batubara UP Paiton .....                     | 42 |
| Gambar 4.2 Proses Penerimaan dan Pengelolaan Batubara.....                       | 44 |
| Gambar 4.3 Skema Proses Produksi PLTU .....                                      | 44 |
| Gambar 4.4 Big Picture Mapping Proses Bisnis Industri PLTU Batubara..            | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik Sampel Pengukuran Arus Pada <i>Ship Unloader 1 (SU1)</i> ..... | 50 |
| Gambar 4.6 Grafik Sampel Pengukuran Arus Pada <i>Ship Unloader 2 (SU2)</i> ..... | 51 |
| Gambar 4.7 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor A2</i> .....          | 51 |
| Gambar 4.8 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor B2</i> .....          | 52 |
| Gambar 4.9 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor C2</i> .....          | 53 |
| Gambar 4.10 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor D2</i> .....         | 53 |
| Gambar 4.11 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor E1</i> .....         | 54 |
| Gambar 4.12 Grafik sampel pengukuran arus motor conveyor E2.....                 | 54 |
| Gambar 4.13 Sampel Data Proses Pengisian ( <i>Loading</i> ) Batubara.....        | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.14 Grafik Persebaran Data Waktu Pengisian ( <i>Loading Time</i> )<br>Dari RH1 .....           | 57 |
| Gambar 4.15 Grafik Persebaran Data Waktu Pengisian ( <i>Loading Time</i> )<br>Dari RH2 .....           | 58 |
| Gambar 4.16 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor F1</i> .....                               | 61 |
| Gambar 4.17 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor J2</i> .....                               | 61 |
| Gambar 4.18 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor K2</i> .....                               | 62 |
| Gambar 4.19 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor L2</i> .....                               | 62 |
| Gambar 4.20 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor F2</i> .....                               | 63 |
| Gambar 4.21 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor C1</i> .....                               | 64 |
| Gambar 4.22 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor D1</i> .....                               | 64 |
| Gambar 4.23 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor J1</i> .....                               | 65 |
| Gambar 4.24 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor K1</i> .....                               | 65 |
| Gambar 4.25 Grafik Sampel Pengukuran Arus Motor <i>Conveyor L1</i> .....                               | 66 |
| Gambar 4.26 Alur Proses Pembebanan Pada Jalur Konveyor 1-3 .....                                       | 71 |
| Gambar 4.27 Alur Proses Pembebanan Pada Jalur Konveyor 1-4 .....                                       | 72 |
| Gambar 4.28 Alur Proses Pembebanan Pada Jalur Konveyor 3-3 .....                                       | 73 |
| Gambar 4.29 Alur proses pembebanan pada jalur konveyor 2-2 .....                                       | 74 |
| Gambar 5.1 <i>Current State Energy Value Stream Mapping</i> .....                                      | 81 |
| Gambar 5.2 <i>Pareto Energy Loss</i> Proses <i>Unloading</i> Jalur Konveyor 1-4.....                   | 83 |
| Gambar 5.3 <i>Pareto Energy Loss</i> Proses <i>Unloading</i> Jalur Konveyor 1-3.....                   | 84 |
| Gambar 5.4 <i>Pareto Energy Loss</i> Proses <i>Loading</i> Jalur Konveyor 3-3 .....                    | 85 |
| Gambar 5.5 <i>Pareto Energy Loss</i> Proses <i>Loading</i> Jalur Konveyor 2-2.....                     | 86 |
| Gambar 5.6 <i>Pareto Energy Loss</i> Proses Pembangkitan .....   | 87 |
| Gambar 5.7 <i>Current State EVSM</i> Jalur <i>Unloading</i> 1.....                                     | 88 |
| Gambar 5.8 Diagram <i>Ishikawa Energy Loss Unloading</i> Ke <i>Stockpile1</i> .....                    | 89 |
| Gambar 5.9 <i>Current State EVSM</i> Jalur <i>Unloading</i> 2.....                                     | 90 |
| Gambar 5.10 Diagram <i>Ishikawa Energy Loss Unloading</i> Ke <i>Stockpile 2</i> ....                   | 91 |
| Gambar 5.11 Diagram <i>Ishikawa Energy Loss</i> proses <i>Unloading</i> ke<br><i>Stockpile 2</i> ..... | 92 |
| Gambar 5.12 <i>Future State EVSM</i> Jalur <i>Unloading</i> 2 .....                                    | 93 |
| Gambar 5.13 <i>Current State EVSM</i> Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile 1</i> .....               | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 5.14 Diagram <i>Ishikawa Energy Loss</i> Pada Proses <i>Loading</i><br>Dari <i>Stockpile 1</i> ..... | 95  |
| Gambar 5.15 <i>Future State EVSM</i> Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile1</i> .....                      | 96  |
| Gambar 5.16 <i>Current State EVSM</i> Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile 2</i> .....                    | 97  |
| Gambar 5.17 Diagram <i>Ishikawa Energy Loss</i> Pada <i>Loading</i> Dari<br><i>Stockpile 2</i> .....        | 98  |
| Gambar 5.18 <i>Future State EVSM</i> Jalur <i>Loading</i> Dari <i>Stockpile2</i> .....                      | 99  |
| Gambar 5.19 <i>FTA Coal Moisture Losses</i> .....   | 100 |
| Gambar 5.20 <i>FTA Turbine Losses</i> .....   | 101 |
| Gambar 5.21 <i>FTA Condenser Losses</i> .....   | 102 |
| Gambar 5.22 <i>FTA Feedwater System Losses</i> .....  | 103 |
| Gambar 5.23 <i>FTA Superheated Spray Tinggi</i> .....   | 104 |
| Gambar 5.24 <i>Future State EVSM</i> Proses <i>Pembangkitan</i> .....                                       | 107 |
| Gambar 5.25 <i>Future State EVSM</i> Proses <i>Bisnis PLTU</i> <i>Batubara</i> .....                        | 108 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 2.1 <i>Energy Use Hidden In Lean Wastes (EPA, 2007)</i> .....  | 30  |
| Tabel 4.1 Karakteristik <i>Proximate Analysis</i> Batubara .....   | 43  |
| Tabel 4.2 Spesifikasi Desain Jalur Pembongkaran Batubara.....  | 47  |
| Tabel 4.3 Data Penerimaan Dan Penyimpanan Batubara .....   | 47  |
| Tabel 4.4 Data Pengukuran Arus Motor Pada Jalur <i>Unloading</i> .....   | 48  |
| Tabel 4.5 Data Perhitungan Uji Kecukupan Dan Keseragaman Data .....  | 50  |
| Tabel 4.6 Spesifikasi Desain Jalur Pengisian ( <i>Loading</i> ) Batubara .....                                       | 55  |
| Tabel 4.7 Data perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data.....   | 57  |
| Tabel 4.8 Data pengukuran arus motor pada jalur <i>loading</i> .....   | 59  |
| Tabel 4.9 Data perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data<br>proses pengisian ( <i>loading</i> ) .....           | 60  |
| Tabel 4.10 Data Proses Pembangkitan Energi Listrik .....   | 67  |
| Tabel 4.11 Data perhitungan <i>losses</i> energi proses pembongkaran<br><i>route</i> 1-3 .....                       | 71  |
| Tabel 4.12 Data perhitungan <i>energy waste</i> proses pembongkaran<br><i>route</i> 1-4 .....                        | 72  |
| Tabel 4.13 Data perhitungan <i>losses</i> energi proses pengisian <i>route</i> 3-3 .....                             | 73  |
| Tabel 4.14 Data perhitungan <i>losses</i> energi proses pengisian <i>route</i> 2-2 .....                             | 74  |
| Tabel 4.15 Data Hasil Heat Rate Gap Analysis PLTU (Energy waste).....  | 76  |
| Tabel 4.16 Pengelompokan parameter peralatan proses pembangkitan .....   | 78  |
| Tabel 5.1 Analisa <i>Root Cause</i> dan Rekomendasi Perbaikan Jalur<br><i>Unloading</i> ke <i>Stockpile</i> 1 .....  | 90  |
| Tabel 5.2 Analisa <i>Root Cause</i> dan Rekomendasi Perbaikan Jalur<br><i>Unloading</i> ke <i>Stockpile</i> 2 .....  | 93  |
| Tabel 5.3 Analisa <i>Root Cause</i> dan Rekomendasi Perbaikan proses<br><i>Loading</i> dari <i>Stockpile</i> 1 ..... | 96  |
| Tabel 5.4 Analisa <i>Root Cause</i> dan Rekomendasi Perbaikan proses<br><i>Loading</i> dari <i>Stockpile</i> 2 ..... | 98  |
| Tabel 5.5 Rekomendasi Perbaikan <i>Energy Losses</i> Pada Proses<br>Pembangkitan.....                                | 106 |

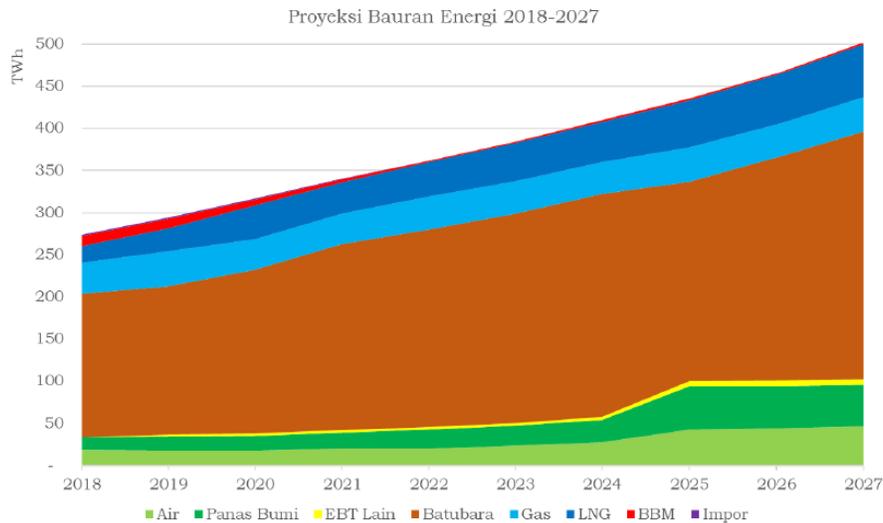
|   |     |
|---|-----|
| Tabel 5.6 Potensi penghematan dari implementasi rekomendasi.....              | 107 |
| Tabel 5.7 Perbandingan <i>energy waste</i> sebelum dan sesudah perbaikan..... | 108 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

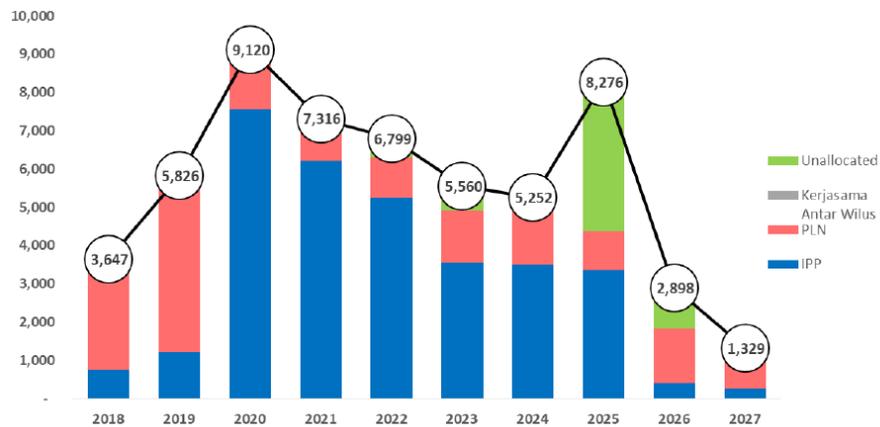
### **1.1 Latar Belakang**

Industri manufaktur merupakan konsumen terbesar dalam hal pemakaian energi di dunia. Dengan adanya dorongan untuk lebih peduli terhadap lingkungan, semua negara dipaksa untuk menggunakan energi secara efisien pada industri-industri mereka (Verma, 2016). Sementara industri manufaktur adalah salah satu konsumen energi paling utama, pada saat yang sama juga merupakan faktor kunci bagi kemakmuran manusia. Dengan pertimbangan biaya energi yang terus meningkat dan meningkatnya kesadaran masyarakat akan perlunya keberlanjutan kegiatan ekonomi, banyak cabang industri saat ini berkonsentrasi pada efisiensi energi sebagai tujuan bisnis strategisnya (Müller, 2014). Hal ini juga terjadi pada industri pembangkitan energi listrik. PT X merupakan salah satu industri pembangkit energi listrik di Indonesia yang tidak terlepas dengan keadaan ini. Kebutuhan energi listrik nasional yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya mengikuti pertumbuhan ekonomi menuntut industri pembangkit untuk selalu melakukan kegiatan efisiensi energi. Didalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) arah kebijakan energi ke depan berpedoman pada paradigma bahwa sumber daya energi tidak lagi dijadikan sebagai komoditas ekspor semata, tetapi sebagai modal pembangunan nasional untuk tujuan mewujudkan kemandirian pengelolaan energi, menjamin ketersediaan energi dan terpenuhinya kebutuhan sumber energi dalam negeri, mengoptimalkan pengelolaan sumber daya energi secara terpadu dan berkelanjutan, meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, menjamin akses yang adil dan merata terhadap energi, pengembangan kemampuan teknologi, industri energi dan jasa energi dalam negeri, menciptakan lapangan kerja dan terkendalinya dampak perubahan iklim dan terjaganya fungsi lingkungan hidup (RUEN, 2017). Peningkatan efisiensi energi dan pengoptimalan pengelolaan sumber daya energi secara terpadu dan berkelanjutan merupakan salah satu pedoman dalam penyediaan energi nasional, mengingat sumber daya energi yang dimanfaatkan saat ini masih didominasi dari sumber daya energi yang tak terbarukan.



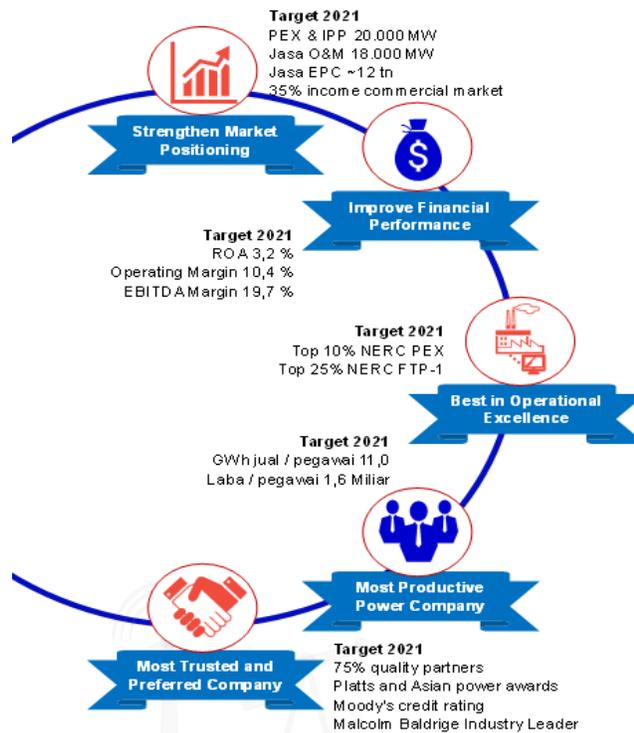
Gambar 1.1 Proyeksi Bauran Energi Tahun 2018 – 2027 ( RUKN, 2018)

Berdasarkan data proyeksi bauran energi RUPTL 2018-2027 pada Gambar 1.1 menunjukkan energi listrik yang berasal dari bahan bakar batubara masih mendominasi dibandingkan dengan energi dari bahan bakar fosil lainnya dan trennya selalu menunjukkan peningkatan. Berdasarkan data dari Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), cadangan batubara Indonesia mencapai 26,2 miliar ton dengan produksi batubara sebesar 461 juta ton tahun 2017, maka umur cadangan batubara masih 56 tahun apabila diasumsikan tidak ada temuan cadangan baru (ESDM, 2018).



Gambar 1.2 Rencana Tambahan Kebutuhan Pembangkit

Proyeksi kebutuhan tenaga listrik pada tahun 2018 seperti yang dinyatakan pada Gambar 1.2 yaitu sebesar 239 TWh dan pada tahun 2019 sebesar 256 TWh. Kebutuhan tambahan pembangkit pada RUPTL 2018 – 2027 sebesar 56 GW dengan komposisi 32,059 atau 57% disuplai oleh *Independence Power Producer (IPP)* dan 16,571 GW atau 30% disuplai oleh PT Y, sisanya 7,094 GW atau 13% belum dialokasikan (RUPTL, 2018). Dengan semakin tingginya kebutuhan energi listrik dan adanya keterbatasan cadangan bahan bakar batubara nasional maka pengelolaan pembangkit dengan bahan bakar batubara yang efisien sangat multak diperlukan karena belum adanya energi baru terbarukan yang memiliki kapasitas sebanding dengan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara untuk memenuhi permintaan beban *customer*. Untuk memenuhi kondisi tersebut, PT X yang merupakan pengelola bisnis pembangkitan energi listrik dari PT Y (Persero), telah menetapkan strategi kebijakan yang dinyatakan dalam sasaran strategi jangka panjang perusahaan seperti dinyatakan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Sasaran Strategis PT X tahun 2017 – 2021

Melalui implementasi program-program tersebut diharapkan dapat mencapai target yaitu dapat menurunkan Harga Pokok Penjualan (HPP) untuk dapat berkompetisi dengan perusahaan-perusahaan pembangkit lainnya. PT X berkomitmen untuk tidak hanya menjaga kesiapan dan keandalan pembangkit namun juga menjaga efisiensi pembangkit sehingga tetap menjadi salah satu pembangkit yang diminati oleh pelanggan karena Biaya Pokok Produksi yang rendah. Sebagai salah satu unit pembangkit listrik yang telah beroperasi lebih dari 20 tahun tentunya telah banyak mengalami penurunan performa dari peralatannya sehingga menyebabkan pemakaian energi proses melebihi dari energi *baseline*-nya. Tingginya pemakaian energi proses dapat berdampak pada Biaya Pokok Produksi yang semakin tinggi dan tidak kompetitif. Diperlukan strategi pemeliharaan dan pengoperasian yang tepat, optimal, efisien, agar keandalan dan kinerja pembangkit tetap terjaga. Terdapat indikasi penurunan performa dari peralatan-peralatan pembangkit yang berupa pemborosan energi (*energy losses/ energy waste*) pada peralatan tersebut, baik dari kondisi peralatan yang sudah tidak optimal karena penurunan performa, pemborosan energi akibat kebocoran energi pada sistem ataupun pemborosan energi akibat dari pola pengoperasian yang berbeda dari kondisi komisioningnya. Pemborosan energi dari peralatan dapat dinyatakan dengan adanya gap pemakaian energi saat ini terhadap pemakaian energi pada kondisi performa terbaiknya (*baseline energy*) atau kondisi komisioning (*commissioning test*). Sedangkan pemborosan energi saat pengoperasian dapat dinyatakan dengan adanya *heat loss* selama proses pengoperasian. Dari kondisi awal dioperasikan sampai dengan kondisi saat penelitian ini disusun, unit pembangkit PT X telah mengalami beberapa kali perubahan pola operasi sehingga berpotensi terjadi pemborosan-pemborosan dalam hal konsumsi energi, diantaranya perubahan operasi saat proses pembongkaran batubara (*unloading system*) menuju *stock pile*, perubahan operasi saat proses pengisian batubara (*loading system*) menuju *coal silo* serta perubahan operasi saat proses pembangkitan energi listrik. Pola pengoperasian yang efisien dapat dilakukan dengan meminimalkan pemborosan-pemborosan yang terjadi selama proses produksi.

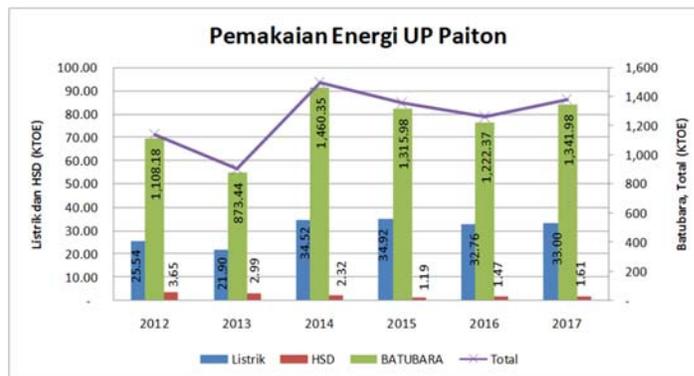
Banyak penelitian yang telah dilakukan dan dikembangkan untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan yang dialami pada industri-industri

manufaktur, diantaranya dengan menggunakan konsep *lean manufacturing*. *Lean manufacturing* adalah sistem manajemen yang berfokus pada peningkatan secara berkelanjutan yang mampu mengidentifikasi dan menghilangkan sumber-sumber pemborosan dalam suatu proses (Davies, 2016). Pendekatan konsep *lean* telah diterapkan lebih sering diaplikasikan pada industri manufaktur dengan proses diskrit daripada di sektor proses yang kontinyu (Abdulmalek, 2007). *Lean manufacturing* juga telah berhasil diimplementasikan dibanyak organisasi di seluruh dunia, untuk peningkatan produktivitas dan profitabilitas yang signifikan di perusahaan-perusahaan tersebut. Pada penelitian tersebut telah menunjukkan bahwa peningkatan dari produktivitas yang ramping (*lean productivity*) telah menunjukkan pengurangan secara tidak langsung terhadap konsumsi energi dalam proses manufaktur, karena filosofi dari *lean* berusaha untuk menghilangkan pemborosan dalam suatu proses (Davies, 2016).

Pada penelitian terdahulu juga telah banyak dilakukan penelitian-penelitian mengenai *lean manufacturing* dan *green manufacturing* yang mana dapat meminimalkan pemborosan. Teknik *lean manufacturing* difokuskan untuk mengurangi *lead time* dan mengeliminasi pemborosan dalam semua bentuk. *Green manufacturing* merupakan suatu metode pada suatu industri manufaktur yang mana dapat meminimalkan pemborosan (*waste*) dan polusi. *Value Stream Mapping (VSM)* merupakan salah satu alat dari *lean manufacturing* yang digunakan untuk mengurangi pemborosan dalam setiap proses dengan memisahkan aktifitas yang memberikan nilai tambah (*value added*) dan aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non value added*). Verma (2016) telah melakukan penelitian dengan menggunakan konsep *VSM* yang dikembangkan menjadi *Energy value stream mapping (EVSM)* untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemakaian energi proses yang tidak produktif. Penerapan metode *energy value stream mapping* dalam industri manufaktur sebagian besar membahas mengenai seberapa besar konsumsi energi listrik dalam menghasilkan suatu produk pada suatu proses produksi. Untuk mendapatkan pemakaian energi yang efisien dalam industri, perlu dikembangkan cara dan metode untuk mengefisienkan pemakaian energi atau pengurangan konsumsi energi yang salah satunya dengan menggunakan metode *EVSM*. *EVSM* dapat mengidentifikasi tingkat penggunaan energi dan pemborosan di setiap tahap

dan karenanya menentukan peluang untuk konservasi energi (Verma, 2016). Metode pendekatan *EVSM* dilakukan untuk memvisualisasikan energi yang digunakan selama proses. Energi yang tidak memberikan nilai tambah selama proses dianggap sebagai energi pemborosaan (*waste of energy*)(Müller, 2014).

Berdasarkan dari penerapan metode *EVSM* pada beberapa penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini membahas mengenai penerapan konsep *lean manufacturing* pada proses pembangkitan untuk meminimalkan pemborosan-pemborosan penggunaan energi pada setiap tahapan proses yang terdapat indikasi pemborosan penggunaan energi dengan menggunakan pendekatan metode *energy value stream mapping (EVSM)*. Beberapa indikasi pemakaian energi yang berlebih dalam proses pembangkitan listrik tenaga uap dengan bahan bakar batubara pada PT X diantaranya adalah pemakaian energi listrik pada proses pembongkaran batubara menuju *stock pile* dan pengisian batubara menuju *coal silo* untuk proses pembakaran, selain itu juga adanya indikasi pemborosan energi yang terjadi pada proses pembangkitan diantaranya terjadi pada peralatan-peralatan utama seperti di *turbine, boiler, condenser*. Adapun pemakaian sumber energi pada kurun waktu tujuh tahun terakhir, baik energi dari bahan bakar maupun energi listrik di PT X dapat ditampilkan pada Gambar 1.4. Berdasarkan data pemakaian energi tahunan tersebut menunjukkan adanya trend kenaikan pemakaian energi listrik dalam proses pembangkitan sehingga diperlukan alat yang secara menyeluruh dapat memetakan aktifitas produksi.



Gambar 1.4 Pemakaian energi tahunan PT X

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan maka dilakukan perumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui *energy waste* mulai dari proses pembongkaran (*unloading*) dan pengisian (*loading*) batubara sampai proses pembangkitan energi listrik pada industri *PLTU*?
2. Bagaimana tindakan perbaikan untuk mereduksi pemakaian *energy waste* yang terjadi mulai dari proses pembongkaran (*unloading*) dan pengisian (*loading*) batubara sampai proses pembangkitan energi listrik pada industri *PLTU*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian antara lain adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besaran *energy waste* yang terjadi pada proses pembongkaran (*unloading*) dan pengisian (*loading*) batubara sampai proses pembangkitan energi listrik pada industri *PLTU*
2. Menyusun *Future State Map EVSM* berdasarkan *Pareto energy waste*, serta memberikan rekomendasi perbaikan sebagai solusi alternatif.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Membantu manajemen perusahaan pembangkit dalam mengurangi pemakaian energi yang merupakan pemborosan (*waste*)
2. Membantu manajemen perusahaan pembangkit dalam meningkatkan efisiensi pembangkit guna memenuhi kebutuhan listrik nasional.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan lingkup permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan pada saat unit dalam kondisi berbeban penuh dan pada kondisi stabil sesuai dengan kondisi pengujian pada *baseline*.

2. Identifikasi *energy waste* pada proses pembangkitan energi listrik dilakukan pada unit 2.
3. Data performa yang dijadikan sebagai data *baseline* adalah data komisioning.
4. Analisa perhitungan *energy waste* dilakukan pada proses pembongkaran batubara (*unloading*), proses pengisian batubara (*loading*) menuju *coal silo* dan proses pembangkitan energi listrik dengan metode *energy balance*.

## 1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan pemahaman dan alur berfikir dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan dibuat berdasarkan ketentuan yang sudah berlaku.

Bab 1 adalah pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dari penelitian ini, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penelitian.

Bab 2 menyajikan landasan teori yang mendukung penelitian ini. Landasan teori yang dijelaskan meliputi teori proses pembangkitan energi listrik, *lean manufacturing*, *value stream mapping (VSM)*, *energy value stream mapping (EVSM)*, dan *fault tree analysis (FTA)*.

Bab 3 mengenai metode penelitian akan membahas tentang metode-metode yang digunakan dalam penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan, diantaranya *energy value stream mapping (EVSM)*, *Fishbone diagram*, *Pareto* dan *fault tree analysis (FTA)*.

Bab 4 mengenai pengumpulan dan pengolahan data akan menguraikan data hasil pengukuran untuk identifikasi dan penyelesaian permasalahan. Pada Bab ini metode yang digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan adalah dengan metode *energy value stream mapping (EVSM)*.

Bab 5 mengenai analisa dan diskusi akan menguraikan hasil analisa data yang telah dilakukan pada bab pengumpulan dan pengolahan data. Serta memberikan uraian mengenai rekomendasi yang disarankan untuk penyelesaian permasalahan.

Bab 6 mengenai kesimpulan akan menguraikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat menjadi masukan bagi PT. X. Selain itu menguraikan saran untuk penelitian selanjutnya.

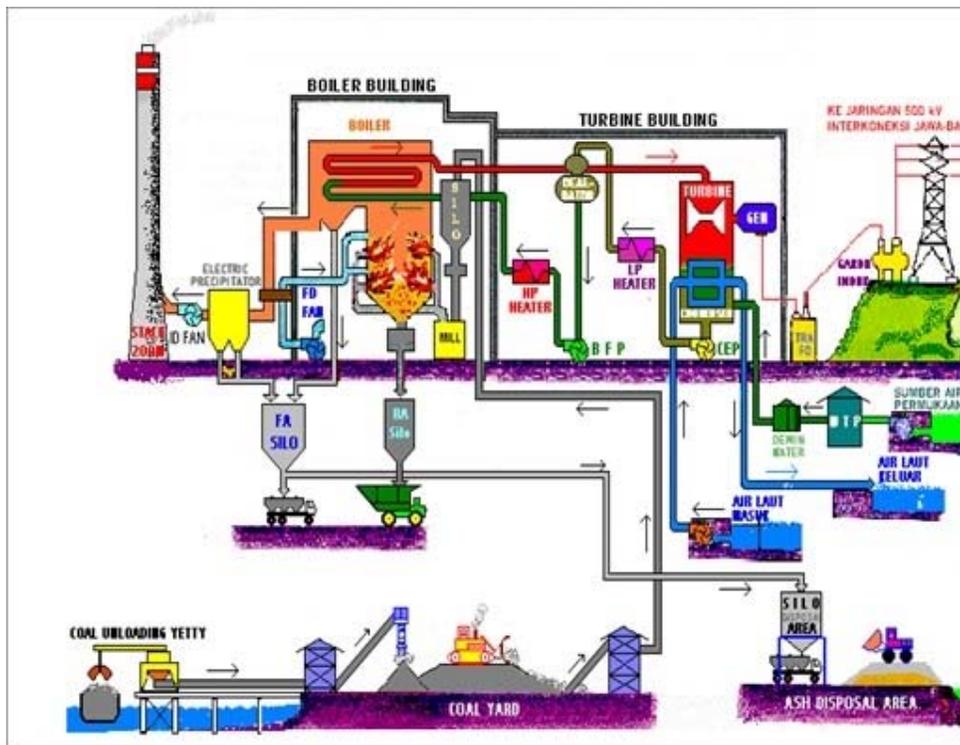
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Proses Pembangkitan

#### 2.1.1. Proses produksi

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem konversi energi listrik dengan memanfaatkan siklus air. Proses konversi energinya terdiri dari 3 tahap dimana tahap pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap yang bertekanan dan temperature tinggi. Tahap kedua, energi panas dalam uap diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada poros turbin dan tahap ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik. Diagram proses produksi listrik pada PLTU dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Diagram Proses Produksi Pada PLTU Batubara

Prinsip kerja sistem PLTU adalah menggunakan siklus *rankine* dimana fluida kerja berupa uap air disirkulasikan secara tertutup. PLTU merupakan mesin

pembangkit termal yang terdiri dari komponen utama dan komponen bantu (penunjang) serta sistem-sistem yang lainnya. Komponen utama dari suatu PLTU terdiri dari:

a. Boiler (*Steam generator*)

Boiler merupakan suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Proses perubahannya dilakukan dengan melakukan pemanasan air yang berada dalam pipa-pipa boiler (*wall tubes*) dengan menggunakan panas hasil pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan merupakan uap panas lanjut (*superheated steam*) dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Jumlah kebutuhan uap yang diproduksi tergantung dari luas perpindahan panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan.

b. Turbin uap (*Steam Turbine*)

Turbin uap merupakan perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah energi panas yang terkandung dalam uap (*superheated steam*) menjadi gerakan putaran. Uap (*superheated steam*) yang memiliki temperatur dan tekanan tinggi diarahkan dengan nozel mendorong sudu-sudu turbin yang terpasang pada porosnya, sehingga menyebabkan berputarnya poros turbin. Setelah melakukan kerja di turbin tekanan dan temperatur uap (*superheated steam*) keluar turbin menjadi turun hingga menjadi uap basah (*saturated steam*). Uap basah (*saturated steam*) ini kemudian dialirkan ke kondensor sedangkan tenaga putar yang dihasilkan pada poros turbin digunakan untuk memutar generator.

c. Kondensator (*Condensor*)

Kondensator merupakan perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah fasa uap yang keluar dari turbin menjadi fasa air yang selanjutnya akan digunakan kembali pada proses pembuatan uap. Proses perubahan fasa uap menjadi fasa air dalam kondensator dilakukan dengan mengalirkan uap kedalam suatu ruangan vakum yang terdapat pipa-pipa (*tubes*) yang didalamnya mengalir air pendingin, sehingga terjadi proses perpindahan panas hingga uap berubah menjadi air. Laju perpindahan panas tergantung dari aliran pendingin, kebersihan pipa-pipa (*tubes*) dan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin.

*d. Generator*

*Generator* merupakan perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang berupa putaran poros yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik dengan menerapkan prinsip induksi magnet. Generator terdiri dari dua bagian, yaitu bagian yang diam yang disebut *stator* dan bagian yang berputar yang disebut *rotor*. *Stator* terdiri dari *casing* yang berisi kumparan dan rotor merupakan medan magnet listrik yang terdiri dari inti (*core*) yang berisi kumparan.

Komponen bantu dari suatu PLTU merupakan komponen penunjang dalam suatu sistem PLTU. Untuk PLTU dengan bahan bakar batubara komponen bantu ini terdiri dari:

*a. Water Treatment System*

*Water Treatment Plant (WTP)* merupakan suatu unit pengolah air yang berguna untuk memisahkan pengotor dari air yang dapat berupa padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*), padatan terlarut (*Total dissolved solid*), dan gas terlarut (*Total dissolved gases*), agar dapat digunakan untuk keperluan suatu unit pembangkit listrik. Secara umum fungsi dari *water treatment plant* pada PLTU adalah mengolah air baku menjadi air proses, yang mana air proses digunakan untuk memproduksi uap penggerak turbin uap. Air proses pada siklus PLTU berfungsi sebagai media transfer energi yang terkandung dalam bahan bakar sampai menjadi energi listrik yang dihasilkan oleh generator. *Water Treatment Plant* pada PLTU Paiton terbagi menjadi 2 (dua) sistem, yaitu sistem *pre water treatment* dan sistem *demineralization plant*.

*b. Ash Handling System*

*Ash Handling System* merupakan komponen bantu pada sebuah PLTU berbahan bakar batubara. *Ash handling system* berfungsi untuk menangkap abu sisa pembakaran yang terbawa bersamaan dengan aliran gas buang untuk selanjutnya disalurkan ketempat penampungan abu (*silos*).

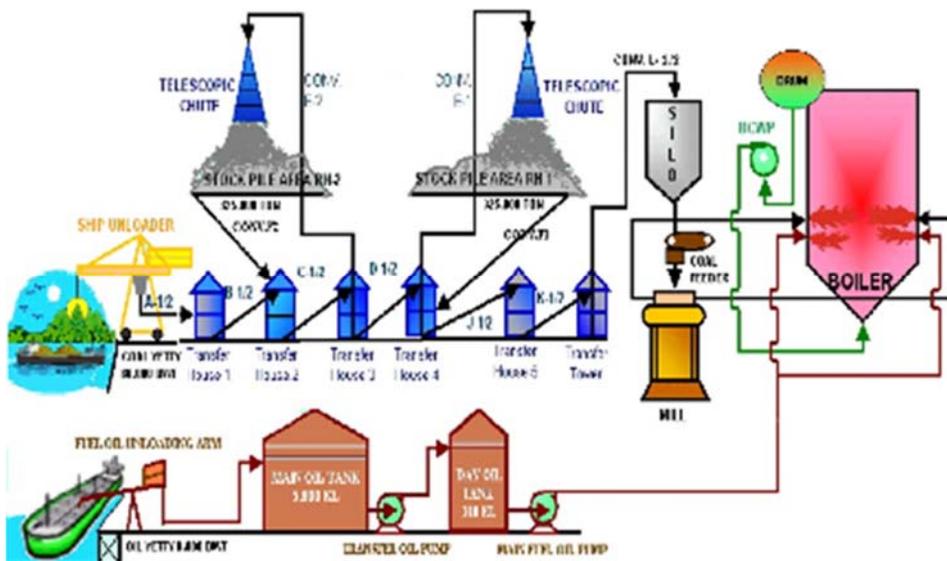
*Ash handling system* terdiri dari dua sistem, yaitu *fly ash system* dan *bottom ash system*. *Fly ash system* menyalurkan abu yang tertangkap oleh *Electrostatic*

*Precipitator* menuju penampungan abu (*silo*). *Bottom ash system* menyalurkan abu sisa pembakaran yang berasal dari bagian bawah dari boiler (*furnace area*).

c. *Coal Handling System*

*Coal handling system* merupakan sistem penanganan dan pengelolaan batubara mulai dari penerimaan batubara dari kapal/ tongkang, penyimpanan di *stock pile* dan mengirim batubara menuju *coal silo/ bunker* yang selanjutnya akan digunakan pada pembakaran di boiler secara kontinu. Untuk mentransfer batubara digunakan sistem *conveyor belt*.

Sistem *coal handling* untuk PLTU PT X terdiri dari 2 *ship unloader* sebagai fasilitas bongkar batubara dari kapal dan sebagai *transport* batubara dengan menggunakan sistem *conveyor* yang terdiri dari 9 jenis jalur *conveyor* yaitu *conveyor* A, B, C, D, E, F, J, K dan L. dua unit *reclaim hopper* dan dua unit *tripper*, seperti di uraikan pada Gambar 2.2 berikut.



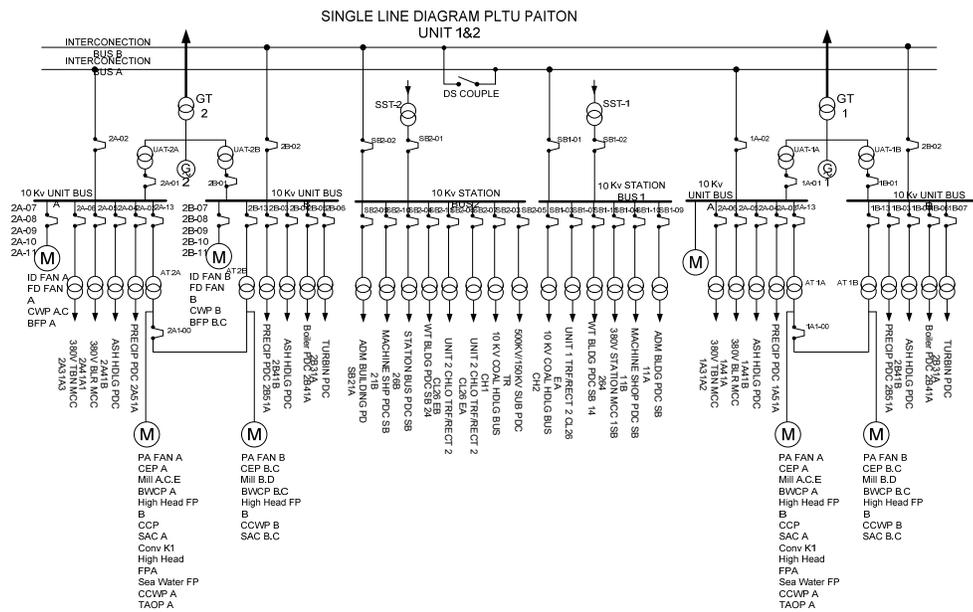
Gambar 2.2 Sistem Pengelolaan Bahan Bakar PLTU Paiton

2.1.2. **Kebutuhan listrik pembangkit**

Kebutuhan listrik untuk proses pembangkitan di PT X yang paling dominan adalah kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor-motor listrik dan kebutuhan listrik untuk transformator yang nilainya mencapai 80%, selain itu juga ada kebutuhan listrik untuk instalasi penerangan. Kebutuhan listrik untuk beban

motor dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya efisiensi motor, pola operasi motor, pembebanan motor, kualitas daya listrik pencatu daya motor dan lingkungan di sekitar motor. Seperti juga motor, kebutuhan listrik dari transformator juga dipengaruhi oleh faktor pembebanan transformator, kualitas daya listrik dan lingkungan di sekitar tranformator. Sedangkan pada instalasi penerangan, kebutuhan energi listrik dipengaruhi oleh tipe dari lampu dan instalasinya itu sendiri serta pola operasinya.

Sistem kelistrikan yang dipakai untuk memenuhi kebutuhan listrik di PLTU Paiton terdiri dari beberapa kelompok tegangan yaitu tegangan 10 kV, 3 kV dan 380 V, seperti yang dinyatakan dalam line diagram pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Single Line Diagram PLTU Paiton

Kelompok tegangan 10 kV terdiri dari 10kV Unit Bus 1A yang disuplai dari Unit Auxiliary Transformer (UAT) 1A, 10kV Unit Bus 1B yang disuplai dari Unit Auxiliary Transformer (UAT) 1B, Unit Bus 2A yang disuplai dari Unit Auxiliary Transformer (UAT) 2A, 10kV Unit Bus 2B yang disuplai dari Unit Auxiliary Transformer (UAT) 2B, 10kV Station Bus 1 (SB1) yang disuplai dari Station Service Transformer 1 (SST1) dan 10 kV Station Bus 2 (SB2) yang disuplai dari Station Service Transformer 2 (SST2).

a. *10 kV Unit Bus*

*10kv Unit Bus* berfungsi untuk menyediakan suplai power tegangan menengah untuk peralatan unit. Masing -masing unit terdiri dari 2 *Unit Bus* yaitu *Unit Bus A* dan *Unit Bus B*. *Bus A* mendapatkan suplai *power* dari SB1 melalui *Interconnection Bus A*, sedangkan *Bus B* mendapatkan suplai power dari SB2 melalui *Interconnection Bus B*. Ketika unit telah mampu untuk menghasilkan power maka *10kV Unit Bus* didapatkan dari pemakaian sendiri melalui *Unit Auxiliary Transformer*.

b. *10 kV Station Bus*

*10 kv station bus (SB)* berfungsi untuk menyediakan suplai power kepada *station common equipment* dan *outlying building*, selain itu juga sebagai suplai *power 10kV unit bus* selama proses *start up* unit dan sebagai *back up power 10kV unit bus* ketika unit terjadi trip. *Station Bus (SB)* yang ada di PLTU paiton terdiri dari dua yaitu SB1 dan SB2. SB1 disuplai dari *Station Service Transformer 1 (SST1)* dan SB2 disuplai dari *Station Service Transformer 2 (SST2)*. Beberapa peralatan motor listrik yang menggunakan suplai tegangan 10kV diantaranya :

- *Induced Draft Fan (IDF)*
- *Forced Draft Fan (FDF)*
- *Circulating Water Pump (CWP)*
- *Boiler Feedwater Pump (BFP)*

c. *10kV/3kV Auxiliary Transformer (AT)*

*Auxiliary Transformer* berfungsi untuk mentransfer suplai tegangan menengah 10kV menjadi suplai tegangan rendah 3kV untuk keperluan unit. Masing-masing unit terdiri dari 2 *Auxiliary Transformer (AT)* yaitu AT 1A/2A dan AT 1B/2B.

d. *3kV unit Bus*

*3kV unit Bus* berfungsi untuk mensuplai power tegangan menengah untuk keperluan peralatan unit. masing-masing unit terdiri dari dua Bus yaitu Bus A dan Bus B dimana bus A mendapatkan suplai power dari AT A dan bus B mendapatkan suplai power dari AT B. 3kV bus dilengkapi *bus tie breaker* yang menghubungkan antara Bus A dan Bus B apabila terjadi gangguan pada 10kV

bus. Beberapa peralatan motor listrik yang menggunakan suplai tegangan 3kV diantaranya:

- *Primary Air Fan (PAF)*
- *Condensate Extraction Pump (CEP)*
- *Mill/ Pulverizer*
- *Boiler Water Circulating Pump (BWCP)*
- *High Head Fire Pump*
- *Closed Cooling Water Pump (CCWP)*
- *Station Air Compressor (SAC)*
- *Conveyor K*

### **2.1.3. Energy Waste Pembangkitan**

Dalam proses pembangkitan energi listrik *PLTU* pemakaian energi proses dapat dikelompokkan menjadi:

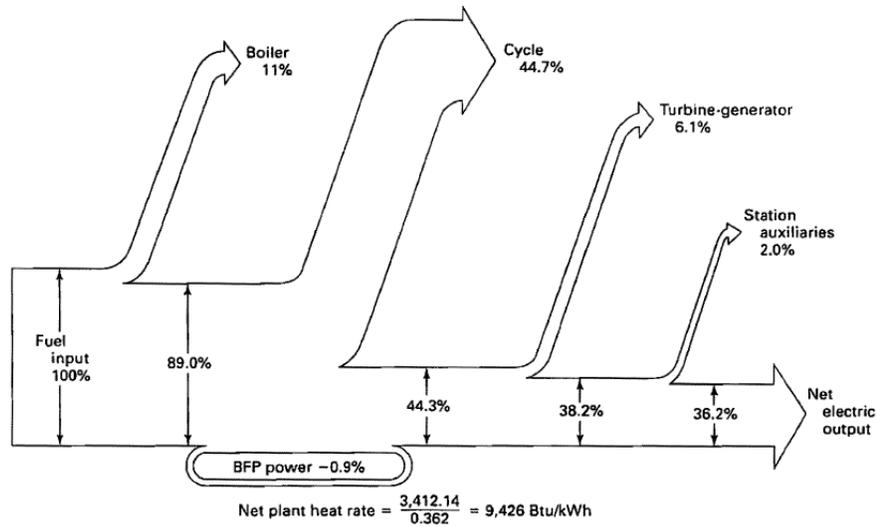
#### **1. Energi Kalor yang terkandung Bahan Bakar**

Bahan bakar yang digunakan pada proses produksi energi listrik *PLTU* adalah bahan bakar minyak (*High speed diesel/ HSD*) dan bahan bakar batubara (*coal*). Bahan bakar minyak (*HSD*) digunakan pada saat start awal unit (*first firing*) sedangkan pada kondisi normal dimana unit sudah mampu menghasilkan energi listrik, suplai bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar batubara. Energi kalor yang terkandung dalam batubara dapat dinyatakan dengan nilai kalor batubara. Nilai kalor merupakan banyaknya panas yang dapat dilepaskan oleh setiap kilogram batubara jika dibakar sempurna.

#### **2. Energi listrik untuk menggerakkan motor-motor**

Selain menggunakan energi bahan bakar untuk proses produksi, proses produksi energi listrik *PLTU* juga membutuhkan energi listrik untuk proses produksinya. Energi listrik ini antara lain digunakan untuk sumber eksitasi pada generator, untuk menggerakkan motor-motor listrik, sebagai sumber untuk penerangan dan proses pendukung lainnya. Sumber energi listrik yang digunakan selain dari energi listrik *output* dari generator untuk proses pemakaian sendiri juga dari energi listrik eksternal.

### 3. Energi panas pada proses pembakaran (*Heat Rate*)



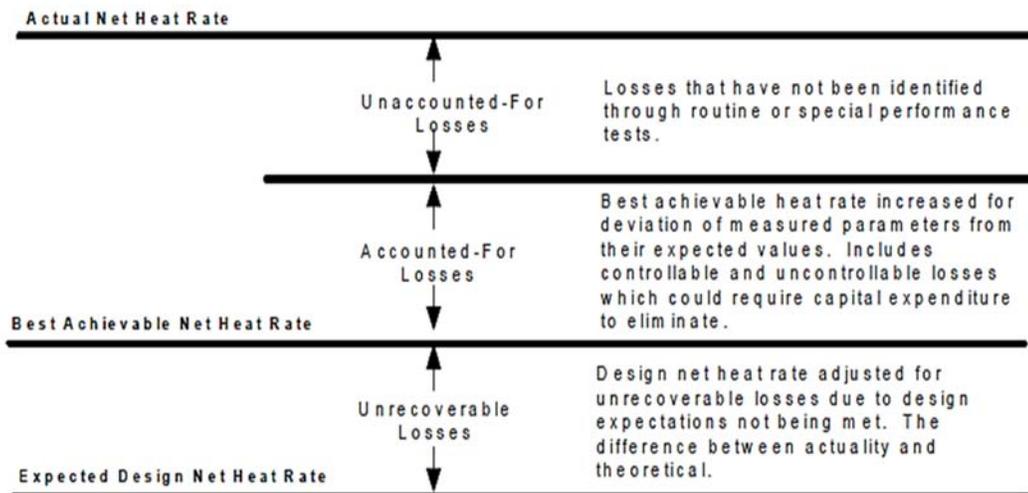
Gambar 2.4 Karakteristik *energy losses* pada *PLTU* batubara

Performa suatu unit pembangkit pasti akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jam operasi unit. Dengan perencanaan performa yang baik akan dapat mengidentifikasi adanya kerugian-kerugian energi (*energy losses*) yang muncul. Program *overhous* merupakan saat yang tepat untuk mengembalikan performa unit sesuai dengan kondisi awalnya. *Heat Rate* merupakan parameter yang umum digunakan untuk menilai efisiensi suatu pembangkit listrik. *Heat rate* menunjukkan jumlah kalori/ panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan per *kWh* listrik dari generator (Tsou, 1998). Semakin besar nilai *Heat Rate* maka semakin kecil efisiensi dari pembangkit listrik tersebut, dan sebaliknya semakin kecil nilai *Heat Rate* maka semakin tinggi efisien dari pembangkit listrik tersebut. Untuk mengetahui kondisi efisiensi unit, maka perlu dibandingkan antara *heat rate reference* dengan kondisi *heat rate* aktual unit saat ini (Tsou, 1998). Selisih antara *heat rate* referensi dan *heat rate* aktual merupakan *gap* nilai *heat rate*. Semakin besar *gap* yang dihasilkan berarti menunjukkan semakin besar pula degradasi efisiensi dari *power plan* tersebut. (Tsou, 1998) menggunakan *heat rate reference* dengan dua sumber data, yaitu:

- a. *As Built Heat Rate*: yaitu data-data *heat rate* dari *Commissioning test* atau *Best Performance test* setelah rehabilitasi. Data ini digunakan sebagai sumber data utama untuk data referensi.
- b. *As Design Heat Rate*: yaitu data-data *heat rate* dari *Design Power Plan Document*. Data ini digunakan jika terdapat data yang tidak ditemukan pada data *As Built Heat rate*.

(Tsou, 1998) dalam *Hate Rate Improvement Manual* juga menggambarkan kondisi beberapa nilai *heat rate* seperti pada gambar 2.5 berikut.

### Definitions of Standards for Thermal Efficiency



Gambar 2.5 Definisi standart dari efisiensi termal unit

Pemborosan (*waste*) pada proses pembangkitan dapat berasal dari pemborosan pada sumber energi yang digunakan maupun *losses* energi pada proses pembangkitan. *Losses* energi pada proses pembangkitan dapat diketahui dengan melakukan perhitungan metode *energy analysis*. *Losses* energi terjadi pada peralatan-peralatan utama pembangkit diantaranya *losses* pada boiler, *losses* pada turbin dan generator, *losses* pada kondensor.

Identifikasi *waste* pada proses pembangkitan juga dapat dilakukan dengan perhitungan *heat rate losses* dengan metode *heat rate gap analysis*. *Heat rate gap analysis* merupakan tool yang digunakan untuk membandingkan *heat rate*

*reference* dengan *heat rate* yang terjadi saat ini. Semakin besar gap dari *heat rate* maka mengindikasikan semakin besar pula *losses* energi yang terjadi. Dalam melakukan perhitungan *heat rate analysis* maka perlu dibuat *breakdown* kontribusi masing-masing peralatan terhadap kenaikan *heat rate*. Dikarenakan jumlah peralatan di suatu siklus pembangkit termal cukup banyak, *heat rate gap analysis* sebagai salah satu *tools* dalam mempermudah *assessment losses* energi termal. Dalam analisis pemetaan *heat losses*, diperlukan beberapa data hasil tes performa rutin atau data operasi. Data tersebut akan dibandingkan dengan data referensi yaitu data komisioning atau data performa terbaik dari unit pembangkit.

## **2.2     *Lean Manufacturing / Lean Production***

### **2.2.1.   Pengertian *Lean Manufacturing / Lean Production***

Strategi *Lean* pertama kali dikembangkan oleh Taiichi Ohno pada tahun 1950an dan diterapkan di *Toyota Motor Company* (Ohno, 1988). Pada tahun 1990an Sistem *Produksi Toyota Production System (TPS)* mulai dikenal di Dunia Barat, banyak perusahaan mencoba mengadopsinya untuk digunakan diperusahaannya. Sejak saat itu *TPS* dianggap sebagai tolak ukur untuk menciptakan aliran nilai yang sangat efisien dan sering juga digambarkan sebagai sistem produksi ramping (Müller, 2014). Esensi dari *TPS* yang dinyatakan oleh Taiichi Ohno adalah mengurangi *lead time* dengan menghilangkan pemborosan yang tidak akan menambah nilai (*non value added*) (Müller, 2014). *Lean production* adalah istilah yang diciptakan oleh Womack, Jones dan Roos pada tahun 1991 dalam bukunya *The Machine that Changed the World*, yang merupakan studi yang dilakukan *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* pada *Toyota Production System (TPS)*(Davies, 2015). *Lean manufacturing system* merupakan sebuah konsep yang menggunakan pendekatan secara sistematis untuk mengeliminasi *waste/* pemborosan dengan tujuan untuk meningkatkan kegiatan yang memberikan nilai tambah/ *value added (VA)*. Kegiatan mengeliminasi *waste/*pemborosan serta usaha untuk meningkatkan kegiatan yang bernilai tambah/ *value added (VA)* serta menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah/ *non value added (NVA)* dilakukan dengan tindakan perbaikan secara berkelanjutan (Davies, 2015).

*Lean production* telah berkontribusi pada peningkatan yang spektakuler dalam efisiensi, kecepatan respon dan fleksibilitas dalam produksi di banyak perusahaan industri melalui pengurangan pemborosan dan implementasi dari proses yang sangat fleksibel (Hani, 2010).

*Lean manufacturing* merupakan suatu proses inovasi yang radikal yang tidak terbatas kepada asal-muasal akan tetapi mempunyai aplikabilitas luas di dalam beraneka industri di banyak negara-negara (Womack, 1991).

*Lean* adalah strategi bisnis dengan tujuan utama untuk menghilangkan pemborosan, yang didefinisikan sebagai aktifitas yang tidak menambah nilai (Aziz, 2013). Dalam strategi *lean*, pelanggan akan menentukan nilai. Aktivitas yang memberikan nilai tambah adalah aktivitas yang akan dibayar oleh pelanggan, aktivitas yang membantu mengubah produk atau layanan dengan cara tertentu, dan aktivitas yang harus dilakukan dengan benar pertama kali (Banawi, 2013).

### **2.2.2. Prinsip dari filosofi *Lean***

Womack (1991) mendefinisikan prinsip dari filosofi *lean* menjadi 5 prinsip utama yaitu:

1. Mendefinisikan *value* / nilai dari sudut pandang pelanggan  
Nilai/ *value* ditentukan oleh *customer* yang berarti mengidentifikasi apa yang menjadi keinginan *customer* dan memberikan nilai tersebut ke *customer*.
2. Mendefinisikan aliran nilai  
Aliran nilai berupa seluruh aktivitas baik yang berupa aktivitas *value added* maupun yang aktivitas *non- value added* yang dilalui oleh produk dari *raw material* sampai barang jadi di tangan pelanggan (Rother and Shook 1999).
3. Aliran proses  
Aliran proses yang berupa pemborosan harus dihilangkan sehingga yang terdapat dalam aliran proses produksi hanya *value-added processes*.
4. Sistem Tarik (*pull system*)  
Sistem Tarik (*pull system*) adalah sistem produksi yang didasarkan dari *demand customer*.
5. Berusaha untuk mencapai kesempurnaan

Kesempurnaan akan diraih ketika dalam organisasi semua anggota menyadari bahwa proses perbaikan harus dilakukan secara kontinu (*continuous improvement*) untuk mengeliminasi *waste* dan mengurangi kesalahan saat menawarkan apa yang sebenarnya diinginkan *customer*.

### 2.2.3. Kategori Waste

Ohno, T (1988) mengklasifikasikan tipe *waste* kedalam beberapa kategori, yaitu:

- *Waste of over production*
- *Waste of time on hand (waiting)*
- *Waste in transportation*
- *Waste of processing itself*
- *Waste of stock on hand (inventory)*
- *Waste of movement*
- *Waste of making defective products*

Yang termasuk *waste*/pemborosan dalam kegiatan perusahaan terutama *manufacturing* adalah:

1. *Transportasi*. Merupakan perpindahan produk dari orang ke orang atau antar lokasi.
2. *Inventory*. Merupakan Material yang tidak di proses atau di proses secara parsial atau bahan jadi yang tidak terkirim.
3. *Motion* atau Gerakan. Merupakan pergerakan yang berlebihan dari orang atau mesin dari yang seharusnya terjadi.
4. *Waiting* atau Menunggu. Merupakan waktu/ masa dimana tidak ada kegiatan sambil menunggu untuk langkah berikutnya mulai.
5. *Overprocessing* atau Proses yang berlebihan. Merupakan pekerjaan yang tidak perlu, diluar apa yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan pelanggan.
6. *Overproduction* atau Produksi yang berlebihan. Merupakan kegiatan yang memproduksi produk lebih daripada yang diperlukan pada saat sekarang.

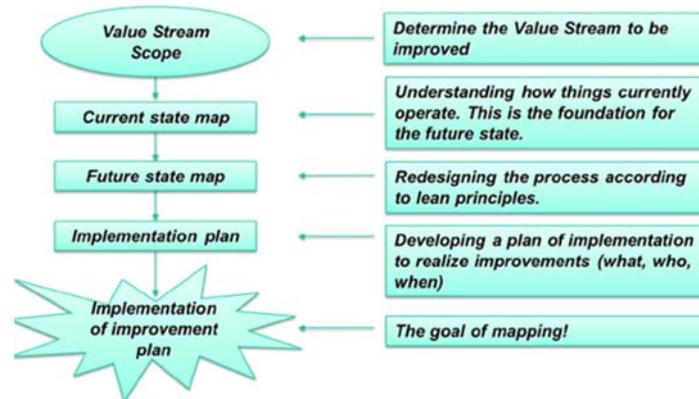
Pemborosan karena produksi berlebih akan menyebabkan biaya untuk pemakaian energi menjadi bertambah.

7. *Defects*. Merupakan langkah proses yang menghasilkan skrap dan menyebabkan pekerjaan ulang atau memproses kembali.

### **2.3. Value Stream Mapping (VSM)**

#### **2.3.1. Pengertian Value Stream Mapping (VSM)**

*Value Stream Mapping (VSM)* adalah perangkat dari manajemen kualitas (*quality management tools*) yang dapat menyusun keadaan saat ini dari sebuah proses dengan cara membuka kesempatan untuk melakukan perbaikan dan mengurangi pemborosan. Secara umum, *Value Stream Mapping* berasal dari prinsip *Lean* (Womack, 1991). *VSM* adalah sebuah metode untuk menggambarkan dan menganalisa logika suatu proses produksi. Terminologinya berasal dari proses produksi sebagai aliran produk yang stabil di mana suatu nilai diberikan untuk setiap tahap proses. Terminologi ini juga memperkuat pendapat tentang aliran kontinu sebagai bentuk akhir produksi -setidaknya dalam hal efisiensi. *VSM* memberikan gambaran grafis tentang aliran material dan informasi dalam proses produksi. Hal ini untuk memahami bagaimana kegiatan dan operasi terhubung dan membentuk dasar untuk analisis proses. *VSM* juga memberikan gambaran tentang bagaimana aktifitas dan sistem operasi terhubung dan menjadi dasar untuk analisis proses. (Langstrand, 2016). *VSM* mengklasifikasikan semua proses kedalam kategori *value adding* dan *non value adding*. Tujuan utama dari *VSM* adalah untuk mengidentifikasi semua jenis *waste (non value adding)* dalam *value stream* dan langkah-langkah untuk menghilangkannya (Verma, 2016). Langstrand (2016) juga mendeskripsikan metodologi *VSM* menjadi 5 tahap seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tahapan utama dari metodologi VSM

Pengertian *Value Stream Mapping (VSM)* adalah alat yang efektif dari konsep *lean manufacturing* untuk mengurangi pemborosan dalam setiap proses dengan memisahkan aktivitas yang memberikan nilai tambah dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (Verma, 2016). *Value Stream Mapping* umumnya digunakan dalam lingkungan *lean* untuk mengidentifikasi peluang dalam peningkatan *lead time*. Tujuan pemetaan *value stream* adalah untuk mengidentifikasi, menunjukkan, dan mengurangi pemborosan dalam proses, selain itu juga digunakan sebagai alat perencanaan strategis dan alat manajemen untuk melakukan perubahan (Hani, 2010).

### 2.3.2. Bagian- bagian dari *Value Stream Mapping (VSM)*

Nash (2008) membagi *VSM* menjadi 3 bagian utama yaitu:

1. Aliran proses atau produksi (*Process or Production Flow*)  
Aliran proses/ material ini biasanya terletak diantara aliran informasi dan timeline. Aliran proses biasanya digambar dari kiri ke kanan. *Subtask* atau subproses dan parallel proses digambar dengan bentuk yang identik di bawah aliran utama. Dengan aliran proses ini, kita dapat melihat proses yang mana yang memiliki *subtask* dan proses mana yang memiliki paralel dengan proses lainnya.
2. Aliran komunikasi atau informasi (*Communication or Information Flow*)

Pada *value stream map* aliran informasinya biasanya terletak di bagian atas. Dengan adanya aliran informasi ini, kita dapat melihat seluruh jenis informasi dan komunikasi baik formal maupun informal yang terjadi dalam *value steam*. Dengan aliran informasi ini kita dapat melacak informasi mana yang sebenarnya tidak perlu dan menjadi *non-value added* komunikasi yang tidak memberikan nilai tambah bagi produk itu sendiri.

3. **Garis Waktu dan Jarak Tempuh (*Timeline and Travel Distance*)**

Pada bagian bawah *VSM* biasaya terdapat serangkaian garis yang mengandung informasi penting dalam *VSM* tersebut dan biasanya disebut sebagai *timelines*. Kedua garis dalam *timelines* ini digunakan sebagai dasar perbandingan dari *improvement* yang akan diimplementasikan. Garis yang pertama yang berada disebelah atas disebut sebagai *Production Lead Time (PLT)/ Proscess Lead Time/lead time*. *PLT* ini adalah waktu yang dibutuhkan produk dalam melewati semua proses dari *raw material* sampai ke tangan *customer* dan biasanya dalam satuan hari. *PLT* yang berada tepat dibawah jeda antar proses ini dijumlahkan menjadi total *PLT* yang diletakkan diakhir proses. Garis yang kedua yang berada disebelah bawah merupakan *cycle time* semua proses yang ada dalam aliran *material* dan ditulis diatas garis tepat dibawah prosesnya, total dari seluruh *cycle time* ini disebut total *cycle time* dan ditulis pada garis akhir proses dibawah total *PLT*. Garis yang terakhir yang terletak dibawah *timelines* adalah jarak tempuh yang merupakan jarak yang ditempuh oleh produk, operator, *electronic forms* sepanjang aliran proses produksi.

**2.4. *Energy Value Stream Mapping (EVSM)***

Mengintegrasikan pemakaian energi kedalam *VSM* merupakan salah satu cara untuk memahami pemakaian energi pada rantai produksi. Penambahan informasi tentang energi kedalam *VSM* akan mempermudah dalam memahami dampak menyeluruh dari performa operasi dan efisiensi energi (Kuriger, 2010). *EVSM (Energy Value Stream Mapping)* dikembangkan berdasarkan standar metodologi *Value Stream*, kemudian ditambahkan dengan komponen Energi. *EVSM* mengidentifikasi tingkat pemakaian energi dan pemborosan dalam setiap

tahapan proses dan dapat menentukan potensi penghematan energi (Verma, 2016). *Energy value stream mapping (EVSM)* adalah perluasan *lean production tool* dari *Value Stream Mapping (VSM)*. *EVSM* berasal dari perpektif metodologi *VSM* yang telah dikembangkan untuk mengidentifikasi penggunaan energi yang utama dalam suatu lini produksi. Kemungkinan pengurangan biaya dapat dicapai dengan pengurangan *energy demand* dalam lini produksi (Bogdanski, 2013). Metode pendekatan *EVSM* dilakukan untuk memvisualisasikan energi yang digunakan selama proses. Energi yang tidak memberikan nilai tambah selama proses dianggap sebagai energi pemborosaan (*waste of energy*) (Müller, 2014). Mengintegrasikan pemanfaatan energi ke dalam *VSM* merupakan salah satu cara untuk memahami konsumsi energi di bagian produksi. Dengan mengetahui pemakaian energi selama proses dengan menggunakan matrik dari konsep *lean* seperti *cycle time*, *changeover time*, dan yang lainnya akan membantu memahami proses dan permasalahan energi. Selain itu juga dapat membantu tim *VSM* untuk bertukar pendapat dan membuat beberapa perbaikan pada usulan masa depan (*future state*) (Kuriger, 2010).

Egon (2014) menjelaskan metode untuk memperluas *value stream mapping (VSM)* ke *energy value stream mapping (EVSM)* dengan mempertahankan karakter aslinya dengan memasukan energi selama proses transportasi *EVSM*. Makalah ini selanjutnya menerapkan aplikasi *EVSM* dalam manajemen *suppy chain* untuk mengurangi jejak energi tingkat global. Dimasukkannya transportasi kedalam kategori *waste* dalam *EVSM* tidak hanya menunjukkan adanya penambahan *lead time* tetapi juga memberikan dampak bertambahnya pemakaian energi yang tidak memberikan nilai tambah (*non value added*). Chatterjee (2014) dalam penelitiannya yang pertama kali melaporkan penggunaan *Energy Value Stream Mapping (EVSM)* sebagai alat untuk menganalisis pemakaian energi dalam setiap proses produksi *biodiesel*.

#### **2.4.1. Value Stream Mapping dan Energy Value Stream Mapping**

Rother (1998) telah mempresentasikan metode yang disebut *Value Stream Mapping* untuk penggunaan praktis. Metode ini memungkinkan untuk mengetahui siklus waktu kerja secara terpisah dari *lead time* yang tidak menambah nilai (*waste*).

Pendekatan yang digunakan berfokus pada meminimalkan *lead time*. Pendekatan *VSM* menunjukkan bahwa urutan dari proses dinyatakan dalam *cycle times* yang terdiri dari *value-adding* ( $t_{va} = \text{time value-adding}$ ) dan *non value-adding* ( $t_{nva} = \text{time non value-adding}$ ).

Ada beberapa penelitian yang mengembangkan penggunaan *VSM* menjadi *EVSM*. Sebagian besar pendekatannya menggunakan 'jalur energi' untuk memvisualisasikan konsumsi energi disepanjang rantai proses.

#### **2.4.2. Hubungan antara penggunaan *Lean* dan Energi**

Menurut *EPA* (2007), pengurangan energi dapat dilakukan dengan menghilangkan pemborosan pada proses manufaktur seperti proses produksi dan transportasi yang tidak perlu, juga pengurangan energi yang dibutuhkan untuk peralatan listrik, pencahayaan, dan pendinginan. Energi merupakan inputan yang sangat penting untuk sebagian besar proses produksi dan aliran nilai. Dengan berpikir secara eksplisit tentang penggunaan energi yang tidak perlu sebagai pemborosan, penerapan konsep *lean* dapat secara signifikan mengurangi biaya dan meningkatkan daya saing, selain itu juga dapat mencapai sasaran kinerja lingkungan. Pemborosan energi juga dapat meningkatkan biaya proses bisnis (Gogula, 2011). Penggunaan energi yang tersembunyi dalam pemborosan *lean* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Saat ini, pemborosan energi juga harus dikaitkan dengan ekonomi organisasi. Semua organisasi dan manajemen perusahaan dituntut untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi pemborosan energi. Perusahaan memandang pemborosan energi sebagai hambatan dalam meraih laba, sehingga dapat mendorong untuk meningkatkan kinerja energi (Gogula, 2011).

Tabel 2.1 *Energy Use Hidden in Lean Wastes (EPA, 2007)*

| Tipe Pemborosan<br>( <i>waste</i> ) | Energi yang digunakan<br>( <i>Energy use</i> )  |
|-------------------------------------|---|
| <i>Over Production</i>              | Lebih banyak energi yang dikonsumsi dalam operasional peralatan untuk membuat produk yang tidak perlu   |
| <i>Inventory</i>                    | Lebih banyak energi yang digunakan untuk memanaskan, mendinginkan, dan penyimpanan inventaris ringan dan ruang pergudangan  |
| <i>Transportation And Motion</i>    | Lebih banyak energi yang digunakan untuk transportasi<br>Lebih banyak ruangan yang diperlukan untuk pergerakan kerja dalam proses ( <i>work in process/ WIP</i> ), peningkatan pencahayaan, pemanasan, pendinginan dan konsumsi energi              |
| <i>Defects</i>                      | Energi yang digunakan saat membuat produk yang rusak/ cacat<br>Lebih banyak usaha yang diperlukan saat pengerjaan proses <i>rework</i> dan <i>repair</i> , sehingga konsumsi energi untuk pemanasan, pendinginan dan pencahayaan meningkat          |
| <i>Over Processing</i>              | Lebih banyak energi yang digunakan untuk pengoperasian peralatan ketika melakukan proses yang tidak perlu<br>Penggunaan peralatan dengan ukuran yang tepat dapat menghasilkan pengurangan yang signifikan dalam penggunaan energi per unit produksi |
| <i>Waiting</i>                      | Pemborosan energi untuk pemanasan, pendinginan dan pencahayaan saat produksi kondisi <i>standby (downtime)</i>  |

### 2.4.3. Pemakaian Energi pada *current state EVSM*

Pemakaian energi pada bagian produksi memberikan dampak yang sangat besar terhadap biaya produksi pada perusahaan manufaktur (Kuriger, 2010). Berdasarkan EPA (2007) sektor industri dan manufaktur lebih banyak mengkonsumsi energi dari pada sektor lain seperti transportasi. Perhitungan pemakaian energi pada masing-masing stasiun kerja akan memberikan dampak yang signifikan dalam mengidentifikasi *bottlenecks* dalam aliran energi. Pemakaian energy listrik pada peralatan dihitung berdasarkan daya rata-ratanya. Semua

perhitungan energi listrik dinyatakan dalam satuan *kilowatt-hours*. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pemakaian energi listrik pada peralatan dinyatakan dalam Persamaan 2.1

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.1)$$

dengan :

P = Daya ( Watt )

I = Arus ( Ampere )

V = Tegangan ( Voltage )

$\sqrt{3}$  = Konstanta 3 phase dengan nilai jika didecimalkan 1.73

$\cos \varphi$  = 85 %

#### **2.4.4. Pemakaian Energi pada *Future State Map EVSM***

*Future state map EVSM* merupakan kondisi ideal yang ingin dicapai oleh sistem dalam melakukan prosesnya. Untuk mendefinisikan dan menggambarkan *future state map EVSM* dimulai ketika kondisi *current state map EVSM* telah identifikasi dan area target untuk perbaikannya telah didapatkan.

#### **2.4.5. Proses Audit *Energy Value Stream Mapping (EVSM)***

Aadithya (2016) menyatakan dengan meningkatnya kebutuhan manajemen energi di industri menyebabkan proses audit energi menjadi sangat kompleks dan rumit. Belum adanya alat yang efisien untuk membantu proses audit energi pada aktifitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non value added activity*) sehingga proses audit energi yang diusulkan dilakukan berdasarkan teknik *energy value stream mapping (EVSM)* yang dilakukan pada industri instrumen elektronik. Proses audit energi dilakukan dengan 3 tahapan ditunjukkan pada Gambar 2.7, diantaranya adalah :

##### *a. Primary step*

Ini adalah langkah pertama dan terpenting dalam audit energi. Sesuai dengan *single line diagram* industri, variasi pembebanan diidentifikasi berdasarkan pengukuran meter yang terhubung. Pembacaan meter energi dicatat dan didokumentasikan berdasarkan sistem pengukuran yang *real time*.

b. *Secondary step*

Secondary step terdiri dari segregasi data. Data yang terdokumentasi pada primary step dipisahkan berdasarkan dengan tujuan audit. Nilai pembebanan yang paling besar memiliki prioritas teratas untuk dilakukan perbaikan lebih banyak. Dokumentasi yang terbentuk dikonversi menjadi data konsumsi dan analisis dasar dilakukan berdasarkan perbandingan. Dalam studi kasus ini, dilakukan analisa bulanan dan konsumsi harian rata-rata dihitung untuk semua beban yang dipertimbangkan.

c. *Tertiary step*

Pemisahan data dibuat sederhana dengan memetakan data berdasarkan single line diagram dan peralatan pada studi ditandai sebagai "*Bursts*" (Poin peningkatan) untuk ditinjau kemudian. Pemetaan data yang dilakukan adalah dengan bantuan distribusi beban seperti yang disebutkan dalam diagram garis tunggal (SLD). Grafik aliran energi menyatakan distribusi langkah demi langkah dari konsumsi energi harian rata-rata di fasilitas itu. Pemakaian energi maksimum dapat secara jelas diidentifikasi dari pemetaan keadaan saat ini (*current state mapping*). Adanya *bottleneck* dapat diatasi dengan menggunakan prinsip *lean* dan solusi teknik lainnya untuk meningkatkan kondisi masa depan (*future state*).



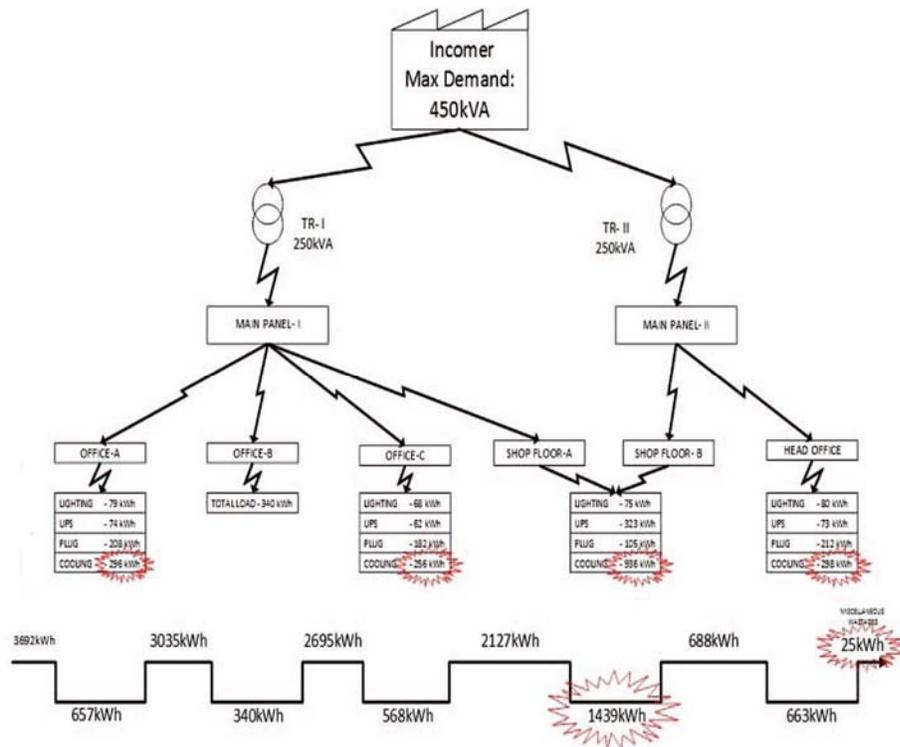
Gambar 2.7 Kerangka kerja *energy value stream mapping (EVSM)*

Aadithya (2016) memberikan panduan dalam penyusunan *EVSM* adalah sebagai berikut:

1. Memproduksi pada titik operasi optimal.

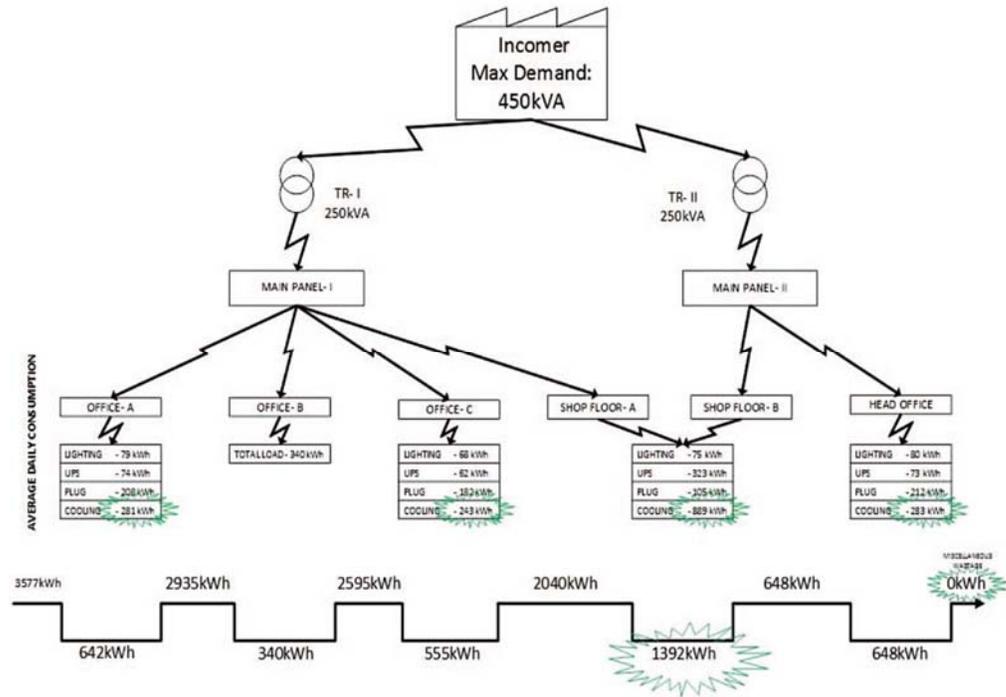
2. Mengurangi *energy demand* dari sumber daya dengan perbaikan teknis.
3. Meminimalkan konsumsi energi dari sumber daya selama operasi siaga.
4. Meminimalkan konsumsi energi selama menghidupkan dan mematikan.
5. Pemulihan energi, melakukan levelisasi konsumsi energi dengan menghaluskan energi puncak.
6. Menurunkan urutan pemrosesan efisiensi energi untuk konsumen energi terbesar.
7. Menyinkronkan pasokan energi dan konsumsi energi.

Kedadaan masa depan (*future state*) dirumuskan sedemikian rupa sehingga efisiensi energi dapat ditingkatkan secara signifikan dan tujuan efisiensi energi dapat tercapai. Sebagian besar industri memiliki tujuan efisiensi energi yang ketat, seperti 5%. Pada Studi kasus Aadithya (2016), dilakukan dengan pengurangan energi 3,5% melalui audit. Tujuan utama *future state* adalah untuk meminimalkan pemakaian energi dengan penyelesaian teknik. Gambaran proyeksi *current state mapping* dan *future state mapping* serta poin perbaikan dalam *EVSM* dapat dinyatakan pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9.



Gambar 2.8 *Current State EVSM*

Gambar 2.8 diatas merupakan gambaran bagaimana *Current State EVSM* disusun. Pada gambar tersebut menunjukkan urutan proses dalam suatu proses produksi, intensitas pemakaian energi listrik dinyatakan pada setiap tahapan proses pemakaian energi listrik yang besar (bertanda merah) menyatakan bahwa pemakaian energi listrik yang terbesar dan menjadi prioritas perbaikan.



Gambar 2.9 *Future State EVSM*

Gambar 2.9 menunjukkan *Future State EVSM* sebagai tindak lanjut dari perbaikan yang telah dilakukan pada proses sebelumnya (*current state EVSM*). Hasil dari prioritas perbaikan telah menunjukkan nilai penurunan.

## 2.5. Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

Karena adanya keterbatasan waktu dalam melakukan pengambilan sampling maka diperlukan suatu cara untuk menentukan seberapa banyak jumlah sampling yang cukup memadai untuk menentukan data proses. Wignjosuebrototo (1995) menyatakan bahwa untuk menetapkan jumlah observasi yang seharusnya dibuat maka harus diputuskan terlebih dahulu berapa tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) dan derajat ketelitian (*Degree of Accuracy*). Didalam aktivitas

pengukuran kerja biasanya akan diambil 95% *confidence level* dan 5% *degree of accuracy*. Hal ini berarti bahwa sekurang-kurangnya 95 data dari 100 data dari data yang diukur untuk suatu elemen kerja akan memiliki penyimpangan tidak lebih dari 5%. Persamaan untuk menentukan uji kecukupan data dilakukan dengan Persamaan 2.2.

$$N' = \left[ \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad (2.2)$$

dengan :

$k$  : tingkat keyakinan (*confidence level*) = 95% ;  $k = 2$

$s$  : derajat ketelitian (*Degree of Accuracy*)

$N$  : jumlah data pengamatan (jumlah sampel)

$N'$  : jumlah data teoritis (jumlah sampel teoritis)

$X$  = Data Pengamatan

Bila  $N' < N$  maka data pengukuran pendahuluan dianggap cukup.

Bila  $N' > N$  maka dikatakan data tidak mencukupi sehingga perlu dilakukan pencarian derajat ketelitian baru yang sesuai dengan jumlah data yang diambil.

Uji keseragaman data digunakan untuk memastikan bahwa data yang terkumpul berasal dari system yang sama. Persamaan untuk uji keseragaman data dinyatakan pada Persamaan 2.3.

$$BKA = \bar{X} + k\sigma \quad (2.3)$$

$$BKB = \bar{X} - k\sigma$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N-1}} \quad (2.4)$$

dengan :

BKA : Batas Kontrol Atas

BKB : Batas Kontrol Bawah

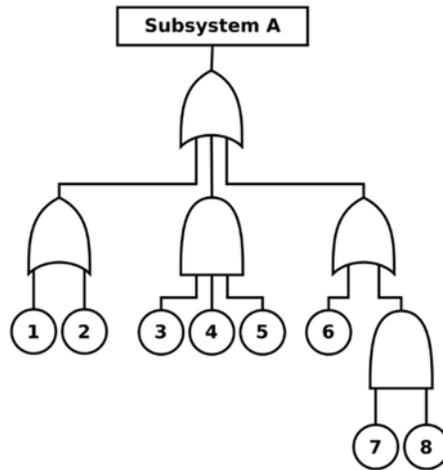
$\sigma$  :Standart deviasi sampel

$\bar{X}$  : Nilai rata-rata

$k$  : tingkat keyakinan

## 2.6 Fault Tree Analysis (FTA)

*Fault Tree Analysis (FTA)* adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*)(Durivage, 2017). Tujuan *FTA* adalah untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan / kesalahan tersebut.



Gambar 2.10 Simbol *FTA*

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

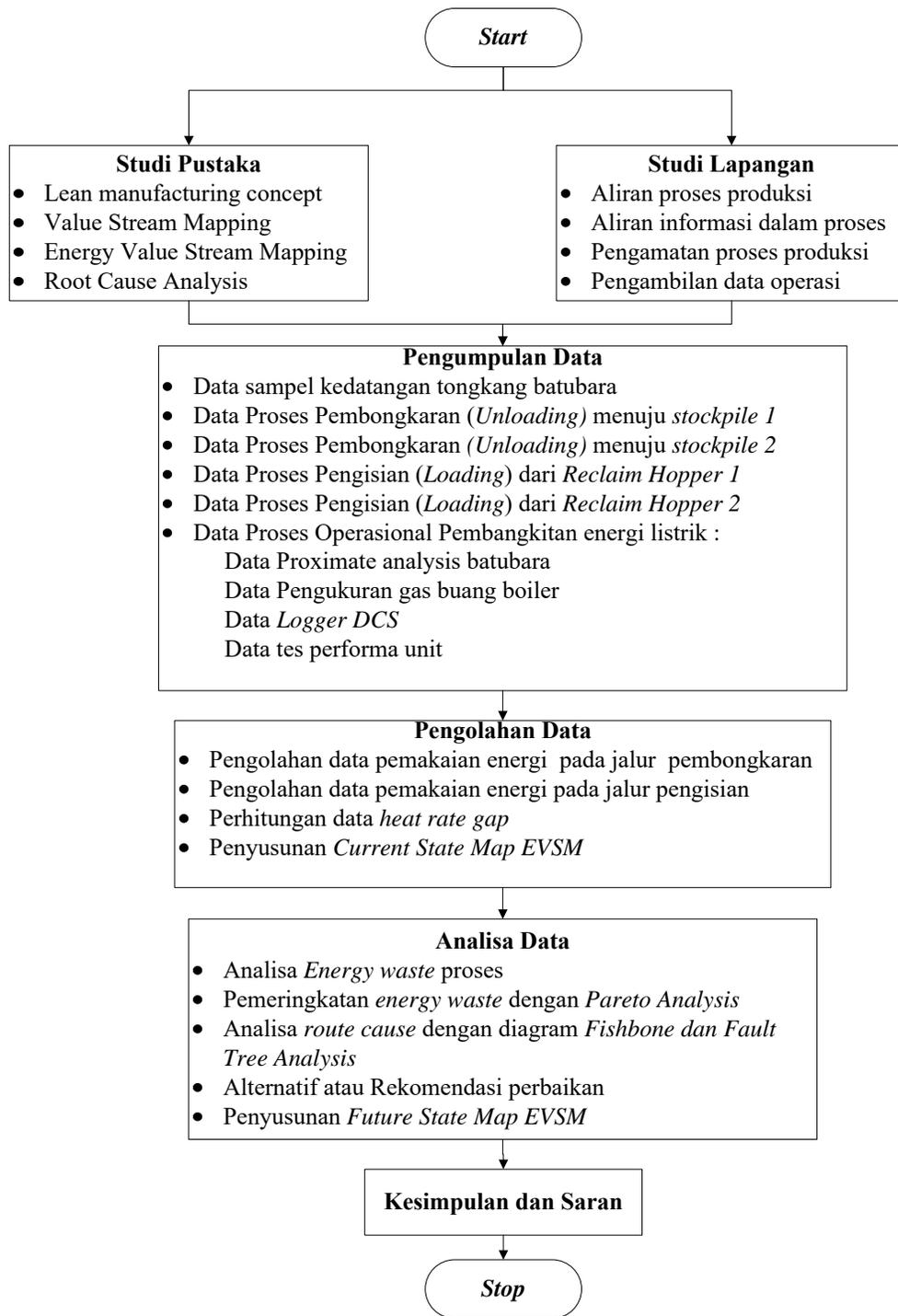
Metode penelitian merupakan suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu ( Sugiyono, 2010). Dalam melakukan penelitian dibutuhkan adanya suatu metode, cara atau taktik sebagai langkah-langkah yang harus ditempuh dalam memecahkan suatu permasalahan untuk mencapai suatu tujuan. Adapun metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah eksploratori deskriptif analitik. Data eksploratori didapatkan dari observasi dilapangan berupa data operasi dalam bentuk data kuantitatif. Penelitian deskriptif dilakukan untuk menggambarkan fenomena aktual yang ada dan digunakan untuk mengidentifikasi dan memperoleh informasi tentang karakteristik masalah atau masalah tertentu. Penelitian deskriptif analitik tidak hanya terbatas pada masalah pengumpulan dan penyusunan data, tapi juga meliputi analisis dan interpretasi tentang arti data tersebut.

Pendekatan Kuantitatif didasari oleh filsafat positivisme yang menekankan fenomena-fenomena objektif dan dikaji secara kuantitatif. Maksimalisasi objektivitas desain penelitian dilakukan dengan menggunakan angka-angka dan pengolahan statistik (Sukmadinata, 2005).

#### **3.1 Jenis dan sumber data**

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif, yaitu data yang diukur dalam suatu skala numerik. Sedangkan sumber data yang dipergunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dimana data bersumber dari data operasional, data pengukuran, data *logger* yang tersimpan dalam server *Distributed Control System (DCS)*.

Adapun langkah-langkah atau metodologi dalam penyusunan penelitian ini terdiri dari empat tahap utama yang dinyatakan dalam *flowchart* pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Dari latar belakang masalah selanjutnya dilakukan dengan studi lapangan untuk mengetahui aliran proses produksi, aliran informasi dalam proses, dan dikomparasi dengan studi pustaka yang relevan dengan permasalahan. Studi lapangan menjelaskan mengenai tempat dilakukannya penelitian, deskripsi mengenai objek penelitian, proses produksi dan permasalahan yang terjadi selama proses produksi. Studi lapangan juga merupakan tahap dalam observasi dilapangan dan pengumpulan data kualitatif.

Studi pustaka merupakan kegiatan untuk menghimpun informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang menjadi obyek penelitian. Informasi tersebut dapat diperoleh dari buku-buku, karya ilmiah, tesis, disertasi, ensiklopedia, internet, dan sumber-sumber lain. Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan referensi kajian dan metode yang akan digunakan yang berasal dari beberapa buku literatur, jurnal, artikel dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan teori dan tool yang digunakan untuk menyelesaikan masalah. Studi pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian diantaranya mengenai konsep *Lean Manufacturing*, *Value Stream Mapping*, *Energy Value Stream Mapping*, *Heat Rate Analysis* dan *Root Cause Analysis*.

### **3.2 Metode Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara pengumpulan data primer berupa data parameter operasi, data pengukuran saat kondisi unit beroperasi serta data spesifikasi dari peralatan. Data yang dikumpulkan terdiri dari:

- Data sampel kedatangan tongkang batubara pada periode tahun 2018 yang berupa data tonase batubara pada setiap pengiriman batubara dengan media kapal tongkang.
- Data Proses Pembongkaran (*Unloading*) menuju *stockpile 1* dan *stockpile 2*, dimana jenis data yang diambil merupakan data pengukuran arus motor konveyor pada jalur *Unloading*, data pengukuran durasi pembongkaran pada setiap kedatangan tongkang batubara, dan data flow rate pembongkaran (*unloading*) batubara menuju *stockpile 1* maupun *stockpile 2*.

- Data Proses Pengisian (*Loading*) batubara dari *Reclaim Hopper 1* dan *Reclaim Hopper 2* menuju *coal silo*, dimana jenis data yang diambil merupakan data pengukuran arus motor konveyor pada jalur *loading*, data pengukuran durasi proses pengisian (*loading*) serta data pengukuran *flow rate* batubara proses pengisian.
- Data Proses Operasional Pembangkitan energi listrik yang dilakukan pada durasi 2 jam dan kondisi stabil sesuai dengan *ASME PTC* yang meliputi pengambilan data sampel batubara untuk dilakukan uji *Proximate analysis* batubara, data pengukuran kadar gas buang pada boiler untuk mengetahui kondisi efektifitas pembakaran, dan data *Logger DCS* pada durasi tes performa untuk mengetahui *heat balance* proses pembangkitan.

Dari data-data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan analisis statistik deskriptif untuk menggambarkan berbagai karakteristik data yang berasal dari suatu sampel. Data proses produksi yang dikumpulkan merupakan data sampel pemakaian energi selama proses. Perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengenai identifikasi *energy waste* mulai dari proses pembongkaran (*unloading*) dan pengisian (*loading*) batubara sampai proses pembangkitan energi listrik.

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada unit PLTU dengan bahan bakar batubara berkapasitas 400 MW. Data proses pembongkaran dan pengisian batubara dilakukan pada area *coal handling facility* sedangkan data proses pembangkitan energi listrik dilakukan di unit 2.

### 3.3 Pengolahan Data

Dalam pengolahan data yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengolahan data pemakaian energi pada jalur pembongkaran, pengolahan data pemakaian energi pada jalur pengisian, perhitungan data *heat rate gap*, perhitungan *energy waste* pada setiap tahapan proses, penyusunan *Current State Map EVSM* untuk mengetahui pada *stream* mana pemakaian energi terbesar terjadi.

Pengolahan data proses pembongkaran dilakukan dengan perhitungan *energy losses* yang merupakan selisih energi yang terjadi antara kondisi pengukuran dengan kondisi *baseline*. *Total energy losses* pada proses pembongkaran

merupakan penjumlahan *energy losses* pada jalur bongkar batubara menuju *stockpile*. Selanjutnya disusun kedalam *current state energy value stream mapping* proses pembongkaran. Dengan metode yang sama seperti pada proses pembongkaran, maka dilakukan pula pada pengolahan data pemakaian energi pada jalur pengisian.

Pengolahan data pemakaian energi pada proses pembangkitan dilakukan dengan menggunakan perhitungan *heat rate gap analysis* dimana pengelompokan point *heat loss* dibagi menjadi empat kelompok yaitu *operator controllable*, *unit controllable*, *turbine cycle component* dan *boiler component*. Penyusunan *current state energy value stream mapping* dilakukan dengan mengelompokkan menjadi empat kategori *energy waste/ energy losses*, yaitu *energy waste* pada peralatan *boiler*, *energy waste* pada peralatan turbin, *energy waste* pada peralatan *condenser* dan *energy waste* pada peralatan *generator*. Dan selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya kerugian yang terjadi akibat dari adanya *energy waste* tersebut.

### **3.4 Tahap Analisis**

Hasil dari pengolahan data selanjutnya dilakukan analisa terhadap pemborosan-pemborosan energi (*energy waste*) yang terjadi serta dilakukan tindakan-tindakan atau alternatif perbaikan untuk mengantisipasinya. Analisa pemborosan-pemborosan yang terjadi disusun kedalam diagram *Pareto* untuk mengetahui faktor-faktor dominan dari penyebab pemborosan. Dengan menggunakan prinsip *Pareto* 80/20, maka 80 % dari kumulatif *energy waste* yang disebabkan oleh 20 % dari penyebab *energy waste* akan menjadi prioritas untuk dilakukan perbaikan. Proses perbaikan dilakukan dengan menggunakan *root cause analysis* yang disusun dalam diagram tulang ikan (*fishbone diagram/ ishikawa diagram*) dan menggunakan konsep *Fault Tree Analysis (FTA)*. Alternatif perbaikan atau rekomendasi perbaikan yang diusulkan dibuat berdasarkan hasil workshop bersama bidang yang memiliki kompetensi terkait. Hasil analisa data selanjutnya disusun kedalam *future state EVSM* untuk mengetahui seberapa besar estimasi penghematan yang terjadi dapat dilakukan.

### **3.5 Tahap Kesimpulan Dan Saran**

Dari semua hasil pengolahan data dan interpretasi serta analisa yang dilakukan selanjutnya diambil suatu kesimpulan yang berkaitan dengan penggunaan energi pada proses produksi serta pemborosan-pemborosan yang terjadi, penjelasan akar permasalahan, rekomendasi perbaikan serta potensi penghematan yang terjadi. Selanjutnya disusunlah saran-saran yang dapat memberikan pengembangan terhadap penelitian yang dilakukan.

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengambilan data parameter operasi dan data *logger* unit pembangkit dengan prosedur mengacu pada standart *American Society of Mechanical Engineer Performance Test Code (ASME PTC)*. Data proses pembongkaran (*unloading*) batubara dan proses pengisian (*loading*) batubara yang dikumpulkan merupakan data sampel yang diambil pada periode bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2018, sedangkan data proses pembangkitan energi listrik dilakukan dengan melakukan tes performa dan pengambilan data *logger* operasi sesuai dengan prosedur *ASME*.

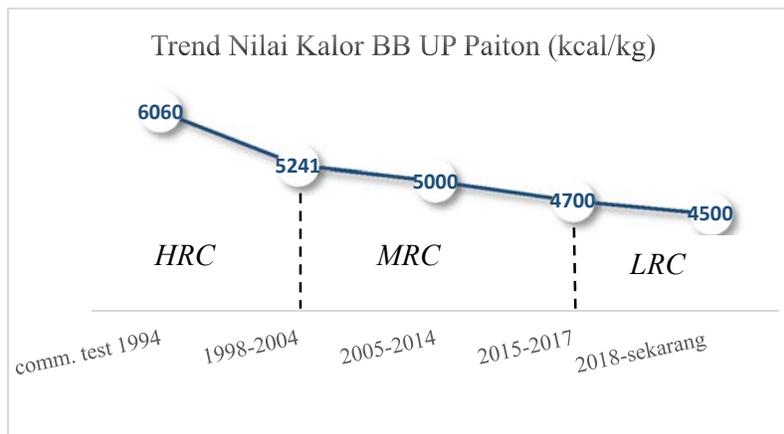
#### **4.2. Gambaran Umum Perusahaan**

PT X merupakan suatu perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan bahan bakar batubara yang mengelola 2 (dua) unit pembangkit dengan kapasitas masing-masing 400 MW. Seiring dengan kebutuhan energi listrik nasional yang terus mengalami peningkatan mengikuti pertumbuhan ekonomi serta persaingan bisnis ketenagalistrikan nasional yang semakin ketat menuntut industri pembangkit listrik untuk selalu melakukan kegiatan efisiensi energi.

Didalam Rencana Jangka Panjang Unit (RJPU) PT X memiliki sasaran strategis yaitu selain menjadi *supporting* sasaran strategis korporat juga menjadi *Best in Operational Excellence* dengan target *Top 10% NERC (EAF* di atas 90% dan *EFOR* di bawah 1,9 %). Dimana untuk mencapai sasaran tersebut PT X dituntut untuk melakukan kegiatan operasional yang efisien, andal dan kompetitif.

Sejak pertama kali dioperasikan PLTU PT X telah mengalami beberapa kali perubahan tipe dan spesifikasi batubara, dari batubara dengan kategori *High Rank Coal (HRC)* menjadi *Medium Rank Coal (MRC)* dan saat ini menjadi *Low Rank Coal (LRC)*, seperti dinyatakan pada Gambar 4.1. Secara disain boiler, tipe batubara yang digunakan adalah batubara jenis *bituminous* dan *subbituminous* dengan *range HHV (high heating value)* yang cukup besar. Perubahan tipe batubara tersebut dilakukan selain karena semakin berkurangnya pasokan batubara tipe *MRC*

dan cadangan batubara nasional yang terbanyak adalah tipe *LRC*, juga dikarenakan harga batubara *MRC* yang sangat tinggi sehingga berpengaruh terhadap biaya pokok produksi. Dengan berubah menjadi tipe *LRC* maka. Biaya Pokok Penyediaan (BPP) akan semakin kecil, sehingga akan lebih kompetitif terhadap harga jual listrik. Diperkirakan 2 sampai 3 tahun kedepan pembangkit baru proyek 35.000 MW akan mulai beroperasi, sehingga persaingan terhadap penyediaan energi listrik sistem Jawa-Bali akan semakin ketat. Biaya pokok produksi yang serendah mungkin menjadi syarat utama dalam memenangkan kompetisi ini. Sebagai konsekuensi dari penggunaan batubara *LRC* maka akan berpengaruh terhadap keandalan dan efisiensi dari peralatan sehingga perlu dilakukan mitigasi terhadap performa peralatan dengan kondisi operasi saat ini. Perubahan ini juga berpotensi meningkatkan pemborosan-pemborosan dalam proses produksi karena dengan menggunakan batubara *LRC* maka pemakaian batubara akan semakin meningkat dan berdampak pada pembebanan pada peralatan-peralatan lainnya. Berikut dalam Tabel 4.1 dinyatakan karakteristik batubara yang digunakan dari awal komisioning sampai saat ini.



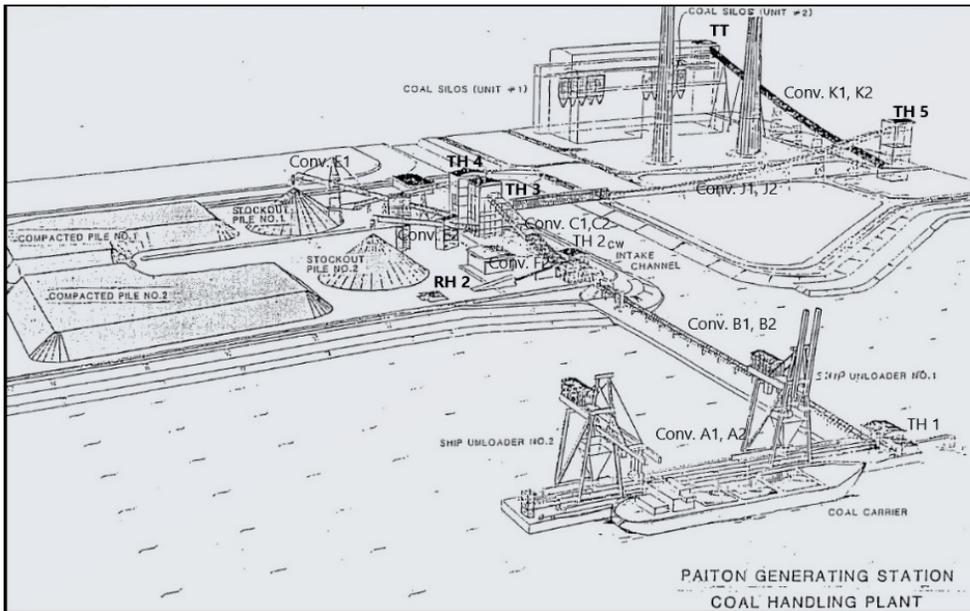
Gambar 4.1 Grafik Trend Nilai Kalor Batubara UP Paiton

Tabel 4.1 Karakteristik *Proximate Analysis* Batubara

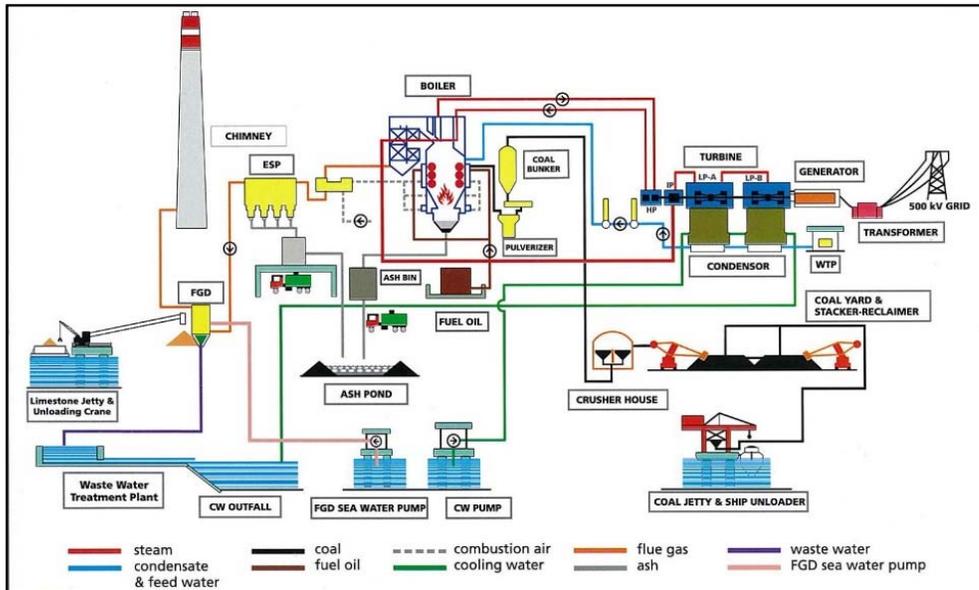
| <i>Proximate analysis</i>                   | <i>Com. Test</i> | <i>Design Range</i> | <i>Tipe 1</i> | <i>Tipe 2</i> | <i>Tipe 3</i> | <i>Tipe 4</i> | <i>Tipe 5</i> |
|---|------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Higher Heating Value (HHV) (kcal/kg)</i> | 6040             | 5600 - 6500         | 4009          | 4732          | 4810          | 4692          | 4735          |
| <i>Total Moisture (%)</i>                   | 7,08             | 4,5 - 7             | 39,84         | 29,34         | 25,92         | 26,75         | 26,96         |
| <i>Ash Content (%)</i>                      | 17,5             | 14,5 - 20,5         | 1,61          | 1,86          | 6,45          | 6,46          | 5,92          |
| <i>Volatile Matter (%)</i>                  | 39,2             | 37,2 - 41,2         | 30,98         | 35,75         | 34,89         | 34,31         | 33,71         |
| <i>Fixed Carbon (%)</i>                     | 38,2             | 36,2 - 40,2         | 27,57         | 33,04         | 32,74         | 32,48         | 33,41         |
| <i>Total Sulphur (%)</i>                    | 0,73             | 0,2-1               | 0,13          | 0,11          | 0,27          | 0,28          | 0,32          |
| <i>HGI</i>                                  |                  |                     | 57            | 44            | 52            | 54            | 45            |

#### 4.3. Proses Bisnis Industri PLTU Batubara

Proses bisnis industri PLTU dengan bahan bakar batubara dimulai dari proses penerimaan batubara dari pemasok untuk dilakukan pembongkaran (*unloading*) kemudian batubara ditranfer dengan menggunakan *belt conveyor* untuk selanjutnya ditempatkan pada *stock pile/ coal yard* atau diisikan langsung menuju *coal bunker / silo* untuk proses pembakaran secara kontinu. Dari proses pembakaran batubara pada boiler maka akan didapatkan energi panas yang digunakan untuk memanaskan air pengisi (*make up water*) sampai terjadi perubahan fasa dari fasa air menjadi fasa uap, selanjutnya energi uap panas digunakan untuk menggerakkan turbin yang terkopel menjadi satu dengan generator sehingga terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ditransfer menuju ke pelanggan (*customer*) melalui sistem transmisi yang dinamakan dengan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Jawa dan Bali. Proses produksi dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Proses Penerimaan dan Pengelolaan Batubara

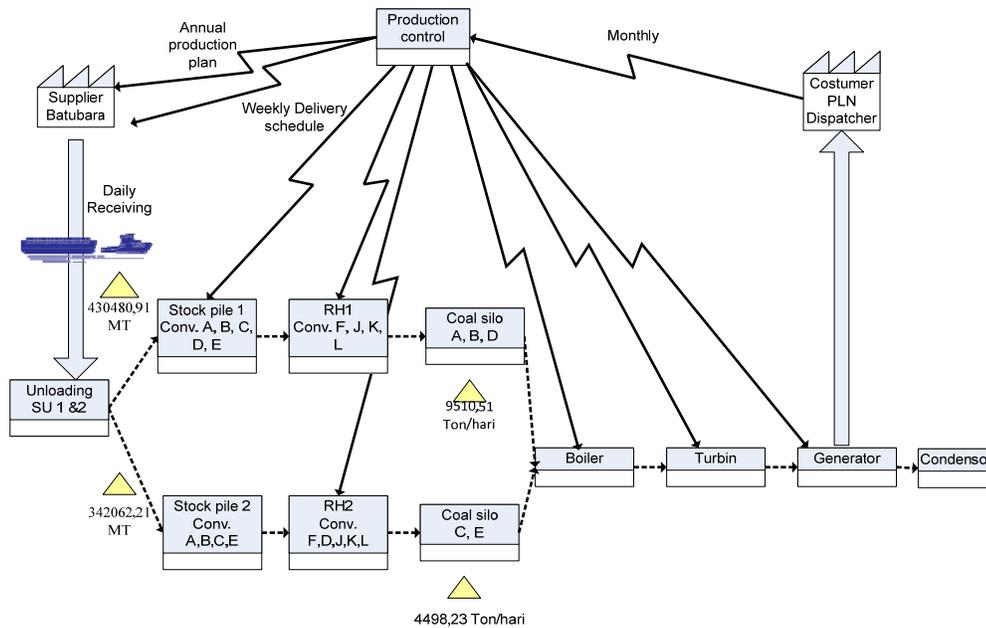


Gambar 4.3 Skema Proses Produksi PLTU

#### 4.4. *Big Picture Mapping*

*Big Picture Mapping* digunakan untuk menggambarkan sistem produksi secara keseluruhan beserta aliran nilai (*value stream*) yang terdapat pada

perusahaan, sehingga diperoleh gambaran mengenai aliran informasi dan aliran fisik dari sistem yang ada, mengidentifikasi dimana terjadinya *waste*, serta menggambarkan *lead time* yang dibutuhkan berdasarkan dari masing-masing karakteristik proses yang terjadi. *Big Picture Mapping* untuk proses bisnis industri *PLTU* batubara dapat dinyatakan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Big Picture Mapping* Proses Bisnis Industri *PLTU* Batubara

Dari Gambar 4.4 diatas *big picture mapping* proses bisnis industri *PLTU* dimulai dari permintaan pembebanan energi listrik dari *customer* kepada unit pembangkit dalam hal ini adalah *single customer* (PT Y Persero) berdasarkan data analisa beban sistem serta *forecast* pembebanan jangka panjang (tahunan), jangka menengah (bulanan) dan jangka pendek (harian). Permintaan pembebanan dari *customer* direspon oleh unit pembangkit dengan melakukan perencanaan operasional diantaranya dengan melakukan pengaturan kondisi suplai bahan bakar, pengaturan pola operasi, serta monitoring proses untuk memastikan kesesuaian permintaan beban dengan pencapaiannya.

#### 4.5. Data Proses Pembongkaran (*Unloading*)

Proses pembongkaran (*unloading*) merupakan proses pemindahan batubara dari kapal pengirim (tongkang) batubara menuju *stock pile/ coal yard* dengan menggunakan mekanisme *belt conveyor*. Sedangkan proses pengisian (*loading*) merupakan proses pemindahan batubara dari *stock pile* menuju *coal bunker / silo* dengan menggunakan sistem *reclaim hopper* dan ditransport dengan menggunakan *belt conveyor* untuk proses pembakaran. Kedua aktifitas tersebut merupakan satu kesatuan sistem pengelolaan batubara (*coal handling system*).

Pada proses *unloading* batubara dari kapal tongkang/ *vessel* dilakukan pembongkaran dengan menggunakan dua *ship unloader (SU)* yang masing-masing mempunyai kapasitas pembongkaran sebesar 1750 ton/jam. Dari *hopper ship unloader* batubara selanjutnya ditransfer menuju *belt conveyor* A1 dan A2, B1 dan B2, C1 dan C2, D1 dan D2, E1 dan E1, selanjutnya menuju *stock pile 1* dan *stock pile 2*. Masing-masing conveyor pada proses *Unloading* ini memiliki kapasitas maksimum 3500 ton/jam. Ilustrasi jalur pembongkaran dari *SU* menuju *stock pile 1* dan *stock pile 2* adalah sebagai berikut:

➤ *Stock pile 1( 3500T/h ) :*

Jalur conveyor 1: *Conv. A1 – B1 – C1 – D1 – E1 – Stock pile 1*

Jalur conveyor 4: *Conv. A2 – B2 – C2 – D2 – E1 – Stock pile 1*

➤ *Stock pile 2 ( 3500T/h):*

Jalur conveyor 2: *Conv. A1 – B1 – C1 – E2 – Stock pile 2*

Jalur conveyor 3: *Conv. A2 – B2 – C2 – E2 – Stock pile 2*

Sedangkan spesifikasi teknis dari jalur *unloading* dinyatakan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Desain Jalur Pembongkaran Batubara

| Spesifikasi Desain  | Satuan      | Conveyor |       |        |       |        |
|---------------------|-------------|----------|-------|--------|-------|--------|
|                     |             | A1/A2    | B1/B2 | C1/C2  | D1/D2 | E1/E2  |
| Kapasitas           | <i>T/h</i>  | 3500     | 3500  | 3500   | 3500  | 3500   |
| Lebar <i>Belt</i>   | <i>mm</i>   | 2000     | 2000  | 2000   | 2000  | 2000   |
| Panjang <i>Belt</i> | <i>m</i>    | 152,9    | 296,7 | 120,40 | 32,40 | 108,24 |
|                     |             | 149,2    | 293,4 |        |       |        |
| Tegangan            | <i>Volt</i> | 3000     | 3000  | 3000   | 3000  | 3000   |
| Daya Maksimal       | <i>kW</i>   | 250      | 315   | 500    | 160   | 450    |
| Daya Berbeban       | <i>kW</i>   | 169      | 262,4 | 409,5  | 132,3 | 372,2  |
| Daya Tanpa Beban    | <i>kW</i>   | 69,7     | 49,2  | 34,5   | 24,8  | 33,6   |
| Arus Maksimum       | <i>A</i>    | 56,60    | 71,32 | 113,21 | 36,23 | 101,89 |
| Arus Berbeban       | <i>A</i>    | 32,52    | 50,50 | 78,81  | 25,46 | 71,63  |

Pada periode bulan Oktober sampai Desember dilakukan pengambilan sampel data pembongkaran (*unloading*) batubara (Lampiran 1). Dari hasil pengukuran *flowrate* maka didapatkan *flowrate* rata-rata pembongkaran pada setiap kedatangan tongkang, dimana besarnya masih jauh dibawah nilai kapasitas dari disainnya (3500 T/h). Dari data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis batubaranya. Batubara dengan nilai kalor berdasarkan dokumen penerimaan atau *Certificate of Sampling and Analysis (COA)* yang nilainya lebih besar atau sama dengan 4500 kcal/kg maka akan ditempatkan pada *stockpile* 1, sedangkan batubara dengan nilai kalor dibawah 4500 kcal/kg akan diletakkan pada *stockpile*2.

Dari hasil pengelompokan tersebut maka didapatkan jumlah kedatangan batubara pada masing-masing *stockpile*, seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Penerimaan Dan Penyimpanan Batubara

| No. | <i>Stock pile</i>  | Jumlah tongkang | Total kapasitas (MT) |
|-----|--------------------|-----------------|----------------------|
| 1   | <i>Stockpile 1</i> | 40              | 430480,91            |
| 2   | <i>Stockpile 2</i> | 30              | 342062,21            |

Proses pembongkaran (*unloading*) batubara menuju *stockpile* 1 dan *stockpile* 2 dilakukan pengambilan data sampel pengukuran arus motor pada tiap-tiap jalur *Unloading*. Pengukuran arus motor dilakukan dengan melakukan

pencatatan pada *ampere meter* yang tertera pada *Coal Handling Control Board (CHCB)* atau yang tertera pada *display* monitor *Human Machine Interface (HMI)*. Data *ampere meter* dimana mengindikasikan pembebanan yang terjadi pada peralatan jalur *unloading* kemudian digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada tiap-tiap tahap proses *unloading*. Pada periode pengambilan sampel, jalur *unloading* yang digunakan adalah jalur konveyor 3 dan jalur konveyor 4, sedangkan jalur konveyor 1 dan jalur konveyor 2 tidak dilakukan pengambilan sampel dikarenakan sedang dilakukan perbaikan pada *belt* konveyor A1. Data pengukuran amper meter pada jalur *unloading* konveyor 3 dan 4 ditampilkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data pengukuran arus motor pada jalur *unloading*

| Sampel (n) | SUI (A) | SU2 (A) | Conveyor |        |        |        |        |        |
|------------|---------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            |         |         | A2 (A)   | B2 (A) | C2 (A) | D2 (A) | E1 (A) | E2 (A) |
| 1          | 134,2   | 133,1   | 22,5     | 33,47  | 51,3   | 19,5   | 42,83  | 50,11  |
| 2          | 131,3   | 132,4   | 22,5     | 32,5   | 48,2   | 19,5   | 41,92  | 52,04  |
| 3          | 87      | 111,75  | 22,65    | 33,7   | 51,9   | 22,14  | 42,83  | 50,11  |
| 4          | 117,25  | 104,63  | 23       | 34,65  | 53,17  | 19,14  | 41,85  | 50,11  |
| 5          | 104,2   | 114,12  | 23       | 38,8   | 53,92  | 22,08  | 39,97  | 47,23  |
| 6          | 93,13   | 94,5    | 24,44    | 39,65  | 46,35  | 21,39  | 42,67  | 47,00  |
| 7          | 132,63  | 117,15  | 20,95    | 34,65  | 46,65  | 19,5   | 40,05  | 49,87  |
| 8          | 96,5    | 115,7   | 24,94    | 39,15  | 53,92  | 18,75  | 41,85  | 47,55  |
| 9          | 106,38  | 131,2   | 22,58    | 38,75  | 54,45  | 19,71  | 45,6   | 45,34  |
| 10         | 109,13  | 120,3   | 22,39    | 38,05  | 53,47  | 16,74  | 44,48  | 50,77  |
| 11         | 94,5    | 127,8   | 24,06    | 33,8   | 55,05  | 18,87  | 38,77  | 50,77  |
| 12         | 132,13  | 108,63  | 20,77    | 34,3   | 48,37  | 21,42  | 41,33  | 46,00  |
| 13         | 93,25   | 124,88  | 22,73    | 38,45  | 57,15  | 18,3   | 35,4   | 52,04  |
| 14         | 92,27   | 126,75  | 24,2     | 38,85  | 56,7   | 19,47  | 40,72  | 45,00  |
| 15         | 93,3    | 107,7   | 22,56    | 33,1   | 50,32  | 18,84  | 40,72  | 48,60  |
| 16         | 103,25  | 105,7   | 22,84    | 33,7   | 59,17  | 18,48  | 42,3   | 50,20  |
| 17         | 98,8    | 113,06  | 25,05    | 34,25  | 58,72  | 19,53  | 34,83  | 48,35  |
| 18         | 100,75  | 116     | 21       | 34,47  | 52,2   | 17,01  | 42,83  | 50,64  |
| 19         | 119,13  | 124,63  | 22,58    | 34,65  | 60     | 15,65  | 34,97  | 53,10  |
| 20         | 117,63  | 105,13  | 25,2     | 34,65  | 50,48  | 18,33  | 40,72  | 52,00  |
| 21         | 117,3   | 115,13  | 21,08    | 33,88  | 53,47  | 19,23  | 40,65  | 49,94  |
| 22         | 127     | 99,63   | 24,95    | 33,8   | 54,45  | 19,71  | 40,35  | 47,00  |
| 23         | 124     | 118,38  | 20,07    | 39,15  | 55     | 18,75  | 35,33  | 51,52  |
| 24         | 102,8   | 110,5   | 20,77    | 39,65  | 48,3   | 15,83  | 41,92  | 45,00  |
| 25         | 112,8   | 112,23  | 22,35    | 38,75  | 50,31  | 17,23  | 40,65  | 50,21  |

Dari data pada Tabel 4.4 diatas selanjutnya dilakukan pengujian kecukupan data dan pengujian keseragaman data. Uji kecukupan data dilakukan terhadap data pengukuran untuk mengetahui apakah data yang diambil untuk penelitian sudah mencukupi untuk dilakukan perhitungan. Sedangkan uji keseragaman data dilakukan terhadap data pengukuran untuk mengetahui apakah data yang diukur telah seragam. Pengujian berpedoman pada konsep *statistic interval estimates*, dengan derajat ketelitian (*Degree of Accuracy*) dan tingkat keyakinan/kepercayaan yang diinginkan. Dengan mengacu pada derajat ketelitian sebesar 10% dan tingkat keyakinan sebesar 95%, dan menggunakan persamaan

$$N' = \left[ \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad (4.1)$$

dengan :

k : tingkat keyakinan (*confidence level*) = 95% ; k = 2

s : derajat ketelitian

N : jumlah data pengamatan

N' : jumlah data yang seharusnya dilakukan

dan persamaan uji keseragaman data

$$BKA = \bar{X} + k\sigma \quad (4.2)$$

$$BKB = \bar{X} - k\sigma \quad (4.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N-1}} \quad (4.4)$$

dimana :

BKA : Batas Kontrol Atas

BKB : Batas Kontrol Bawah

$\sigma$  : Standart deviasi

$\bar{X}$  : Nilai rata-rata

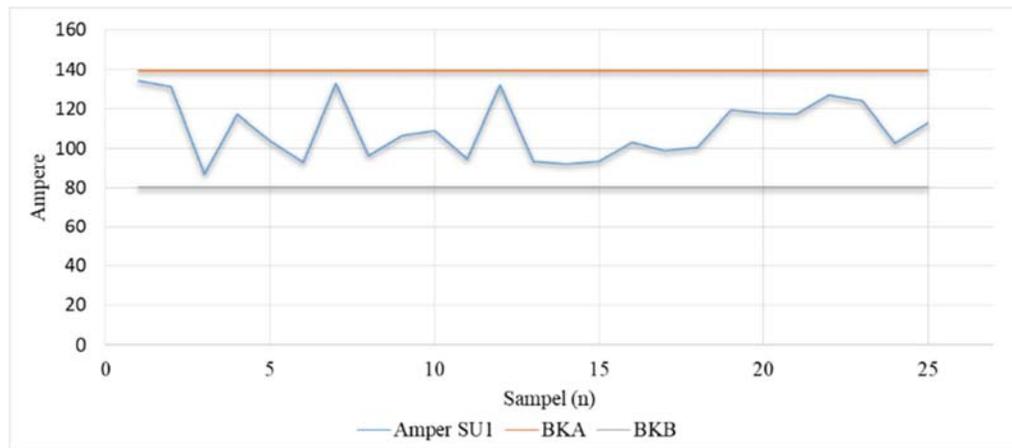
k : konstanta pada tingkat keyakinan

maka didapatkan hasil perhitungan kecukupan dan keseragaman data seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Perhitungan Uji Kecukupan Dan Keseragaman Data

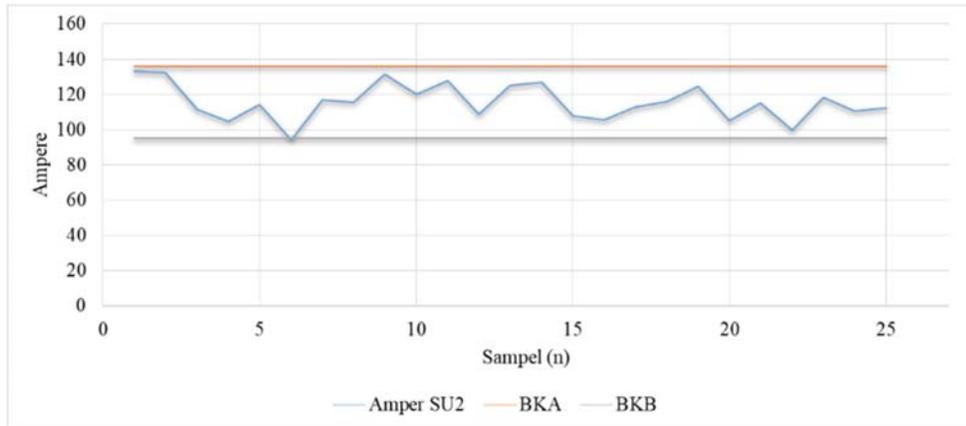
|            | <i>SU1</i> | <i>SU2</i> | <i>Conv, A2</i> | <i>Conv, B2</i> | <i>Conv, C2</i> | <i>Conv, D2</i> | <i>Conv, E1</i> | <i>Conv, E2</i> |
|------------|------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>n</i>   | 25         | 25         | 25              | 25              | 25              | 25              | 25              | 25              |
| <i>n'</i>  | 7          | 3          | 2               | 2               | 2               | 3               | 2               | 1               |
| <i>s</i>   | 14,78      | 10,22      | 1,48            | 2,54            | 3,77            | 1,68            | 2,84            | 2,37            |
| $\bar{x}$  | 109,63     | 115,64     | 22,77           | 35,95           | 52,92           | 19,00           | 40,62           | 49,22           |
| <b>BKA</b> | 139,19     | 136,07     | 25,72           | 41,04           | 60,47           | 22,37           | 46,30           | 53,96           |
| <b>BKB</b> | 80,06      | 95,21      | 19,81           | 30,87           | 45,37           | 15,64           | 34,95           | 44,48           |

Dari Tabel 4.5 diatas menunjukkan bahwa jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *SU1* telah memenuhi hal ini ditunjukkan oleh nilai *n* lebih besar dari pada *n'*. Sebaran data hasil pengukuran arus motor *Ship Unloader 1* adalah seperti pada Gambar 4. 5 berikut:



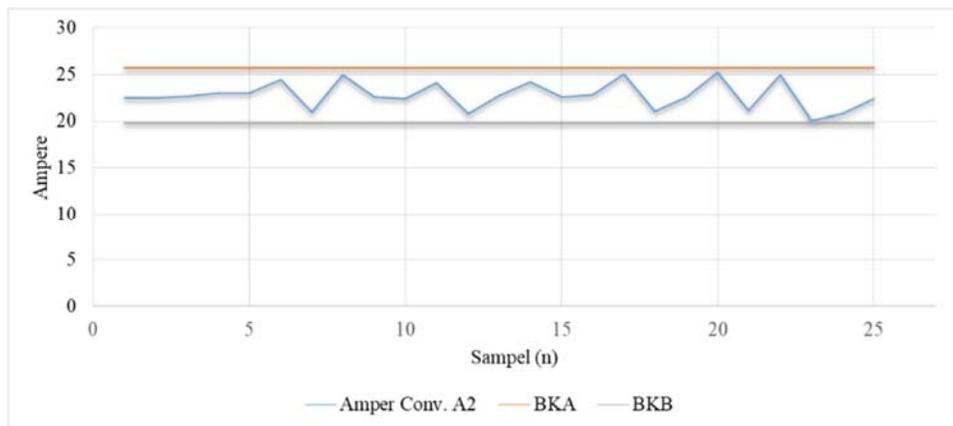
Gambar 4.5 Grafik sampel pengukuran arus pada *Ship Unloader 1 (SU1)*

Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate* grafik pada Gambar 4.5 diatas menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *SU1*) sebesar 109,63 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 139,19 dan 80,06.



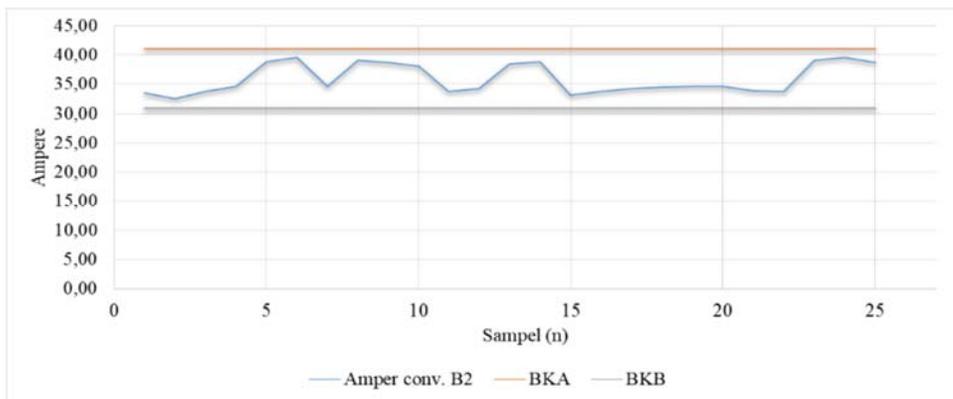
Gambar 4.6 Grafik sampel pengukuran arus pada *Ship Unloader 2 (SU2)*

Jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *SU2* juga dinyatakan pada Tabel 4.5, dimana menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan. Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.6 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *SU2*) sebesar 115,64 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 136,07 dan 95,21.



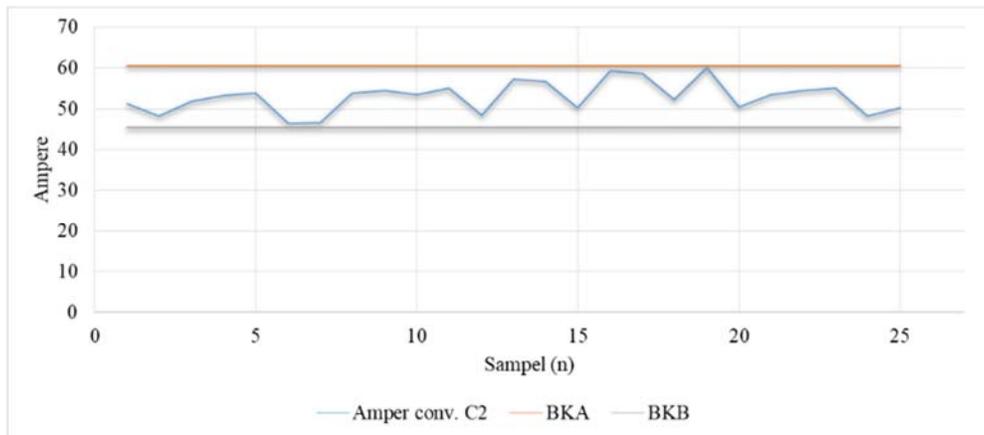
Gambar 4.7 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor A2*

Jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor A2* juga dinyatakan pada Tabel 4.5, dimana menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan. Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.7 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor A2*) sebesar 22,77 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 25,72 dan 19,81.



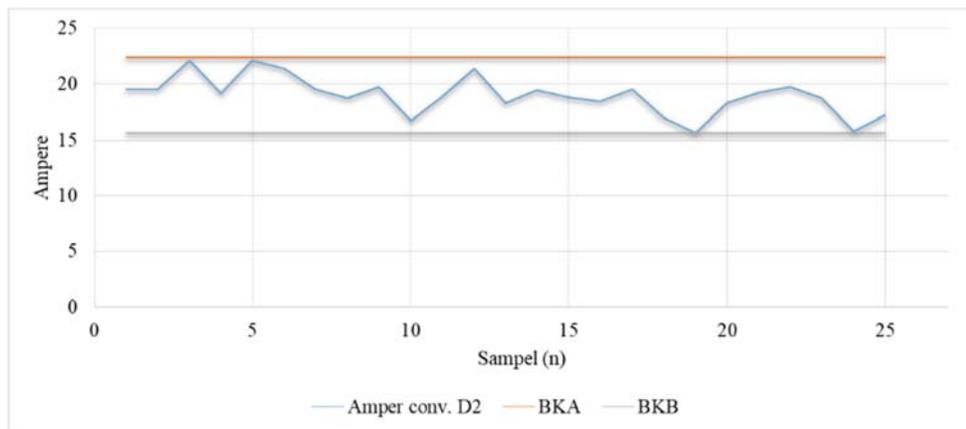
Gambar 4.8 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor B2*

Dari Tabel 4.5 diatas menunjukkan bahwa jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor B2* telah memenuhi hal ini ditunjukkan oleh besarnya jumlah data sampel pengamatan yang lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan. Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.7 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor B2*) sebesar 35,95 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 41,04 dan 30,87.



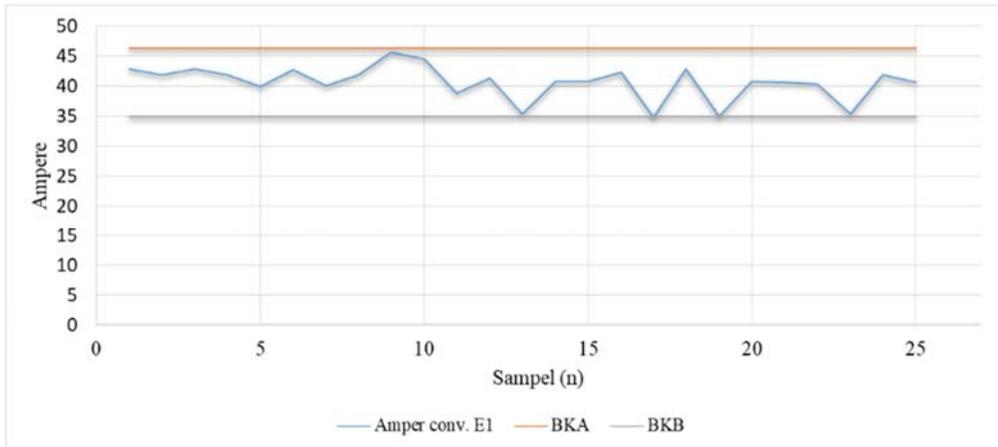
Gambar 4.9 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor C2*

Gambar 4.9 juga menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor C2*) sebesar 52,92 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 60,47 dan 45,37.

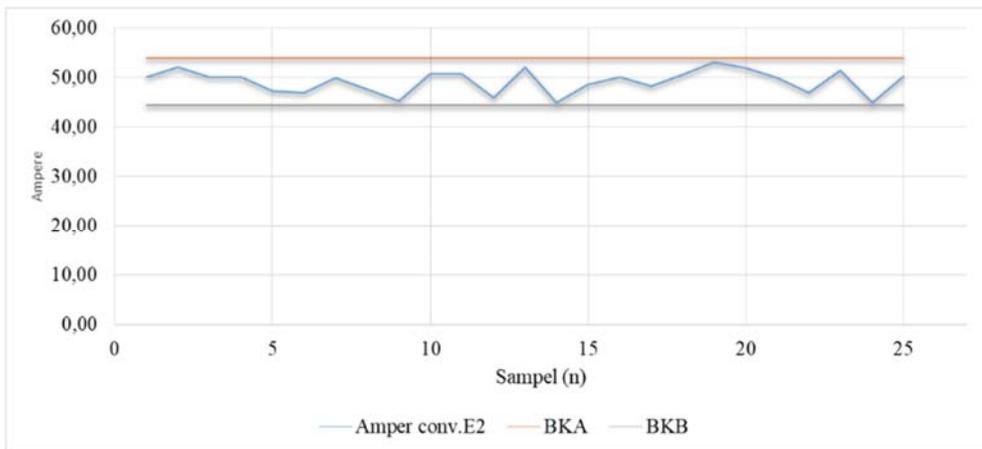


Gambar 4.10 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor D2*

Dari grafik sebaran arus motor pada *conveyor D2* terlihat bahwa rata-rata sampel arus motor berada diantara BKA dan BKB. Arus motor *conveyor D2* sebesar 19,00A didapatkan dengan konsep *statistic interval estimate* pada tingkat keyakinan 95%.



Gambar 4.11 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor E1*



Gambar 4.12 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor E2*

Dari Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 di atas menunjukkan hasil perhitungan yang sama. Secara keseluruhan bahwa rata-rata dari data pengukuran arus motor pada jalur *Unloading* berada diantara BKA dan BKB, sehingga dapat dikatakan bahwa data pengukuran amper motor yang diperoleh bersifat seragam. Hal ini bisa ditunjukkan dengan besarnya  $n$  (jumlah sampel) yang jauh lebih besar daripada  $n'$  (jumlah sampel yang seharusnya dilakukan).

#### 4.6. Data Proses Pengisian (*Loading*) Silo

Pada proses *loading* batubara dari *stock pile 1* dan *stock pile 2* diarahkan menuju *reclaim hopper 1* dan *reclaim hopper 2* yang selanjutnya menuju konveyor

F1 dan F2, sampai konveyor L1 dan L2 dan akhirnya menuju *coal silo/ coal bunker*. Jalur loading menuju *coal silo* terdiri dari 2 jalur yang masing masing berkapasitas 1500 ton/ jam. Ilustrasi jalur pengisian (*loading*) menuju *coal silo* adalah sebagai berikut :

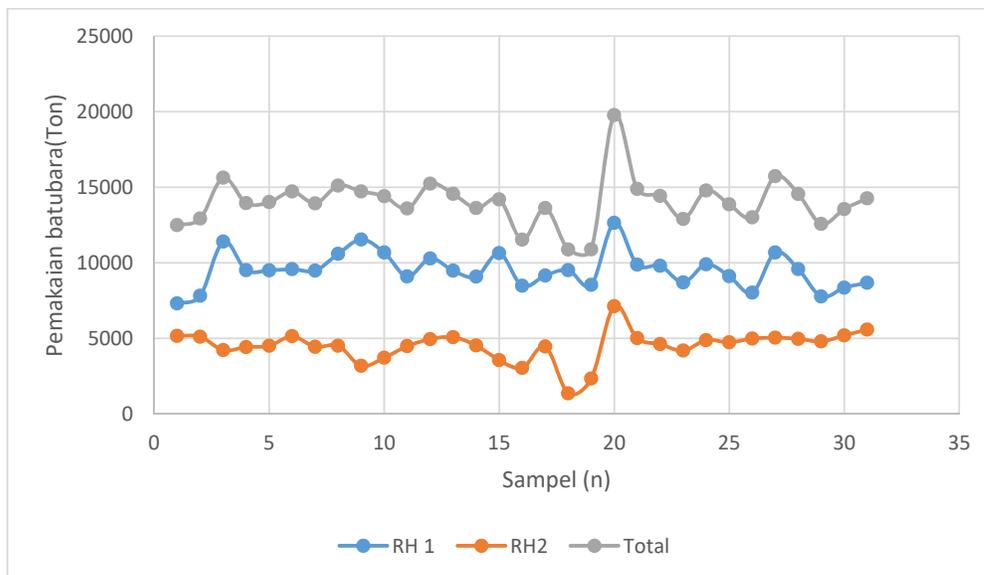
- Dari *Reclaim Hopper 1 (RH1) (1500 TPH)*
  - Jalur Konveyor 1: *Conv. F1 - J1 - K1 - L1*
  - Jalur konveyor 2 : *Conv. F1 - J1 - K2 - L2*
  - Jalur konveyor 3 : *Conv. F1 - J2 - K2 - L2*
  - Jalur konveyor 4 : *Conv. F1 - J2 - K1 - L1*
- Dari *Reclaim Hopper 2 (RH2) (1500 TPH)*
  - Jalur Konveyor 1: *Conv. F2 - C2 - D2 - J2 - K2 - L2*
  - Jalur Konveyor 2: *Conv. F2 - C1 - D1 - J1 - K1 - L1*
  - Jalur Konveyor 3: *Conv. F2 - C2 - D2 - J2 - K1 - L1*
  - Jalur Konveyor 4: *Conv. F2 - C1 - D1 - J1 - K2 - L2*

Sedangkan spesifikasi teknis dari jalur *loading* dinyatakan pada Tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Spesifikasi Desain Jalur Pengisian (*Loading*) Batubara

| Spesifikasi Desain | Satuan | Conveyor |       |                    |                   |                  |        |
|--------------------|--------|----------|-------|--------------------|-------------------|------------------|--------|
|                    |        | C1/C2    | D1/D2 | F1/F2              | J1/J2             | K1/K2            | L1/L2  |
| Kapasitas          | T/h    | 3500     | 3500  | 1500               | 1500              | 1500             | 1500   |
| Lebar Belt         | mm     | 2000     | 2000  | 1400               | 1400              | 1400             | 1400   |
| Panjang Belt       | m      | 120,40   | 32,40 | 151,733/<br>75,398 | 353,55/<br>349,95 | 273,9 /<br>270,9 | 147,5  |
| Tegangan           | Volt   | 3000     | 3000  | 3000               | 3000              | 3000             | 380    |
| Daya Maksimal      | kW     | 500      | 160   | 315                | 250               | 400              | 90     |
| Daya Berbeban      | kW     | 409,5    | 132,3 | 233,2              | 171,9             | 333,6            | 64,5   |
| Daya Tanpa Beban   | kW     | 34,5     | 24,8  | 25,1               | 33,5              | 33               | 28,3   |
| Arus Maksimum      | A      | 113,21   | 36,23 | 71,32              | 56,6              | 90,56            | 160,87 |
| Arus Berbeban      | A      | 78,81    | 25,46 |                    |                   |                  |        |

*Coal silo* digunakan sebagai tempat penyimpanan batubara sebelum masuk sistem *pulverizer*, untuk menjaga pasokan apabila terjadi gangguan atau perbaikan (*outage*) pada *coal handling system*. Masing-masing unit terdiri dari 5 *coal silo* dengan kapasitas setiap silo sebesar 570 ton. Untuk menghasilkan daya 800 MW dibutuhkan batubara kurang lebih 10000 ton per hari, sehingga dengan kondisi semua *coal silo* penuh maka dapat menjaga pasokan bahan bakar selama 12 jam. Untuk menjaga pasokan batubara dalam proses pembakaran maka level *coal silo* dipertahankan pada level tertentu sehingga proses pengisian (*loading*) dilakukan sebanyak 3 kali per hari. Untuk mengoptimalkan biaya pokok produksi, proses pengisian batubara menuju *coal silo* dilakukan pencampuran batubara dari *stockpile 1* dan *stockpile 2* (*coal mixing*). Pengambilan data sampel pengisian (*loading*) batubara menuju *coal silo* unit 1 dan unit 2 yang terdiri dari data *loading* batubara dari *stockpile 1* yang menuju *coal silo* A, B dan D dan data *loading* batubara dari *stockpile 2* yang menuju *coal silo* C, dan E pada tahun 2018. Selain data jumlah batubara pada proses pengisian juga dilakukan pengukuran data *flow* batubara proses pengisian yang dinyatakan dalam satuan ton per jam. Proses pengisian dilakukan sebanyak 3 kali dalam 24 jam (Lampiran 4). Grafik data proses pengisian ditampilkan pada Gambar 4.13.



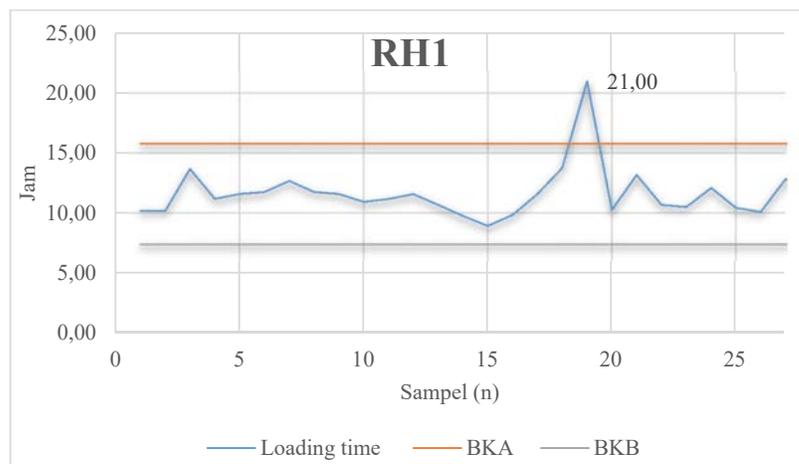
Gambar 4.13 Sampel data proses pengisian (*loading*) batubara

Dari data proses pengisian (*loading*) batubara diatas selanjutnya dilakukan pengujian kecukupan data dan pengujian keseragaman data terhadap data lama waktu pengisian batubara (*loading time*). Dengan menggunakan persamaan uji kecukupan dan keseragaman data seperti pada Persamaan 4.1 sampai dengan Persamaan 4.4 dan dengan mengacu pada derajat ketelitian sebesar 10% dan tingkat keyakinan sebesar 95% maka didapatkan hasil perhitungan waktu pengisian seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data

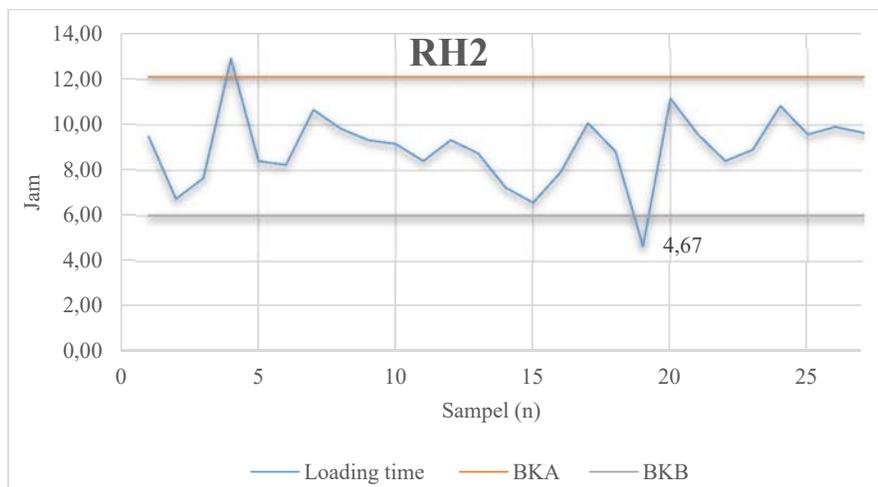
|            | <i>RH1</i> | <i>RH2</i> |
|------------|------------|------------|
| <b>n</b>   | 31         | 31         |
| <b>n'</b>  | 13         | 11         |
| <b>s</b>   | 2,10       | 1,53       |
| $\bar{X}$  | 11,57      | 9,06       |
| <b>BKA</b> | 15,77      | 12,11      |
| <b>BKB</b> | 7,37       | 6,01       |

Untuk mengetahui persebaran sampel data waktu pengisian, apakah masih berada dalam batas kelas atas dan batas kelas bawah maka ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Grafik persebaran data waktu pengisian (*loading time*) dari *RH1*

Dari Tabel 4.7 diatas menunjukkan bahwa jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran waktu loading (*loading time*) telah memenuhi hal ini ditunjukkan oleh besarnya jumlah data sampel pengamatan yang lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan baik *loading time* untuk *RH1* maupun *loading lime RH2*. Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.14 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (*loading time RH1* dan *RH2*) sebesar 11,57 jam dan 9,06 jam berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB).



Gambar 4.15 Grafik persebaran data waktu pengisian (*loading time*) dari *RH2*

Dari Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 di atas menunjukkan bahwa rata-rata dari data durasi waktu pengisian baik dari *RH1* maupun *RH2* dapat dikatakan seragam, meskipun ada beberapa data outlier. Hal ini bisa ditunjukkan dengan besarnya  $n$  (jumlah sampel) yang jauh lebih besar daripada  $n'$  (jumlah sampel yang seharusnya dilakukan).

Selain pengambilan data waktu pengisian (*loading time*) juga dilakukan pengambilan data arus motor selama proses pengisian silo dari *reclaim hopper 1* maupun *reclaim hopper 2*. Pengukuran arus motor dilakukan dengan melakukan pencatatan pada *ampere meter* yang tertera pada *Coal Handling Control Board (CHCB)* atau yang tertera pada displai monitor *Human Machine Interface (HMI)*. Data arus motor ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar pembebanan yang terjadi pada peralatan jalur *loading* kemudian digunakan untuk mengetahui

besarnya pemakaian energi pada tiap-tiap tahap proses *loading*. Jalur *loading* yang digunakan untuk proses pengisian dari *Reclaim Hopper 1* adalah jalur konveyor 3 dengan susunan konveyor sebagai berikut :

$RH1 \rightarrow conv. F1 \rightarrow conv. J2 \rightarrow conv. K2 \rightarrow conv. L2 \rightarrow coal\ silo$

Sedangkan jalur *loading* yang digunakan untuk proses pengisian dari *Reclaim Hopper 2* adalah jalur konveyor jalur konveyor 2 dengan susunan konveyor sebagai berikut :

$RH2 \rightarrow conv. F2 \rightarrow conv. C1 \rightarrow conv. D1 \rightarrow conv. J1 \rightarrow conv. K1 \rightarrow conv. L1 \rightarrow coal\ silo$

Data pengukuran arus motor yang terjadi pada saat proses *loading* adalah seperti pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Data pengukuran arus motor pada jalur *loading*

| Sampel<br>(n) | Jalur Loading dari<br><i>RH1</i> |           |           |           | Jalur Loading dari <i>RH2</i> |           |           |           |           |           |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | F1<br>(A)                        | J2<br>(A) | K2<br>(A) | L2<br>(A) | F2<br>(A)                     | C1<br>(A) | D1<br>(A) | J1<br>(A) | K1<br>(A) | L1<br>(A) |
| 1             | 50                               | 23        | 55        | 68        | 16                            | 45        | 16        | 28        | 55        | 69        |
| 2             | 49                               | 29        | 61        | 81        | 17                            | 41        | 17        | 28        | 55        | 61        |
| 3             | 50                               | 29        | 61        | 81        | 17                            | 33        | 16        | 28        | 55        | 61        |
| 4             | 49                               | 29        | 55        | 81        | 17                            | 32        | 16        | 28        | 55        | 64        |
| 5             | 46                               | 29        | 63        | 83        | 17                            | 35        | 16        | 29        | 55        | 64        |
| 6             | 47                               | 28        | 63        | 83        | 17                            | 35        | 17        | 28        | 57        | 71        |
| 7             | 45                               | 28        | 43        | 82        | 17                            | 35        | 16        | 28        | 55        | 61        |
| 8             | 45                               | 31        | 53        | 68        | 17                            | 36        | 16        | 28        | 54        | 63        |
| 9             | 38                               | 30        | 54        | 68        | 16                            | 45        | 16        | 27        | 53        | 59        |
| 10            | 51                               | 30        | 56        | 76        | 15                            | 41        | 16        | 26        | 55        | 52        |
| 11            | 49                               | 26        | 56        | 76        | 15                            | 34        | 16        | 28        | 56        | 46        |
| 12            | 49                               | 30        | 57        | 73        | 17                            | 43        | 16        | 28        | 54        | 60        |
| 13            | 45                               | 30        | 60        | 64        | 17                            | 42        | 17        | 27        | 55        | 62        |
| 14            | 45                               | 31        | 53        | 63        | 17                            | 35        | 15        | 24        | 46        | 61        |
| 15            | 45                               | 28        | 47        | 64        | 17                            | 35        | 16        | 29        | 54        | 44        |
| 16            | 49                               | 30        | 50        | 62        | 17                            | 41        | 16        | 27        | 52        | 63        |
| 17            | 46                               | 30        | 54        | 65        | 15                            | 34        | 15        | 29        | 52        | 63        |
| 18            | 48                               | 30        | 54        | 65        | 15                            | 35        | 15        | 28        | 52        | 63        |
| 19            | 48                               | 31        | 60        | 86        | 16                            | 36        | 16        | 28        | 54        | 56        |
| 20            | 43                               | 30        | 54        | 62        | 16                            | 42        | 16        | 29        | 56        | 65        |
| 21            | 49                               | 31        | 55        | 68        | 16                            | 37        | 15        | 24        | 53        | 65        |
| 22            | 44                               | 28        | 53        | 73        | 16                            | 40        | 17        | 28        | 51        | 59        |

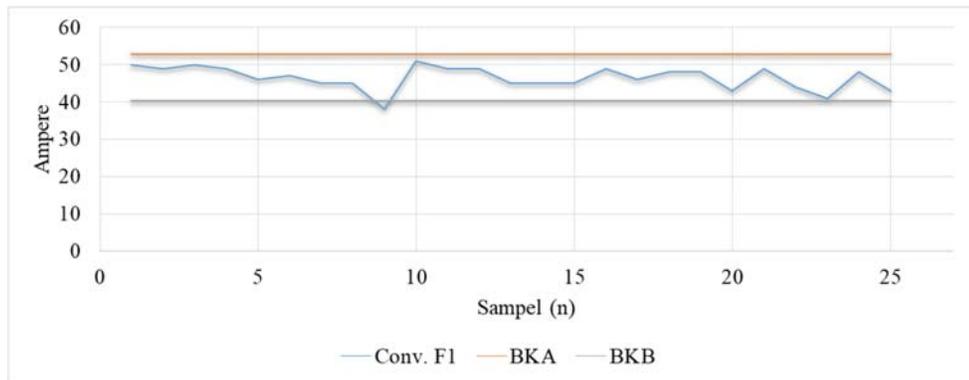
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 23 | 41 | 30 | 61 | 73 | 15 | 35 | 17 | 26 | 50 | 65 |
| 24 | 48 | 29 | 57 | 73 | 15 | 35 | 16 | 28 | 51 | 60 |
| 25 | 43 | 31 | 50 | 80 | 15 | 35 | 17 | 25 | 47 | 55 |

Dari data pada Tabel 4.8 diatas selanjutnya dilakukan pengujian kecukupan data dan pengujian keseragaman data terhadap data arus pengisian (*loading time*) pada masing-masing jalur konveyor. Dengan menggunakan persamaan uji kecukupan dan keseragaman data seperti pada Persamaan 4.1 sampai dengan Persamaan 4.4 dan dengan mengacu pada derajat ketelitian sebesar 10% dan tingkat keyakinan sebesar 95% maka didapatkan hasil perhitungan pengujian kecukupan dan keseragaman data seperti ditampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data proses pengisian (*loading*)

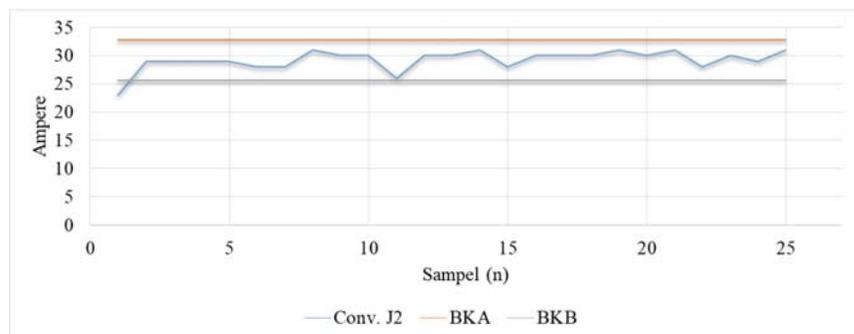
|                             | <i>Jalur Loading dari RH1</i> |           |           |           | <i>Jalur Loading dari RH2</i> |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             | <b>F1</b>                     | <b>J2</b> | <b>K2</b> | <b>L2</b> | <b>F2</b>                     | <b>C1</b> | <b>D1</b> | <b>J1</b> | <b>K1</b> | <b>L1</b> |
| <b><i>n</i></b>             | 25                            | 25        | 25        | 25        | 25                            | 25        | 25        | 25        | 25        | 25        |
| <b><i>n'</i></b>            | 2                             | 1         | 3         | 4         | 1                             | 4         | 1         | 1         | 1         | 4         |
| <b><i>s</i></b>             | 3,12                          | 1,79      | 4,86      | 7,74      | 0,87                          | 3,89      | 0,64      | 1,42      | 2,69      | 6,14      |
| <b><math>\bar{X}</math></b> | 46,48                         | 29,24     | 55,40     | 72,72     | 16,20                         | 37,48     | 16,08     | 27,44     | 53,28     | 60,48     |
| <b><i>BKA</i></b>           | 52,73                         | 32,81     | 65,11     | 88,21     | 17,93                         | 45,25     | 17,36     | 30,27     | 58,65     | 72,77     |
| <b><i>BKB</i></b>           | 40,23                         | 25,67     | 45,69     | 57,23     | 14,47                         | 29,71     | 14,80     | 24,61     | 47,91     | 48,19     |

Untuk mengetahui persebaran data arus motor pada masing-masing jalur konveyor untuk *loading* dari *stock pile 1* menuju *tripper*, maka ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.16 sampai Gambar 4.19.



Gambar 4.16 Grafik sampel pengukuran arus motor conveyor F1

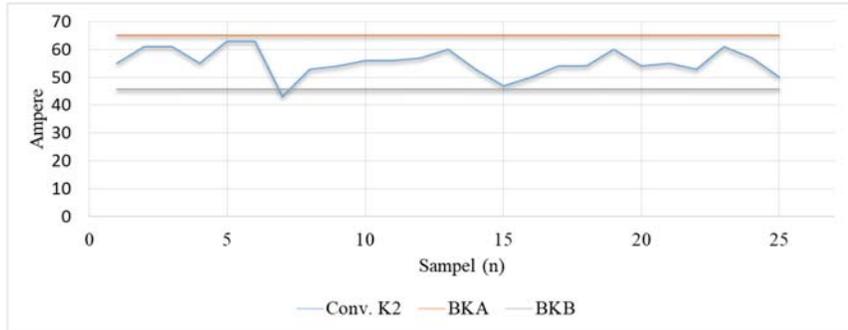
Jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor conveyor F1 seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 2$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.16 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor conveyor F1) sebesar 46,48 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 52,73 dan 40,23.



Gambar 4.17 Grafik sampel pengukuran arus motor conveyor J2

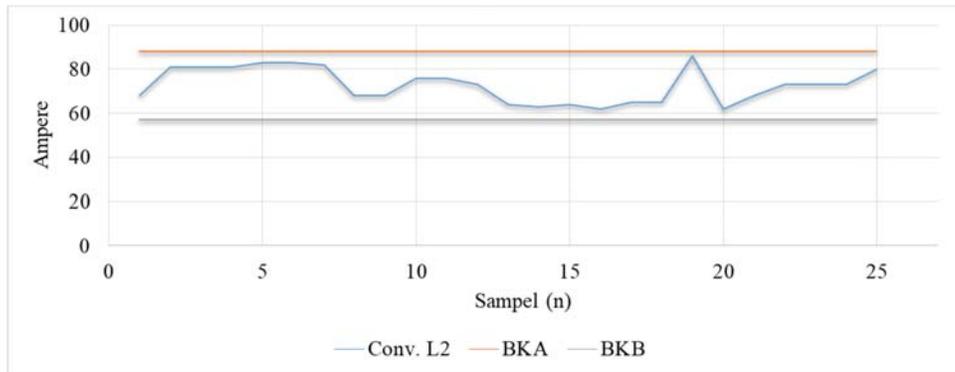
Jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor conveyor J2 seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n$

= 25) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.17 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor J2*) sebesar 29,24 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 32,81 dan 25,67.



Gambar 4.18 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor K2*

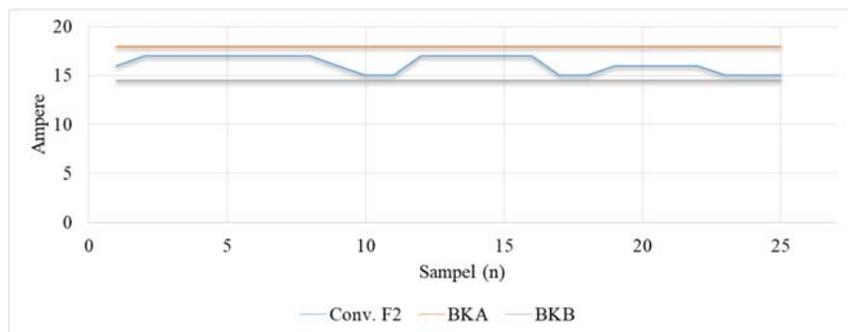
Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor K2* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 3$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.18 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor K2*) sebesar 55,40 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 65,11 dan 45,69.



Gambar 4.19 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor L2*

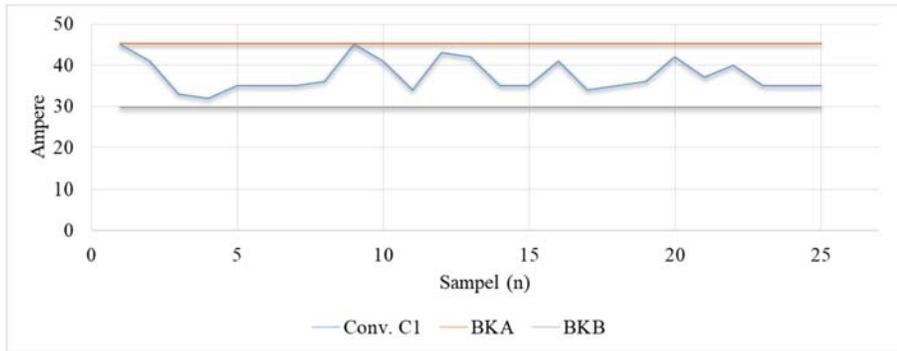
Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor L2* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 4$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.19 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor L2*) sebesar 72,72 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 88,21 dan 57,23.

Sedangkan persebaran data arus motor pada masing-masing jalur konveyor *loading* dari *stock pile 2* menuju *tripper*, dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.25.



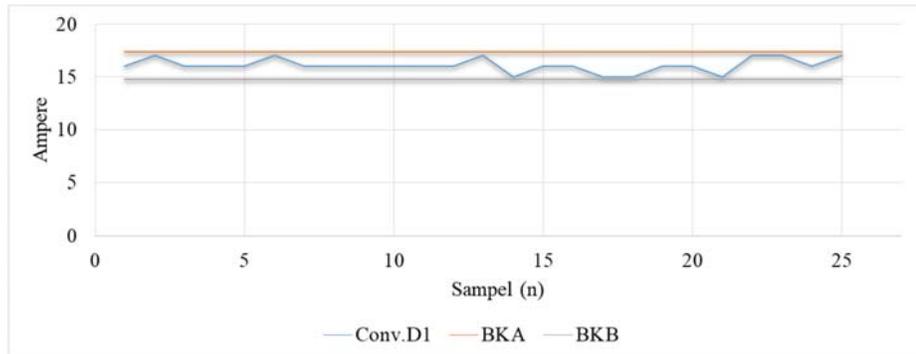
Gambar 4.20 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor F2*

Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor F2* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.20 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor L2*) sebesar 16,20 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 17,93 dan 14,47.



Gambar 4.21 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor C1*

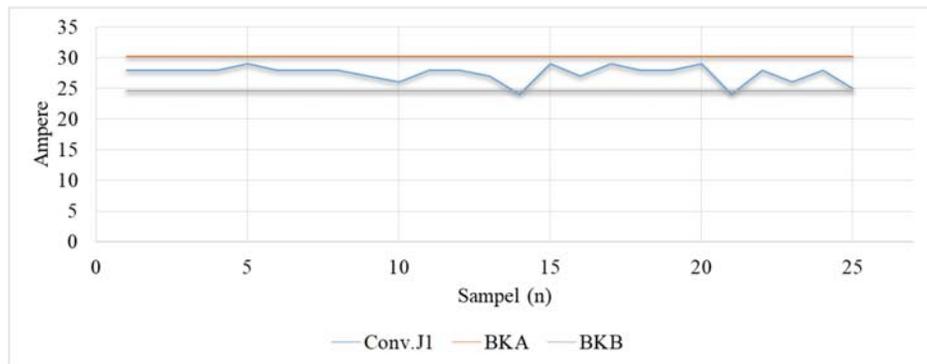
Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor C1* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 4$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.21 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor C1*) sebesar 37,48 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 45,25 dan 29,71.



Gambar 4.22 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor D1*

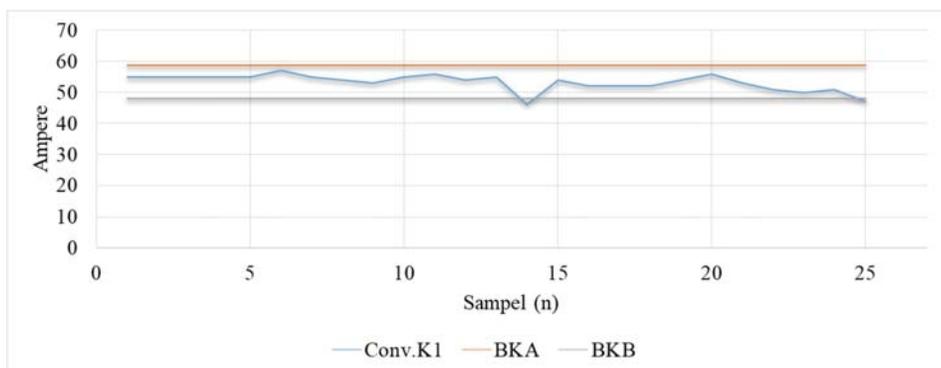
Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor D1* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari

perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.22 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor DI*) sebesar 16,08 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 17,36 dan 14,8.



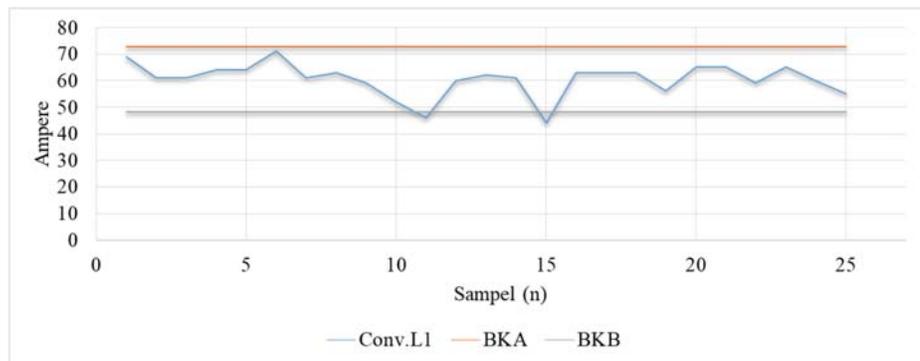
Gambar 4.23 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor JI*

Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor JI* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.23 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor JI*) sebesar 27,44 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 30,27 dan 24,61.



Gambar 4.24 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor K1*

Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor K1* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.24 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor K1*) sebesar 53,28 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 58,65 dan 47,91.



Gambar 4.25 Grafik sampel pengukuran arus motor *conveyor L1*

Dari data jumlah pengambilan sampel untuk pengukuran arus motor *conveyor L1* seperti dinyatakan pada Tabel 4.13 diatas menunjukkan bahwa jumlah sampel yang dilakukan telah memenuhi, hal ini terlihat dari jumlah data sampel pengamatan ( $n = 25$ ) lebih besar dari jumlah sampel yang disarankan dari perhitungan ( $n' = 1$ ). Dari perhitungan dengan konsep *statistic interval estimate*, grafik pada Gambar 4.24 menyatakan bahwa dengan tingkat keyakinan 95%, rata-rata sampel (arus motor *conveyor L1*) sebesar 60,48 berada diantara Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebesar 72,77 dan 48,19. Dari Gambar 4.19 sampai Gambar 4.25 diatas juga menunjukkan bahwa data sampel arus motor pada masing-masing jalur konveyor *loading* dari *stock pile 1* menuju *tripper* adalah sudah mencukupi dan dari tingkat keseragamannya juga dapat

dikatakan seragam karena nilainya masih diantara batas kelas atas (BKA) dan batas kelas bawah (BKB).

#### **4.7. Data Proses Pembangkitan Energi Listrik**

Data proses pembangkitan merupakan rangkaian aktifitas dalam menghasilkan energi listrik. Untuk mengetahui seberapa besar energi yang digunakan dan energi yang hilang saat proses pembangkitan dapat diketahui dengan perhitungan tes performa atau data operasi pada tiap-tiap peralatan kemudian dibandingkan dengan data referensi yaitu data komisioning. *Losses* energi yang umum terjadi pada proses pembangkitan di PLTU adalah pada saat proses pembakaran atau *losses* pada *boiler*, *losses* pada turbin dan *losses* pada kondensor.

Untuk mengetahui *losses* energi pada proses pembangkitan dilakukan pengukuran *heat rate gap* dengan metode *heat rate analysis*. *Heat rate analysis* merupakan *tool* yang digunakan untuk membandingkan *heat rate reference* dengan *heat rate* saat ini. Semakin besar gap, berarti semakin besar pula degradasi efisiensi dari *power plant* tersebut. Dalam melakukan perhitungan *heat rate analysis* maka perlu dibuat *breakdown* kontribusi masing-masing *equipment* terhadap kenaikan *heat rate*.

Proses pengambilan data operasi mengacu pada standart *ASME PTC 4.1* dimana data diambil pada kondisi stabil dengan beban penuh (400 MWatt) selama 2 jam. Data *logger* yang ditarik dari server *DCS* dengan interval pengambilan data 1 menit selanjutnya diolah menjadi data pengukuran seperti ditampilkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Proses Pembangkitan Energi Listrik

**DATA COUNTER METER**

| NO                   | JAM   | GGO           | MPT           | SST           | Coal Feeder (Counter)     |                |              |              |              |
|----------------------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
|                      |       | Counter       | ION           | ION Counter   | A                         | B              | C            | D            | E            |
|                      |       | kWh           | kWh           | kWh           | kg                        | kg             | kg           | kg           | kg           |
| 1                    | 09:30 | 9075292       | 834030336     | 82523024      | 14917743                  | 15473256       | 15412599     | 15629610     | 15740147     |
| 2                    | 10.00 | 9075493       | 834216704     | 82523480      | 14937587                  | 15493247       | 15432560     | 15649597     | 15759975     |
| 3                    | 10.30 | 9075695       | 834404736     | 82523920      | 14958628                  | 15514310       | 15453569     | 15670593     | 15780789     |
| 4                    | 11.00 | 9075895       | 834607232     | 82524424      | 14979455                  | 15535201       | 15474428     | 15691467     | 15801485     |
| 5                    | 11.30 | 9076095       | 834782334     | 82524864      | 15000640                  | 15556495       | 15495713     | 15712758     | 15822593     |
| <b>TOTAL</b>         |       | <b>401500</b> | <b>375999</b> | <b>920,00</b> | <b>41448,5</b>            | <b>41619,5</b> | <b>41557</b> | <b>41574</b> | <b>41223</b> |
| kWh Netto :          |       | 375079        |               |               | Total Coal Flow (Counter) |                |              | 207422       | kg/h         |
| HHV (AR) (kCal/kg) : |       | 4523          |               |               | 4703                      | 4669           | 4180         | 4778         | 4285         |
| TM (%) :             |       | 29,32         |               |               |                           |                |              |              |              |

**DATA PENGUKURAN**

| NO | PARAMETER                | Satuan | SAH A | SAH B |
|----|--------------------------|--------|-------|-------|
| 1  | O2 Inlet                 | %      | 1,93  | 1,54  |
| 2  | O2 Outlet                | %      | 6,51  | 5,31  |
| 3  | CO 2 Inlet               | %      | 19,98 | 20,36 |
| 4  | CO 2 Outlet              | %      | 15,39 | 16,59 |
| 5  | Coal Fineness > 200 Mesh | %      | 94,78 |       |

**DATA DCS**

| NO                              | PARAMETER                             | SIMBOL  | SATUAN  | NILAI               |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------------------|
| <b>Flow Dan Enthalpi</b>        |                                       |         |         |                     |
| 1                               | Turbine Throttle Steam Flow           | Mth     | kg/H    | <b>1.109.354,31</b> |
| 2                               | Hot Reheat Steam Flow                 | Mhr     | kg/H    | 1.047.618,63        |
| 3                               | Cold Reheat Steam Flow                | Mcr     | kg/H    | 1.000.887,40        |
| 4                               | Main Feed Water Flow                  | Mfw     | kg/H    | 1.045.425,32        |
| 5                               | Air Heater Flow                       | Mah     | kg/H    | 0,00                |
| 6                               | Make Up Flow                          | Mmu     | kg/H    | 4.051,10            |
| 7                               | Superheater Spray Flow                | Mss     | kg/H    | 92.943,17           |
| 8                               | Reheater Spray Flow                   | Mrs     | kg/H    | 46.731,22           |
| 9                               | Sootblowing Flow                      | Msb     | kg/H    | 0,00                |
| 10                              | Primary Air Flow                      | Mpa     | kg/H    | 479.629,82          |
| 11                              | Secondary Air Flow                    | Msa     | kg/H    | 1.243.699,57        |
| 12                              | Total Air Flow                        | Mair    | kg/H    | 1.723.329,39        |
| 13                              | Turbine Throttle Steam Enthalpi (HMS) | Hth     | kcal/kg | 813,68              |
| 14                              | Hot Reheat Steam Enthalpi (HHR)       | Hhr     | kcal/kg | 845,60              |
| 15                              | Cold Reheat Steam Enthalpi (HCR)      | Hcr     | kcal/kg | 739,47              |
| 16                              | Main Feed Water Enthalpi (HFW)        | Hfw     | kcal/kg | 177,62              |
| 17                              | Make Up Enthalpi                      | Hmu     | kcal/kg | 0,00                |
| 18                              | Boiler Feed Pump Outlet Enthalpi      | Hss     | kcal/kg | 156,25              |
| 19                              | Air Heater Supply Enthapi             | Hahs    | kcal/kg |                     |
| 20                              | Air Heater Return Enthapi             | Hahr    | kcal/kg |                     |
| 21                              | Actual Heat Drop HP Turbine           | HHPD    | kcal/kg | 55,61               |
| 22                              | Actual Heat Drop IP Turbine           | HIPD    | kcal/kg | 101,78              |
| 23                              | LP Turbine Inlet Steam Enthalpy       | Hlpi    | kcal/kg | -                   |
| 24                              | Used Energy End Point LP Turbine      | UEEP    | kcal/kg | -                   |
| <b>Pressure dan Temperature</b> |                                       |         |         |                     |
| 25                              | Condenser Vacuum                      |         | mmHg    | 688,48              |
| 26                              | IP Exhaust Steam Temperature          | TIPO    | Deg C   | 331,31              |
| 27                              | IP Exhaust Steam Pressure             | PLPI    | kg/cm2  | 9,11                |
| 28                              | SAH A Air Inlet Temperature           | TSHA AI | Deg C   | 52,20               |
| 29                              | SAH B Air Inlet Temperature           | TSHBA I | Deg C   | 51,82               |
| 30                              | SAH A Air Outlet Temperature          | TSHA AO | Deg C   | 274,36              |
| 31                              | SAH B Air Outlet Temperature          | TSHABO  | Deg C   | 277,38              |
| 32                              | SAH A Gas Outlet Temperature          | TSHAGO  | Deg C   | 137,14              |
| 33                              | SAH B Gas Outlet Temperature          | SSH BGO | Deg C   | 147,52              |
| 34                              | PAH A Air Inlet Temperature           | TPHA AI | Deg C   | 53,62               |
| 35                              | PAH B Air Inlet Temperature           | TPHBA I | Deg C   | 53,84               |
| 36                              | PAH A Air Outlet Temperature          | TPHA AO | Deg C   | 244,99              |
| 37                              | PAH B Air Outlet Temperature          | TPHBAO  | Deg C   | 230,32              |
| 38                              | Flue Gas to Stack Temperature         |         | Deg C   | 140,71              |
| 39                              | Economiser Gas Outlet A Temperature   | TEAGO   | Deg C   | 304,00              |
| 40                              | Economiser Gas Outlet B Temperature   | TEBGO   | Deg C   | 304,00              |
| 41                              | % O2 Leaving Economiser               |         | %       | 1,74                |

| Boiler Losses |  |      |         |        |
|---------------|--|------|---------|--------|
| 42            | Heat Loss Due Unburncarbon                 | LUC  | kcal/kg | 0,07   |
| 43            | Heat Loss Due Heat in Dry Flue gas         | LG   | kcal/kg | 246,19 |
| 44            | Heat Loss Due to Moisture                  | LMF  | kcal/kg | 144,72 |
| 45            | Heat Loss Due from Burning H2              | LH   | kcal/kg | 191,17 |
| 46            | Heat Loss Due to Moisture in Air           | LMA  | kcal/kg | 4,44   |
| 47            | Heat Loss Due to unburning Hydcarbon       | LUHC | kcal/kg | 0,00   |
| 48            | Heat Loss Due to Radiation                 | LR   | kcal/kg | 10,83  |
| 49            | Manufacture Margin Loss & Unaccounted Loss | -    | %       |        |

## 4.8. Pengolahan Data

### 4.8.1. Energy Waste Proses Pembongkaran (*Unloading*)

Dari data proses pembongkaran selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *losses* energi. Perhitungan *losses* didapatkan dari selisih energi yang terjadi dibandingkan dengan energi yang digunakan ketika kondisi performa terbaiknya (*commissioning*). Semakin besar *losses* energi yang terjadi mengindikasikan terdapatnya permasalahan dalam sistem dan diperlukan perhatian khusus untuk mengembalikan pada performa awal. Perhitungan pembebanan pada motor-motor dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4.1.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \times t \quad (4.1)$$

dengan:

$P$  : Daya Motor (*Wh*)

$V$  : Tegangan (*Volt*)

$I$  : Arus (*Ampere*)

$t$  : rata-rata durasi pembongkaran batubara (*hour*) (Lampiran 1)

$\cos \varphi$  : 85% (spesifikasi dari motor)

Berdasarkan persamaan 4.1 diatas maka perhitungan pemakaian energi pada motor *ship unloader 1* adalah

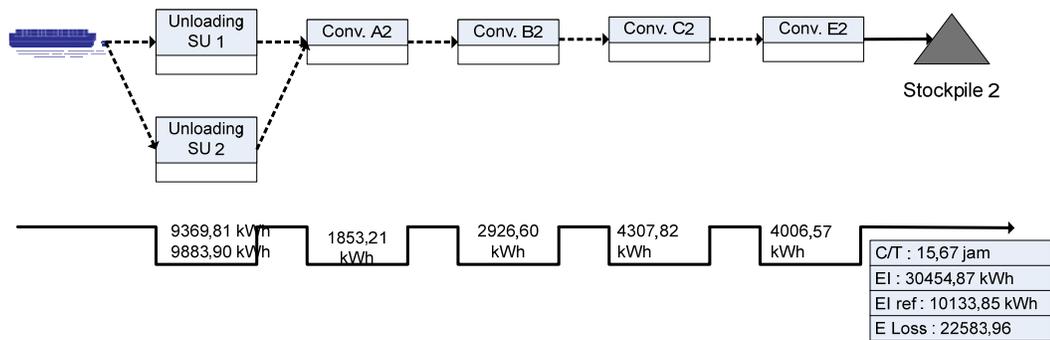
$$\begin{aligned} P_{SU1} &= \sqrt{3} \times 3150 \times 109,63 \times 0,85 \times 14,37 \\ &= 9369,81 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Data hasil perhitungan energi pada proses pembongkaran terbagi menjadi 2 jalur yaitu jalur 1-3 dan jalur 1-4.

Jalur 1-3 merupakan jalur pembongkaran (*unloading*) batubara dari tongkang menuju *stockpile 2* yang melalui beberapa peralatan diantaranya *SU1*, *SU2*, konveyor A2, B2, C2, dan E2. Hasil perhitungan *energy waste* pada jalur pembongkaran 1-3 seperti ditampilkan pada Tabel 4.11 dan alur proses pembebanan pada masing-masing peralatan ditunjukkan pada Gambar 4.26.

Tabel 4.11 Data perhitungan *losses* energi proses pembongkaran *route 1-3*

| ROUTE 1-3 (Conv. A2, B2, C2, E2) |                 |         |         |         |         |         |
|----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | SU1             | SU2     | A2      | B2      | C2      | E2      |
| Kapasitas (TPH)                  | 1750            | 1750    | 3500    | 3500    | 3500    | 3500    |
| Tegangan (volt)                  | 3150            | 3150    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| Arus Beban (Amp)                 | 109,63          | 115,64  | 22,77   | 35,95   | 52,92   | 49,22   |
| Daya Beban (kWh)                 | 9369,81         | 9883,90 | 1853,21 | 2926,60 | 4307,82 | 4006,57 |
| Daya Beban Commissioning (kWh)   | 2916,76         | 2916,76 | 547,56  | 850,18  | 1326,78 | 1205,93 |
| Losses Daya (kWh)                | 6453,05         | 6967,15 | 1305,65 | 2076,43 | 2981,04 | 2800,64 |
| <b>TOTAL LOSSES (kWh)</b>        | <b>22583,96</b> |         |         |         |         |         |

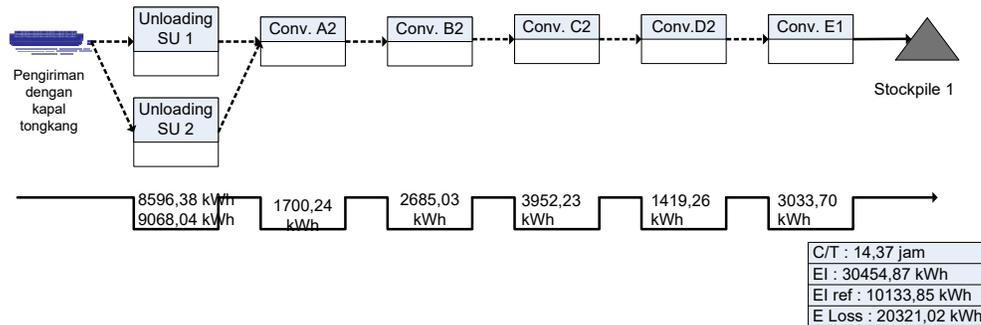


Gambar 4.26 Alur proses pembebanan pada jalur konveyor 1-3

Jalur 1-4 merupakan jalur pembongkaran (*unloading*) batubara dari tongkang menuju *stockpile 1* yang melalui beberapa peralatan diantaranya *SU1*, *SU2*, konveyor A2, B2, C2, D2 dan E1. Hasil perhitungan *energy waste* pada jalur pembongkaran 1-4 seperti ditampilkan pada Tabel 4.12 dan alur proses pembebanan pada masing-masing peralatan ditunjukkan pada Gambar 4.27.

Tabel 4.12 Data perhitungan *energy waste* proses pembongkaran *route 1-4*

| ROUTE 1-4 (Conv. A2, B2, C2, D2, E1) |                 |         |         |         |         |         |         |
|--------------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                      | SU1             | SU2     | A2      | B2      | C2      | D2      | E1      |
| Kapasitas (TPH)                      | 1750            | 1750    | 3500    | 3500    | 3500    | 3500    | 3500    |
| Tegangan (volt)                      | 3150            | 3150    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| Arus Beban (Amp)                     | 109,63          | 115,64  | 22,77   | 35,95   | 52,92   | 19,00   | 40,62   |
| Daya Beban (kWh)                     | 8596,38         | 9068,04 | 1700,24 | 2685,03 | 3952,23 | 1419,26 | 3033,70 |
| Daya Beban<br>Commissioning (kWh)    | 2900,83         | 2900,83 | 544,18  | 844,93  | 1318,59 | 426,01  | 1198,48 |
| Losses Daya (kWh)                    | 5695,55         | 6167,20 | 1156,06 | 1840,10 | 2633,64 | 993,25  | 1835,22 |
| <b>TOTAL LOSSES<br/>(kWh)</b>        | <b>20321,02</b> |         |         |         |         |         |         |



Gambar 4.27 Alur proses pembebanan pada jalur konveyor 1-4

#### 4.8.2. *Energy Waste* Proses Pengisian (*Loading*)

*Losses* energi pada proses pengisian merupakan *non value added activity* dimana dengan adanya *energy waste* ini juga mengindikasikan ketidaknormalan sistem pengisian. Dengan menggunakan Persamaan 4.1 untuk menghitung besarnya daya/ energi yang diperlukan pada konveyor F1 pada proses pengisian batubara dari *RHI* adalah.

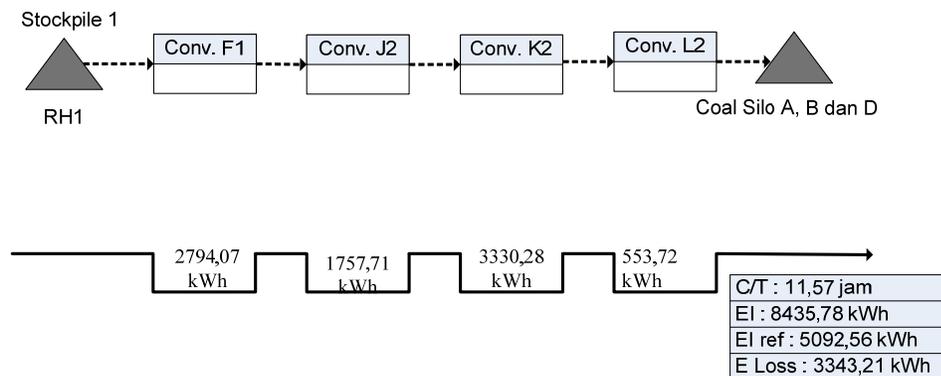
$$\begin{aligned}
 P_{F1} &= \sqrt{3} \times 3000 \times 46,48 \times 0,85 \times 11,57 \\
 &= 2794,07 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 4.1 tersebut untuk menghitung energi yang digunakan pada setiap motor pada jalur *loading*. Sehingga didapatkan data perhitungan proses pengisian batubara, serta didapatkan data *energy waste* pada jalur pengisian batubara dari *stockpile 1* melalui jalur konveyor 3-3 dan *losses* energi pengisian batubara dari *stockpile 2* melalui jalur konveyor 2-2.

Jalur 3-3 merupakan jalur pengisian (*loading*) batubara dari *stockpile 1* menuju *coal silo A, B dan D* yang melalui beberapa peralatan diantaranya *Reclaim Hopper 1 (RH1)*, konveyor F1, J2, K2 dan L2. Hasil perhitungan *energy waste* pada jalur pengisian (*loading*) 3-3 seperti ditampilkan pada Tabel 4.15 dan alur proses pembebanan pada masing-masing peralatan ditunjukkan pada Gambar 4.27.

Tabel 4.13 Data perhitungan *losses* energi proses pengisian *route 3-3*

| Loading dari RH 1 Route 3-3      |                |         |         |        |
|----------------------------------|----------------|---------|---------|--------|
|                                  | F1             | J2      | K2      | L2     |
| Kapasitas (TPH)                  | 839,47         | 839,47  | 839,47  | 839,47 |
| Tegangan (volt)                  | 3000           | 3000    | 3000    | 380    |
| Arus Beban (Amp)                 | 46,48          | 29,24   | 55,4    | 72,72  |
| Daya Beban (kWh)                 | 2794,07        | 1757,71 | 3330,28 | 553,72 |
| Normal Daya Beban (kWh)          | 1478,57        | 1089,91 | 2115,14 | 408,95 |
| Kerugian Daya (Power Loss) (kWh) | 1315,5         | 667,81  | 1215,14 | 144,76 |
| <b>TOTAL LOSSES (kWh)</b>        | <b>3343,21</b> |         |         |        |



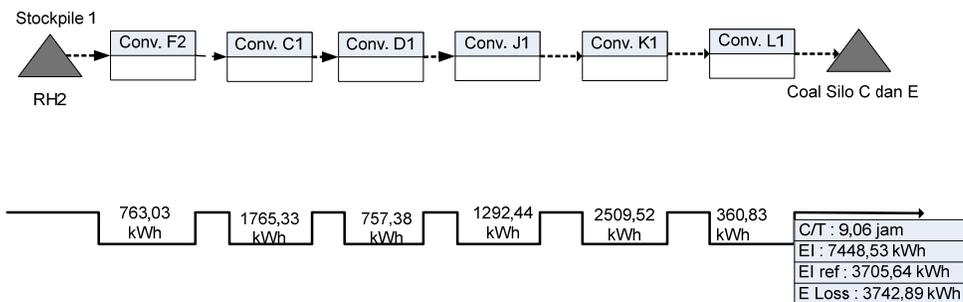
Gambar 4.28 Alur proses pembebanan pada jalur konveyor 3-3

Dari Gambar 4.28 diatas dapat dilihat bahwa *losses* energi listrik yang terjadi pada proses pengisian (*loading*) batubara dari *RH1* menuju *coal silo/ coal bunker* untuk mensuplai kebutuhan batubara sebagai bahan bakar proses pembakaran selama 24 jam dengan rata-rata nilai *Capacity Factor(CF)* pembebanan unit sebesar 80% adalah sebesar 3343,21 kWh.

Jalur 2-2 merupakan jalur pengisian (*loading*) batubara dari *stockpile 2* menuju *coal silo C dan E* yang melalui beberapa peralatan diantaranya *Reclaim Hopper 2 (RH2)*, konveyor F2, C1, D1, J1, K1 dan L1 . Hasil perhitungan *energy waste* pada jalur pengisian (*loading*) 3-3 seperti ditampilkan pada Tabel 4.14 dan alur proses pembebanan pada masing-masing peralatan ditunjukkan pada Gambar 4.29

Tabel 4.14 Data perhitungan *losses* energi proses pengisian *route 2-2*

| Loading dari RH 2 Route 2-2                 |                |         |        |         |         |        |
|---|----------------|---------|--------|---------|---------|--------|
|   | F2             | C1      | D1     | J1      | K1      | L1     |
| Kapasitas (TPH)                             | 501,82         | 501,82  | 501,82 | 501,82  | 501,82  | 501,82 |
| Tegangan (volt)                             | 3000           | 3000    | 3000   | 3000    | 3000    | 380    |
| Arus Beban (Amp)                            | 16,2           | 37,48   | 16,08  | 27,44   | 53,28   | 60,48  |
| Daya Beban (kWh)                            | 763,03         | 1765,33 | 757,38 | 1292,44 | 2509,52 | 360,83 |
| Daya Beban Normal (kWh)                     | 371,55         | 1228,02 | 396,74 | 515,5   | 1000,41 | 193,42 |
| Kerugian Daya ( <i>Power Losses</i> ) (kWh) | 391,48         | 537,32  | 360,63 | 776,94  | 1509,11 | 167,4  |
| <b>TOTAL LOSSES (kWh)</b>                   | <b>3742,88</b> |         |        |         |         |        |



Gambar 4.29 Alur proses pembebanan pada jalur konveyor 2-2

Dari Gambar 4.29 diatas dapat dilihat bahwa *losses* energi listrik yang terjadi pada proses pengisian (*loading*) batubara dari *RH2* menuju *coal silo/ coal*

*bunker* untuk mensuplai kebutuhan batubara sebagai bahan bakar proses pembakaran selama 24 jam dengan rata-rata nilai *Capacity Factor(CF)* pembebanan unit sebesar 80% adalah sebesar 3742,88 kWh.

#### 4.8.3. *Energy Waste* Proses Pembangkitan

Data parameter operasi yang didapatkan dari pengukuran dan penarikan data dari data *logger* DCS pada proses pembangkitan selanjutnya digunakan dalam proses perhitungan *losses* energi yang dilakukan dengan metode *Heat Rate Analysis* yang mengacu pada dokumen *best practice EPRI (Heat rate reference improvement manual)* dan perhitungan *performance test* sesuai standar *American Society of Mechanical Engineer Performance Test Code (ASME PTC)*. *EPRI* mengelompokkan *point heat loss* menjadi beberapa parameter yang dijabarkan sebagai berikut:

##### 1. *Operator Controllable* :

- *Flue gas in AH temperature*
- *Orsat O2 gas in AH*
- *Main steam temperature*
- *Hot Reheat steam temperature*
- *Water spray to DeSH*
- *Water spray to DeRH*

##### 2. *Unit Controllable* :

- *Auxilliary power, %*
- *Final Feed water outlet temperature*
- *Unburn carbon*
- *Main steam flow*
- *Hot Reheat steam flow*
- *Condenser vaccum, mmHgA*

##### 3. *Turbine Component* :

- *HP turbine Efficiency*
- *IP turbine Efficiency*

- LP turbine Efficiency
  - HP seal clearence
  - IP seal clearence
  - LP seal clearence
4. Cycle Component :
- BFP Performance
  - FWH not in service
  - TTD FWH
  - Isolation cycle
5. Boiler Component :
- %Moisture in fuel
  - %H composition in fuel
  - AH leakage
  - AH effectiveness
  - Air in AH temperature
  - Mill out air temperature
6. Other losses :
- Make Up water
  - Unexplained gap

Dari pengelompokan *point heat loss* tersebut dengan menyesuaikan kondisi unit pembangkit maka didapatkan hasil perhitungan data *point heat loss*. Selanjutnya dilakukan perhitungan analisa *heat rate gap* sehingga didapatkan besarnya *heat loss* pada setiap parameter *point heat loss* seperti dijabarkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Hasil *Heat Rate Gap Analysis* PLTU (*Energy waste*)

| NO | PARAMETER              | Unit    | REFERENCE DATA | ANALYSIS DATA | GAP | NILAI LOSSES |          |
|----|------------------------|---------|----------------|---------------|-----|--------------|----------|
|    |                        |         | Commissioning  |               |     | %            | kCal/kWh |
|    | Total Coal Flow        | kg/H    | 127.371,00     |               |     |              |          |
|    | HHV Batubara           | kCal/kg | 6.602,00       | 4.523,00      |     |              |          |
|    | Gross Generator Output | MW      | 400,000        | 401,500       |     |              |          |

|            |  |                 |           |        |       |       |         |
|------------|--|-----------------|-----------|--------|-------|-------|---------|
|            | Auxilliary Power<br>(Pemakaian Sendiri +<br>Susut Trafo) | <i>kWh</i>      | 24.809,40 | 26.421 |       |       |         |
|            | <i>kWh Netto</i>   | <i>kWh</i>      | 375.191   |        |       |       |         |
|            | <b>Gross Plant Heat Rate<br/>(GPHR)</b>                  | <i>kCal/kWh</i> | 2.102,26  |        |       |       |         |
|            | <b>(Net Plant Heat Rate)<br/>NPHR</b>                    | <i>kCal/kWh</i> | 2.241,27  |        |       |       |         |
| <b>I</b>   | <b>Operator Controllable</b>                             |                 |           |        |       |       |         |
| 1          | Outlet Gas<br>Temperature to stack                       | <i>Deg C</i>    | 124,30    | 140,63 | 16,33 | 1,03  | 23,04   |
| 2          | Outlet Gas O2 to stack                                   | %               | 4,61      | 2,24   | -2,37 | -0,69 | -15,42  |
| 3          | Main Steam<br>Temperature                                | <i>Deg C</i>    | 545,60    | 542,30 | -3,30 | 0,09  | 2,00    |
| 4          | Hot Reheat Steam<br>Temperature                          | <i>Deg C</i>    | 539,40    | 542,98 | 3,58  | -0,09 | -2,02   |
| 5          | Main Steam Pressure                                      | <i>kg/cm2</i>   | 168,90    | 168,28 | -0,62 | 0,00  | 0,01    |
| 6          | Superheat Spray  | % MSF           | 0,40      | 8,42   | 8,02  | 2,01  | 44,94   |
| 7          | Reheat Spray   | % MSF           | 2,54      | 4,18   | 1,63  | 0,33  | 7,32    |
| <b>II</b>  | <b>Unit/Plan Controllable</b>                            |                 |           |        |       |       |         |
| 8          | Condenser Pressure                                       | <i>mmHg</i>     | 702,04    | 688,50 | -     | 13,54 | 1,27    |
| 9          | Station Service<br>(Auxilliary Power)                    | %               | 6,20      | 7,15   | 0,95  | 0,95  | 21,29   |
| 10         | Final Feedwater<br>Temperature                           | <i>Deg C</i>    | 264,70    | 173,36 | -     | 91,34 | 3,29    |
| 11         | Unburned Carbon  | %               | 0,20      | 0,03   | -0,17 | -0,17 | -3,80   |
| <b>III</b> | <b>Turbine Cycle Component</b>                           |                 |           |        |       |       |         |
| 12         | HP Turbine Efficiency                                    | %               | 93,88     | 79,64  | -     | 14,24 | 2,56    |
| 13         | IP Turbine Efficiency                                    | %               | 92,37     | 92,46  | 0,09  | -0,02 | -0,36   |
| 14         | LP Turbine Efficiency                                    | %               | 70,48     | 87,66  | 17,18 | -7,73 | -173,32 |
| 15         | BFP Efficiency   | %               | 84,70     | 78,26  | -6,44 | 0,13  | 2,89    |
| 16         | TTD LPH 1  | <i>Deg C</i>    | 3,70      | 5,00   | 1,30  | 0,01  | 0,31    |
| 17         | TTD LPH 2  | <i>Deg C</i>    | 3,80      | 9,91   | 6,11  | 0,07  | 1,48    |
| 18         | TTD LPH 3  | <i>Deg C</i>    | 2,40      | 6,52   | 4,12  | 0,04  | 1,00    |
| 19         | TTD HPH 5  | <i>Deg C</i>    | 3,30      | 4,70   | 1,40  | 0,02  | 0,34    |
| 20         | TTD HPH 6  | <i>Deg C</i>    | 0,20      | 0,00   | -0,20 | 0,00  | -0,05   |
| 21         | TTD HPH 7  | <i>Deg C</i>    | 0,60      | 0,00   | -0,60 | -0,01 | -0,15   |
| <b>IV</b>  | <b>Boiler Component</b>                                  |                 |           |        |       |       |         |
| 22         | Coal Moisture  | %               | 5,82      | 29,32  | 23,50 | 4,00  | 89,54   |
| 23         | Air Heater Leakage                                       | %               | 8,57      | 25,04  | 16,47 | 0,82  | 18,46   |
| 24         | Air Heater A<br>Effectiveness                            | %               | 69,72     | 66,47  | -3,25 | 0,49  | 5,46    |
| 25         | Air Heater B<br>Effectiveness                            | %               | 69,72     | 61,93  | -7,79 | 1,17  | 13,09   |

|                            |                                     |              |       |       |       |       |        |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 26                         | <i>FD Fan Air Inlet Temperature</i> | <i>Deg C</i> | 27,00 | 35,13 | 8,13  | -0,07 | -1,64  |
| 27                         | <i>Mill Outlet Air Temperature</i>  | <i>Deg C</i> | 61,80 | 53,78 | -8,02 | 0,06  | 1,29   |
| 28                         | <i>Heat Loss Due To Hydrogen</i>    | <i>%</i>     | 0,29  | 0,37  | 0,08  | 0,08  | 1,79   |
| <b>TOTAL ENERGY LOSSES</b> |                                     |              |       |       |       | 18,38 | 372,49 |

Berdasarkan data *heat loss* pada Tabel 4.15, kemudian parameter peralatan yang memiliki *Gap* positif dan dikelompokkan seperti pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Pengelompokan parameter peralatan proses pembangkitan.

| <b><i>Energy waste pada peralatan boiler</i></b>    | <b><i>kCal/kWh</i></b> |
|---|------------------------|
| <i>Coal Moisture</i>                                | 89,54                  |
| <i>Outlet Gas Temperature to stack</i>              | 23,04                  |
| <i>Air Heater Leakage</i>                           | 18,46                  |
| <i>Air Heater B Effectiveness</i>                   | 13,09                  |
| <i>Air Heater A Effectiveness</i>                   | 5,46                   |
| <i>Heat Loss Due To Hydrogen</i>                    | 1,79                   |
| <i>Mill Outlet Air Temperature</i>                  | 1,29                   |
| <i>Total Energy waste pada peralatan boiler</i>     | 152,67                 |
|   |                        |
| <b><i>Energy waste pada peralatan turbin</i></b>    | <b><i>kCal/kWh</i></b> |
| Final Feedwater Temperature                         | 73,64                  |
| HP Turbine Efficiency                               | 57,45                  |
| Superheat Spray                                     | 44,94                  |
| Reheat Spray  | 7,32                   |
| BFP Efficiency                                      | 2,89                   |
| Main Steam Temperature                              | 2,00                   |
| TTD LPH 2   | 1,48                   |
| TTD LPH 3   | 1,00                   |
| TTD HPH 5   | 0,34                   |
| TTD LPH 1   | 0,31                   |
| Main Steam Pressure                                 | 0,01                   |
| <i>Total Energy waste pada peralatan Turbin</i>     | 191,37                 |
|   |                        |
| <b><i>Energy waste pada peralatan Condenser</i></b> | <b><i>kCal/kWh</i></b> |
| Condenser Pressure                                  | 28,45                  |
|   |                        |
| <b><i>Energy waste pada peralatan Generator</i></b> | <b><i>kWh</i></b>      |
| Auxilliary Power (PS + ST)                          | 1611,6                 |

Dari Tabel 4.16 diatas selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya *energy waste* dan potensi kerugiannya pada masih-masih peralatan pembangkitan.

1. Potensi kerugian akibat *heat loss* pada peralatan boiler

$$\begin{aligned}
 \text{Boiler loss} &= 152,67 \text{ kcal/kWh} \\
 \text{NPHR}_{\text{referensi}} &= 2241,27 \text{ kcal/kWh} \\
 \text{Gross Generator Output (GGO)} &= 401500 \text{ kWh} \\
 \text{HHV} &= 4523 \text{ kcal/kg} \\
 \text{coal flow}_{\text{referensi}} &= 127,371 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

Peningkatan bahan bakar akibat boiler loss

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\text{NPHR}_{\text{referensi}} + \text{boiler loss})}{\text{HHV}} \times \text{GGO} - \text{coal flow}_{\text{referensi}} \quad (4.2) \\
 &= \frac{(2241,27 + 152,67)}{4523} \times 401500 - 127,371 \\
 &= 85,129 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potensi kerugian} &= \text{peningkatan bahan bakar} \times \text{harga bahan bakar} \\
 &= 85,129 \text{ ton/jam} \times \text{Rp } 719 / \text{kg} \\
 &= \text{Rp } 61.207.751 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

2. Potensi kerugian akibat *heat loss* pada peralatan turbin

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\text{NPHR}_{\text{referensi}} + \text{turbin loss})}{\text{HHV}} \times \text{GGO} - \text{coal flow}_{\text{referensi}} \quad (4.3) \\
 &= \frac{(2241,27 + 191,37)}{4523} \times 401500 - 127,371 \\
 &= 88,57 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potensi kerugian} &= \text{peningkatan bahan bakar} \times \text{harga bahan bakar} \\
 &= 88,57 \text{ ton/jam} \times \text{Rp } 719 / \text{kg} \\
 &= \text{Rp } 63.682.436,77 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

3. Potensi kerugian akibat *heat loss* pada peralatan kondensor

$$= \frac{(\text{NPHR}_{\text{referensi}} + \text{condenser loss})}{\text{HHV}} \times \text{GGO} - \text{coal flow}_{\text{referensi}} \quad (4.4)$$

$$= \frac{(2241,27+28,45)}{4523} \times 401500 - 127.371$$

$$= 74,108 \text{ ton/jam}$$

Potensi kerugian = peningkatan bahan bakar x harga bahan bakar

$$= 74,108 \times \text{Rp } 719$$

$$= \text{Rp } 53.284.138$$

4. Potensi kerugian akibat kenaikan *Auxiliary power* pada peralatan *generator*

$$= \text{Gap Aux. Power} \times \text{HPP}$$

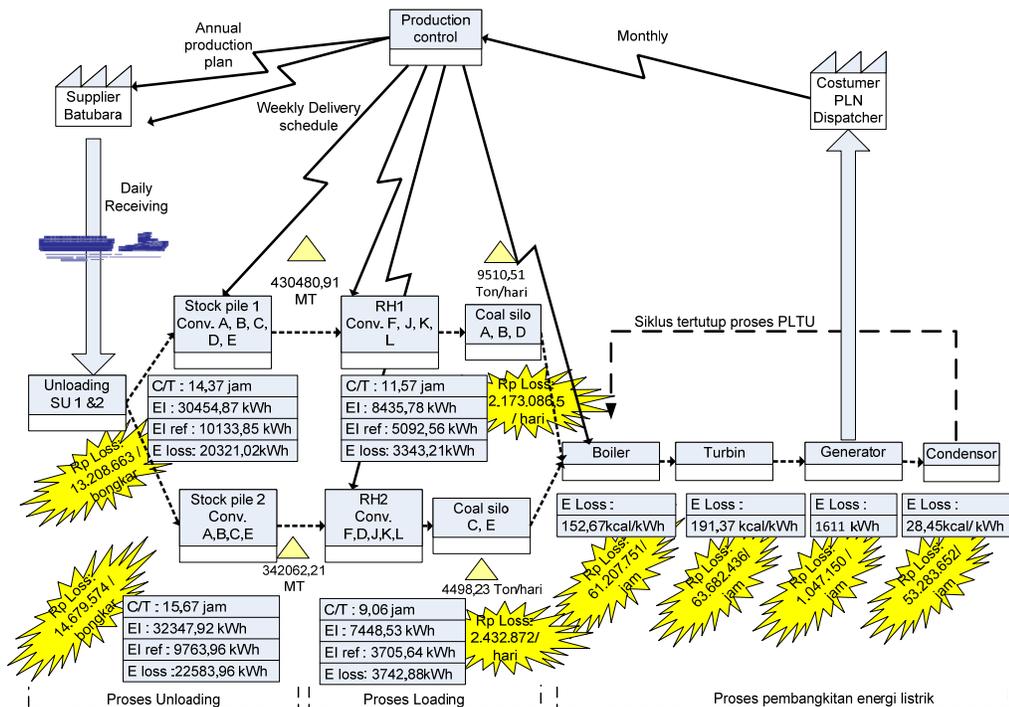
$$= 1611 \text{ kWh} \times \text{Rp } 650/\text{kWh}$$

$$= \text{Rp } 1.047.150$$

## BAB 5 ANALISA DAN DISKUSI

### 5.1. Current State Map Energy Value Stream Mapping

Dari pengolahan data *energy waste/loss* maka disusunlah kedalam diagram alir *current state energy value stream mapping* seperti dinyatakan pada Gambar 5.1. Perhitungan penggunaan energi dilakukan dengan menggunakan perhitungan *power rating* pada motor konveyor dan perhitungan *heat loss* pada peralatan-peralatan utama pembangkit yang berkaitan dengan *siklus rankine* (boiler, turbin, generator dan kondensor).



Keterangan :  
 C/T : Cycle Time  
 EI : Energy Input  
 EI ref. : Energi Input Referensi  
 E loss : Energi losses

Gambar 5.1 Current State Energy Value Stream Mapping

Gambar 5.1 diatas merupakan *Current State EVSM* pada proses bisnis *PLTU* batubara. Pada proses tersebut untuk mempermudah dalam mengidentifikasi *energy waste* maka dikelompokkan menjadi 3 (tiga) bagian yaitu:

- Proses *unloading*, yang terdiri dari proses *unloading* menuju *stockpile 1* dan proses *unloading* menuju *stockpile 2*
- Proses *loading*, yang terdiri dari proses *loading* dari *stockpile 1* serta proses *loading* dari *stockpile 2*
- Proses pembangkitan energi listrik yang merupakan proses utama dalam siklus *PLTU*, dikelompokkan menjadi 4 (empat ) kategori peralatan yaitu peralatan boiler, peralatan turbin, peralatan generator dan peralatan kondensor.

## **5.2 Identifikasi *Energy Waste/ Energy Loss***

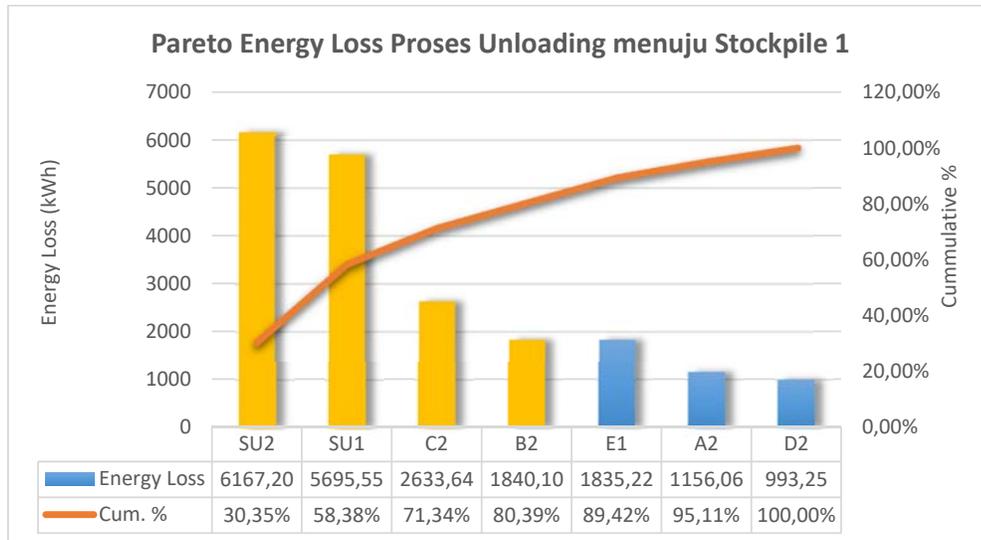
Identifikasi *energy waste* dilakukan dengan mengelompokkan pemakaian energi menjadi *value adding energy* dan *non value adding energy*. *Value adding energy* merupakan referensi energi atau *baseline energy* yang digunakan sebagai pembanding energi yang terjadi. *Non value adding energy* merupakan *gap* yang terjadi antara *baseline energy* dengan *energy actual* yang terjadi pada kondisi saat ini atau pengukuran.

*Energy waste* yang didapatkan pada masing-masing tahapan proses kemudian dilakukan pemeringkatan dengan menggunakan diagram *Pareto* untuk mengetahui parameter dominan dalam *energy waste*. Sehingga didapatkan prioritas *energy waste* yang harus dilakukan perbaikan dengan menggunakan prinsip 80/20.

### **5.2.1. Identifikasi *Energy Waste* Pada Jalur *Unloading* Batubara Menuju *Stock Pile 1***

Dari hasil pengelompokan tersebut didapatkan *Pareto energy waste* pada proses *unloading* batubara dari tongkang menuju *stockpile 1* seperti pada Gambar 5.2. Proses *unloading* batubara menuju *stockpile 1* pada penelitian ini dipilih jalur konveyor 1-4 dimana terdiri dari peralatan SU1, SU2, belt konveyor A2, B2, C2, D2 dan E1. Diagram batang pada diagram *Pareto* menunjukkan nilai *energy waste* pada peralatan tersebut sedangkan diagram baris menunjukkan nilai prosentase

kumulatif dari setiap parameter yang ditinjau. Untuk menentukan faktor dominan dapat menggunakan prinsip 80-20, dimana 80% dari akumulasi persentase faktor adalah merupakan faktor dominan yang harus diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan sedangkan sisanya dapat dilakukan berikutnya. Dengan menyelesaikan permasalahan yang dominan tersebut akan dapat mengatasi permasalahan yang signifikan.



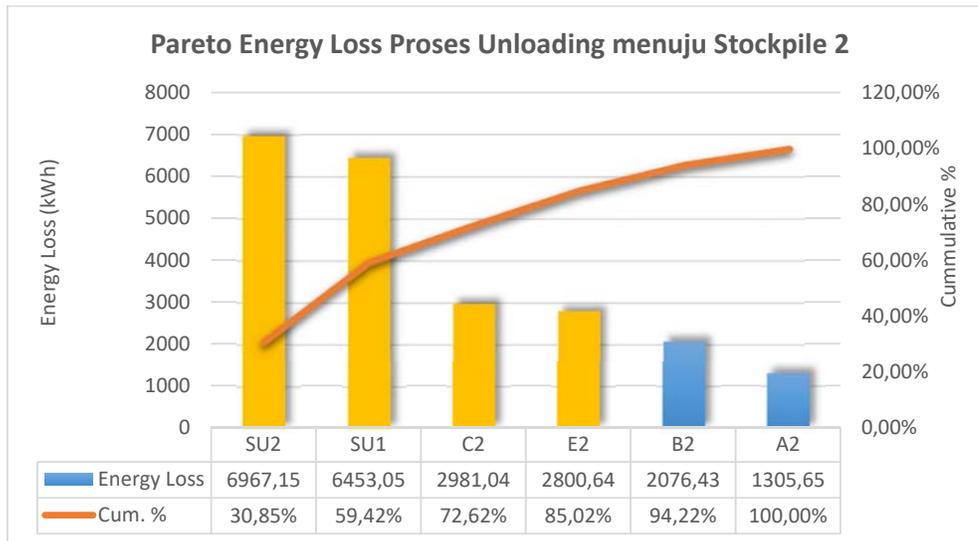
Gambar 5.2 Pareto Energy Loss Proses Unloading Jalur Konveyor 1-4

Pada proses *unloading* dengan menggunakan jalur konveyor 1-4, seperti pada Gambar 5.2 diatas, *energy loss/waste* yang dominan terjadi pada *Ship Unloader 2 (SU2)* dan *Ship Unloader 1 (SU1)*. Dari grafik Pareto pada Gambar 5.2 diatas dapat diketahui bahwa 80,39% dari akumulasi prosentase faktor merupakan faktor dominan yang harus diprioritaskan dalam penurunan *energy waste* yaitu pemakaian energi pada SU2, SU1, konveyor C2 dan konveyor B2. Dengan melakukan perbaikan pada faktor dominan *energy waste* tersebut berpotensi mendapatkan penghematan sebesar:

$$\begin{aligned}
 & \text{Energy waste jalur unloading konveyor 1-4} \\
 & = \text{Energy waste (SU2 + SU1+C2+B2)} \times \text{Rp/kWh} \\
 & = 16336,49 \text{ kWh} \times 650 \\
 & = \text{Rp } 10.618.796,5 \text{ per pembongkaran tongkang batubara dengan} \\
 & \text{kapasitas } 10.000 \text{ metric ton.}
 \end{aligned}$$

5.2.2. Identifikasi *Energy Waste* Pada Jalur *Unloading* Batubara Menuju *Stock Pile 2*

*Pareto energy waste* pada proses *unloading* batubara dari tongkang menuju *stockpile 2* dapat dinyatakan pada Gambar 5.3, dimana *unloading* dilakukan dengan menggunakan jalur konveyor 1-3. Pada jalur ini terdiri dari peralatan SU1, SU2, belt konveyor A2, B2, C2, dan E2. *Energy waste* terbesar juga terjadi pada *Ship Unloader 2* (SU2). Dari grafik *Pareto* pada Gambar 5.3 tersebut juga dapat diketahui bahwa 85,02% akumulasi prosentase faktor dominan yang menjadi prioritas penyelesaian masalah dalam penurunan *energy waste* adalah pada SU2, SU1, konveyor C2 dan konveyor E2.



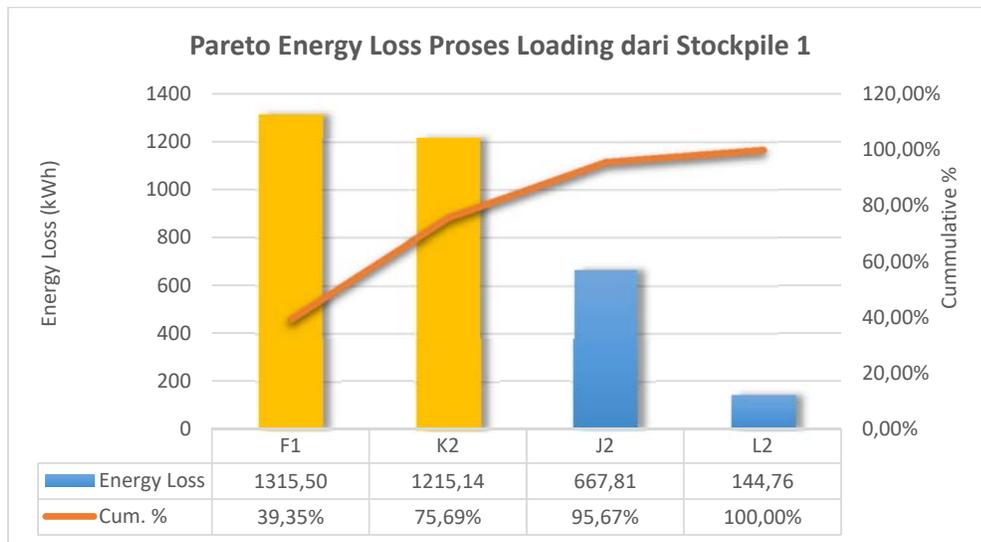
Gambar 5.3 *Pareto Energy Loss* Proses *Unloading* Jalur Konveyor 1-3

Dengan melakukan perbaikan pada faktor dominan *energy waste* tersebut berpotensi mendapatkan penghematan sebesar:

$$\begin{aligned}
 & \text{Energy waste jalur unloading konveyor 1-3} \\
 & = \text{Energy waste (SU2 + SU2+C2+E2)} \times \text{Rp/kWh} \\
 & = 19201,88 \text{ kWh} \times 650 \text{ Rp/kWh} \\
 & = \text{Rp } 12.481.222 \text{ per pembongkaran tongkang batubara dengan} \\
 & \text{kapasitas } 10.000 \text{ metric ton.}
 \end{aligned}$$

### 5.2.3. Identifikasi *Energy Waste* Pada Jalur *Loading* Dari *Stockpile 1*

Identifikasi *energy waste* pada jalur *loading* dilakukan pada dua jalur yaitu jalur *loading* yang berasal dari *stock pile 1* dan jalur *loading* dari *stockpile 2*. Proses *loading* batubara dari *stockpile 1* menuju coal silo A, B dan D, pada penelitian ini dipilih jalur konveyor 3-3 dimana terdiri dari peralatan *Reclaim Hopper 1 (RH1)*, konveyor F1, J2, K2 dan L2. Gambar 5.4 merupakan grafik *Pareto energy loss* yang terjadi pada jalur *loading* dari *stockpile 1* menuju coal silo A, silo B dan silo D. *Energy waste* yang terbesar terjadi pada jalur konveyor F1. Dari grafik *Pareto* pada Gambar 5.4 dibawah dapat diketahui bahwa 75,69% akumulasi prosentase faktor dominan yang menjadi prioritas penyelesaian masalah dalam penurunan *energy loss* adalah pada konveyor F1 dan konveyor K2 dimana masing-masing memiliki *energy loss* sebesar 1315,50 kWh dan 1215,14 kWh dalam setiap proses *loading*.



Gambar 5.4 *Pareto Energy Loss* Proses *loading* Jalur Konveyor 3-3

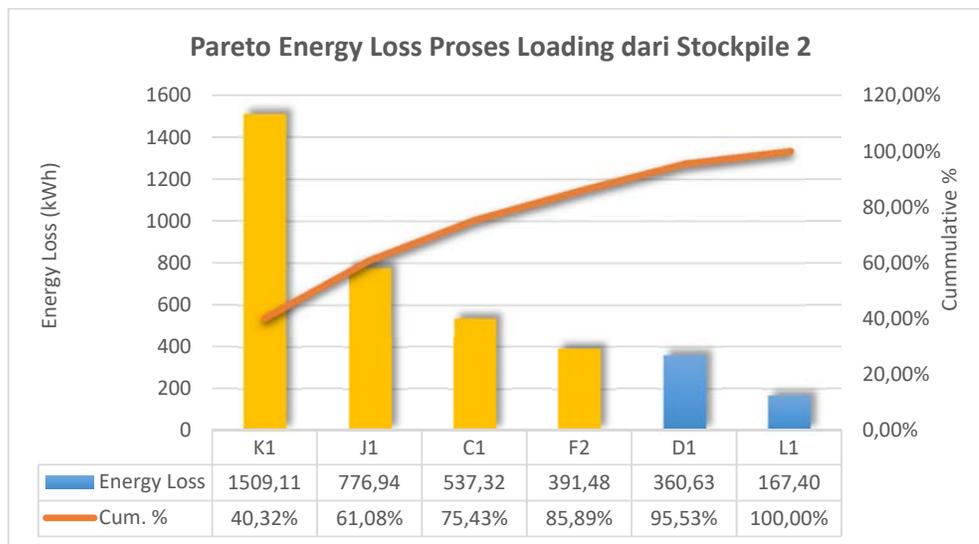
Dengan melakukan perbaikan pada faktor dominan *energy waste* yaitu konveyor F1 dan konveyor K2 berpotensi mendapatkan penghematan sebesar:

$$\begin{aligned}
 & \text{Energy waste jalur unloading konveyor 3-3} \\
 & = \text{Energy waste (F1 + K2) x Rp/kWh} \\
 & = 2530,64 \text{ kWh x 650 Rp/kWh} \\
 & = \text{Rp 1.644.916 per hari.}
 \end{aligned}$$

#### 5.2.4. Identifikasi *Energy Waste* Pada Jalur *Loading* Dari *Stockpile 2*

Jalur *loading* dari *stockpile 2* merupakan jalur *loading* yang digunakan untuk mensuplai batubara menuju *coal silo C* dan *silo E*. Proses *loading* batubara dari *stockpile 2* pada penelitian ini dipilih jalur konveyor 2-2 dimana terdiri dari peralatan *Reclaim Hopper 2 (RH2)*, konveyor F2, C1, D1, J1, K1 dan L1. Dari jalur ini *energy loss* terbesar terjadi pada konveyor K1 seperti pada Gambar 5.5 berikut. Dari grafik *Pareto* pada Gambar 5.5 dibawah dapat diketahui bahwa 85,89% akumulasi prosentase faktor dominan yang menjadi prioritas penyelesaian masalah dalam penurunan *energy loss* adalah pada konveyor K1, konveyor J1, konveyor C1 dan konveyor F2 dimana masing-masing memiliki *energy loss* sebesar 1509,11 kWh, 776,94 kWh, 537,32 kWh dan 391,84 kWh dalam setiap proses *loading*. Proses *loading* untuk pengisian *coal silo* untuk suplai batubara proses pembakaran dilakukan tiga kali dalam 24 jam. Dengan melakukan perbaikan pada faktor dominan *energy waste* yaitu konveyor K1, J1, C1 dan konveyor F2 berpotensi mendapatkan penghematan sebesar:

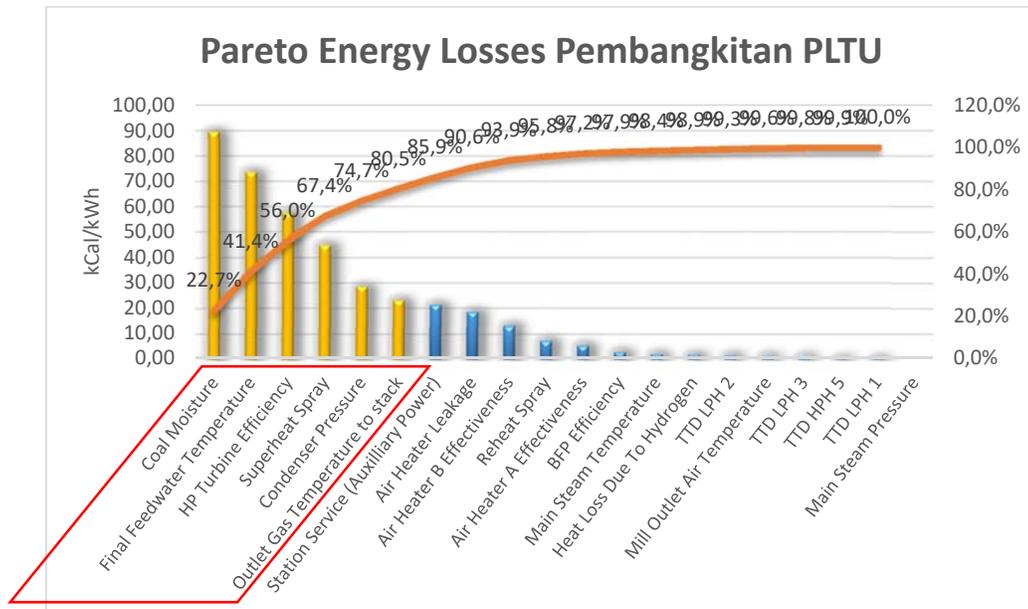
$$\begin{aligned}
 & \text{Energy waste jalur unloading konveyor 2-2} \\
 & = \text{Energy waste (K1 + J1 + C1+F2) x Rp/kWh} \\
 & = 3214,85 \text{ kWh x 650 Rp/kWh} \\
 & = \text{Rp 2.089.652,5 per hari.}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 *Pareto Energy Loss* Proses *loading* Jalur Konveyor 2-2

### 5.2.5. Identifikasi *Energy Waste* Pada Proses Pembangkitan

*Pareto energy loss* dari proses pembangkitan dari hasil perhitungan *heat loss* seperti pada Tabel 4.17 kemudian disusun kedalam diagram *Pareto* untuk mengetahui *energy loss / heat loss* terbesar. *Energy waste* pada proses pembangkitan yang ditampilkan dalam *current state EVSM* (Gambar 5.1) dibagi menjadi 4 (empat) bagian utama, yaitu *energy waste* pada proses di peralatan boiler, peralatan turbin, peralatan generator dan peralatan kondensor. Dari masing-masing bagian peralatan tersebut dapat diketahui besarnya *energy waste*-nya, dengan menggunakan acuan *energy reference* maka didapatkan besarnya *energy waste* seperti pada Tabel 4.18 diatas.



Gambar 5.6 *Pareto Energy Loss* Proses Pembangkitan

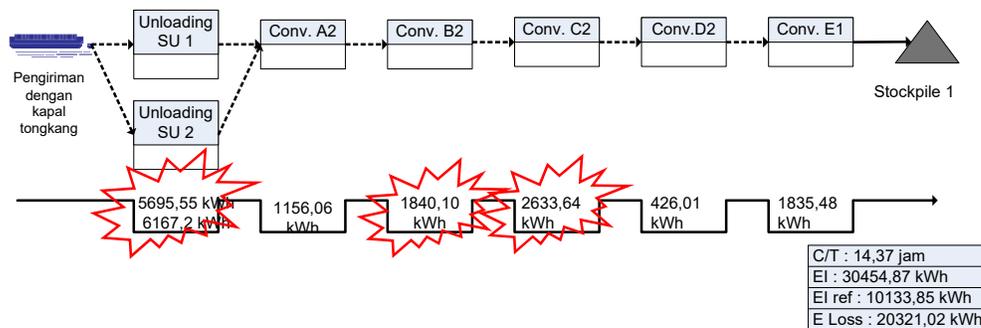
Dari grafik *Pareto heat loss* pada proses pembangkitan listrik Gambar 5.6, didapatkan bahwa *energy loss* terbesar terjadi pada kondisi batubara dengan tingkat kelembapan yang tinggi sehingga menyebabkan *heat loss* yang besar. Grafik *Pareto* pada Gambar 5.6 tersebut juga dapat diketahui bahwa 80,5% akumulasi prosentase faktor dominan yang menjadi prioritas penyelesaian masalah dalam penurunan *energy loss* dalam bentuk *heat loss* adalah *coal moisture* yang tinggi, *final*

*feedwater* temperature yang rendah, HP turbin efisiensi rendah, pemakaian *superheater spray* yang besar, *condenser pressure* yang tinggi dan outlet gas temperature yang menuju stack yang tinggi.

### 5.3. Analisa Penyebab Dan Perbaikan *Energy Waste/ Energy Loss*

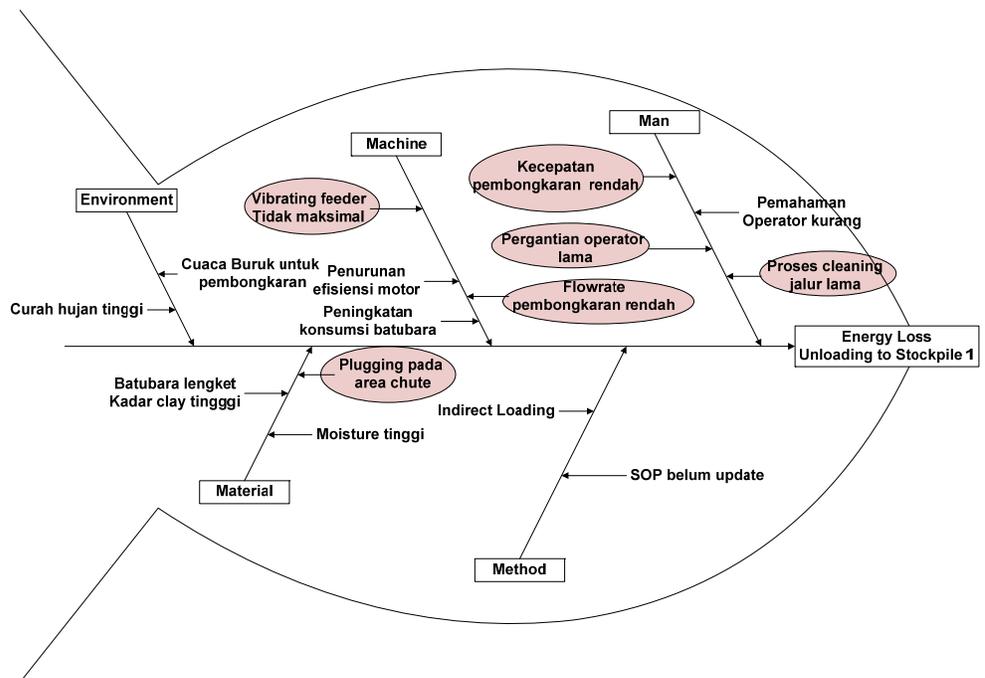
#### 5.3.1. Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian *Energy Waste* Pada Jalur *Unloading* Batubara Menuju *Stock Pile* 1

*Energy losses* pada proses *unloading* merupakan selisih antara energi referensi dengan energi aktual proses pembongkaran batubara. Pada jalur *unloading* yang menuju *stock pile* 1, energi referensi yang diperlukan dalam proses pembongkaran adalah sebesar 9763,96 kWh sedangkan dari hasil pengukuran dan perhitungan energi aktual yang terjadi adalah sebesar 32347,92 kWh, sehingga diperoleh *losses* sebesar 20321,02 kWh. Berdasarkan grafik pareto pada Gambar 5.2 diatas, potensi penghematan sebesar Rp 10.618.796,5 apabila faktor dominan dari *energy waste* (SU1, SU2, Konv. B2, Konv. C2) dapat terselesaikan. Profil *energy waste* yang terjadi pada jalur *unloading* ditunjukkan pada Gambar 5.7



Gambar 5.7 *Current State EVSM* Jalur *Unloading* 1

Untuk mengetahui penyebab-penyebab faktor dominan *energy loss* pada jalur *unloading* menuju *stockpile* 1 dapat dilihat pada diagram *Ishikawa* berikut Gambar 5.8



Gambar 5.8 Diagram *Ishikawa Energy Loss Unloading ke Stockpile1*

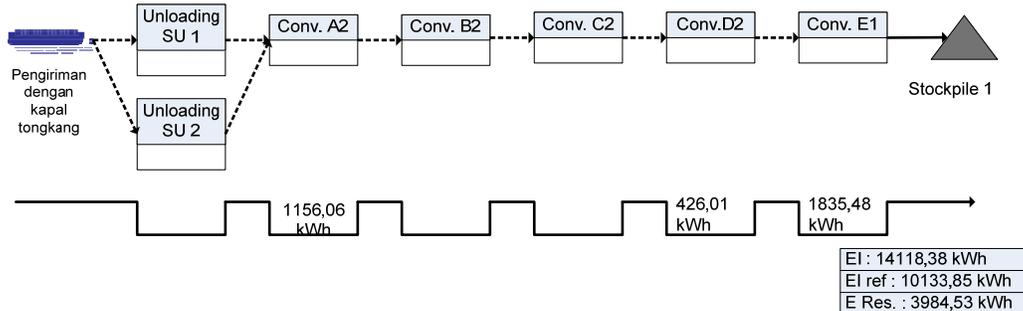
Berdasarkan diagram *Ishikawa* diatas selanjutnya disusun program perbaikan. Beberapa rekomendasi yang diusulkan untuk perbaikan mengurangi *energy loss* pada proses *unloading* didapatkan dari diskusi dan workshop dengan bidang *Operation, Maintenance, and Engineering (OME)* yang terkait dengan permasalahan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5.1 Analisa *Root Cause* dan Rekomendasi Perbaikan Jalur *Unloading* ke *Stockpile1*

| Faktor Dominan | Kategori Waste  | Energy Losses  | Penyebab   | Rekomendasi  |
|----------------|-----------------|--|--|--|
| SU1 dan SU2    | Over production | Man :<br>Kecepatan pembongkaran rendah, sehingga konsumsi energi listrik meningkat | - Personel baru dan belum kompeten<br>- Proses <i>cleaning</i> jalur <i>conv.</i> lama saat terjadi gangguan | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Refresh Training pengoperasian</li> <li>o Sosialisasi target pencapaian proses <i>unloading</i></li> <li>o Penambahan personil <i>cleaning</i></li> </ul> |
|                | Over Processing | Machine :<br><i>Vibrating feeder</i> tidak maksimal,                               | - Performa <i>vibrating feeder</i> menurun   | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Assesment dan perbaikan <i>vibrating feeder</i></li> </ul>  |

|                        |                        |   |   |   |
|------------------------|------------------------|---|---|---|
|                        |                        | sehingga <i>flowrate</i> pembongkaran rendah  | karena faktor <i>life time</i><br>- Terjadi <i>plugging</i> pada <i>hopper SU</i>                 | o Pemasangan <i>Hard Compound</i> pada <i>lining chute hopper</i>   |
| <b>Conv, B2 dan C2</b> | <i>Over Processing</i> | Penurunan performa motor konveyor   | <i>Life time</i> peralatan  | - Pengecekan dan perbaikan mekanis dari motor<br>- Penggantian motor dengan efisiensi yang lebih tinggi<br>- Peningkatan <i>preventive maintenace</i> |
|                        | <i>Inventory</i>       | Pembongkaran dengan tongkang kapasitas kecil menyebabkan pemakaian energi yang banyak | Proses penyandaran kapal sampai proses pembongkaran dan pembersihan memerlukan energi yang banyak | Pengiriman batubara dengan menggunakan tongkang dengan kapasitas yang lebih besar atau dengan menggunakan kapal <i>vessel</i>                         |

*Future State Energy Value Stream Mapping* selanjutnya disusun berdasarkan data potensi penghematan yang terjadi apabila implementasi alternatif penyelesaian permasalahan dilakukan. Profil *energy saving* yang terjadi pada jalur *unloading* ditunjukkan pada Gambar 5.9.

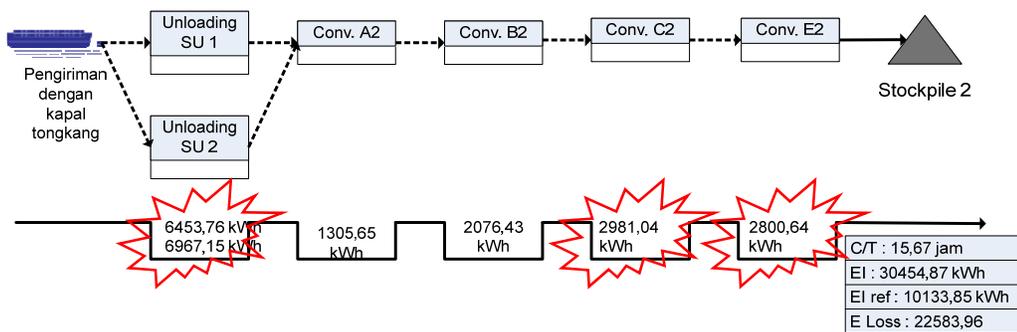


Keterangan : EI : Energy input setelah perbaikan  
E Res.: Energi loss sisa

Gambar 5.9 *Future State EVSM* Jalur *Unloading 1*

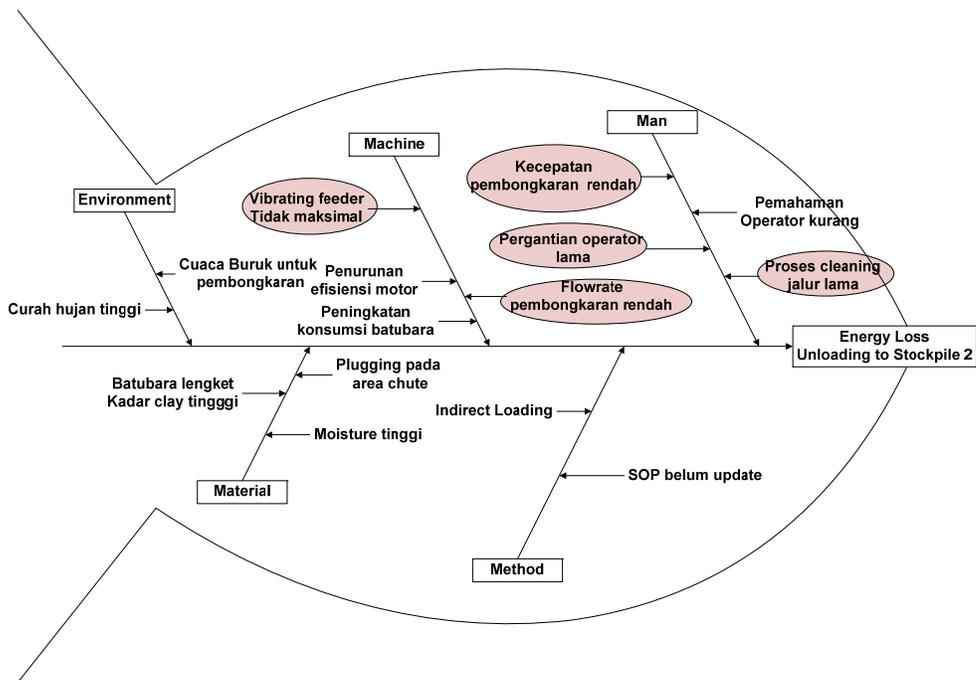
5.3.2. Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian *Energy Waste* Pada Jalur *Unloading* Batubara Menuju *Stock Pile 2*

Pada jalur *unloading* yang menuju *stock pile 2*, energi referensi yang diperlukan dalam proses pembongkaran adalah sebesar 10133,85 kWh sedangkan dari hasil pengukuran dan perhitungan energi aktual yang terjadi adalah sebesar 30454,87 kWh, sehingga diperoleh *losses* sebesar 22583,96 kWh. Berdasarkan grafik *Pareto* pada Gambar 5.3 diatas, potensi penghematan sebesar Rp 12.481.222 apabila faktor dominan dari *energy waste* (*SU2*, *SU1*, *konv. C2*, *konv. E2*) dapat terselesaikan. Profil *energy waste* yang terjadi pada jalur *unloading* ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 *Current State EVSM* Jalur *Unloading 2*

Untuk mengetahui penyebab-penyebab faktor dominan *energi loss* pada jalur *unloading* menuju *stockpile 2* dapat dilihat pada diagram *Ishikawa* pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Diagram Ishikawa *Energy Loss* proses *Unloading* ke *Stockpile 2*

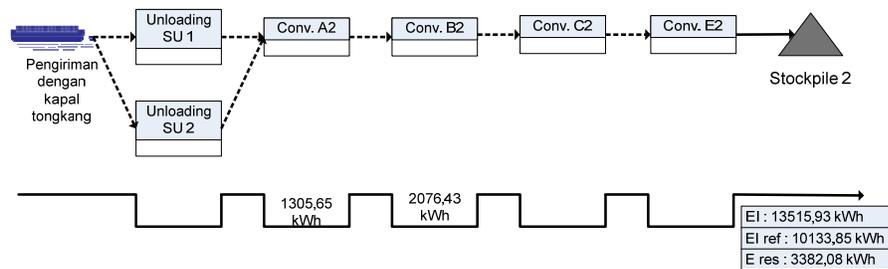
Berdasarkan diagram *Ishikawa* diatas selanjutnya disusun program perbaikan. Beberapa rekomendasi yang diusulkan untuk perbaikan mengurangi *energy loss* pada proses *unloading* didapatkan dari diskusi dan workshop dengan bidang *Operation, Maintenance, and Engineering (OME)* yang terkait dengan permasalahan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Analisa *Root Cause* dan Rekomendasi Perbaikan Jalur *Unloading* ke *Stockpile2*

| Faktor Dominan | Kategori Waste         | Energy Losses   | Penyebab   | Rekomendasi  |
|----------------|------------------------|---|--|--|
| SU1 dan SU2    | <i>Over production</i> | <i>Man</i> :<br>Kecepatan pembongkaran rendah, sehingga konsumsi energi listrik meningkat | - Personel baru dan belum kompeten<br>- Proses <i>cleaning</i> jalur <i>conv.</i> lama saat terjadi gangguan | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Refresh Training pengoperasian</li> <li>o Sosialisasi target pencapaian proses <i>unloading</i></li> <li>o Penambahan personil <i>cleaning</i></li> </ul> |
|                | <i>Over Processing</i> | <i>Machine</i> :<br><i>Vibrating feeder</i> tidak maksimal, sehingga                      | - Performa <i>vibrating feeder</i> menurun karena  | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Assesment dan perbaikan <i>vibrating feeder</i></li> <li>o Pemasangan <i>Hard Compound</i></li> </ul>   |

|                 |                        |   |   |   |
|-----------------|------------------------|---|---|---|
|                 |                        | <i>flowrate</i> pembongkaran rendah   | faktor <i>life time</i><br>- Terjadi <i>plugging</i> pada <i>hopper SU</i>                        | pada <i>lining chute hopper</i>   |
| Conv. C2 dan E2 | <i>Over Processing</i> | <i>Machine:</i><br>Penurunan performa motor konveyor  | <i>Life time</i> peralatan  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengecekan dan perbaikan mekanis dari motor</li> <li>- Penggantian motor dengan efisiensi yang lebih tinggi</li> <li>- Peningkatan <i>preventive maintenace</i></li> </ul> |
|                 | <i>Inventory</i>       | <i>Method:</i><br>Pembongkaran dengan tongkang kapasitas kecil menyebabkan pemakaian energi yang banyak | Proses penyandaran kapal sampai proses pembongkaran dan pembersihan memerlukan energi yang banyak | Pengiriman batubara dengan menggunakan tongkang dengan kapasitas yang lebih besar atau dengan menggunakan kapal <i>vessel</i>   |

*Future State Energy Value Stream Mapping* selanjutnya disusun berdasarkan data potensi penghematan yang terjadi apabila implementasi alternatif penyelesaian permasalahan dilakukan. Profil *energy saving* yang terjadi pada jalur *unloading* ditunjukkan pada Gambar 5.12. Energy waste sisa yang terjadi apabila faktor dominannya telah terselesaikan adalah sebesar 22583,96 kWh

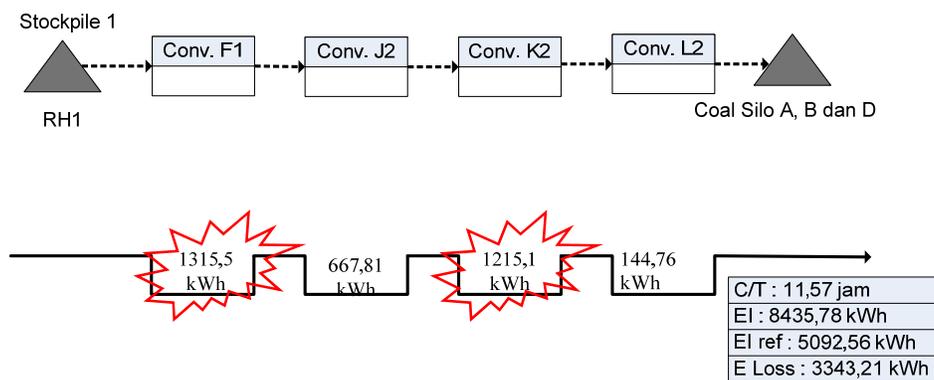


Keterangan : EI : Energy input setelah perbaikan  
E Res.: Energi loss sisa

Gambar 5.12 *Future State EVSM* Jalur *Unloading 2*

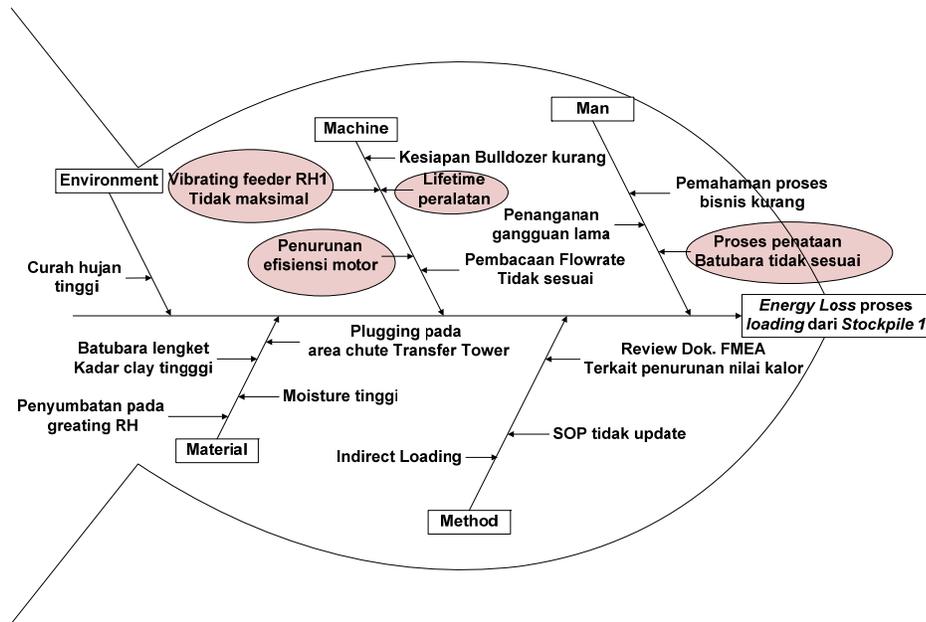
### 5.3.3. Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian *Energy Waste* Pada Jalur Pengisian (*Loading*) Dari *Stockpile 1*

Jalur loading dari *stockpile 1* merupakan jalur pengisian (*loading*) batubara yang menuju coal *silo A, B, dan D*. Energi referensi yang diperlukan untuk proses loading pada jalur ini adalah sebesar 5092,56 kWh sedangkan dari hasil pengukuran dan perhitungan energi aktual yang terjadi adalah sebesar 8435,78 kWh, sehingga terdapat losses sebesar 3343,21 kWh. Berdasarkan grafik *Pareto* pada Gambar 5.4 diatas, terdapat potensi penghematan sebesar Rp 1.644.916 per hari apabila faktor dominan dari *energy waste* yaitu konveyor F1 dan konveyor K2 dapat terselesaikan. Profil *energy waste* yang terjadi pada jalur *loading* ditunjukkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 *Current State EVSM* Jalur *Loading* dari *stockpile 1*

Untuk mengetahui penyebab-penyebab faktor dominan *energi loss* pada jalur *loading* dari *stockpile 1* dapat dilihat pada diagram *Ishikawa* pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Diagram *Ishikawa Energy Loss* pada proses *Loading* dari *Stockpile 1*

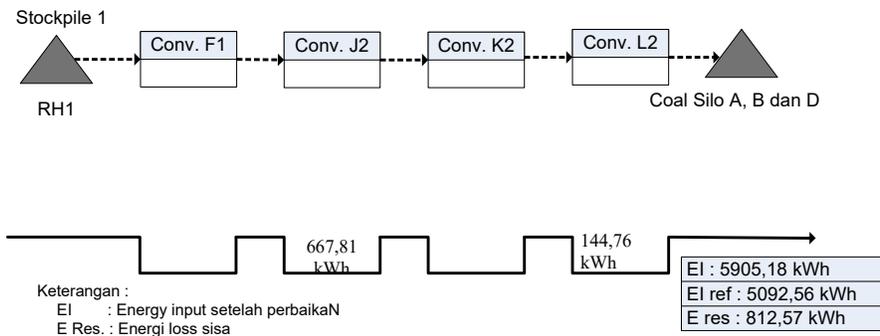
Berdasarkan diagram *Ishikawa* diatas selanjutnya disusun program perbaikan. Beberapa rekomendasi yang diusulkan untuk perbaikan mengurangi *energy loss* pada proses *loading* didapatkan dari diskusi dan workshop dengan bidang *Operation, Maintenance, and Engineering (OME)* yang terkait dengan permasalahan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Analisa *Root Cause* dan Rekomendasi Perbaikan proses *Loading* dari *Stockpile 1*

| Faktor Dominan     | Kategori Waste         | Energy Losses  | Penyebab   | Rekomendasi   |
|--------------------|------------------------|--|--|---|
| Konveyor F1 dan K2 | <i>Over production</i> | <i>Man</i> : Proses penataan batubara tidak sesuai, sehingga konsumsi energi meningkat | - Ketidak homogenan jenis batubara<br>- Proses <i>cleaning</i> jalur <i>conv.</i> lama saat terjadi gangguan | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Melakukan pemetaan penataan batubara berdasarkan karakteristik</li> <li>o Sosialisasi target pencapaian proses <i>unloading</i></li> </ul> |
|                    | <i>Over Processing</i> | <i>Machine</i> : <i>Vibrating feeder</i> tidak maksimal,                               | - Performa <i>vibrating feeder</i> menurun   | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Assesment dan perbaikan <i>vibrating feeder</i></li> </ul>   |

|  |                        |  |   |  |
|--|------------------------|--|---|--|
|  |                        | sehingga <i>flowrate</i> pembongkaran rendah   | karena faktor <i>life time</i><br>- Terjadi <i>plugging</i> pada <i>hopper SU</i> | o Pemasangan <i>Hard Compound</i> pada <i>lining chute hopper</i>  |
|  | <i>Over Processing</i> | <i>Machine:</i><br>- Penurunan performa motor konveyor<br>- Kesiapan alat berat Bulldozer rendah | - <i>Life time</i> peralatan<br><br>- <i>Frequency failure</i> tinggi             | - Pengecekan dan perbaikan mekanis dari motor<br>- Penggantian motor dengan efisiensi yang lebih tinggi<br>- Peningkatan <i>preventive maintenance</i><br>- Penambahan unit alat berat<br>- Review jadwal <i>general overhaul engine</i> |

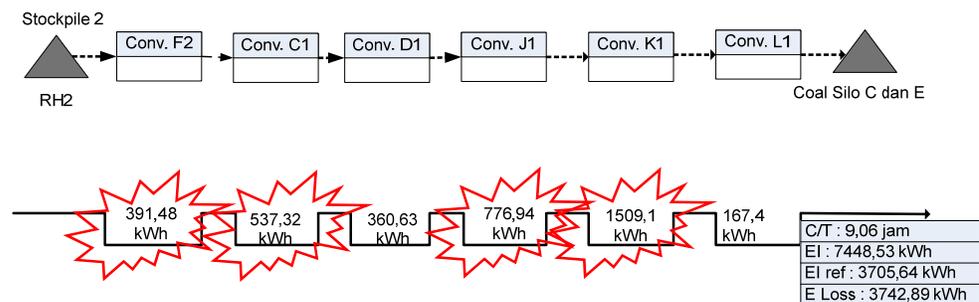
*Future State Energy Value Stream Mapping* selanjutnya disusun berdasarkan data potensi penghematan yang terjadi apabila implementasi alternatif penyelesaian permasalahan dilakukan. Profil *energy saving* yang terjadi pada jalur *loading* ditunjukkan pada Gambar 5.15. *Energy waste* sisa yang terjadi apabila faktor dominannya telah terselesaikan adalah sebesar 812,57 kWh



Gambar 5.15 *Future State EVSM* jalur *loading* dari *stockpile1*

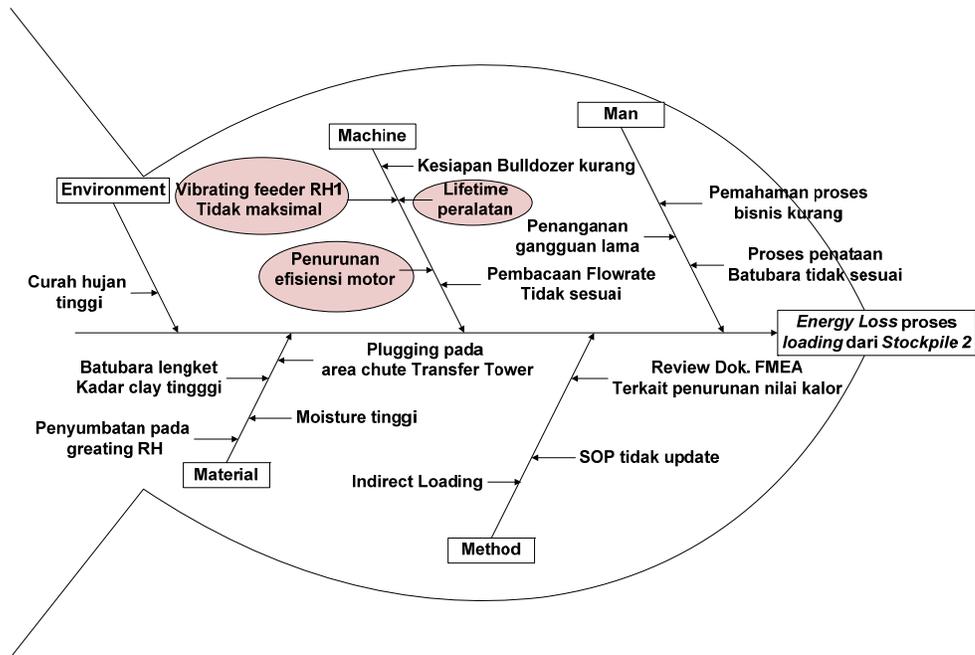
### 5.3.4. Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian *Energy Waste* Pada Jalur Pengisian (*Loading*) Dari *Stockpile 2*

Jalur loading dari *stockpile 2* merupakan jalur pengisian (*loading*) batubara yang menuju coal *silo C*, dan *E*. Energi referensi yang diperlukan untuk proses *loading* pada jalur ini adalah sebesar 3705,64 kWh sedangkan dari hasil pengukuran dan perhitungan energi aktual yang terjadi adalah sebesar 7448,53 kWh, sehingga terdapat losses sebesar 3742,89 kWh. Berdasarkan grafik *Pareto* pada Gambar 5.5 diatas, terdapat potensi penghematan sebesar Rp 2.089.652,5 per hari apabila faktor dominan dari *energy waste* yaitu konveyor K1, J1, C1 dan F2 dapat terselesaikan. Profil *energy waste* yang terjadi pada jalur *loading* ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 *Current State EVSM* Jalur Loading dari *stockpile 2*

Untuk mengetahui penyebab-penyebab faktor dominan *energi loss* pada jalur *loading* dari *stockpile 2* dapat dilihat pada diagram *Ishikawa* pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Diagram Ishikawa Energy Loss pada proses Loading dari Stockpile 2

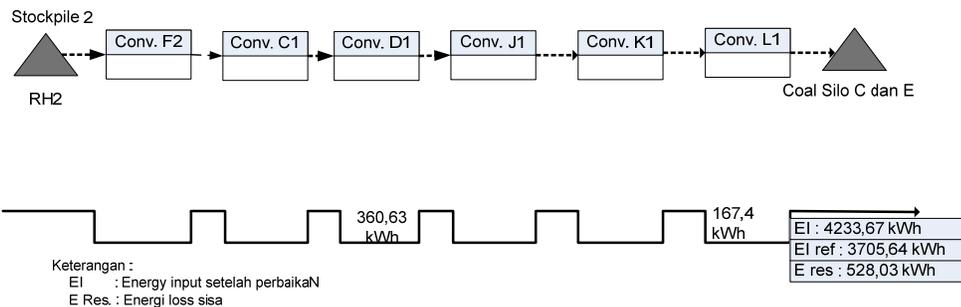
Berdasarkan diagram Ishikawa diatas selanjutnya disusun program perbaikan. Beberapa rekomendasi yang diusulkan untuk perbaikan mengurangi *energy loss* pada proses *loading* didapatkan dari diskusi dan *workshop* dengan bidang yang berkompeten terkait dengan permasalahan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Analisa Root Cause dan Rekomendasi Perbaikan proses Loading dari Stockpile 2

| Faktor Dominan             | Kategori Waste  | Energy Losses   | Penyebab   | Rekomendasi   |
|----------------------------|-----------------|---|--|---|
| Konveyor K1, J1, C1 dan F2 | Over production | Man : Proses penataan batubara tidak sesuai, sehingga konsumsi energi meningkat | - Ketidak homogenan jenis batubara<br>- Proses <i>cleaning</i> jalur <i>conv.</i> lama saat terjadi gangguan | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Melakukan pemetaan penataan batubara berdasarkan karakteristik</li> <li>o Sosialisasi target pencapaian proses <i>unloading</i></li> </ul> |
|                            | Over Processing | Machine : <i>Vibrating feeder</i> tidak maksimal, sehingga                      | - Performa <i>vibrating feeder</i> menurun karena  | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Assesment dan perbaikan <i>vibrating feeder</i></li> <li>o Pemasangan <i>Hard Compound</i></li> </ul>                                      |

|  |                        |  |  |  |
|--|------------------------|--|--|--|
|  |                        | <i>flowrate</i> pembongkaran rendah  | faktor <i>life time</i><br>- Terjadi <i>plugging</i> pada <i>hopper SU</i> | pada <i>lining chute hopper</i>  |
|  | <i>Over Processing</i> | <i>Machine:</i><br>- Penurunan performa motor konveyor<br>- Kesiapan alat berat Bulldozer rendah | - <i>Life time</i> peralatan<br><br>- <i>Frequency failure</i> tinggi      | - Pengecekan dan perbaikan mekanis dari motor<br>- Penggantian motor dengan efisiensi yang lebih tinggi<br>- Peningkatan <i>preventive maintenance</i><br>- Penambahan unit alat berat<br>- Review jadwal <i>general overhaul engine</i> |

*Future State Energy Value Stream Mapping* selanjutnya disusun berdasarkan data potensi penghematan yang terjadi apabila implementasi alternatif penyelesaian permasalahan dilakukan. Profil *energy saving* yang terjadi pada jalur *loading* ditunjukkan pada Gambar 5.18. *Energy waste* sisa yang terjadi apabila faktor dominannya telah terselesaikan adalah sebesar 528,03 kWh

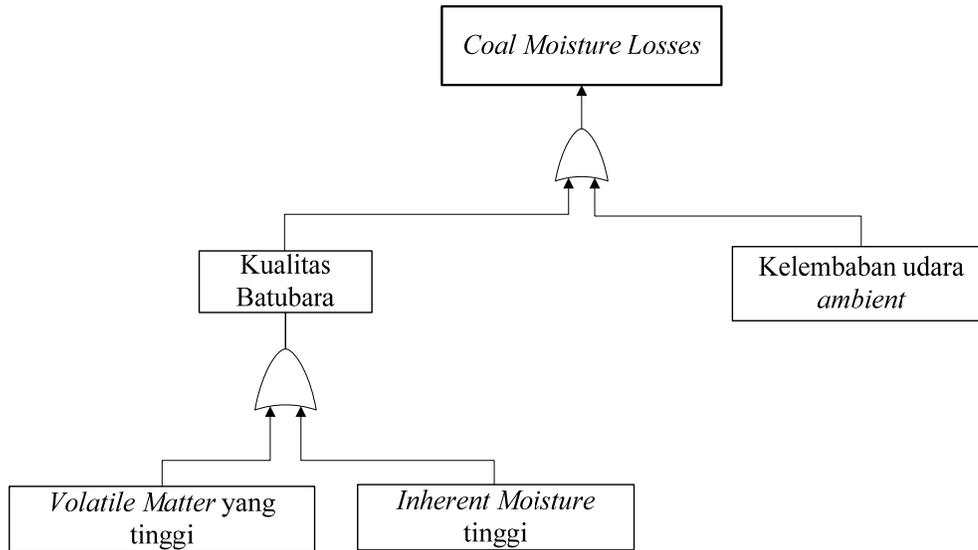


Gambar 5.18 *Future State EVSM* Jalur *loading* dari *stockpile2*

### 5.3.5. Analisa Penyebab Dan Alternatif Penyelesaian *Energi Loss* Pada Proses Pembangkitan

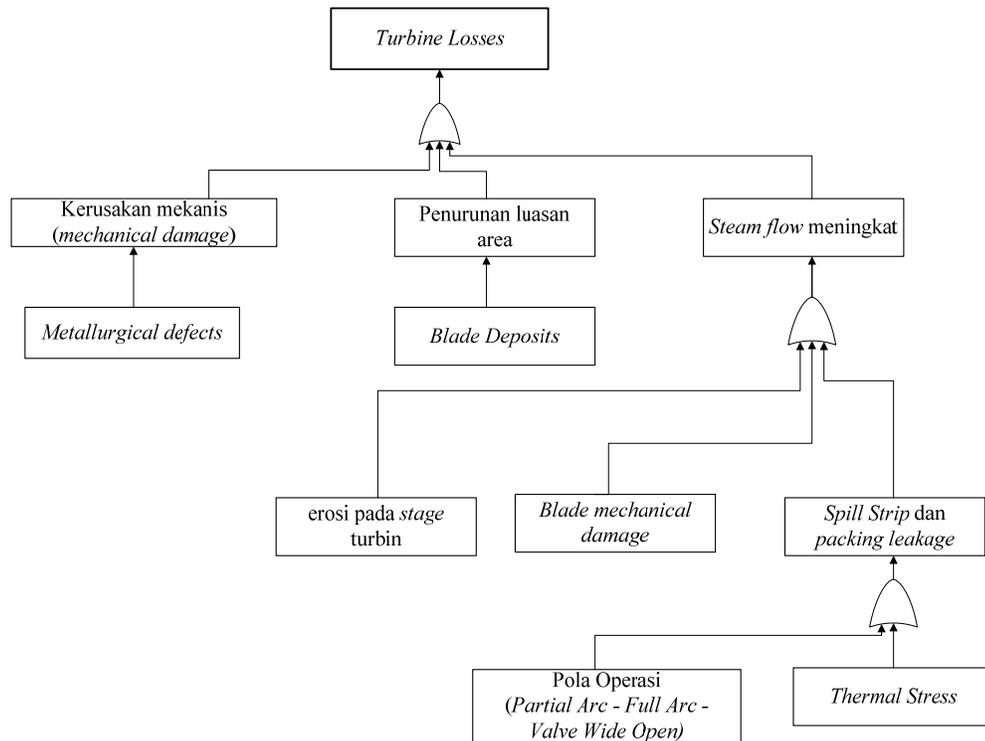
Berdasarkan grafik *Pareto energy waste* pada Gambar 5.6 proses pembangkitan, dimana 80,5% akumulasi prosentase faktor dominan adalah *coal moisture* yang tinggi, *final feedwater* temperatur yang rendah, *High Pressure*

turbine efisiensi rendah, pemakaian *superheater spray* yang besar, *condenser pressure* yang tinggi dan *outlet gas temperature* yang menuju *stack* yang tinggi. Untuk mengetahui penyebab-penyebab faktor dominan *energi loss* pada proses pembangkitan maka disusun diagram *Fault Tree Analysis (FTA)*(Gambar 5.19).



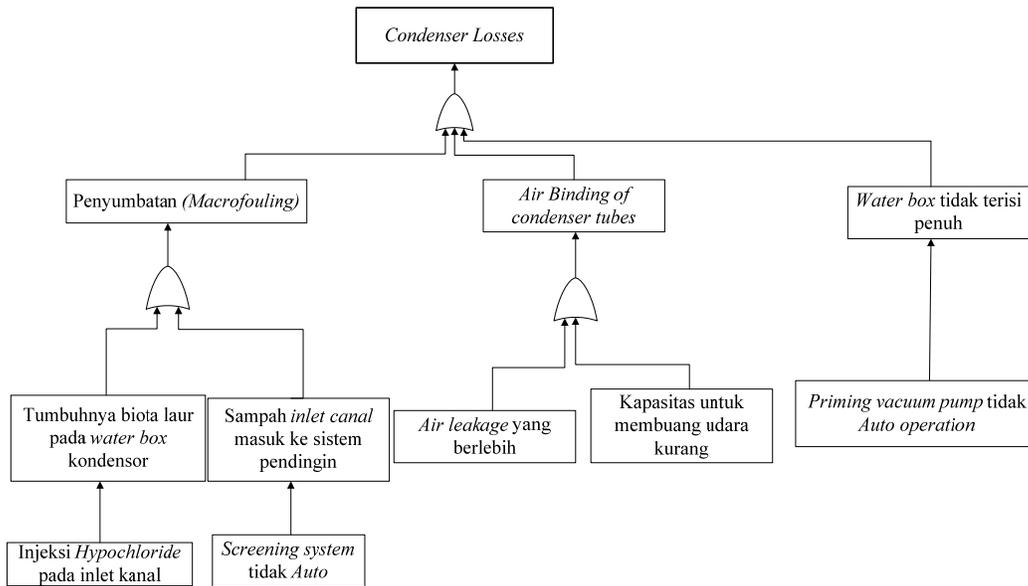
Gambar 5.19 FTA Coal Moisture Losses

*Heat loss* karena *coal moisture* tinggi (*moisture losses*) disebabkan karena kualitas batubara dimana kandungan *volatile metter* yang tinggi dan adanya peningkatan *moisture* batubara, tingginya *moisture* pada udara lingkungan juga dapat menyebabkan *moisture losses*. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa perubahan batubara dari *HRC* menjadi *LRC* terdapat nilai peningkatan *coal moisture* yang cukup besar dan melebihi range dari disainnya, sehingga *moisture losses* juga menjadi tinggi. Selain kualitas batubara yang rendah, tingkat kelembaban udara ambient yang tinggi juga dapat menyebabkan *moisture losses*.



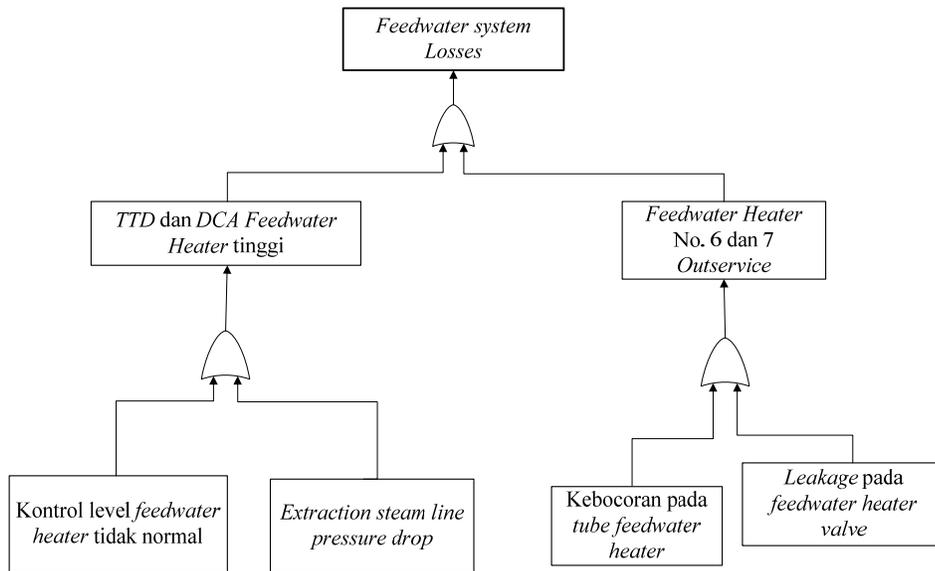
Gambar 5.20 FTA Turbine Losses

*HP Turbine* efisiensi rendah menurut EPRI dapat dikatakan kategori *turbine losses*. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya terjadinya kerusakan mekanis pada part turbin sehingga perlu dilakukan tes material ketika overhaul, terjadinya penurunan luas laluan aliran *steam* yang dapat disebabkan adanya deposit pada sudu turbin, peningkatan luas laluan aliran *steam* juga dapat mempengaruhi peningkatan *turbine losses* hal ini disebabkan karena terjadinya erosi pada *part* turbin atau nosel dan juga adanya kerusakan mekanis pada *part* turbin.



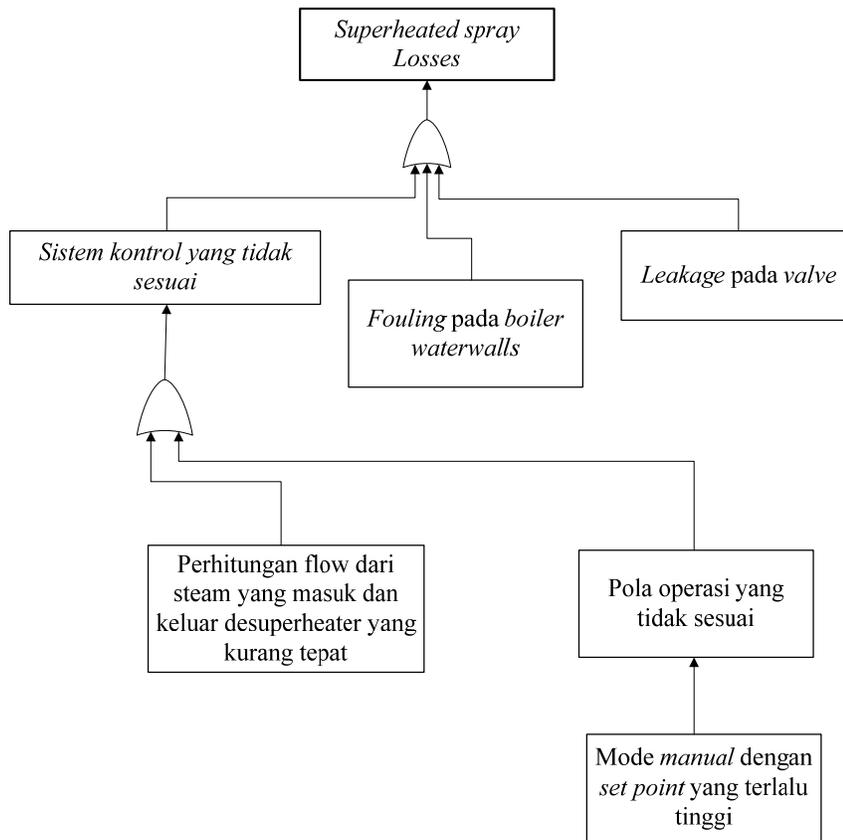
Gambar 5.21 FTA Condenser Losses

*Condenser pressure* meningkat dapat menyebabkan losses pada kondensor. Dari *FTA condenser losses* (Gambar 5.21) dapat ditunjukkan bahwa *losses* pada kondensor disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya terjadinya penyumbatan (*Macrofouling*) pada *tube* kondensor, kandungan udara yang berlebih pada ruangan kondensor sehingga mengurangi luasan untuk proses kondensasi uap, selain itu juga terdapatnya udara yang terjebak pada *water box* kondensor sehingga mengurangi kemampuan pendinginan.



Gambar 5.22 FTA Feedwater system losses

*Heat loss* dari *feedwater temperature* yang rendah berdasarkan EPRI dapat dikategorikan sebagai *feedwater system losses*. Dari FTA *feedwater system losses* Gambar 5.22 dapat disebabkan karena beberapa *High Pressure Heater (HPH)* dalam kondisi tidak beroperasi karena kerusakan, serta tingginya nilai *Terminal Temperature Difference (TTD)* dan *Drain Cooler Approach (DCA)*.



Gambar 5.23 FTA *superheated spray* tinggi

*Heat loss* dari pemakaian *superheated spray* yang tinggi seperti dinyatakan pada Gambar 5.23 dapat disebabkan karena kebocoran *valve* pada saluran *superheated spray* dan juga dapat disebabkan karena sistem kontrol *superheated spray* yang tidak sesuai. Penyebab lain dari pemakaian *superheated spray* yang tinggi adalah terdapatnya *fouling* pada *boiler waterwalls*.

Berdasarkan diagram FTA diatas selanjutnya disusun program perbaikan. Beberapa rekomendasi yang diusulkan untuk perbaikan mengurangi *energy loss* pada proses pembangkitan energy listrik didapatkan dari diskusi dan *workshop* dengan bidang *Operation, Maintenance, and Engineering (OME)* yang terkait dengan permasalahan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Rekomendasi Perbaikan *Energy Losses* Pada Proses Pembangkitan

| Faktor Dominan                | Kategori Waste         | Energy Losses                                  | Penyebab   | Rekomendasi  |
|-------------------------------|------------------------|--|--|--|
| <i>Coal moisture losses</i>   | <i>Defects</i>         | <i>Kualitas batubara</i>                       | <i>Volatile matter</i>   | Pengaturan pola mixing batubara untuk mendapatkan komposisi yang sesuai  |
|                               |                        |  | Inherent moisture  | Meningkatkan <i>mill air temperature</i><br>Melakukan coal treatment dengan melakukan pengeringan batubara sebelum dibakar di furnace  |
|                               | <i>Defects</i>         | Kelembapan udara <i>ambient</i> tinggi         | Faktor cuaca   | Pengaturan <i>preheating steam coil</i><br>Pengendalian air heater leakage<br>Kajian pemasangan <i>intermediate element air heater</i> |
| <i>Final Feedwater Losses</i> | <i>Over Processing</i> | <i>TTD dan DCA Feedwater Heater</i> tinggi     | Kontrol level <i>feedwater heater</i> tidak normal                   | Pengoptimalan pengaturan <i>feedwater heater level</i>   |
|                               |                        |  | <i>Extraction steam line pressure drop</i>                           | Pemeriksaan <i>control valve extraction steam</i>  |
|                               |                        | <i>Feedwater Heater No. 6 dan 7 Outservice</i> | <i>Leakage pada valve</i>  | Repair atau penggantian <i>valve</i>   |
|                               |                        |  | <i>Leakage pada tube feedwater heater</i>                            | Dilakukan <i>plug</i> pada <i>tube</i> yang bocor dengan pertimbangan aliran <i>feedwater</i>  |
| <i>Turbine Losses</i>         | <i>Defects</i>         | <i>Kerusakan mekanis (mechanical damage)</i>   | <i>Metallurgical defects</i>   | Inspeksi saat <i>overhaul</i>  |
|                               | <i>Over Processing</i> | <i>Penurunan luasan area Steam flow</i>        | Terdapatnya deposit pada <i>blade</i> turbin                         | Inspeksi saat <i>overhaul</i>  |
|                               | <i>Over Production</i> | <i>Steam flow meningkat</i>                    | - Erosi pada <i>stage</i> turbin<br>- <i>Blade mechanical damage</i> | - inspeksi saat <i>overhaul</i><br>- pemeriksaan pada kualitas air boiler  |

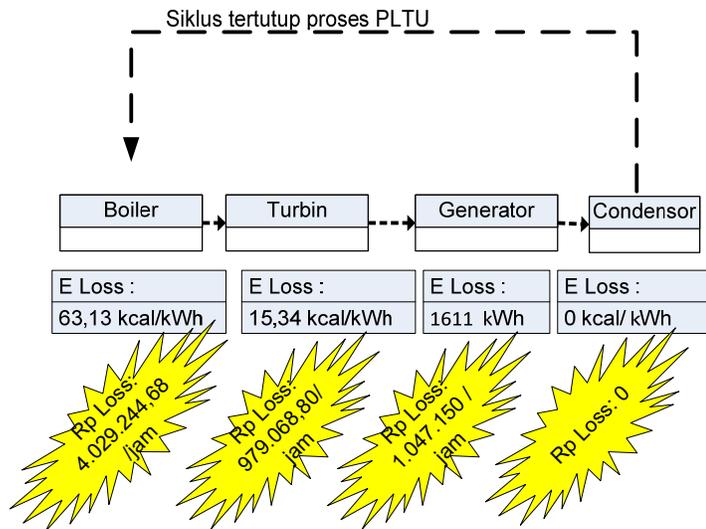
|                                 |                        |   |   |   |
|---------------------------------|------------------------|---|---|---|
|                                 |                        |   | - <i>Spill Strip</i> dan <i>packing leakage</i>   | - penggantian <i>packing</i> dan <i>turbine spill strip</i>   |
| <i>Condenser Losses</i>         | <i>Defects</i>         | <i>Penyumbatan (Macrofouling)</i>       | Tumbuhnya biota laur pada <i>water box</i> kondensor  | Pemeriksaan Injeksi <i>Hypochloride</i> pada inlet kanal<br>Lakukan <i>backflash</i><br>Pemeriksaan inlet <i>tube sheet</i> |
|                                 |                        |   | Sampah inlet <i>canal</i> masuk ke sistem pendingin   | Perbaiki <i>screening system</i><br>Pemeriksaan <i>pressure drop</i>  |
|                                 | <i>Over Production</i> | <i>Air Binding of condenser tubes</i>   | <i>Air leakage</i> yang berlebih  | Inspeksi kebocoran yang menuju kondensor  |
|                                 |                        |   | <i>Kapasitas</i> untuk membuang udara kurang  | Periksa performa pompa <i>vacuum</i><br>Pemeriksaan sistem pendingin pompa <i>vacuum</i>                                    |
|                                 | <i>Defects</i>         | <i>Water box tidak terisi penuh</i>     | <i>Priming vacuum pump</i> tidak <i>Auto operation</i>  | Perbaiki sistem <i>priming vacuum</i>   |
| <i>Superheated spray Losses</i> | <i>Defects</i>         | <i>Sistem kontrol yang tidak sesuai</i> | Perhitungan <i>flow</i> dari steam yang masuk dan keluar <i>desuperheater</i> yang kurang tepat | Periksa <i>temperature set point</i><br>Lakukan <i>adjusting</i> sistem control   |
|                                 | <i>Over Production</i> | <i>Fouling pada boiler waterwalls</i>   | <i>Overheatd pada metal superheatd</i>  | Pengoptimalan pengoperasian <i>sootblowing</i>  |
|                                 | <i>Over Production</i> | <i>Leakage pada valve</i>               | Kebocoran pada valve suplai <i>desuperheated</i>  | Perbaikan valve<br>Penggantian valve  |

*Future State Energy Value Stream Mapping* selanjutnya disusun berdasarkan data potensi penghematan yang terjadi apabila implementasi alternatif penyelesaian permasalahan dilakukan. Dengan menggunakan Persamaan 4.2, 4.3, dan 4.4 diatas maka besarnya penghematan dari proses implementasi alternatif /rekomendasi penyelesaian permasalahan adalah seperti pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Potensi penghematan dari implementasi rekomendasi

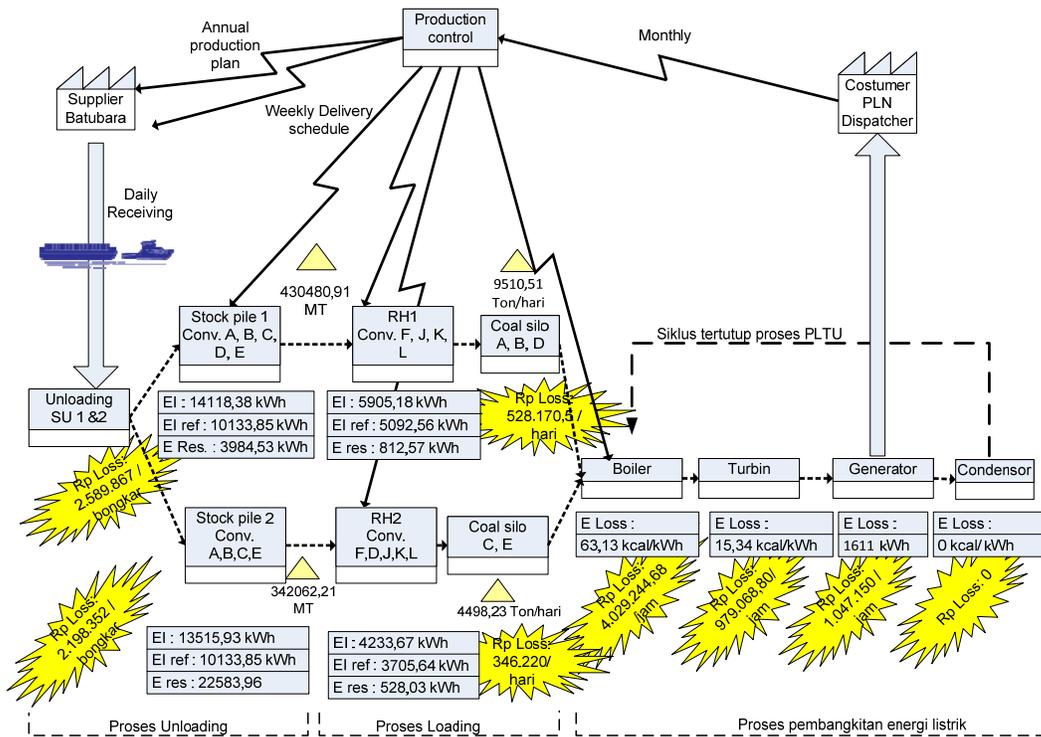
| Perbaikan<br><i>Energy waste</i> | <i>Heat Loss</i><br>sebelum<br>perbaikan<br>( <i>kcal/kWh</i> ) | <i>Heat Loss</i><br>perbaikan<br>( <i>kcal/kWh</i> ) | <i>Saving</i> setelah<br>perbaikan<br>(Rp) | Potensi<br><i>energy waste</i><br>sisa<br>(Rp) |
|----------------------------------|---|--|--|--|
| <i>Boiler Loss</i>               | 152,67  | 89,54  | 57.183.181,49                              | 4.029.244,68                                   |
| <i>Turbine loss</i>              | 191,37  | 176,03   | 62.703.367,97                              | 979.068,80                                     |
| <i>Condenser loss</i>            | 28,45   | 28,45  | 53.283.652,00                              | 0  |

Profil potensial *energy loss* setelah dikurangi dengan *energy saving* yang terjadi pada proses pembangkitan ditunjukkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 *Future State EVSM* proses pembangkitan

Dari *Future State EVSM* pada masing-masing proses selanjutnya disusun menjadi *Future State EVSM* secara keseluruhan proses bisnis *PLTU* batubara, seperti pada Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Future State EVSM proses bisnis PLTU batubara

Tabel 5.7 Perbandingan *energy waste* sebelum dan sesudah perbaikan

| Perbaikan <i>Energy waste</i> | Satuan            | <i>Energy waste</i> sebelum perbaikan | <i>Energy waste</i> perbaikan | <i>Saving</i> setelah perbaikan (Rp) | Potensi <i>energy waste</i> sisa (Rp) |
|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Unloading                     | kWh /pembongkaran | 42904,98                              | 35538,37                      | 23.100.018,50                        | 4.787.952,00                          |
| Loading                       | kWh /hari         | 7086,08                               | 5745,49                       | 3.734.568,20                         | 871.390,00                            |
| Boiler Loss                   | (kcal/kWh)        | 152,67                                | 89,54                         | 57.183.181,49                        | 4.029.244,68                          |
| Turbine loss                  | (kcal/kWh)        | 191,37                                | 176,03                        | 62.703.367,97                        | 979.068,80                            |
| Condenser loss                | (kcal/kWh)        | 28,45                                 | 28,45                         | 53.283.652,00                        | 0                                     |

Dari Tabel 5.7 diatas menunjukkan hasil dari perhitungan penghematan yang didapatkan setelah semua rekomendasi perbaikan dilakukan. Prioritas perbaikan yang dilakukan didasarkan pada diagram *Pareto 80/20*, sehingga masih

terdapat potensi *energy waste* 20% yang belum dilakukan tindakan perbaikan. Potensi *energy waste* yang belum dilakukan atau sisa merupakan prioritas perbaikan pada tahap selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran ini akan menjelaskan mengenai kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dengan mengacu pada perumusan masalah dan tujuan dari penelitian. Sedangkan saran yang diberikan merupakan usulan yang dapat diberikan kepada beberapa pihak yang terkait.

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisa dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Proses *unloading* terdapat 4 jalur yang masing-masing terdiri dari 2 jalur *unloading* yang menuju *stockpile* 1 dan 2 jalur yang menuju *stockpile* 2, namun hanya 2 jalur yang dapat dilalui dikarenakan ketidaksiapan peralatan sehingga 2 jalur *unloading* tersebut yang dapat dilakukan analisa *energy waste / energy loss*. Dari hasil analisa *energy waste* pada jalur *unloading* dengan menggunakan metode *Energy Value Stream Mapping* didapatkan hasil bahwa jalur konveyor 1-3 yang menuju *stockpile* 2 memiliki *energy waste* pada setiap proses pembongkaran batubara sebesar 22583,96 kWh. Sedangkan pada jalur konveyor 1-4 yang menuju *stockpile* 1 memiliki *energy waste* pada setiap proses pembongkaran batubara sebesar 20321,02 kWh. Berdasarkan diagram pareto pada jalur *unloading* didapatkan bahwa *energy loss* terbesar terjadi pada peralatan *Ship Unloader 1 (SU1)* dan *Ship Unloader 2 (SU2)*. Penghematan yang didapat dari perbaikan *energy waste* pada proses *unloading* adalah sebesar Rp 23.100.018,- setiap pembongkaran batubara. Masih terdapat sekitar 20% *energy waste* berdasarkan diagram *Pareto* yang belum dilakukan perbaikan, dimana estimasi kerugian yang terjadi sebesar Rp 4.787.952,- setiap proses pembongkaran.
2. Proses *loading* terdapat 8 jalur *loading* yang masing-masing terdiri dari 4 jalur *loading* dari *stockpile* 1 menuju coal silo dan 4 jalur *loading* dari *stockpile* 2 menuju coal silo. Proses *loading* batubara yang dilakukan di PT X dilakukan secara bersamaan sehingga ketika proses *loading* hanya dapat dipilih 1 jalur dari masing-masing jalur *stockpile*. Dari hasil analisa *energy*

*loss/waste* pada jalur *loading* dengan menggunakan metode *Energy Value Stream Mapping (EVSM)* didapatkan hasil bahwa jalur *loading* konveyor 3-3 yang merupakan jalur *loading* dari *stockpile* 1 menuju coal silo A, B dan D adalah sebesar 3343,21 kWh per hari. Sedangkan *energy loss* pada jalur *loading* dengan menggunakan metode *energy value stream mapping* pada jalur *loading* konveyor 2-2 yang merupakan jalur *loading* dari *stockpile* 2 menuju coal silo C dan E adalah sebesar 3742,88 kWh per hari. Berdasarkan diagram *Pareto energy waste* pada proses *loading* didapatkan bahwa 80 % *energy waste* menjadi prioritas untuk dilakukan perbaikan. Penghematan yang didapat dari perbaikan *energy waste* pada proses *loading* adalah sebesar Rp 3.734.568,- per hari. Masih terdapat sekitar 20% *energy waste* berdasarkan diagram *Pareto* yang belum dilakukan perbaikan, dimana estimasi kerugian yang terjadi sebesar Rp 871.390,- per hari.

3. Proses pembangkitan merupakan proses yang kontinu, dimana unit pembangkit direncanakan untuk beroperasi selama 24 jam x 800 MWh sesuai dengan permintaan pembebanan oleh *customer* (Pusat Pengatur Beban/ P2B). Berdasarkan data perhitungan *heat rate* pada proses pembangkitan didapatkan hasil *total energy loss* sebesar 372,49 kcal/kWh atau sekitar 18,38% . Artinya dalam setiap 1 kWh energi yang dibangkitkan terdapat *energy loss* yang berupa *heat loss* sebesar 372,49 kcal. *Total energy loss* yang terjadi merupakan *energy loss* pada peralatan-peralatan utama yaitu boiler, turbin dan kondensor. Berdasarkan grafik *pareto energy waste* pada proses pembangkitan, dimana 80,5% akumulasi prosentase faktor dominan adalah *coal moisture* yang tinggi, *final feedwater temperature* yang rendah, *HP turbine efficiency* rendah, pemakaian *superheater spray* yang besar, *condenser pressure* yang tinggi dan *outlet gas temperature* yang menuju *stack* yang tinggi. Penghematan yang didapat dari perbaikan *energy waste* pada proses pembangkitan energi listrik berdasarkan prioritas yang dari diagram *Pareto* adalah sebesar Rp 173.170.201,- per jam. Masih terdapat sekitar 20% *energy waste* berdasarkan diagram *Pareto* yang belum dilakukan perbaikan, dimana estimasi kerugian yang terjadi sebesar Rp 5.008.312,- per jam.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan pada Bab Analisa dan Diskusi, maka ada beberapa saran yang ditujukan kepada PT X terkait dengan bagaimana mengurangi pemborosan energy (*energy waste*), efisiensi proses dan peningkatan kualitas sebagai berikut:

1. Melakukan penerapan *EVSM* pada semua proses atau tahapan diproses pembangkitan.
2. Perlu dilakukan analisa *EVSM* pada beberapa peralatan yang belum dilakukan penelitian dan melakukan optimalisasi proses sehingga didapatkan energi loss yang minimal.
3. Perlu dilakukan perhitungan *energy waste* terhadap 20% *losses* yang belum dilakukan perbaikan berdasarkan diagram *Pareto* sebagai tindakan perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) untuk mendapatkan hasil proses yang efisien.
4. Diharapkan ada penelitian yang lebih lanjut tentang implementasi *lean manufacturing*, serta dukungan dari *top management* untuk meningkatkan produktifitas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Aaditya, G. (2016), "Application of Energy Value Stream Mapping as Auditing Tool for Non-Value Added Industrial Energy Management", *Proceeding 3<sup>rd</sup> International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), hal. 62-66
- Abdulmalek, F.A. dan Rajgopal, J. (2007), "Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping via Simulation: A Process Sector Case Study", *International Journal of Production Economics 107*, Elsevier, hal. 223–236.
- ASME (2008), " Fired Steam Generators", *ASME PTC 4-2008*, USA.
- ASME (2010), " Performance monitoring guideline for power plant", *ASME PTC PM-2010*, USA.
- Aziz dan Hafez (2013), "Applying Lean Thinking in Construction and Performance Improvement", *Alexandria Engineering Journal*, 52 (4), Elsevier, hal. 679-695.
- Banawi, A. (2013), "Improving Construction Processes by Integrating Lean, Green and Six-Sigma", *Doctoral Dissertation*, University of Pittsburgh, PA.
- Bogdanski, G., Schönemann, M., Thiede, S., Andrew, S., dan Herrmann, C. (2013), "An extended energy value stream approach applied on the electronics industry", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, IFIP Advances in Information and Communication Technology-397, Part I, hal. 65–72, Springer, Switzerland.
- Chatterjee, R., Sharma, V., dan Mukherjee, S. (2014), "Value stream mapping based on energy and cost system for biodiesel production", *International Journal of Sustainable Manufacturing*, Volume 3, Issue 2, hal. 95-115, Inderscience Enterprises Ltd.
- Davies, E. dan Merwe, K. (2015), "Development of a Framework for a Lean based Water and Energy Efficiency Assessment Tool", *Journal of Engineering, Project, and Production Management 2015*, 5(2), hal. 98–106.
- Davies, E. dan Van der Merwe, K.R. (2016), "Methodology To Produce a Water and Energy Stream Map (Wesm) in the South African Manufacturing

- Industry", *South Africa Journals of Industrial Engineering*, Volume 27, hal. 219–229, Pretoria.
- Durivage, M. A. (2017), "The Certified Reliability Engineer Handbook ", *Third Edition*, ASQ Quality Press .Milwaukee, Wisconsin
- Egon, M., Stock, T. dan Schillig, R. (2014), "A Method to Generate Energy Value Streams in Production and Logistics in Respect of Time and Energy Consumption. *Production Engineering Research Development*", hal. 243-251.
- EPA (2007), "Lean, Energy & Climate Toolkit", *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*,  
<https://www.epa.gov/lean/lean-energy-and-climate-toolkit>.
- ESDM (2018), "Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral", *Media Center: Cadangan Batubara Indonesia Sebesar 26 Miliar Ton*,  
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cadangan-batubara-indonesia-sebesar-26-miliar-ton>
- Fawaz, A. dan Rajgopal, J. (2007), "Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping via Simulation: A Process Sector Case Study", *International Journal of production economics*, Volume 107, Elsevier, hal. 223-236.
- Gogula, V., Kuriger dan Glenn (2011), "Impact Of Lean Tools On Energy Consumption", *Systems and Telematics Journal*, Volume 9, Nomor 19, Universidad Icesi, Santiago de Cali.
- Hani, A., Rashid, A., Shaari, M.F., Mohamad, N., Zakwan, Z. (2010), "Lean Manufacturing Assessment In Malaysia Small Medium Enterprise : A Case Study", *World Engineering Congress*, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) Institutional Repository.
- Kuriger, G. dan Chen, F. (2010), "Lean and Green: A Current State View", *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference 60<sup>th</sup>*, Institute of Industrial Engineers, USA.
- Langstrand, J. (2016), "An Introduction to Value Stream Mapping and Analysis".
- LEI (2000), "Toyota Production System", *Lean Enterprise Institute, Inc*,  
<https://www.lean.org/lexicon/toyota-production-system> (accessed 12.2.18).

- Müller, E., Stock, T. dan Schillig, R., (2014), "A Method to Generate Energy Value Streams in Production and Logistics in Respect of Time and Energy Consumption". *Production Engineering Journal*, Volume 8, issue 1-2, hal. 243–251, Springer.
- Nash, Mark, A., Poling dan Sheila R., "*Mapping The Total Value Stream*", Productivity Press, London.
- Ohno, T., (1988), "*Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*", Productivity Press", Portland, OR.
- Rother, M., Shook dan Joo, (1998), "*Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*", Massachusetts: The Lean Enterprise Institute.
- RUEN (2017), "*Rencana Umum Energi Nasional*", Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017, [https://sipuu.setkab.go.id/PUUdoc/175146/Lampiran I Perpres Nomor 22 Tahun 2017](https://sipuu.setkab.go.id/PUUdoc/175146/Lampiran_I_Perpres_Nomor_22_Tahun_2017)
- RUKN (2018), "*Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2018-2037*", Kementrian ESDM.
- RUPTL (2018), "*Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2018-2027 PLN Persero*", [www.pln.co.id](http://www.pln.co.id).
- Seryak, J., Epstein, G., dan D'Antonio, M. (2006), "Lost Opportunities in Industrial Energy Efficiency: New Production, Lean Manufacturing and Lean Energy", *Industrial Energy Technology Conference*, A&M University, Texas.
- Sugiyono (2010), "*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif R&D*", Bandung: Penerbit Alfabeta, hal. 2.
- Sukmadinata, N., (2005), "*Metode Penelitian Pendidikan*", Bandung, Penerbit Remaja Rosdakarya, hal. 60.
- Tsou, J (1998), "*Heat Rate Improvement Reference Manual*", EPRI, Palo Alto, CA: 1998. TR-109546, Electric Power Research Institute, Inc.
- Verma, N. dan Sharma, V. (2016), "Energy Value Stream Mapping a Tool to Develop Green Manufacturing", *Procedia Engineering*, Volume 149, Elsevier, hal. 526–534.

- Womack, J., Jones, D., Roos, D., (1991), "*The Machine That Change the World: The Story of Lean Production*", New York: Harper Perennial.
- Wignjosoebroto, (1995), "*Ergonomi Studi Gerak dan Waktu Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*", Surabaya: PT. Guna Widya.

## LAMPIRAN

### 1. Data Pembongkaran Batubara Periode Bulan Oktober-Desember 2018

| <b>Tanggal Kedatangan</b> | <b>Nama Tongkang</b> | <b>Volume Tongkang (MT)</b> | <b>Flowrate pembongkaran (MT/h)</b> |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 01-Oct-18                 | BG FINACIA 97        | 7507,26                     | 818,97                              |
| 02-Oct-18                 | BG Virgo Sejati 23   | 10186,31                    | 507,20                              |
| 03-Oct-18                 | BG PULAU TIGA 3459   | 12527,95                    | 650,80                              |
| 04-Oct-18                 | BG FINACIA 105       | 12497,90                    | 1006,54                             |
| 05-Oct-18                 | BG FINACIA 103       | 12527,95                    | 795,43                              |
| 06-Oct-18                 | BG Windbuild 1432    | 12287,38                    | 771,98                              |
| 07-Oct-18                 | BG Winbuild 358      | 14711,53                    | 560,44                              |
| 08-Oct-18                 | BG Pulau Tiga 366    | 12163,48                    | 784,74                              |
| 09-Oct-18                 | BG Azamara 26        | 10019,99                    | 858,86                              |
| 10-Oct-18                 | BG Pulau Tiga 3708   | 12748,07                    | 1040,66                             |
| 11-Oct-18                 | BG. Finacia 95       | 7515,25                     | 884,15                              |
| 11-Oct-18                 | BG WINDBUILD 369     | 12188,31                    | 1044,71                             |
| 12-Oct-18                 | BG Mumentum 30013    | 7497,84                     | 651,99                              |
| 12-Oct-18                 | BG Antivia           | 7521,39                     | 784,84                              |
| 13-Oct-18                 | BG Virgo Sejati      | 9989,07                     | 1109,90                             |
| 13-Oct-18                 | BG FINACIA 105       | 12476,23                    | 668,37                              |
| 14-Oct-18                 | BG PBM 818           | 7504,58                     | 989,61                              |
| 15-Oct-18                 | BG Finacia 103       | 12473,51                    | 752,17                              |
| 15-Oct-18                 | BG Winbulid 1432     | 12174,10                    | 936,47                              |
| 16-Oct-18                 | BG Winbulid 358      | 10114,84                    | 370,10                              |
| 17-Oct-18                 | BG Fulia             | 10114,84                    | 731,19                              |
| 18-Oct-18                 | BG PULAU TIGA 366    | 12346,56                    | 1122,41                             |
| 21-Oct-18                 | BG.ETI 3311          | 10088,35                    | 897,54                              |
| 22-Oct-18                 | BG VIRGO SEJATI 333  | 11042,13                    | 720,30                              |
| 23-Oct-18                 | BG SM 365            | 12167,86                    | 577,22                              |
| 24-Oct-18                 | BG Borneo 3305 PLNBB | 10492,42                    | 777,22                              |
| 25-Oct-18                 | BG FINANCIA 105      | 12428,33                    | 1064,98                             |
| 26-Oct-18                 | BG RMN 3453          | 10015,70                    | 977,14                              |
| 27-Oct-18                 | BG FINACIA 103       | 12462,87                    | 973,66                              |
| 28-Oct-18                 | BG PULAU TIGA 330-23 | 10598,40                    | 1028,97                             |
| 29-Oct-18                 | BG Winbuild 1432     | 12241,10                    | 960,09                              |
| 30-Oct-18                 | BG Elektra           | 7633,38                     | 451,15                              |

|           |                      |          |         |
|-----------|----------------------|----------|---------|
| 03-Nov-18 | BG Finacia 105       | 12506,15 | 526,57  |
| 06-Nov-18 | BG FINACIA 103       | 12488,69 | 693,82  |
| 07-Nov-18 | BG SM 350            | 12754,11 | 436,04  |
| 08-Nov-18 | BG Pulau Tiga 366    | 12314,38 | 884,87  |
| 09-Nov-18 | BG. Asia Rider 801   | 7502,51  | 989,34  |
| 10-Nov-18 | BG Sentana Abadi     | 7553,73  | 625,14  |
| 11-Nov-18 | BG Windbuild 358     | 12426,11 | 1050,09 |
| 11-Nov-18 | BG PULAU TIGA 330-23 | 10536,37 | 800,23  |
| 12-Nov-18 | BG FINANCIA 105      | 12397,29 | 759,02  |
| 13-Nov-18 | BG PULAU TIGA 3459   | 10527,84 | 380,48  |
| 16-Nov-18 | BG SM 350            | 12656,98 | 726,58  |
| 17-Nov-18 | BG Winbuild 1432     | 12298,86 | 723,46  |
| 18-Nov-18 | BG Pulau Tiga 366    | 12091,95 | 942,23  |
| 19-Nov-18 | BG Kaltim FT 80-06   | 8688,33  | 461,33  |
| 20-Nov-18 | BG Borneo 3305       | 10027,10 | 512,02  |
| 21-Nov-18 | BG Finacia 105       | 12362,75 | 797,60  |
| 22-Nov-18 | BG Windbuild 358     | 12496,12 | 619,64  |
| 26-Nov-18 | BG Pulau Tiga 3457   | 10561,21 | 441,58  |
| 27-Nov-18 | BG PBM 878           | 7581,87  | 445,99  |
| 29-Nov-18 | BG WINBUILD 1432     | 12232,05 | 489,28  |
| 02-Dec-18 | BG MDM 3             | 12538,48 | 587,74  |
| 03-Dec-18 | BG Fulia             | 10239,23 | 639,95  |
| 05-Dec-18 | BG Finacia 105       | 12288,56 | 619,70  |
| 06-Dec-18 | BG Financia 103      | 12510,79 | 545,85  |
| 06-Dec-18 | BG Finacia 71        | 7522,98  | 537,36  |
| 07-Dec-18 | BG Winbuild 1432     | 12252,10 | 360,36  |
| 09-Dec-18 | BG Mylena            | 7562,10  | 280,08  |
| 11-Dec-18 | BG Finacia 109       | 12197,34 | 742,83  |
| 12-Dec-18 | BG HASNUR 307        | 7507,23  | 421,75  |
| 12-Dec-18 | BG MDM 03            | 12648,90 | 512,72  |
| 13-Dec-18 | BG Finacia 105       | 12495,50 | 551,19  |
| 14-Dec-18 | BG Finacia 103       | 12497,81 | 945,37  |
| 15-Dec-18 | BG FALCON            | 7520,55  | 341,84  |
| 16-Dec-18 | BG. FINACIA 109      | 12222,60 | 654,67  |
| 22-Dec-18 | BG.Finacia 103       | 12582,31 | 513,56  |
| 23-Dec-18 | BG Finacia 106       | 12694,95 | 489,77  |
| 24-Dec-18 | BG MDM 4             | 12454,01 | 884,52  |
| 25-Dec-18 | BG MDM 1             | 12555,92 | 805,90  |
| 26-Dec-18 | BG TBG 203           | 7489,75  | 485,72  |

2. Certificate of Sampling and Analysis (COA) batubara MRC



# PT. GEOSERVICES

## MARINE CARGO SURVEYING

**Head Office :** BANDUNG, Jl. Setiabudi no. 78-81, Ph. 022-2091316, Fx. 022-2030090, 2025436, Branch Office : **BALIPAPAN,** J. M.T. Haryono No. 101, Ph. 0542-872196/872155, Fx. 0542-872151, **SAMARINDA,** Jl. Wijaya Kusumah No. 25A, Ph. 0541-206798, Fx. 0541-203727, **BANJARBARU,** J. Jend. A. Yani Barul No. 6, Ph. 0511-4772619 (Jember), Fx. 0511-4772324, **KOTABARU,** J. Jend. Sudirman No. 335A5, Pulau Laut, South Kalimantan, Ph. 0518-21579, Fx. 0518-21592, **TANJUNG REDEB-BERAU,** Jl. Muljana RT. 10 Gunung Tebuk, Berau 77352, Ph. 0564-0303037, **BUNING BAYAN,** Mersau Laboratory, Mersau-Mersau Pahala, Kutai Barat, Ph. 0542-580104, **TAMAH GHOOGOT,** Jl. R.A. Kartini No. 2 (Kaltim), Ph. 0543-2702048, Fx. 0543-2706667, **ASAM-ASAM,** J. A. Yani RT. 12 RW. 06, Desa Asam-asam, Kec. Jongg, Ph. 0512-636075, Fx. 0512-636075, **BATULICIM,** Jl. Raya Samudra No. 94 RT. 14, RW. 03, Ph./Fx. 0518-71972, **PADANG,** Jl. Dy. Padoe Km. 25, Areak Air, Ph. 0751-484758, 484790, 484751, **PALEMBANG,** J. Lejen Harun Sohar, Kamp. Perpadangan Graha, Blok F No. 8 Bandara Indeh Palembang Ph. 0711-419614, Fx. 0711-418601, **MOJOKERTO,** Jl. Geger Noko No. 46, Ph. 0321-390294, Fx. 0321-390257, **SAMODITA,** J. Pone Kaba No. 126, Ph. 0549-22192, Fx. 0549-22192

---

Cert. No. : 02218.00144

### CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

**THIS IS TO CERTIFY :** that we have performed the inspection, sampling and analysis of the coal shipment nominated below,

Name of Vessel : TB. ATK 2010 / BG. RMN 358  
 Cargo : 7,544.395 MT  
 Shipper : PT. KALTIM PRIMA COAL  
 Buyer : PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN PAITON  
 Loading Port : JETTY BLF TANJUNG BARA, EAST KALIMANTAN  
 Discharging Port : JETTY PT. PJB UP PAITON  
 Sampling date : May 22, 2018  
 Shipment No. : 018

**SAMPLING :** Samples were taken and collected in accordance with ASTM-D6883-12 and ASTM D2013/ D2013M-12 and prepared of samples in accordance with ASTM-D2234/ D2234M-16.  
**ANALYSIS :** Samples were analyzed in accordance with ASTM standard methods.

The results are as follows :

| Parameters                      | Unit           | Results           |                 |           |              | Standard Methods     |
|---------------------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------|--------------|----------------------|
|                                 |                | As Received Basis | Air Dried Basis | Dry Basis | Dry Ash Free |                      |
| <b>Proximate Analysis.</b>      |                |                   |                 |           |              |                      |
| Total Moisture                  | %              | 28.31             | -               | -         | -            | ASTM-D5302M-2015     |
| Moisture in The Analysis Sample | %              | -                 | 17.02           | -         | -            | ASTM D3173-2011      |
| Ash Content                     | %              | 5.56              | 6.44            | 7.76      | -            | ASTM D3174-2012      |
| Volatile Matter                 | %              | 32.51             | 37.63           | 45.35     | 49.16        | ASTM D3175-2011      |
| Fixed Carbon by difference      | %              | 33.52             | 38.91           | 46.89     | 50.84        | ASTM D3172-2013      |
| Total Sulphur                   | %              | 0.25              | 0.29            | 0.35      | 0.38         | ASTM D4239-2014      |
| <b>Gross Calorific Value</b>    | <b>Kcal/kg</b> | <b>4663</b>       | 5400            | 6508      | 7055         | ASTM D5865-2013      |
| Nitrogen                        | %              | 1.00              | 1.16            | 1.40      | 1.52         | ASTM-D5373-2014      |
| Hardgrove Grindability Index    | Index          |                   | 46              |           |              | ASTM D409/D409M-2016 |
| Sizing                          |                |                   | 0.28            |           |              | ASTM D4749-2012      |
| > 70 mm                         | %              |                   | 99.72           |           |              | ASTM D4749-2012      |
| > 50 mm                         | %              |                   | 3.05            |           |              | ASTM D4749-2012      |
| < 50 mm                         | %              |                   | 96.95           |           |              | ASTM D4749-2012      |
| < 32 mm                         | %              |                   | 81.40           |           |              | ASTM D4749-2012      |
| < 2,38 mm                       | %              |                   | 15.53           |           |              | ASTM D4749-2013      |
| <b>Ash Fusion Temperatures</b>  |                |                   | Reducing        | Oxidizing |              |                      |
| - Deformation                   | °C             |                   | 1180            | 1200      |              | ASTM D1857-10        |
| - Spherical                     | °C             |                   | 1210            | 1230      |              | ASTM D1857-10        |
| - Hemisphere                    | °C             |                   | 1230            | 1250      |              | ASTM D1857-10        |
| - Flow                          | °C             |                   | 1270            | 1300      |              | ASTM D1857-10        |

Signed for and on behalf of,  
  
**PT. GEOSERVICES**  
 Tommy Firmansyah  
 Coal Lab. Manager

Date : May 27, 2018

3. Certificate of Sampling and Analysis (COA) batubara LRC



# PT. GEOSERVICES

## MARINE CARGO SURVEYING

Head Office : **SANDUNG**, Jl. Sebelok no. 70-81, Ph. 022-2001314, Fx. 022-2938050, 2033430; Branch Office : **BALIKPAPAN**, Jl. M.T. Haryono No. 161, Ph. 0542-872156/872155, Fx. 0542-872151; **SAWARANDA**, Jl. Wijaya Kusuman No. 25A, Ph. 0541-203723, Fx. 0541-233727; **BANJARBARU**, Jl. Vend A. Yani Barat No. 8, Ph. 0511-4772018 (Kanting), Fx. 0511-4772324; **KOTABANGU**, Jl. Jend. Sudirman No. 505A0, Peta. Laut, South Kalimantan, Ph. 0518-21325, Fx. 0518-21328; **TANJUNG REDEB-BERAW**, Jl. Merdeka RT. 13 Gukung Tabat, Beraw 77302, Ph. 0554-2030207; **GUMUNG BAYAN**, Manau Laboratory, Manau-Mauz Pahau, Katal Barat Ph. 0542-583704; **TANAH GRODOT**, Jl. R.A. Kartini No. 2 (Kubing), Ph. 0543-2702846, Fx. 0543-2709967; **ASAM-ASAM**, Jl. A. Yani RT. 12 RW. 03, Desa Asam-asam, Kac. Jereng, Ph. 0512-636075, Fx. 0512-636078; **BATULICIN**, Jl. Raya Babakun No. 94 RT. 14, RW. 03, Ph./Fx. 0518-71972; **PADANG**, Jl. Dy Pass Km. 25, Anak Air, Ph. 0751-484759, 484760, 484761; **PALEMBANG**, Jl. Lelien Haran Sehat, Komplek Pergudangan Griya, Blok F No. 8 Bandara Inoh Palembang Ph. 0711-418614, Fx. 0711-419001; **MOJOKERTO**, Jl. Eriq, Kaca No. 48, Ph. 0321-330258, Fx. 0321-390057; **SANGHTA**, Jl. Peris Kato No. 156, Ph. 0549-22102, Fx. 0549-22150

---

Cert. No. : 02218.00169

### CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

**THIS IS TO CERTIFY** : that we have performed the inspection, sampling and analysis of the coal shipment nominated below,

Name of Vessel : TB, BOMAS SENTOSA / BG, WINBUILD 368  
 Cargo : 11,911,365 MT  
 Shipper : PT. ADARO INDONESIA  
 Buyer : PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN PAITON  
 Loading Port : JETTY KELANIS I, ADARO INDONESIA  
 Discharging Port : JETTY PT. PJB UP PAITON  
 Sampling date : June 14, 2018  
 Shipment No. : 023

**SAMPLING** : Samples were taken and collected in accordance with ASTM-D6883-12 and ASTM D2013/ D2013M-12 and prepared of samples in accordance with ASTM-D2234/ D2234M-16.

**ANALYSIS** : Samples were analyzed in accordance with ASTM standard methods.  
 The results are as follows:

| Parameters                      | Unit    | Results           |                 |                |              | Standard Methods     |
|---------------------------------|---------|-------------------|-----------------|----------------|--------------|----------------------|
|                                 |         | As Received Basis | Air Dried Basis | Dry Basis      | Dry Ash Free |                      |
| <b>Proximate Analysis,</b>      |         |                   |                 |                |              |                      |
| Total Moisture                  | %       | 39.26             | -               | -              | -            | ASTM-D3302M-2015     |
| Moisture in The Analysis Sample | %       | -                 | 19.54           | -              | -            | ASTM D3173-2011      |
| Ash Content                     | %       | 2.01              | 2.66            | 3.31           | -            | ASTM D3174-2012      |
| Volatile Matter                 | %       | 31.16             | 41.28           | 51.30          | 53.06        | ASTM D3175-2011      |
| Fixed Carbon by difference      | %       | 27.57             | 36.52           | 45.39          | 46.94        | ASTM D3172-2013      |
| Total Sulphur                   | %       | 0.17              | 0.22            | 0.27           | 0.28         | ASTM D4239-2014      |
| Gross Calorific Value           | Kcal/kg | 4038              | 5349            | 6648           | 6875         | ASTM D5865-2013      |
| Nitrogen                        | %       | 0.60              | 0.79            | 0.98           | 1.02         | ASTM-D5373-2014      |
| Hardgrove Grindability Index    | index   |                   | 52              |                |              | ASTM D409/D409M-2016 |
| Sizing, > 70 mm                 | %       |                   | 0.29            |                |              | ASTM D4749-2012      |
| < 70 mm                         | %       |                   | 99.71           |                |              | ASTM D4749-2012      |
| > 50 mm                         | %       |                   | 4.05            |                |              | ASTM D4749-2012      |
| < 50 mm                         | %       |                   | 95.95           |                |              | ASTM D4749-2012      |
| < 32 mm                         | %       |                   | 84.02           |                |              | ASTM D4749-2012      |
| < 2,38 mm                       | %       |                   | 16.83           |                |              | ASTM D4749-2013      |
| <b>Ash Fusion Temperatures</b>  |         |                   |                 |                |              |                      |
| - Deformation                   | °C      |                   | Reducing 1210   | Oxidizing 1220 |              | ASTM D1857-10        |
| - Spherical                     | °C      |                   | 1220            | 1230           |              | ASTM D1857-10        |
| - Hemisphere                    | °C      |                   | 1230            | 1240           |              | ASTM D1857-10        |
| - Flow                          | °C      |                   | 1240            | 1260           |              | ASTM D1857-10        |

Signed for and on behalf of,  
**PT. GEOSERVICES**  
  
**Tommy Firmansyah**  
 Coal Lab. Manager

Date : June 19, 2018

4. Data Pengisian (*Loading*) Batubara Menuju *Coal Silo*

| Sampel<br>(n) | Data Pengisian Batubara<br>(Ton / hari) |      |       | Waktu<br>Pengisian<br>( <i>Loading Time</i> )<br>(jam) |       |
|---------------|---|------|-------|--|-------|
|               | RH1                                     | RH2  | Total | RH1  | RH2   |
| 1             | 7318                                    | 5169 | 12487 | 10,17  | 9,50  |
| 2             | 7821                                    | 5108 | 12929 | 10,17  | 6,75  |
| 3             | 11407                                   | 4227 | 15634 | 13,67  | 7,67  |
| 4             | 9516                                    | 4427 | 13943 | 11,17  | 12,92 |
| 5             | 9504                                    | 4509 | 14013 | 11,58  | 8,42  |
| 6             | 9576                                    | 5141 | 14717 | 11,75  | 8,25  |
| 7             | 9486                                    | 4444 | 13930 | 12,67  | 10,67 |
| 8             | 10594                                   | 4514 | 15108 | 11,75  | 9,83  |
| 9             | 11539                                   | 3183 | 14722 | 11,58  | 9,33  |
| 10            | 10677                                   | 3721 | 14398 | 10,92  | 9,17  |
| 11            | 9098                                    | 4490 | 13588 | 11,17  | 8,42  |
| 12            | 10284                                   | 4949 | 15233 | 11,57  | 9,33  |
| 13            | 9479                                    | 5077 | 14556 | 10,67  | 8,75  |
| 14            | 9084                                    | 4534 | 13618 | 9,75   | 7,25  |
| 15            | 10641                                   | 3558 | 14199 | 8,92   | 6,58  |
| 16            | 8478                                    | 3051 | 11529 | 9,83   | 7,92  |
| 17            | 9153                                    | 4466 | 13619 | 11,58  | 10,08 |
| 18            | 9513                                    | 1368 | 10881 | 13,75  | 8,83  |
| 19            | 8542                                    | 2341 | 10883 | 21,00  | 4,67  |
| 20            | 12635                                   | 7128 | 19763 | 10,25  | 11,17 |
| 21            | 9875                                    | 5016 | 14891 | 13,17  | 9,58  |
| 22            | 9801                                    | 4617 | 14418 | 10,67  | 8,42  |
| 23            | 8704                                    | 4195 | 12899 | 10,50  | 8,92  |
| 24            | 9897                                    | 4881 | 14778 | 12,08  | 10,83 |
| 25            | 9119                                    | 4744 | 13863 | 10,42  | 9,58  |
| 26            | 8022                                    | 4987 | 13009 | 10,08  | 9,92  |
| 27            | 10679                                   | 5047 | 15726 | 12,83  | 9,67  |
| 28            | 9583                                    | 4971 | 14554 | 11,50  | 9,42  |
| 29            | 7772                                    | 4797 | 12569 | 10,55  | 9,75  |
| 30            | 8353                                    | 5200 | 13553 | 12,35  | 10,08 |
| 31            | 8676                                    | 5585 | 14261 | 10,58  | 9,33  |

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BIOGRAFI PENULIS



**Wahyu Isa Arifin**, lahir pada tanggal 13 Februari 1982 di Nganjuk, Jawa Timur, meraih gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin di Universitas Brawijaya pada tahun 2006. Saat ini penulis bekerja pada salah satu perusahaan BUMN yang bergerak dibidang pembangkitan energi listrik pada bagian *Engineering System Owner* di unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara. Penulis dapat dihubungi pada alamat e-mail: *wahyuisaa@gmail.com*