



TUGAS AKHIR - MS141501

**ANALISIS PERENCANAAN TRANSPORTASI LIMBAH
PEMBAKARAN BATUBARA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS WILAYAH
SUMATERA**

Algar Prakosa Bagaskara
NRP. 04411 4400 00015

Dosen Pembimbing
Irwan Tri Yunianto, S.T., M.T.
Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - MS141501

**ANALISIS PERENCANAAN TRANSPORTASI LIMBAH
PEMBAKARAN BATUBARA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS WILAYAH
SUMATERA**

Algar Prakosa Bagaskara
NRP. 04411 4400 00015

Dosen Pembimbing
Irwan Tri Yuniyanto, S.T., M.T.
Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



FINAL PROJECT - MS141501

**THE ANALYSIS OF TRANSPORT PLANNING FOR STEAM
POWER PLANTS COAL WASTE : A CASE STUDY OF
SUMATERA REGION**

Algar Prakosa Bagaskara
NRP. 04411 4400 00015

Supervisors

Irwan Tri Yuniyanto, S.T., M.T.
Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PERENCANAAN TRANSPORTASI LIMBAH
PEMBAKARAN BATUBARA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS WILAYAH
SUMATERA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program S1 Departemen Teknik Transportasi Laut
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ALGAR PRAKOSA BAGASKARA
NRP. 04411 4400 00015

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Irwan Tri Yuniyanto, S.T., M.T.

NIP. 19870605 201504 1 002

Dosen Pembimbing II



Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

NIP. 19790525 201404 1 001

SURABAYA, JULI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS PERENCANAAN TRANSPORTASI LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS WILAYAH SUMATERA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 17 Juli 2018

Departemen Teknik Transportasi Laut
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ALGAR PRAKOSA BAGASKARA
NRP. 04411 4400 00015

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Firmanto Hadi, S.T., M.Sc.

2. Dr. Eng I G. N. Sumanta Buana, S.T., M.Eng

3. Ferdhi Zulkarnaen, S.T., M.Sc.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irwan Tri Yuniato, S.T., M.T.

2. Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.



SURABAYA, JULI 2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke Hadapan Tuhan Yang Maha Esa karena atas Berkah dan RahmatNya yang diberikan pada pengerjaan Tugas Akhir dengan Judul “**Analisis Perencanaan Transportasi Limbah Pembakaran Batubara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus Wilayah Sumatera**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Kedua Orang Tua saya Bapak Tatag Adrianto Witjaksono dan Ibu Tjutjun Soendari yang selalu mendukung dan mendoakan penulis hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir. Serta Adik adik saya Adam Luthfi Nugraha dan Ines Kumalasari yang selalu memberi dukungan moril pada penulis.
2. Bapak Irwan Tri Yuniarto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan masukan kepada penulis selama dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan masukan kepada penulis selama dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Hasan Iqbal Nur, S.T., M.T., selaku Dosen Wali penulis selama masa perkuliahan yang telah meluangkan waktu, memberikan banyak ilmu, dan arahan kepada penulis.
5. Kepada Olivia Jeniar Chaniagung yang selalu memberi semangat selama penyusunan Tugas Akhir.
6. Dosen-dosen Departemen Teknik Transportasi Laut yang membantu selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan ilmu yang telah diberikan kepada kami.
7. Teman-teman seperjuangan penulis selama penyusunan Tugas Akhir di Laboratorium Telematika Transportasi Laut.
8. Kepada teman-teman DANFORTH seluruhnya, kakak-kakak dan adik-adik DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT ITS atas dukungan dan bantuannya.
9. Kepada sahabat – sahabat penulis SEE YOU ON TOP yang selalu memberikan semangat dan memotivasi penulis.
10. Serta semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sangat diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan nilai manfaat yang lebih bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Analisis Perencanaan Transportasi Limbah Pembakaran Batubara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus Wilayah Sumatera

Nama Mahasiswa : Algar Prakosa Bagaskara
N.R.P. : 0441 14 400 00 015
Departemen / Fakultas : Teknik Transportasi Laut / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Irwan Tri Yuniyanto, S.T., M.T.
2. Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pemakaian batubara dan kapasitas PLTU di Indonesia terus bertambah, begitu juga dengan limbah yang dihasilkan. Limbah pembakaran batubara *fly ash* digunakan sebagai campuran komposisi semen. Beberapa perusahaan semen melakukan upaya pemanfaatan *fly ash* dari industri PLTU. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merencanakan angkutan pengiriman *fly ash* dari PLTU Bangka Baru, Labuhan Angin, Nagan Raya, Pangkalan Susu, Sebalang, Teluk Sirih, dan Tenayan menuju ke Pabrik Semen Baturaja Palembang & Lampung, dan Pabrik Semen Padang dengan menggunakan metode optimisasi yang bertujuan untuk mencari ukuran utama kapal yang paling optimum dan dengan unit cost terendah serta penentuan jumlah *fly ash* yang akan dikirimkan dari masing-masing PLTU. Alternatif moda dibagi menjadi 2 (dua) yaitu moda darat dan moda laut. Untuk moda darat terdiri dari truk tangki curah, sedangkan moda laut terdiri dari 3 (tiga) jenis kapal yaitu *bulk carrier*, *self propelled barge*, dan *barge*. Hasil studi diperoleh bahwa biaya pengiriman *fly ash* paling minimum untuk Pabrik Semen Baturaja Palembang menggunakan tongkang dengan *unit cost* Rp283.268/ton, Pabrik Semen Baturaja Lampung menggunakan tongkang dengan *unit cost* Rp347.600/ton, dan Pabrik Semen Padang menggunakan tongkang dan truk dengan *unit cost* rata-rata Rp212.185/ton. Penghematan biaya material dan transportasi tanpa menggunakan *fly ash* dan menggunakan *fly ash* yaitu untuk PT Semen Baturaja sebesar Rp7.297.758.451/tahun, PT Semen Padang sebesar Rp46.972.779.604/tahun.

Kata kunci : Fly Ash, Pulau Sumatera, Optimasi, Biaya Satuan, Perencanaan Transportasi, Bulk Carrier, Self Propelled Barge, Barge, Truck

The Analysis of Transportation Planning For Steam Power Plants Coal Waste : A Case Study of Sumatera Region

Author : Algar Prakosa Bagaskara
ID No. : 0441 14 400 00 015
Department / Faculty : Marine Transportation Engineering / Marine
Technology
Supervisors : 1. Irwan Tri Yuniyanto, S.T., M.T.
2. Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The use of coal and PLTU capacity in Indonesia continues to increase, as well as the generated waste. Burning coal combustion waste is used as a mixture in cement composition. Several cement companies are making efforts to utilize fly ash from PLTU industry. The aim of this Final Project is to plan for fly ash transportation from Bangka Baru power plant, Labuhan Angin, Nagan Raya, Pangkalan Susu, Sebalang, Teluk Sirih and Tenayan to Semen Baturaja Plant Palembang & Lampung and Semen Padang Factory by using optimization method to find the most optimum size of the vessel and the lowest unit cost and the determination of the amount of fly ash to be delivered from each of the steam power plants. Alternative modes are divided into 2 (two) which are the land modes and sea modes. Land modes consist of bulk tank trucks, while marine mode consists of 3 (three) ship types: bulk carrier, self propelled barge, and barge. The result of this study shows that the minimum cost of fly ash shipment for Semen Baturaja Palembang plant by using barge with unit cost Rp283.268 / ton, Semen Baturaja Lampung factory by using barge with unit cost Rp347.600 / ton, and Semen Padang factory by using barge and truck with unit cost an average of Rp212,185 / ton. Material and transportation cost savings without using fly ash and using fly ash for PT Semen Baturaja amounting to Rp7.297.758.451 / year, PT Semen Padang amounting to Rp46.972.779.604 / year.

Keyword: Fly Ash, Sumatera Island, Optimization, Unit Cost, Transportation Planning, Bulk Carrier, Self Propelled Barge, Barge , Truck

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Hipotesis.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	5
2.2. Abu Batubara (<i>Fly Ash</i>).....	8
2.3. Kandungan Abu Batubara (<i>Fly Ash</i>)	10
2.4. Proses Pembentukan Abu Batubara (<i>Fly Ash</i>)	11
2.5. Pengertian Semen	11
2.6. Teori Optimasi.....	12
2.7. Komponen Biaya Transportasi Laut.....	15
2.8. Komponen Biaya Transportasi Darat	20
2.9. Moda yang Digunakan Dalam Model	21
2.10. <i>Shipping</i> (Pelayaran)	24

2.11. Analisis Sensitivitas	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2. Model Matematis.....	30
BAB 4 GAMBARAN UMUM.....	31
4.1. Pulau Sumatera.....	31
4.2. Pengolahan Abu pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	32
4.3. PLTU Produsen <i>Fly Ash</i>	34
4.4. Pabrik Semen Konsumen <i>Fly Ash</i>	38
4.5. Pelabuhan Asal dan Tujuan	41
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	49
5.1. Analisis Produksi <i>Fly Ash</i> pada PLTU	49
5.2. Analisis Kebutuhan <i>Fly Ash</i> pada Pabrik Semen	51
5.3. Skenario Distribusi <i>Fly Ash</i>	54
5.4. Perhitungan Muatan Terkirim dan Ukuran Kapal	57
5.5. Biaya Transportasi Laut Terpilih	61
5.6. Biaya Transportasi Darat Terpilih	66
5.7. Penentuan Armada Terpilih Antara Transportasi Laut dan Darat.....	69
5.8. Perbandingan Penggunaan <i>Fly Ash</i> Terhadap Harga Semen	70
5.9. Analisis Sensitivitas	73
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	77
6.1. Kesimpulan.....	77
6.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemakaian Batubara PLTU	1
Gambar 1.2 Kapasitas Terpasang pada PLTU.....	2
Gambar 2.1 Proses Konersi Energi	5
Gambar 2.2 Proses Kerja PLTU	7
Gambar 2.3 <i>Fly Ash</i> Batubara.....	9
Gambar 2.4 Self Propelled Barge	23
Gambar 2.5 Barge.....	23
Gambar 2.6 Truk Tangki Curah Kering	24
Gambar 4.1 Topografi Pulau Sumatera	31
Gambar 4.2 PLTU Nagan Raya.....	35
Gambar 4.3 PLTU Labuhan Angin	35
Gambar 4.4 PLTU Teluk Sirih	36
Gambar 4.5 PLTU Sebalang.....	36
Gambar 4.6 PLTU Bangka Baru	37
Gambar 4.7 PLTU Pangkalan Susu	37
Gambar 4.8 PLTU Tenayan.....	38
Gambar 4.9 Pabrik Semen Baturaja	38
Gambar 4.10 Produksi Semen Baturaja.....	39
Gambar 4.11 Pabrik Semen Padang	40
Gambar 4.12 Produksi Semen Padang	41
Gambar 4.13 Pelabuhan Khusus PLTU Nagan Raya	42
Gambar 4.14 Pelabuhan Khusus PLTU Labuhan Angin.....	42
Gambar 4.15 Pelabuhan Khusus PLTU Teluk Sirih	43
Gambar 4.16 Pelabuhan Khusus PLTU Sebalang	43
Gambar 4.17 Pelabuhan Khusus PLTU Bangka Baru.....	44
Gambar 4.18 Pelabuhan Khusus PLTU Pangkalan Susu	44
Gambar 4.19 Pelabuhan Khusus PLTU Tenayan	45
Gambar 4.20 Pelabuhan Khusus PT Semen Baturaja (Palembang)	46
Gambar 4.21 Pelabuhan Indonesia II (Panjang, Lampung).....	46
Gambar 4.22 Pelabuhan Indonesia II (Teluk Bayur).....	47
Gambar 5.1 Kapasitas Masing-Masing PLTU	49

Gambar 5.2 Jumlah Kebutuhan Batubara pada PLTU	50
Gambar 5.3 Jumlah <i>Fly Ash</i> yang Dihasilkan	50
Gambar 5.4 Presentase Material Semen	51
Gambar 5.5 Produksi Semen PT Semen Baturaja	51
Gambar 5.6 Kebutuhan <i>Fly Ash</i> PT Semen Baturaja	52
Gambar 5.7 Produksi Semen PT Semen Padang	53
Gambar 5.8 Kebutuhan Fly Ash PT Semen Padang.....	53
Gambar 5.9 Skenario Distribusi Fly Ash	54
Gambar 5.10 Alur Distribusi PLTU-Semen Baturaja (Palembang)	55
Gambar 5.11 Alur Distribusi PLTU-Semen Baturaja (Lampung)	56
Gambar 5.12 Alur Distribusi PLTU-Semen Padang	57
Gambar 5.13 Contoh Perhitungan Biaya Pokok Truk.....	66
Gambar 5.14 Contoh Perhitungan Biaya Operasional Truk.....	67
Gambar 5.15 Contoh Perhitungan Biaya Bahan Bakar Truk	68
Gambar 5.16 Perbandingan Unit Cost.....	69
Gambar 5.17 Perbandingan Unit Cost Demand <i>Fly Ash</i> 2%	74
Gambar 5.18 Perbandingan Unit Cost Demand <i>Fly Ash</i> 5%	75
Gambar 5.19 Sensitivitas Hubungan Antara Material Klinker vs <i>Fly Ash</i>	76

DAFTAR TABEL

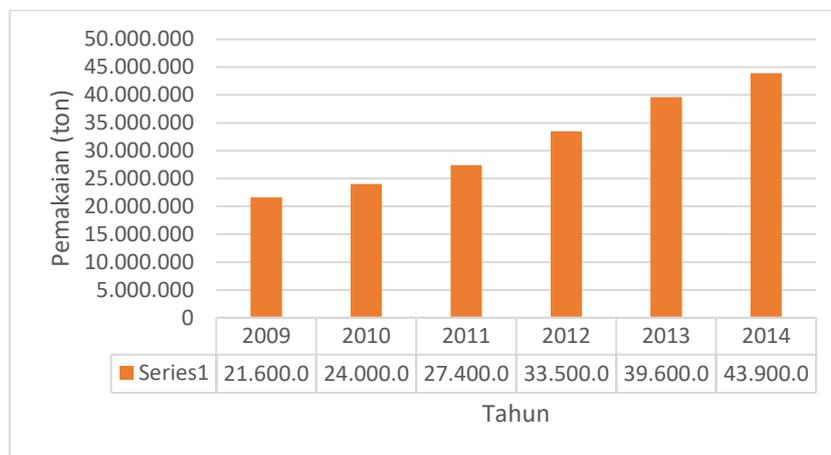
Tabel 2.1 Komposisi dan Klasifikasi <i>Fly Ash</i> (Wardani, 2008).....	10
Tabel 5.1 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Baturaja (Palembang).....	55
Tabel 5.2 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Baturaja (Lampung)	56
Tabel 5.3 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Padang	57
Tabel 5.4 Muatan yang dikirim dari masing-masing PLTU.....	59
Tabel 5.5 Permintaan dari masing-masing pabrik semen.....	59
Tabel 5.6 Kapal Terpilih.....	60
Tabel 5.7 Asumsi yang Digunakan	60
Tabel 5.8 Kapal Terpilih.....	61
Tabel 5.9 Roundtrip Days.....	62
Tabel 5.10 Biaya Pokok Kapal	63
Tabel 5.11 Biaya Operasional Kapal	63
Tabel 5.12 Biaya Bahan Bakar Kapal	64
Tabel 5.13 Biaya Pelabuhan	65
Tabel 5.14 Biaya Satuan.....	65
Tabel 5.15 Transportasi Darat Terpilih	66
Tabel 5.16 Biaya Pokok Truk.....	67
Tabel 5.17 Biaya Operasional Truk.....	67
Tabel 5.18 Biaya Bahan Bakar Truk	68
Tabel 5.19 Biaya Satuan Truk	69
Tabel 5.20 Unit Cost Masing-Masing Moda	69
Tabel 5.21 Total biaya material tanpa fly ash PT Semen Baturaja (Palembang).....	70
Tabel 5.22 Total biaya material tanpa <i>fly ash</i> PT Semen Baturaja (Lampung).....	71
Tabel 5.23 Total biaya material dengan fly ash PT Semen Baturaja (Palembang).....	71
Tabel 5.24 Total biaya material dengan <i>fly ash</i> PT Semen Baturaja (Lampung).....	72
Tabel 5.25 Total biaya material tanpa <i>fly ash</i> PT Semen Padang	72
Tabel 5.26 Total biaya material dengan fly ash PT Semen Padang	73
Tabel 5.27 Unit Cost Masing-Masing Moda Demand <i>Fly Ash</i> 2%.....	74
Tabel 5.28 Unit Cost Masing-Masing Moda Demand <i>Fly Ash</i> 5%	74
Tabel 5.29 Sensitivitas Hubungan Antara Material Klinker vs <i>Fly Ash</i>	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

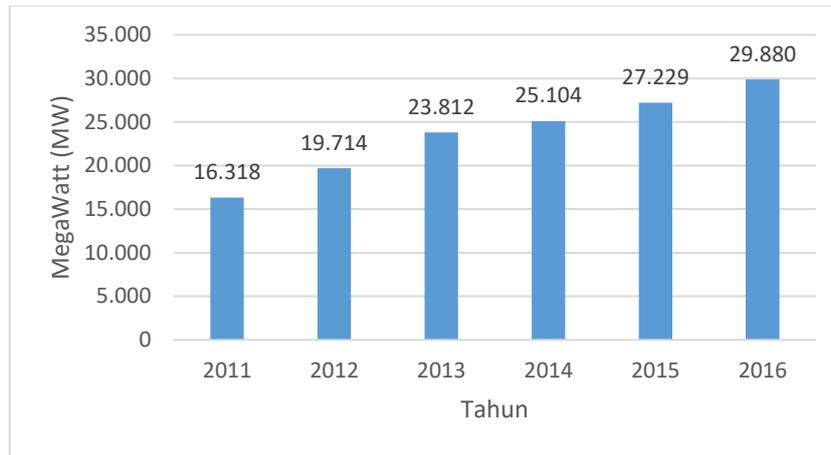
Fly ash batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU), terdapat limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu layang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono D, 2006, dalam Irwanto, 2010).



Gambar 1.1 Pemakaian Batubara PLTU

Sumber : Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM (diolah Kembali)

Dari Grafik menunjukkan perkembangan pemakaian batubara untuk pembangkit listrik, khususnya PLTU di Indonesia dari tahun 2009 hingga 2014. Penggunaan batubara tahun 2009 sebesar 21,6 juta ton, terus naik hingga tahun 2014 penggunaannya mencapai 43,9 juta ton batubara. PLTU merupakan penyumbang terbanyak untuk produksi limbah *fly ash* maupun *bottom ash* karena penggunaan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Walaupun bisa dikatakan sebagai pembangkit yang ramah lingkungan, karena seluruh hasil sisa pembakaran berupa abu terbang dapat ditangkap sehingga tidak terjadi pencemaran udara. Namun abu terbang yang tertangkap tetap menjadi limbah yang dapat membahayakan makhluk hidup disekitarnya karena dengan terus berlangsungnya kegiatan produksi maka abu terbang yang tertangkap akan terus bertambah bila tidak dilakukan pemanfaatan limbah abu terbang tersebut maka jumlah yang menumpuk akan bertambah banyak sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan.



Gambar 1.2 Kapasitas Terpasang pada PLTU

Sumber : Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM (diolah kembali)

Grafik menunjukkan kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Indonesia dari tahun 20011 hingga 2016. Kapasitas tahun 2011 sebesar 16 ribu (MW), terus naik hingga tahun 2016 mencapai 29 ribu (MW). Dengan cadangan batubara yang masih cukup banyak diperkirakan penggunaannya untuk PLTU akan terus berlangsung bahkan kemungkinan adanya penambahan PLTU dengan menggunakan energi batubara. Hal ini tentunya akan meningkatkan jumlah abu hasil pembakaran batu bara atau *fly ash*. Saat ini *fly ash* mulai mendapat perhatian lebih dari kalangan peneliti. Sebagai contoh, saat ini material *fly ash* mulai digunakan sebagai campuran komposisi semen, bangunan rumah, bahkan digunakan dalam pembuatan aspal jalan.

PT Semen Baturaja (Persero) Tbk & PT Semen Padang melakukan upaya pemanfaatan limbah hasil pembakaran batubara dari industri PLTU yaitu *fly ash* dengan cara dijadikan bahan material dalam proses penggilingan semen di *cement mill* guna mengurangi penggunaan klinker yang relatif lebih mahal. Limbah batubara *fly ash* sendiri didapatkan dari PLTU yang berada di sekitar Pulau Sumatera. Limbah pembakaran tersebut harus dimanfaatkan agar tidak banyak merugikan lingkungan. Hal tersebut melatar belakangi penulis untuk membuat Analisis Perencanaan Transportasi Limbah Pembakaran Batubara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus Wilayah Sumatera. Dimana penulis akan merencanakan alternatif transportasi antara moda laut dan moda darat guna mendapatkan biaya pengiriman *minimum cost* yang diharapkan dapat mengurangi biaya operasional khususnya transportasi pada PT Semen Baturaja (Persero) Tbk & PT Semen Padang.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi penggunaan *fly ash* saat ini?
2. Berapa kebutuhan *fly ash* pabrik Semen Baturaja dan Semen Padang dari PLTU?
3. Bagaimana biaya transportasi/distribusi *fly ash* dari PLTU wilayah Sumatera ke Pabrik Semen Baturaja dan Semen Padang?
4. Bagaimana presentase biaya distribusi *fly ash* terhadap harga semen?

1.3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi penggunaan *fly ash* saat ini.
2. Mengetahui kebutuhan *fly ash* pabrik Semen Baturaja dan Semen Padang dari PLTU.
3. Menganalisis biaya transportasi/distribusi *fly ash* dari PLTU wilayah Sumatera ke pabrik Semen Baturaja dan Semen Padang.
4. Menganalisis presentase biaya distribusi *fly ash* terhadap harga Semen Baturaja dan Semen Padang.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah, sebagai berikut:

1. Pelabuhan asal adalah pelabuhan khusus PLTU yang terpilih di wilayah Sumatera.
2. Pelabuhan tujuan adalah pelabuhan khusus milik PT Semen Baturaja dan PT Semen Padang.
3. Daerah yang dibahas dalam pengiriman limbah pembakaran batubara adalah wilayah Sumatera.
4. Kapasitas penampungan limbah milik Pabrik Semen di hiraukan.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai referensi PT Semen Baturaja (Persero) dan PT Semen Padang untuk mengetahui biaya transportasi dan penggunaan moda yang tepat, sehingga nantinya diharapkan dapat memperoleh harga pengiriman paling optimal.

1.6. Hipotesis

Adapun dugaan awal saya dari tugas akhir ini adalah, Pengiriman *fly ash* menggunakan moda laut lebih murah dibandingkan pengiriman menggunakan moda darat.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

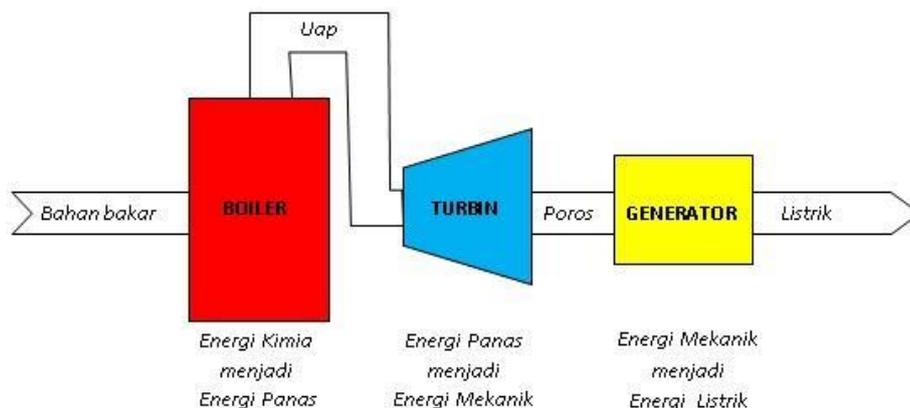
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik tenaga thermal yang mengkonversi energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. PLTU banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Saat ini 60% kebutuhan listrik dunia bergantung pada PLTU batubara. Secara sederhana uap yang dihasilkan oleh pembakaran batubara memutar mesin turbin untuk menghasilkan listrik.

Batubara yang dipakai secara garis besar dibagi menjadi dua bagian yaitu batubara berkualitas tinggi dan batubara berkualitas rendah. Bila batubara yang dipakai kualitasnya baik maka akan sedikit sekali menghasilkan unsur berbahaya, sehingga tidak begitu mencemari lingkungan. Sedang bila batubara yang dipakai mutunya rendah maka akan banyak menghasilkan unsur berbahaya seperti Sulfur, Nitrogen dan Sodium. Keunggulan pembangkit ini adalah bahan bakarnya lebih murah harganya dari minyak dan cadangannya tersedia dalam jumlah besar serta tersebar di seluruh Indonesia.

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Proses Konersi Energi

Sumber : Arief Rakhman, 2013

2.1.1. Bagian Utama PLTU

1. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (*feed water*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan digunakan untuk memutar turbin.

2. Turbin uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

3. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin).

4. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik.

2.1.2. Peralatan Penunjang PLTU

1. *Desalination Plant (Unit Desal)*

Peralatan ini berfungsi untuk mengubah air laut (*brine*) menjadi air tawar (*fresh water*) dikarenakan sifat air laut yang korosif, sehingga jika air laut tersebut dibiarkan langsung masuk ke dalam unit utama, maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan PLTU.

2. *Reverse Osmosis (RO)*

Berfungsi menyaring garam-garam yang terkandung pada air laut, sehingga dapat dihasilkan air tawar seperti pada *desalination plant*.

3. *Demineralizer Plant (Unit Demin)*

Berfungsi untuk menghilangkan kadar mineral (*ion*) yang terkandung dalam air tawar. Air sebagai fluida kerja PLTU harus bebas dari mineral, yang dapat menyebabkan korosi pada peralatan PLTU.

4. *Hydrogen Plant (Unit Hidrogen)*

Digunakan hydrogen (H_2) sebagai pendingin Generator.

5. *Chlorination Plant (Unit Chlorin)*

Berfungsi untuk menghasilkan senyawa natrium hipoklorit ($NaOCl$) yang digunakan untuk memabukkan/melemahkan mikro organisme laut pada area water intake.

6. *Auxiliary Boiler* (Boiler Bantu)

Berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) yang digunakan pada saat boiler utama start up maupun sebagai uap bantu (*auxiliary steam*).

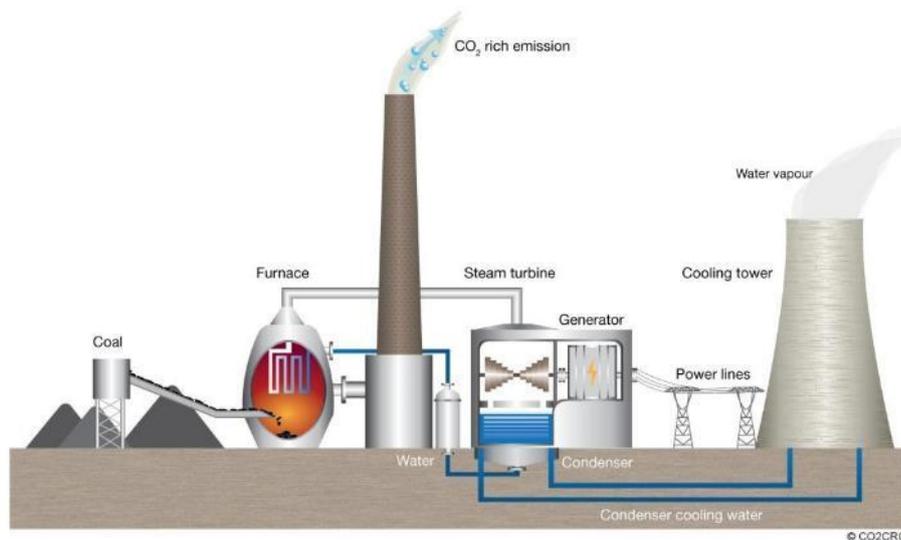
7. *Coal Handling* (Unit Pelayanan Batubara)

Merupakan unit yang melayani pengolahan batubara yaitu dari proses bongkar muat kapal (*ship unloading*) di dermaga, penyaluran ke stock area sampai penyaluran ke bunker unit.

8. *Ash Handling* (Unit Pelayanan Abu)

Merupakan unit yang melayani pengolahan abu baik itu abu jatuh (*bottom ash*) maupun abu terbang (*fly ash*) dari *Electrostatic Precipitator Hopper* dan *SDCC* (*Submerged Drag Chain Conveyor*) pada unit utama sampai ke tempat penampungan abu (*ash valley*).

2.1.3. Proses Kerja PLTU



Gambar 2.2 Proses Kerja PLTU

Sumber : Arief Rakhman, 2013

1. Batubara dihancurkan dan dihaluskan hingga menyerupai tepung, kemudian dicampur dengan udara panas dan disemprot dengan tekanan tinggi sehingga akan terjadi pembakaran yang maksimum ke dalam boiler.
2. Air dialirkan melalui pipa di dalam dinding boiler, dipanaskan menjadi uap hingga mencapai suhu 1000°F dengan tekanan 200 bar dan disalurkan ke turbin.

3. Tekanan uap yang besar akan mendorong poros turbin yang dihubungkan ke poros generator dimana magnet berputar dalam kumparan sehingga menghasilkan listrik.
4. Uap yang keluar dari turbin dialirkan ke kondensor untuk dimasak ulang. Sedangkan air pendingin akan disemprotkan ke dalam cooling tower, kemudian dipompa kembali ke kondensor sebagai air pendingin ulang dan uap air dikembalikan ke boiler untuk mengulangi siklus.

2.2. Abu Batubara (*Fly Ash*)

Abu batubara atau *fly ash* adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu layang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono D, 2006, dalam Irwanto, 2010).

Menurut Acosta, 2009, Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatik precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batubara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas gas buangan, maka partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatik biasanya berukuran (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).



Gambar 2.3 *Fly Ash* Batubara

Sumber : wardani, 2008

Saat ini umumnya *fly ash* digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran untuk produksi semen. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

Konversi abu terbang batubara menjadi zeolit dan adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara. Keuntungan adsorben berbahan baku *fly ash* batubara adalah biayanya murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair (Marinda P, 2008).

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena *fly ash* hasil dari tempat pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* dan *bottom ash* ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.

Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah *fly ash* untuk adsorpsi udara pembakaran dalam kendaraan bermotor belum bisa dimasyarakatkan secara optimal, karena berdasarkan PP. No. 85 tahun 1999 tentang

pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), *fly ash* dan *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Di Indonesia, abu batubara yang dihasilkan dari PLTU banyak yang sudah dimanfaatkan sebagai campuran bahan baku semen atau sebagai campuran bahan konstruksi seperti beton. Abu batubara PLTU dengan boiler tungku jenis *pulverized* khususnya *fly ash* bisa dijual dengan harga sekitar Rp 60.000/ton abu. Sementara itu, abu batubara dari industri yang menggunakan boiler tungku jenis chain grate sebagian digunakan sebagai bahan baku bahan bangunan seperti batako (untuk keperluan internal). Sebagian lain diserahkan ke pihak ketiga dengan mengeluarkan biaya Rp 50.000 – 200.000 /ton (tergantung lokasi pabrik)

2.3. Kandungan Abu Batubara (*Fly Ash*)

Fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008).

Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada

Tabel 2.1 Komposisi dan Klasifikasi *Fly Ash* (Wardani, 2008)

Komponen	Bituminus	Subbituminus	Lignit
SiO_2	20-60	40-60	15-45
Al_2O_3	5-35	20-30	20-25
Fe_2O_3	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO_3	0-4	0-2	0-10
Na_2O	0-4	0-2	0-6
K_2O	0-3	0-4	0-4

Pembakaran batubara lignit dan subbituminous menghasilkan *fly ash* dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous, namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. *Fly ash* batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel *fly ash* hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan *fly ash* berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m²/kg (Marinda P, 2008).

2.4. Proses Pembentukan Abu Batubara (*Fly Ash*)

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. Fluidized bed system adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau corundum yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperatur bakar batubara (300oC) maka diumpankanlah batubara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Teknologi fluidized bed biasanya digunakan di PLTU (Dacosta, 2009).

Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%). *Fixed bed system* atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas conveyor yang berjalan atau grate. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Abu yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Di China, *bottom ash* digunakan sebagai bahan bakar untuk kerajinan besi (pandai besi). Teknologi *Fixed bed system* banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah: (15-25%) berbanding (75-85%) (Koesnadi, 2008).

2.5. Pengertian Semen

Semen berasal dari bahasa latin "*cementum*", dimana kata ini mula-mula dipakai oleh bangsa Roma yang berarti bahan atau ramuan pengikat, dengan kata lain semen dapat didefinisikan adalah suatu bahan perekat yang berbentuk serbuk halus, bila ditambah air

akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat (mineral glue). Pada mulanya semen digunakan orang-orang Mesir Kuno untuk membangun piramida yaitu sejak abad ke-5 dimana batu batanya satu sama lain terikat kuat dan tahan terhadap cuaca selama berabad-abad. Bahan pengikat ini ditemukan sejak manusia mengenal api karena mereka membuat api di gua-gua dan bila api kena atap gua maka akan rontok berbentuk serbuk. Serbuk ini bila kena hujan menjadi keras dan mengikat batu-batuan disekitarnya dan dikenal orang sebagai batu Masonry (Rahadja, 1990).

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Adapun bahan utama yang dikandung semen adalah kapur (CaO), silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), ferro oksida (Fe₂O₃), magnesit (MgO), serta oksida lain dalam jumlah kecil (Rahadja, 1990).

Massa jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 gr/cm³, pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,03 gr/cm³ sampai 3,25 gr/cm³. Variasi ini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian massa jenis ini dapat dilakukan menggunakan Le Chatelier Flask (Rahadja, 1990).

2.6. Teori Optimasi

Optimasi berasal dari kata optimalisasi. Namun, seiring perkembangan zaman, kata optimasi lebih sering digunakan daripada optimalisasi. Dalam permasalahan optimasi biasanya terdiri dari dua tujuan, yaitu memaksimalkan dan meminimumkan. Pengertian dari optimasi adalah suatu proses untuk memaksimalkan atau meminimasi fungsi objektif dengan mempertimbangkan batas-batasnya. Dengan adanya optimasi, desain system akan menghasilkan profit yang lebih banyak, biaya yang lebih murah, dan mempercepat proses. Optimasi ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan di berbagai bidang dengan aplikasi pengambilan keputusan.

Saat ini, permasalahan optimasi memerlukan dukungan software dalam penyelesaiannya sehingga menghasilkan solusi yang optimal dengan waktu perhitungan yang lebih cepat. Untuk menyelesaikan suatu permasalahan biasanya dilakukan dengan mengubah masalah tersebut ke dalam model matematis terlebih dahulu untuk memudahkan penyelesaiannya. Keberhasilan penerapan teknik optimasi, paling tidak memerlukan tiga syarat, yaitu kemampuan membuat model, matematika dari permasalahan yang dihadapi, pengetahuan teknik optimasi, dan pengetahuan akan program komputer.

Optimasi terbagi menjadi dua bagian, yaitu optimasi yang tak terbatas yang hanya dikalikan dengan fungsi objektif yang tak terbatas dan tidak memiliki pembatas, dan optimasi terbatas yang memiliki fungsi objektif yang terbatas atau persyaratan tertentu yang membuat masalah lebih rumit dan memerlukan algoritma yang berbeda untuk diselesaikan. Terdapat banyak teknik optimasi yang telah dikembangkan sampai saat ini, diantaranya adalah linear programming, goal programming, integer programming, nonlinear programming, dan dynamic programming. Penggunaan teknik optimasi tersebut tergantung dari permasalahan yang akan diselesaikan. Pada penelitian ini menggunakan teknik optimasi linear programming dan persoalan combinatorial yang juga merupakan teknik optimasi linear programming dan non-linear programming. Tujuan dari model combinatorial adalah menentukan kombinasi dari beberapa alternatif yang pilihan yang mungkin memenuhi fungsi tujuan.

- *Linear Programming*

Linear Programming adalah suatu teknis matematika yang dirancang untuk membantu manajer dalam merencanakan dan membuat keputusan dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai tujuan perusahaan. Tujuan perusahaan pada umumnya adalah memaksimalkan keuntungan, namun karena terbatasnya sumber daya, maka dapat juga perusahaan meminimalkan biaya. *Linear Programming* memiliki empat ciri khusus, yaitu:

1. Penyelesaian masalah mengarah pada pencapaian tujuan maksimisasi atau minimisasi.
2. Kendala yang ada membatasi tingkat pencapaian tujuan.
3. Ada beberapa alternatif penyelesaian.
4. Hubungan matematis bersifat linear.

Dalam melakukan suatu proses optimasi, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain; variabel parameter, konstanta, batasan, dan fungsi objektif. Berbagai hal di atas nantinya berfungsi sebagai acuan dalam melakukan proses optimasi. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. Variabel merupakan harga-harga yang akan dicari dalam proses optimasi.
2. Parameter adalah harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimasi karena adanya syarat-syarat tertentu. Atau dapat juga suatu variabel yang diberi harga. Data tersebut dapat diubah setelah satu kali proses untuk menyelidiki kemungkinan terdapatnya hasil yang lebih baik.

3. Batasan adalah harga-harga atau nilai-nilai batas yang telah ditentukan baik oleh perencana, pemesan, peraturan, atau syarat-syarat yang lain.
4. Fungsi objektif merupakan hubungan dari keseluruhan atau beberapa variabel serta parameter yang harganya akan dioptimalkan. Fungsi tersebut dapat berbentuk linear, non linear, atau gabungan dari keduanya dengan fungsi yang lain.

Secara umum, fungsi atau persamaan dari suatu optimasi dapat dituliskan seperti berikut:

$$\text{Max/Min (Z)} = X + Y \rightarrow \text{Fungsi Objektif}$$

Subject to:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 + x_2 \leq a \\ x_2 \leq b \end{array} \right\} \text{Batasan}$$

Secara teknis, ada lima syarat tambahan dari permasalahan *linear programming* yang harus diperhatikan yang merupakan asumsi dasar, yaitu:

1. *Certainty* (kepastian). Maksudnya adalah fungsi tujuan dan fungsi kendala sudah diketahui dengan pasti dan tidak berubah selama periode Analisis.
2. *Proportionality* (proporsionalitas). Yaitu adanya proporsionalitas dalam fungsi tujuan dan fungsi kendala.
3. *Additivity* (penambahan). Artinya aktivitas total sama dengan penjumlahan aktivitas individu.
4. *Divisibility* (bisa dibagi-bagi). Maksudnya solusi tidak harus merupakan bilangan integer (bilangan bulat), tetapi bisa juga berupa pecahan.
5. *Non-negative variable* (variabel tidak negatif). Artinya bahwa semua nilai jawaban atau variabel tidak negatif.

Dalam menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan *Linear Programming*, ada dua pendekatan yang bisa digunakan, yaitu metode grafik dan metode simpleks. Metode grafik hanya bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dimana variabel keputusan sama dengan dua. Sedangkan metode simpleks bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dimana variabel keputusan dua atau lebih.

- *Linear Programming dengan Solver Excel*

Dalam prakteknya, di mana model pemrograman linear khas mungkin melibatkan ribuan variabel dan kendala, satu-satunya cara layak untuk memecahkan model tersebut

adalah dengan menggunakan komputer. Bagian ini menyajikan dua jenis berbeda dari perangkat lunak populer: *Excel Solver* terutama menarik bagi pengguna *spreadsheet*.

2.7. Komponen Biaya Transportasi Laut

Biaya Transportasi Laut dalam pelayaran digunakan untuk menghitung besarnya biaya-biaya yang timbul akibat pengoperasian kapal (Wijnolst & Wergeland, 1997). Pada pelayaran tidak terdapat standart cost classification yang digunakan secara internasional, sehingga digunakan pendekatan untuk mengklasifikasikannya. Sehingga untuk klasifikasi biaya-biaya tersebut meliputi biaya modal, biaya pelayaran, biaya operasional, dan biaya bongkar muat. Biaya-biaya ini perlu diklasifikasikan dan dihitung agar dapat memperkirakan tingkat kebutuhan pembiayaan kapal.

2.7.1. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Capital cost adalah harga kapal pada saat dibeli atau dibangun. *Capital cost* disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal tergantung pada bagaimana pengadaan kapal tersebut. Pengembalian pinjaman ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan. (Wuryaningrum, 2014). Untuk *capital cost* dalam penelitian ini disamakan dengan *time charter hire* dari setiap moda perbandingan.

2.7.2. Biaya Operasional (*Operating Cost*)

Operational cost adalah biaya-biaya tetap yang dikeluarkan sehari-hari untuk menjadikan kapal selalu dalam keadaan siap berlayar. Komponen dari biaya operasional adalah gaji ABK, perawatan dan perbaikan, bahan makanan, stores, minyak pelumas, asuransi dan administrasi. Dapat dituliskan sebagai berikut. (Wuryaningrum, 2014)

$$OC = M+ST+MN+I+A$$

Keterangan:

$$OC = \textit{Operating Cost}$$

$$M = \textit{Manning}$$

$$ST = \textit{Stores}$$

$$MN = \textit{Maintenance and Repair}$$

$$I = \textit{Insurance}$$

$$AD = \textit{Administration}$$

a. *Manning Cost*

Manning Cost adalah biaya untuk anak buah kapal atau juga disebut *crew cost*. Biaya biaya tersebut termasuk gaji pokok, tunjangan, asuransi soisla, dan uang pension.

Besarnya crew cost ditentukan oleh jumlah dan struktur pembagian kerja, dalam hal ini hal tersebut bergantung pada ukuran teknis kapal.

b. Stores Cost

Sering disebut juga sebagai biaya perbekalan atau persediaan .Stores cost dikategorikan menjadi 2 macam yaitu untuk keperluan kapal (cadangan perlengkapan dan peralatan kapal) dan keperluan crew (bahan makanan).

c. Maintenance and Repair Cost

Merupakan biaya perawatan dan perbaikan untuk mempertahankan kondisi kapal sesuai standar perusahaan maupun persyaratan dari biro klasifikasi, biaya ini dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

1. Survey klasifikasi

Kapal harus melakukan regular dry docking setiap dua tahun dan special survey tiap empat tahun sekali, hal ini dimaksudkan untuk mempertahankan kelas untuk tujuan asuransi.

2. Perawatan rutin

Meliputi perawatan mesin induk dan mesin bantu cat, banguna atas dan pengedokan, biaya perawatan ini semakin bertambah seiring umur kapal.

3. Perbaikan

Adanya kerusakan bagian kapal yang harus segera diperbaiki.

d. Insurance Cost

Merupakan biaya asuransi yang dikeluarkan sehubungan dengan resiko pelayaran yang dilimpahkan kepada perusahaan asuransi, komponen biaya ini berbentuk pembayaran premi asuransi kapal yang besarnya tergantung dari umur kapal. Makin tinggi resiko yang mungkin didapatkan kapal selama beroperasi maka semakin besar pula premi yang dikenakan. Ada dua jenis asuransi yang dipakai oleh perusahaan pelayaran terhadap kapalnya yaitu:

1. *Hull and machinery insurance*

Perlindungan terhadap badan kapal dan permesinannya.

2. *Protection and indemnity insurance*

Asuransi terhadap kewajiban pihak ketiga seperti kecelakaan atau meninggalnya awak kapal, penumpang, kerusakan dermaga, kehilangan atau kerusakan muatan.

e. Dokumen dan Administrasi

Biaya dokumen dan administrasi diantaranya adalah biaya pengurusan surat-surat kapal, biaya sertifikat dan pengurusannya, biaya pengurusan ijin kepelabuhan

maupun fungsi administratif lainnya, biaya ini disebut juga biaya *overhead* yang besarnya tergantung dari besar kecilnya perusahaan dan jumlah armada yang dimiliki.

2.7.3. Biaya Pelayaran (*Voyage Cost*)

Biaya pelayaran adalah biaya-biaya variable yang dikeluarkan kapal untuk kebutuhan selama pelayaran. Komponen-komponennya adalah:

$$VC = FC + PD$$

Keterangan:

$$VC = \textit{Voyage Cost}$$

$$PD = \textit{Port Dues}$$
 (ongkos pelabuhan)

$$FC = \textit{Fuel Cost}$$

1. *Fuel Cost*

Biaya bahan bakar tergantung pada konsumsi dari kapal tersebut selama berlayar di laut. Dan di pelabuhan dan harga dari bahan bakar itu sendiri. Konsumsi bahan bakar dari kapal tergantung pada ukuran kapal, bentuk dan kondisi lambung, rute yang ditempuh, kecepatan, cuaca, jenis dan kapasitas dari mesin induk dan mesin bantu, dan kualitas dari bahan bakar. Umumnya bahan bakar yang biasa digunakan adalah HSD, MDO, dan HFO.

2. *Port Cost*

Pada saat kapal dipelabuhan biaya-biaya yang dikeluarkan meliputi *port dues* dan *service charges*. *Port dues* adalah biaya yang dikenakan atas penggunaan fasilitas pelabuhan seperti dermaga, tambatan, kolam pelabuhan dan infrastruktur lainnya yang besarnya tergantung volume *cargo*, berat *cargo*, GRT kapal dan NRT kapal. *Service charge* meliputi jasa yang dipakai kapal selama dipelabuhan termasuk pandu dan tunda.

a. Jasa labuh

Jasa labuh dikenakan terhadap kapal yang menggunakan perairan pelabuhan. Tarif jasa labuh didasarkan pada *gross register ton* dari kapal yang dihitung per 10 hari.

b. Jasa tambat

Setiap kapal yang berlabuh di pelabuhan Indonesia dan tidak melakukan kegiatan, kecuali kapal perang dan kapal pemerintah Indonesia, akan dikenakan jasa tambat. Ketentuan jasa tambat diatur dalam Surat Keputusan Menteri Perhubungan Nomor: KM 65 Tahun 1994, Bab III Pasal 4 yang berisi:

1. Tarif jasa tambat dikenakan terhadap kapal yang bertambat di tambatan beton dan besi/kayu, pelampung dan *breasting dolphin* pinggiran serta kapal yang merapat pada kapal lain yang sedang sandar/tambat.
 2. Terhadap kapal ro-ro dan ferry yang apabila bertambat pada tambatan menggunakan *rampdoor*, dikenakan tarif tambatan sebesar 25% (dua puluh lima persen) dari tarif dasar.
 3. Kapal yang bertambat diberi batas waktu sebagai berikut :
 - a. Kapal yang berukuran sampai dengan 999 GRT diberi batas waktu 3 etmal.
 - b. Kapal yang berukuran 1.000 GRT sampai dengan 2.499 GRT diberi batas waktu 4 etmal.
 - c. Kapal yang berukuran 2.500 GRT sampai dengan 4.999 GRT diberi batas waktu 6 etmal.
 - d. Kapal yang berukuran 5.000 GRT sampai dengan 9.999 GRT diberi batas waktu 8 etmal.
 - e. Kapal yang berukuran 10.000 GRT sampai dengan 14.999 GRT diberi batas waktu 10 etmal.
 - f. Kapal yang berukuran 15.000 GRT ke atas diberi batas waktu 14 etmal.
 4. Kelebihan waktu tambat dari batas waktu sebagaimana dimaksud dalam ayat 3) dikenakan tarif jasa tambat sebesar 200% (dua ratus persen) dari tarif dasar.
 5. Tarif jasa tambat dihitung sekurang-kurangnya untuk $\frac{1}{4}$ etmal (6 jam) dengan pembulatan sebagai berikut :
 - a. Pemakaian tambat sampai dengan 6 jam dihitung $\frac{1}{4}$ etmal.
 - b. Pemakaian tambat lebih dari 6 jam sampai dengan 12 jam dihitung $\frac{1}{2}$ etmal.
 - c. Pemakaian tambat lebih dari 12 jam sampai dengan 18 jam dihitung $\frac{3}{4}$ etmal.
 - d. Pemakaian tambat lebih dari 18 jam sampai dengan 24 jam dihitung 1 etmal.
- c. Jasa pemanduan
- Setiap kapal yang berlayar dalam perairan pelabuhan waktu masuk, keluar, atau pindah tambatan wajib mempergunakan pandu. Sesuai dengan tugasnya, jasa pemanduan ada dua jenis, yaitu pandu laut dan pandu bandar,
- a. Pandu Laut adalah pemanduan di perairan antara batas luar perairan hingga batas pandu bandar.
 - b. Pandu Bandar adalah pandu yang bertugas memandu kapal dari batas perairan bandar hingga kapal masuk di kolam pelabuhan dan sandar di dermaga.

2.7.4. Biaya Bongkar Muat (*Cargo Handling Cost*)

Tujuan dari kapal niaga adalah memindahkan muatan dari pelabuhan yang berbeda. Untuk mewujudkan hal tersebut, muatan harus dipindahkan dari kapal ke dermaga ataupun sebaliknya, atau dari kapal ke kapal atau tongkang. Biaya yang harus dikeluarkan untuk memindahkan itulah yang dikategorikan sebagai biaya bongkar muat. Biaya bongkar muat ditentukan oleh beberapa faktor, seperti jenis komoditi (minyak, bahan kimia, semen, gandum, hasil hutan, peti kemas), jumlah muatan, jenis kapal, dan karakteristik dari terminal dan pelabuhan. Proses bongkar muat kapal di terminal dilakukan oleh perusahaan bongkar muat atau oleh penerima atau pengirim muatan.

Adapun kegiatan yang dilakukan dalam kegiatan bongkar muat pada umumnya berupa *stevedoring*, *cargodoring*, *receiving/delivery*. Kegiatan tersebut dilaksanakan oleh perusahaan bongkar muat (PBM) sesuai dengan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor: KM 14 Tahun 2002 Tentang Penyelenggaraan dan Pengusahaan Bongkar Muat barang dari dan ke kapal, adapun istilah dalam kegiatan bongkar muat dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Stevedoring* adalah pekerjaan membongkar barang dari kapal ke dermaga/truk/tongkang atau sebaliknya sampai dengan tersusun dalam palka kapal dengan menggunakan derek kapal atau derek darat.
- b. *Cargodoring* adalah pekerjaan melepaskan barang dari tali/jala-jala di dermaga dan mengangkut dari dermaga ke gudang/lapangan penumpukan barang selanjutnya menyusun di gudang/lapangan penumpukan dan sebaliknya.
- c. *Receiving/delivery* adalah pekerjaan memindahkan barang dari timbunan/tempat penumpukan di gudang/lapangan penumpukan dan menyerahkan sampai tersusun diatas kendaraan di pintu gudang/lapangan atau sebaliknya.
- d. Perusahaan Bongkar Muat adalah badan hukum Indonesia yang khusus didirikan untuk menyelenggarakan dan mengusahakan kegiatan bongkar muat barang dari dan ke kapal.
- e. Tenaga Kerja Bongkar Muat adalah semua tenaga kerja yang terdaftar pada pelabuhan setempat yang melakukan pekerjaan bongkar muat di pelabuhan.

2.7.5. Biaya per Satuan Unit (*Unit Cost*)

Biaya satuan (*unit cost*) adalah biaya yang dikeluarkan atau diperlukan untuk produksi satu barang. Dalam penelitian ini produksi yang dimaksud adalah pengiriman, sehingga unit cost dalam penelitian ini adalah besar biaya (*cost*) yang dibutuhkan untuk mengirim satu barang (kendaraan) dari asal (*origin*) ke tujuan (*destination*). Untuk

menentukan unit cost perlu diketahui total biaya-biaya (TC) yang mempengaruhi pengiriman ini.

$$UC = TC/TO$$

$$TC = VC+CC+CHC$$

Keterangan:

$$UC = \textit{unit cost}$$

$$TC = \textit{total cost}$$

$$TO = \textit{total output}$$
 (jumlah barang keseluruhan yang dikirim)

$$VC = \textit{voyage cost}$$

$$CC = \textit{capital cost (time charter hire)}$$

$$CHC = \textit{cargo handling cost}$$

2.8. Komponen Biaya Transportasi Darat

Pada buku *Supply Chain Logistical Management* (Closs, 2002) komponen dari biaya transportasi adalah biaya *Variabel* dan *Fixed*.

1. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

Fixed cost adalah biaya yang sudah dipastikan tetap ada meskipun tidak ada aktifitas pengiriman. Contoh biaya *fixed cost* dalam masalah transportasi darat adalah biaya sewa truk, dan gaji supir truk

$$FC = BT + BG$$

Dimana:

$$FC = \textit{Fixed Cost}$$

$$BT = \textit{Biaya Sewa Truk}$$

$$BG = \textit{Biaya Gaji Supir}$$

2. Biaya Variabel

Biaya variabel adalah biaya yang muncul setiap ada aktifitas pengiriman muatan. Contoh biaya variabel adalah biaya BBM, bongkar muat, biaya parkir dan keperluan lainnya.

$$VC = BB + BM + BL$$

Dimana:

$$VC = \textit{Variable Cost}$$

$$BB = \textit{Biaya Bahan Bakar}$$

BM = Biaya Bongkar Muat

BL = Biaya Lain-lain

2.9. Moda yang Digunakan Dalam Model

Untuk distribusi *fly ash* pada penelitian ini digunakan alternatif moda yaitu moda laut dan moda darat berikut alternative moda yang digunakan :

2.9.1. Bulk Carrier

Kapal ini memiliki spesifikasi mengangkut muatan curah. Dikatakan curah karena cara meletakkan muatan dengan cara mencurahkan/menuangkan butiran/biji-bijian. Produk muatan yang berbentuk curah terdiri dari berbagai macam. Berdasarkan jenis muatannya kapal bulk carrier terbagi atas beberapa kelompok :

1. *Grain carrier* (biji tumbuh-tumbuhan), contohnya ;
 - a. Gandum
 - b. Jagung
 - c. Kedelai
2. *Ore carrier* (bijih tambang), contohnya ;
 - a. Besi
 - b. Chrom
 - c. Mangan
 - d. Bauksit
3. *Coal carrier* (disingkat : *collier*) atau muatan batu bara
4. *Oil-ore carrier*, muatan yang diangkut batu bara dan minyak secara bergantian
5. *Coal-ore carrier*, memuat batu bara dan bijih besi secara bergantian.

Berdasarkan ukuran bobot mati, tipe bulk carrier di bedakan menjadi :

1. Handy size BC berukuran 10000-35000 DWT
2. Handy max BC berukuran 35000-50000 DWT
3. Panamax BC berukuran 50000-80000 DWT
4. Capsize berukuran lebih dari 80000 DWT.

Berdasarkan spesifikasinya yang khusus, kapal bulk carrier memiliki karakteristik umum yang menonjol. Beberapa ciri kapal bulk carrier adalah sebagai berikut :

1. Memiliki single deck.

Kapal muatan curah tidak memerlukan deck tambahan di ruang muat karena muatannya ditimbun begitu di atas pelat alas dalam kapal hingga pada batas tertentu. Untuk itu konstruksi alas pada kapal bulk carrier harus lebih diperkuat.

2. Posisi kamar mesin di belakang kapal, alasan yang dipilih adalah :
Kamar mesin yang lebih luas, karena pada umumnya kapal *Bulk Carrier* adalah kapal yang memuat muatan curah kering dalam jumlah besar maka ukuran mesin induk umumnya juga relatif besar.
3. Memiliki *top side tank* dan *hopper side tank*. Di pakai untuk mengurangi pergeseran muatan.
4. Orientasi perencanaan kapal adalah kapasitas muatan sebesar-besarnya. Namun ukuran kapal di batasi kedalaman pelabuhan.

Besar ukuran kapal BC bergantung pada ukuran/kedalaman dermaga pelabuhan tujuan. Sebab bongkar muat bulk carrier harus merapat sedekat mungkin dengan dermaga (maksimal 10 m). Berbeda dengan kapal tanker, bongkar muat kapal tanker dapat dilakukan dari jarak yang jauh dari dermaga karena menggunakan pipa. Jaraknya dapat berkisar antara 10 – 50 m

Volume ruang muat bergantung pada jenis muatan. Untuk *payload* yang sama, volume muatan batu bara akan berbeda dengan volume yang dibutuhkan untuk mengangkut gandum. Perbedaan volume ini digambarkan dalam sebuah koefisien ruang muat yang biasanya disebut *specific volume*, nilainya berbeda-beda untuk setiap jenis muatan. Sebagai contoh:

1. tumbuh-tumbuhan = 58 ft³/ton
2. hasil tambang = 14 – 20 ft³/ton
3. batu bara = 48 ft³/ton

Karena muatannya yang sangat berat (membutuhkan volume displasmen yang besar), maka kapasitas ruang muat kapal BC biasanya hanya terisi 30 – 40% dari volume ruang muat keseluruhan.

Specific volume berbeda dengan *stowage factor*, *stowage factor* digunakan pada kapal yang memerlukan penataan tata letak muatan, misalnya kapal general cargo. *Stowage factor* general cargo berkisar antara 1.2 – 1.7 m³/ton

Kapal BC memiliki persyaratan *ballast* tersendiri, menurut rumus D. Anderson, seorang designer harus mampu mengatur volume *ballast* sedemikian sehingga dapat memenuhi kondisi berikut :

$$T_f = 0.027 - 0.03 L_{wl}$$

$$T_a = 0.04 - 0.045 L_{wl}$$

2.9.2. Self Propelled Barge



Gambar 2.4 Self Propelled Barge

Sumber : PT Anggrek Hitam

Kapal *Self Propelled Barge* adalah kapal *barge* atau tongkang yang dibangun terutama untuk barang yang dapat melalui sungai atau kanal dengan memiliki mesin penggerak sendiri.

2.9.3. Barge



Gambar 2.5 Barge

Sumber : PT Karmajaya Wira Bakti

Tongkang atau Ponton adalah suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, digunakan untuk mengangkut barang dan ditarik dengan kapal tunda atau digunakan untuk mengakomodasi pasang-surut seperti pada dermaga apung. Ponton digunakan juga untuk mengangkut mobil menyeberangi sungai, di daerah yang belum memiliki jembatan. Sangat banyak digunakan pada tahun 1960an hingga 1980an di jalur lintas Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua. Sekarang sebagian besar sudah digantikan dengan jembatan.

Untuk keperluan wisata, ponton juga masih digunakan. Untuk meningkatkan kestabilan kapal biasanya digunakan dua ponton yang digabungkan secara paralel. tongkang sendiri tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) seperti kapal pada umumnya. Pembuatan kapal tongkang juga berbeda karena hanya konstruksi saja, tanpa sistem seperti kapal pada

umumnya. Tongkang sendiri umum digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain. Di Indonesia tongkang banyak diproduksi di daerah Batam (Kepulauan Riau) yang merupakan salah satu basis produksi perkapalan di Indonesia.

2.9.4. Truck



Gambar 2.6 Truk Tangki Curah Kering

Sumber : PT Semen Indonesia

Untuk pendistribusian *fly ash* melalui moda transportasi darat maka dibutuhkan fasilitas pengangkut, berupa kendaraan. Secara umum, ada dua jenis tipe muatan curah yaitu curah (tanpa dikemas) atau in bag (dalam kemasan). Dari jenis muatan yang diangkut maka disini yang dibahas adalah truk tangki curah kering.

2.10. *Shipping* (Pelayaran)

Shipping atau pelayaran adalah proses fisik pemindahan barang atau kargo dengan menggunakan jalur darat, udara, maupun laut. Untuk pemindahan dengan jalur darat biasanya menggunakan truk atau kereta api. Tetapi untuk jalur udara dan laut biasanya juga akan tetap menggunakan truk atau kereta api untuk mengangkut barang atau kargo dari tempat asal menuju bandara atau pelabuhan dan dari bandara atau pelabuhan menuju lokasi yang ditetapkan. Istilah “*shipping*” ini kebanyakan digunakan untuk kapal yang sebenarnya, yang diartikan sebagai pemindahan suatu objek menggunakan kapal

Dalam pengoperasian kapal ada beberapa pola *shipment* yang biasa digunakan dalam perjalanannya, yaitu:

1. Trumper, merupakan pola perjalanan kapal yang melalui rute yang cenderung tidak tetap atau berdasarkan spot tertentu menuju spot lain yang memiliki prospek barang atau kargo untuk diangkut.
 - a. Memiliki prinsip utama: “*one ship, one cargo*”. Biasanya hal ini berlaku untuk muatan curah / bulk.

- b. Tidak ada jadwal tetap, jadwal tergantung oleh ketersediaan cargo
 - c. Tidak ada rute tetap, rute tergantung ketersediaan cargo
 - d. Tarif tidak tetap: penentuan tarif tergantung pasar dan negosiasi
2. Liner, merupakan pola perjalanan kapal yang melalui rute yang tetap dengan waktu yang terjadwal.
- a. Kargo yang kecil untuk dimuat pada kapal dan butuh dikelompokkan
 - b. Layanan reguler untuk banyak pengiriman muatan kecil : butuh banyak dokumen
 - c. *Charge individual consignment on a fixed tariff* : menentukan profit secara keseluruhan lebih sulit
 - d. Pemuatan cargo (*stowage plan*) lebih sulit
 - e. Jadwal dan rute fixed
 - f. Perencanaan tonase armada lebih rumit
3. *Semi Liner*, merupakan pola perjalanan kapal gabungan antara *liner* dan *tramper* yang memiliki rute yang tetap sama seperti *liner* tetapi pada pelaksanaannya dimungkinkan untuk melakukan pola *tramping* yang tidak tetap bila menguntungkan dan bila perjalanan tersebut sudah selesai akan kembali lagi ke pola *liner* yang semula.

Dalam aktivitas shipping business, terdapat empat pasar yang berpengaruh, diantaranya:

- a. *New Building Market* : pasar dimana *shipping company* mengorder kapal
- b. *Freight Market* : pasar dimana *shipping company* menjual jasa transportasi (*charter*)
- c. *Sale and Purchase Market* : pasar dimana *shipping company* menjual atau membeli kapal bekas
- d. *Demolition Market* : pasar dimana *shipping company* melakukan *scrapping* kapal.

2.11. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter-parameter produksi terhadap perubahan kinerja sistem produksi dalam menghasilkan keuntungan.

Alasan dilakukannya analisis sensitivitas adalah untuk mengantisipasi adanya perubahan-perubahan berikut:

- 1. Adanya cost overrun, yaitu kenaikan biaya-biaya, seperti biaya konstruksi, biaya bahan-baku, produksi, dsb.

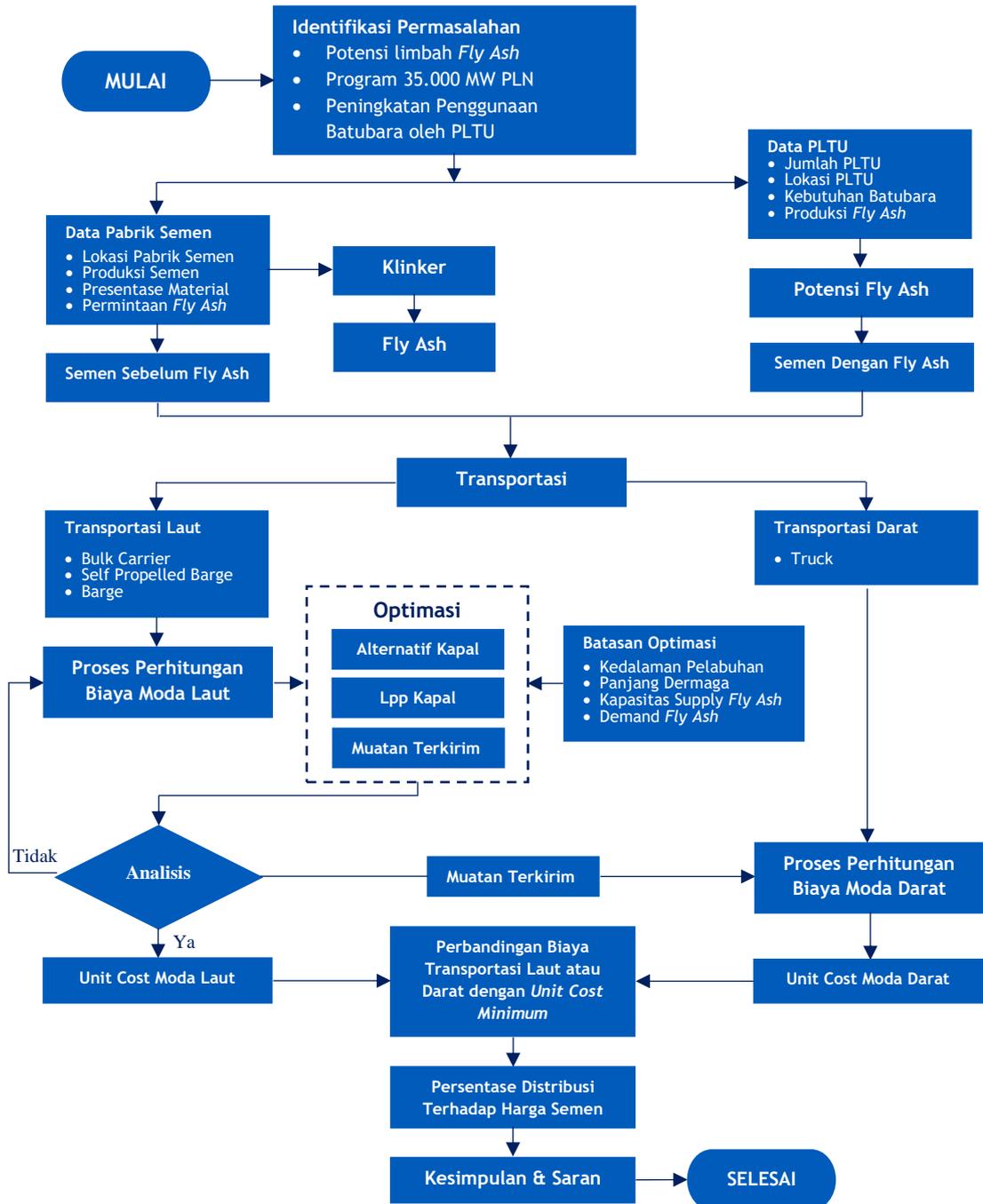
2. Penurunan produktivitas
3. Mundurnya jadwal pelaksanaan proyek

Setelah melakukan analisis dapat diketahui seberapa jauh dampak perubahan tersebut terhadap kelayakan proyek pada tingkat mana proyek masih layak dilaksanakan. Analisis sensitivitas juga merupakan analisis mengenai bagaimana jika asumsi – asumsi yang digunakan sebagai input dalam perhitungan ini berubah dan bagaimana pengaruhnya terhadap hasilnya atau output. Analisis ini juga biasa disebut dengan what-if analysis. Analisis sensitivitas merupakan bagian terpenting dalam proses pengambilan keputusan karena pengambil keputusan dapat mengetahui tingkat sensitivitas keputusan yang diambil atau kemungkinan perubahan-perubahan yang terjadi pada variabel-variabel yang digunakan. Oleh karena itu, analisis sensitivitas selalu dilakukan pada tahap akhir setelah dilakukannya analisis perhitungan dalam suatu penelitian. (Hapis, Muhammad, 2016)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada tugas perencanaan transportasi ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Prosedur dalam pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir diatas, yaitu:

3.1.1. Tahap Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi mengenai permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Permasalahan yang timbul adalah terjadinya peningkatan jumlah penggunaan batubara dan bertambahnya kapasitas PLTU setiap tahunnya ditambah dengan program dari presiden Jokowi 35.000 MW. Seiring dengan bertambahnya penggunaan batubara limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran juga meningkat. Sedangkan potensi limbah pembakaran batubara (*fly ash*) bias untuk bahan baku campuran pembuatan semen untuk mengurangi penggunaan clinker yang mana harga klinker relatif lebih mahal.

3.1.2. Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan dua cara yaitu :

a. Pengumpulan data secara langsung (Data Primer)

Pengumpulan data secara langsung ini dilakukan dengan metode:

- Wawancara Langsung

Wawancara dilakukan terhadap semua pihak yang berkepentingan dalam penulisan Tugas Akhir ini, antara lain dengan karyawan PT PLN, Sektor Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan, Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan, karyawan PT Semen Baturaja (Persero). Karena studi yang dilakukan terkait dengan kondisi yang terus mengalami perkembangan, data primer menjadi sangat penting peranannya dalam mengetahui kondisi saat ini yang terjadi saat ini.

- Survey Kondisi Lapangan

Survey kondisi lapangan dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan & PT Semen Baturaja (Persero), dengan tujuan untuk mengetahui perlakuan *fly ash* dan kondisi pengangkutan limbah pembakaran batubara (*fly ash*) pada saat ini.

b. Pengumpulan data secara tidak langsung (Data Sekunder)

Pengumpulan data seperti ini dilakukan peneliti dengan mengambil data seperti, produksi semen dan konsumsi batubara pada daerah yang diteliti. Pengumpulan data secara sekunder dilakukan dengan mengambil beberapa data yang disediakan oleh perusahaan pada website perusahaan terkait.

3.1.3. Tahap Perhitungan Biaya Moda Laut

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya menggunakan alternatif moda yaitu : Kapal *Bulk Carrier*, *Self Propelled Barge*, *Barge* (Tongkang). Dalam perhitungan biaya akan dilakukan beberapa skenario untuk mengetahui alternatif moda mana yang memiliki biaya transportasi paling murah per unit untuk mengangkut muatan limbah batubara (*fly ash*) dari PLTU ke pabrik Semen Baturaja & pabrik Semen Padang.

3.1.4. Tahap Optimasi

Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan beberapa alternatif rute pengiriman dan satu model terpilih. Pada tahap pembuatan model optimisasi menggunakan metode optimisasi *Non Linear Programming* dengan hasil keluaran (*output*) berupa penugasan kapal terpilih dengan kriteria biaya minimal (*minimum total cost*) serta menghasilkan unit cost paling minimum dan jumlah *fly ash* yang terkirim dari PLTU menuju pabrik semen.

3.1.5. Tahap Perhitungan Transportasi Darat

Setelah dilakukan optimasi maka akan muncul muatan terkirim dari masing-masing PLTU guna dilakukan perhitungan biaya menggunakan moda darat yaitu berupa truk dengan asal dan tujuan yang sama seperti moda laut dan muatan terkirim yang sama untuk menghitung unit cost.

3.1.6. Tahap Perbandingan Biaya Moda Laut dan Moda Darat

Pada tahap ini akan dipilih transportasi dengan biaya satuan paling murah antara moda laut dan moda darat guna mendistribusikan *fly ash* dari PLTU menuju pabrik Semen.

3.1.7. Tahap Presentase Distribusi Terhadap Harga Semen

Pada tahap ini akan dibandingkan antara pengiriman material saat ini berupa klinker yang akan dibandingkan dengan material *fly ash* yang akan digunakan sebagai alternatif bahan campuran semen. Setelah itu akan dibandingkan total biaya material dan masing masing biaya transportasi antara klinker dan *fly ash*.

3.1.8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan sebuah penarikan kesimpulan yang akan menjawab semua permasalahan pada penelitian ini dan penulisan saran terhadap pihak-pihak terkait sebagai sesuatu yang harus dipertimbangkan.

3.2. Model Matematis

Penentuan model matematis dari model yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan adalah model optimasi yang bertujuan meminimumkan total *unit cost* dalam mendistribusikan muatan ke pelabuhan tujuan, *unit cost* sendiri diperoleh dari total biaya transportasi laut dibagi dengan total muatan yang terangkut. Berikut adalah model optimasi yang dirumuskan :

$$\text{Objective Function :} \quad \text{Minimum } Z = \frac{TC}{MT}$$

$$\text{Minimum } Z = \sum_{i=3}^7 \left(\frac{(CC_i \times n_i) + (OC_i \times n_i) + (VC_i \times f_i) + (CHC_i \times f_i)}{MT_i} \right)$$

Keterangan :

Z	= Unit Cost (Rp/Ton)
TC	= Total Cost
MT	= Muatan Terkirim (<i>Fly Ash</i> terkirim dari PLTU/tahun)
CC	= Capital Cost
OC	= Operational Cost
VC	= Voyage Cost
CHC	= Cargo Handling Cost
n	= Jumlah Kapal (Unit)
f	= Frekuensi (kali)
i	= Rute
D	= Demand
T	= Sarat Kapal

Decision Variable :

LPP	: Panjang garis kapal antara garis kemudi dengan garis tegak depan
MT	: Terkirim (<i>Fly Ash</i> terkirim dari PLTU dalam satu tahun)

Subject to Constraint :

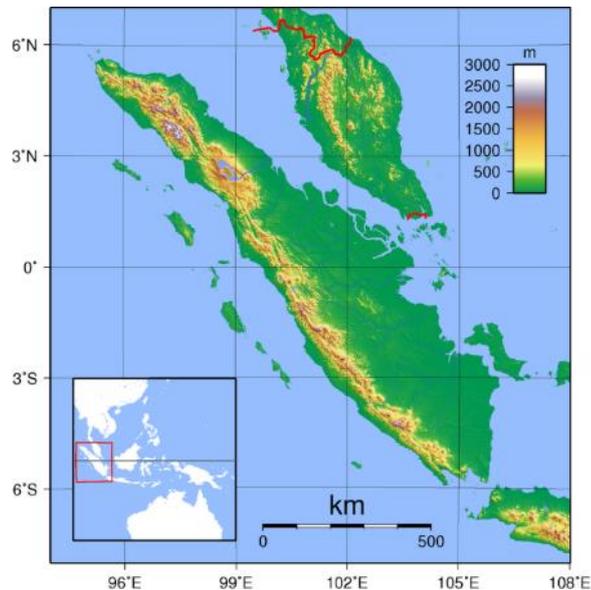
- $Lpp_{min} \leq Lpp \leq Lpp_{maks}$ (Panjang Dermaga)
- $T_{min} \leq T \leq T_{maks}$
- $MT_{min} \leq MT \leq MT_{maks}$
- $MT = int$
- $MT = D$

BAB 4

GAMBARAN UMUM

4.1. Pulau Sumatera

Sumatera adalah pulau keenam terbesar di dunia yang terletak di Indonesia, dengan luas 473.481 km². Penduduk pulau ini sekitar 52.210.926 (sensus 2010). Secara umum, pulau Sumatera didiami oleh bangsa Melayu, yang terbagi ke dalam beberapa suku. Suku-suku besar ialah Aceh, Batak, Melayu, Minangkabau, Basemah, Rejang, Ogan, Komerling, dan Lampung. Di wilayah pesisir timur Sumatera dan di beberapa kota-kota besar seperti Medan, Batam, Palembang, Pekanbaru, dan Bandar Lampung, banyak bermukim etnis Tionghoa. Penduduk pulau Sumatera hanya terkonsentrasi di wilayah Sumatera Timur dan dataran tinggi Minangkabau. Mata pencaharian penduduk Sumatera sebagian besar sebagai petani, nelayan, dan pedagang.



Gambar 4.1 Topografi Pulau Sumatera

Sumber : id.wikipedia.org

Pulau Sumatera terletak di bagian barat gugusan kepulauan Nusantara. Di sebelah utara berbatasan dengan Teluk Benggala, di timur dengan Selat Malaka, di sebelah selatan dengan Selat Sunda dan di sebelah barat dengan Samudra Hindia. Di sebelah timur pulau, banyak dijumpai rawa yang dialiri oleh sungai-sungai besar yang bermuara di sana, antara lain Asahan (Sumatera Utara), Sungai Siak (Riau), Kampar, Inderagiri (Sumatera Barat, Riau), Batang Hari (Sumatera Barat, Jambi), Musi, Ogan, Lematang, Komerling (Sumatera Selatan), Way Sekampung, Way Tulangbawang, Way Seputih dan Way Mesuji (Lampung).

Sementara beberapa sungai yang bermuara ke pesisir barat pulau Sumatera di antaranya Batang Tarusan (Sumatera Barat) dan Ketahun (Bengkulu).

Pulau Sumatera merupakan pulau yang kaya dengan hasil bumi. Dari lima provinsi kaya di Indonesia, tiga provinsi terdapat di pulau Sumatera, yaitu provinsi Aceh, Riau dan Sumatera Selatan. Hasil-hasil utama pulau Sumatera ialah kelapa sawit, tembakau, minyak bumi, timah, bauksit, batu bara dan gas alam. Hasil-hasil bumi tersebut sebagian besar diolah oleh perusahaan-perusahaan asing, seperti misalnya PT Caltex yang mengolah minyak bumi di provinsi Riau.

Tempat-tempat penghasil barang tambang ialah :

- Arun (NAD), menghasilkan gas alam.
- Pangkalan Brandan (Sumatera Utara), menghasilkan minyak bumi
- Duri, Dumai, dan Bengkalis (Riau), menghasilkan minyak bumi.
- Tanjung Enim (Sumatera Selatan), menghasilkan batu bara.
- Lahat (Sumatera Selatan), menghasilkan batu bara.
- Plaju dan Sungai Gerong (Sumatera Selatan), menghasilkan minyak bumi.
- Tanjungpinang (Kepulauan Riau), menghasilkan bauksit.
- Natuna dan Kepulauan Anambas (Kepulauan Riau), menghasilkan minyak bumi dan gas alam.
- Singkep (Kepulauan Riau), menghasilkan timah.
- Karimun (Kepulauan Riau), menghasilkan granit.
- Indarung (Sumatera Barat), menghasilkan semen.
- Sawahlunto (Sumatera Barat), menghasilkan batubara.

4.2. Pengolahan Abu pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Proses pembakaran bahan bakar bertujuan untuk menghasilkan panas, tetapi selain panas terdapat material lain sisa pembakaran, yaitu abu terutama apabila menggunakan bahan bakar batubara. Berikut adalah pengolahan abu pada PLTU :

1. *Bottom Ash Handling System*

Sistem *bottom ash* akan mentransfer abu dari tungku bawah abu hopper ke bin debit. Dari bin debit *bottom ash* akan ditransfer ke daerah pembuangan abu dengan menggunakan truk atau conveyor. Ada dua jenis sistem penanganan abu dasar yang dapat diterapkan untuk proyek ini , sistem penanganan *bottom ash* basah dan sistem penanganan abu dasar kering.

a. Sistem Penanganan Abu Basah (*Wet Bottom Ash Handling System*)

Submerged scrapper conveyor digunakan untuk mentransfer *bottom ash* ke silo abu jika sistem penanganan *bottom ash* basah diterapkan untuk proyek ini. *Bottom ash* dipindahkan dengan membuka tungku bawah ash hopper, abu akan jatuh ke dalam ruang basah yang mengandung air. Kedalaman air sekitar satu meter di atas scrapper tersebut. Sumber air untuk sistem ashing akan berasal dari sumber yang diolah (air tawar). Abu diangkut dari ruang basah melalui *Submerged scrapper conveyor* yang membawa abu ke dewatering slope. Sebuah conveyor belt digunakan untuk menguras campuran *bottom ash* dan mengangkutnya ke grinder klinker. Sebuah penggiling klinker digunakan untuk mengurangi ukuran klinker dan slag, agar dapat melalui jalur pipa. Dari penggiling klinker, abu akan diangkut ke *discharge bin* dan kemudian mengangkutnya ke tempat pembuangan abu menggunakan truk mobile/conveyor. The ash silo bawah harus terdiri dari sekitar 2 (dua) silo untuk operasi pabrik. Setiap koleksi hopper harus dilengkapi dengan ventilasi bag filter, pencairan port masuk udara, elemen pemanas, monitor level, dll. Peralatan sistem penanganan *bottom ash* harus tahan terhadap suhu tinggi dan dampak mekanik berat.

b. Sistem Penanganan Abu Dasar Kering (*Dry Bottom Ash Handling System*)

Penggunaan sistem penanganan kering *bottom ash* pendingin udara untuk menurunkan suhu abu sementara pengangkutan abu ke bin debit. Peralatan sistem penanganan abu kering harus tahan terhadap suhu tinggi dan dampak mekanik berat. *Bottom ash* dari hopper tungku akan jatuh ke conveyor. Dalam conveyor abu bawah akan didinginkan dengan menggunakan pendingin udara. Setelah pendinginan, abu akan ditransfer ke bin debit yang dilengkapi dengan gerbang mentransfer/pengalir, bergetar layar, dan klinker grinder/crusher dan wadah abu. Pemutaran dan crusher fasilitas akan disediakan untuk mengurangi ukuran abu atau dimensi sebelum umpan ke dalam silo. Sebuah posting pendingin dapat disesuaikan ketika extractor kering tidak dapat pendinginan ke suhu yang diharapkan dari abu. Kapasitas ash hopper *bottom* akan dirancang untuk menyimpan abu selama 12 jam saat pembakaran batubara desain minimum. Kapasitas besar dari hopper *bottom ash* disiapkan untuk memastikan pembakaran masih berjalan ketika conveyor keluar dari layanan. Conveyor akan dirancang untuk dapat menerima semua abu dari hopper *bottom ash* dan abu

disampaikan ke silo . Sistem bottom ash kering akan terdiri dari 2 (dua) silo dengan kapasitas masing-masing untuk 2 (dua) hari operasi pabrik . Abu dari silo tersebut akan dibuang ke daerah pembuangan abu dengan fase padat atau menggunakan truk. Udara untuk pendingin udara dalam sistem kering akan dipasok dari 2 x 100 %. Udara pendingin harus mampu untuk mendinginkan bottom ash panas dan membakar beberapa karbon yang tidak terbakar di bottom ash.

2. Sistem Penanganan *Fly Ash*

Sistem penanganan *fly ash* akan ditransfer dari *economizer hopper*, gas hopper pemanas udara dan ESP hopper ke silo. *Fly ash* ditransfer menggunakan sistem penanganan pneumatik. Setiap *fly ash hopper* akan dilengkapi dengan pemancar abu dan menggunakan pneumatik *fly* sistem penanganan abu positif (sistem fase padat) untuk menyampaikan abu ke *fly ash* silo melalui sistem perpipaan ash transfer. Sistem pemindahan *fly ash* akan terdiri dari 2 silo. Setiap silo akan dilengkapi dengan *bag vent filter*, *fluidizing air admission ports*, *heating elements*, *level monitors*, dll. Dari silo, abu akan ditransportasikan ke ujung silo dengan pipa dan dibuang ke daerah pembuangan abu ke dalam truk abu setelah dikondisikan.

3. *Ash Disposal Area*

Ash Disposal Area merupakan tempat penampungan terakhir abu yang telah diproses pada sistem *fly ash* dan sistem *bottom ash*. *Ash Valley* ini digunakan apabila level dari Silo dan *Slag Bin* sudah terlalu tinggi dan belum ada truk yang akan menampung abu tersebut maka abu tersebut ditampung di *Ash Valley* yang kemudian akan diproses lagi oleh *Loader*, *Exavator* dan *dump truck*.

4.3. PLTU Produsen *Fly Ash*

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) selain berperan penting dalam menyediakan pasokan listrik PLTU juga menghasilkan limbah dalam proses pembakaran batubaranya. Dimana limbah tersebut berupa *fly ash* dan *bottom ash*, berikut merupakan PLTU yang menghasilkan *fly ash* yang selanjutnya akan di distribusikan ke PT Semen Baturaja dan PT Semen Padang. PLTU ini tersebar di berbagai tempat di wilayah Sumatera dan mempunyai kapasitas yang berbeda beda, oleh karena itu limbah batubara *fly ash* yang dihasilkan untuk tiap PLTU juga berdeda-beda.

4.3.1. PLTU Nagan Raya



Gambar 4.2 PLTU Nagan Raya

Sumber : tribunnews.com

PLTU Nagan Raya berawal dari cikal bakal pembangunan proyek 10.000 MW penugasan pemerintah ke pada PT. PLN (Persero) pada tahun 2006 sesuai Perpres RI No. 17 Tahun 2006 tanggal 5 Juli 2006, proyek tersebut terletak di Desa Suak Puntong, Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya. PLTU Nagan Raya ini berkapasitas 2x110 MegaWatt (MW).

4.3.2. PLTU Labuhan Angin



Gambar 4.3 PLTU Labuhan Angin

Sumber : wordpress.com

PLTU Labuhan Angin merupakan salah satu penyuplai listrik yang berada di wilayah, Tapian Nauli I, Tapian Nauli, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara. Pembangunan PLTU Labuhan Angin merupakan komitmen Pemerintah RI dan PT PLN (Persero) berdasarkan UU No.15 tahun 1985 tentang kelistrikan. PLTU Labuhan Angin ini berkapasitas 2x115 MegaWatt (MW) dan mulai beroperasi pada tahun 2008.

4.3.3. PLTU Teluk Sirih



Gambar 4.4 PLTU Teluk Sirih

Sumber : klikpositif.com

PLTU Teluk Sirih merupakan salah satu penyuplai listrik yang berada di wilayah, Jl. Padang-Painan Km. 25, Desa Teluk Sirih RT 01/RW 04, Kel. Teluk Kabung Tengah, Kec. Bungus, Tlk. Kabung Tengah, Bungus Tlk. Kabung, Kota Padang, Sumatera Barat. PLTU Teluk Sirih ini berkapasitas 2x112 MegaWatt (MW) dan mulai beroperasi sejak tahun 2013.

4.3.4. PLTU Sebalang



Gambar 4.5 PLTU Sebalang

Sumber : skalanews.com

PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Sebalang adalah salah satu kegiatan usaha yang dimiliki PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan yang berada di wilayah, Karya Tunggal, Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35452 berkapasitas 2x100 MegaWatt (MW). Presiden SBY meresmikannya di Istana Negara pada 20 Agustus 2007, bersama sejumlah proyek lainnya. PLTU Tarahan ini, yang berkapasitas 2x100 MW, merupakan bagian dari program percepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW yang direncanakan di era Presiden SBY dan Wapres Jusuf Kalla.

4.3.5. PLTU Bangka Baru



Gambar 4.6 PLTU Bangka Baru

Sumber : radarbangka.co.id

PLTU Bangka Baru merupakan salah satu penyuplai listrik yang berada di wilayah, Air Anyir, Merawang, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung 3317. PLTU Bangka Baru ini berkapasitas 2x30 MegaWatt (MW) dan mulai beroperasi pada tahun 2011.

4.3.6. PLTU Pangkalan Susu



Gambar 4.7 PLTU Pangkalan Susu

Sumber : indonesiapower.co.id

PLTU Pangkalan Susu merupakan salah satu penyuplai listrik yang berada di wilayah, Tj. Pasir, Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara 20858. PLTU Pangkalan Susu ini berkapasitas 2x200 MegaWatt (MW) dan mulai beroperasi pada tahun 2014 (Unit 2) ; 2015 (Unit 1)

4.3.7. PLTU Tenayan



Gambar 4.8 PLTU Tenayan

Sumber : harianriau.co

PLTU Tenayan merupakan salah satu penyuplai listrik yang berada di wilayah, Sail, Tenayan Raya, Kota Pekanbaru, Riau 28285. PLTU Tenayan ini berkapasitas 2x100 MegaWatt (MW) dan mulai beroperasi pada tahun 2015 (Unit 1) ; 2016 (Unit 2)

4.4. Pabrik Semen Konsumen *Fly Ash*

4.4.1. PT. Semen Baturaja



Gambar 4.9 Pabrik Semen Baturaja

Sumber : okezone.com

PT. Semen Baturaja (Persero) berdiri pada tanggal 14 November 1974, dengan akta notaris Jony Frederick Berthol Tumbelaka Sinjal No. 34, dengan pemegang saham PT. Semen Padang (55 %) & PT. Semen Gresik (45 %). Pada tahun 1978 pemerintah memberikan penyertaan modal yang mengubah status hukum perusahaan menjadi PT (Persero) dengan susunan modal sebagai berikut :

Pemerintah RI	: 88 %
PT Semen Gresik (Persero)	: 7 %

PT Semen Padang (Persero) : 5 %

Pada tahun 1991 berdasarkan PP Nomor : 3 tahun 1991, susunan modal PT Semen Baturaja berubah menjadi 100 % milik Pemerintah RI dengan mengambil alih saham - saham yang semula dimiliki oleh PT Semen Gresik dan PT Semen Padang. Tahun 2011, Perseroan melakukan Pembangunan proyek Cement Mill and Packer dengan kapasitas 750.000 ton semen per tahun dan telah beroperasi komersil pada bulan Juli 2013, sehingga kapasitas Perseroan menjadi 2.000.000 ton semen per tahun.

Tanggal 28 Juni 2013, PT Semen Baturaja (Persero) Tbk melaksanakan Initial Public Offering (IPO) dengan melepas 23,76% atau 2.337.678.500 saham ke publik yang akan digunakan untuk membiayai pembangunan pabrik Baturaja II dengan kapasitas 1,85 juta ton semen per tahun. Semen Baturaja mempunyai 3 pabrik yang berada di wilayah

1. Pabrik Palembang / *Palembang Plant*

Penggilingan dan Pengantongan Semen / *Cement Grinding and Packing*

Jl. Abikusno Cokrosuyoso

Kertapati Palembang – 30258

2. Pabrik Baturaja / *Baturaja Plant*

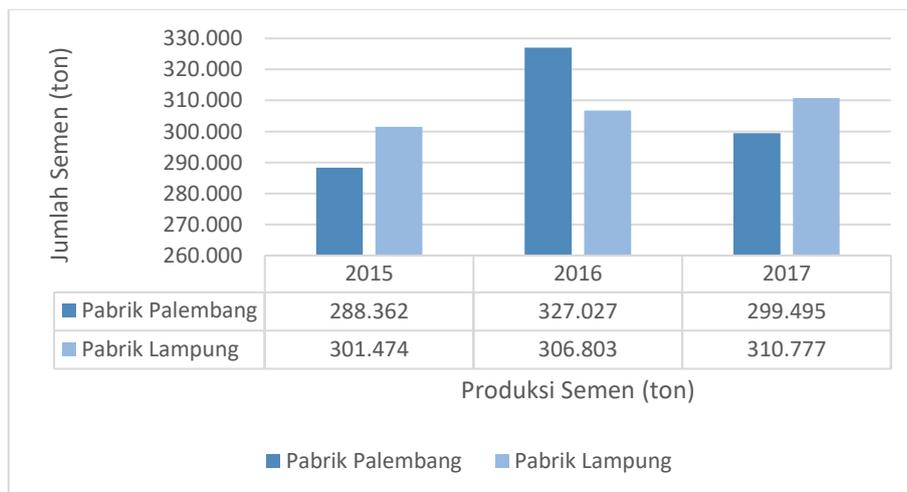
Produksi Terak, Penggilingan dan Pengantongan Semen / *Clinker Manufacturing as well as Cement Grinding and Packing*

Jl. Raya Tiga Gajah Baturaja Ogan Komering Ulu 32117

3. Pabrik Panjang / *Panjang Plant*

Penggilingan dan Pengantongan Semen / *Cement Grinding and Packing*

Jl. Yos Sudarso Km.7 Panjang, Bandar Lampung 35243.



Gambar 4.10 Produksi Semen Baturaja

Sumber : Annual Report Semen Baturaja

Grafik diatas merupakan produksi semen untuk 2 pabrik yaitu pabrik Semen Baturaja (Palembang) dan pabrik Semen Baturaja (Lampung) dari tahun 2015 hingga tahun 2017. Total produksi pabrik pada tahun 2015 sebesar 589.836 ton, 2016 sebesar 633.830 ton, dan pada tahun 2017 sebesar 610.272 ton.

4.4.2. PT. Semen Padang

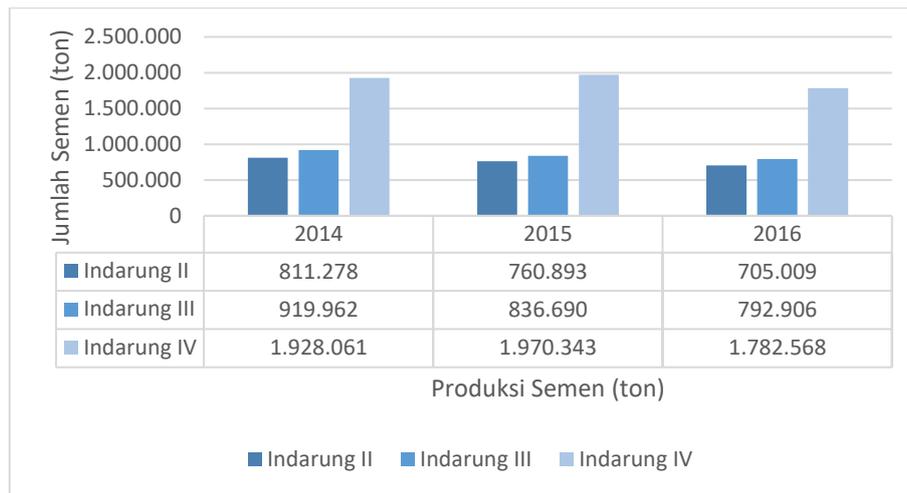


Gambar 4.11 Pabrik Semen Padang

Sumber : mediaindonesia.com

PT Semen Padang adalah produsen semen tertua di Indonesia yang didirikan pada 18 Maret 1910 dengan nama NV Nederlandsch-Indische Portland Cement Maatschappij atau NIPCM. PT Semen Padang didirikan pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama NV Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij (NV NIPCM) yang merupakan pabrik semen pertama di Indonesia.[1] Kemudian pada tanggal 5 Juli 1958, perusahaan dinasionalisasi oleh pemerintah Republik Indonesia dari pemerintah Belanda. Selama periode ini, perusahaan mengalami proses kebangkitan kembali melalui rehabilitasi dan pengembangan kapasitas pabrik Indarung I menjadi 330.000 ton/ tahun. Selanjutnya pabrik melakukan transformasi pengembangan kapasitas pabrik dari teknologi proses basah menjadi proses kering dengan dibangunnya pabrik Indarung II, III, dan IV. Pada tahun 1995, pemerintah mengalihkan kepemilikan sahamnya di PT Semen Padang ke Semen Gresik Group bersamaan dengan pengembangan pabrik Indarung V.

Pada tanggal 20 Desember 2012, melalui Rapat Umum Pemegang Saham Luar Biasa (RUPSLB) Perseroan, PT Semen Padang, PT Semen Gresik, PT Semen Tonasa dan Thang Long Cement bergabung dibawah PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yang sahamnya dimiliki mayoritas oleh Pemerintah Republik Indonesia sebesar 51,01%. Pemegang saham lainnya sebesar 48,09% dimiliki publik. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. merupakan perusahaan yang sahamnya tercatat di Bursa Efek Indonesia.



Gambar 4.12 Produksi Semen Padang

Sumber : Annual Report Semen Padang

Grafik diatas merupakan produksi semen untuk 3 pabrik Semen Padang yaitu dari tahun 2014 hingga tahun 2016. Total produksi pabrik pada tahun 2014 sebesar 3.659.301 ton, 2015 sebesar 3.657.926 ton, dan pada tahun 2016 sebesar 3.280.483 ton.

4.5. Pelabuhan Asal dan Tujuan

Pelabuhan adalah pintu gerbang keluar masuknya fly ash dari lokasi PLTU ataupun Pabrik Semen. Pada distribusi *fly ash* ini terdapat 10 titik pelabuhan yang sudah ada yang mana 7 pelabuhan akan dipergunakan sebagai pelabuhan muat atau asal dan 3 pelabuhan sebagai pelabuhan bongkar atau tujuan. Dalam penelitian ini dari pelabuhan asal dan tujuan adalah pelabuhan khusus terkecuali Pabrik Semen Baturaja (Lampung) yang menggunakan jasa dari Pelabuhan Indonesia (Pelindo). Pelabuhan khusus sendiri mempunyai arti yaitu pelabuhan yang penggunaannya khusus untuk kegiatan sektor perindustrian, pertambangan atau pertanian yang pembangunan dan pengoperasiannya dilakukan oleh instansi yang bersangkutan untuk bongkar-muat bahan baku dan hasil produksinya, yang tidak dapat ditampung oleh pelabuhan yang dibuka untuk umum.

4.5.1. Pelabuhan Asal

Daerah sumber muatan *fly ash* yang terdapat dalam tugas akhir ini terdapat pada PLTU yang ada di pulau sumatera dimana hanya PLTU yang mempunyai pelabuhan khusus. Dalam hal ini diharapkan nantinya kapal yang akan beroperasi untuk pengiriman distribusi *fly ash* dapat beroperasi secara maksimal, guna memperlancar proses pengiriman muatan *fly ash* dari PLTU yang akan dikirimkan ke Pabrik Semen melalui Pelabuhan Khusus. Maka lokasi pelabuhan khusus berikut :

1. Pelabuhan Khusus PLTU Nagan Raya



Gambar 4.13 Pelabuhan Khusus PLTU Nagan Raya

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 140m dan kedalaman 7 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 1077 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 894 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 422 Nm.

2. Pelabuhan Khusus PLTU Labuhan Angin



Gambar 4.14 Pelabuhan Khusus PLTU Labuhan Angin

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 196 m dan kedalaman 6 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak

1201 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 688 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 216 Nm.

3. Pelabuhan Khusus PLTU Teluk Sirih

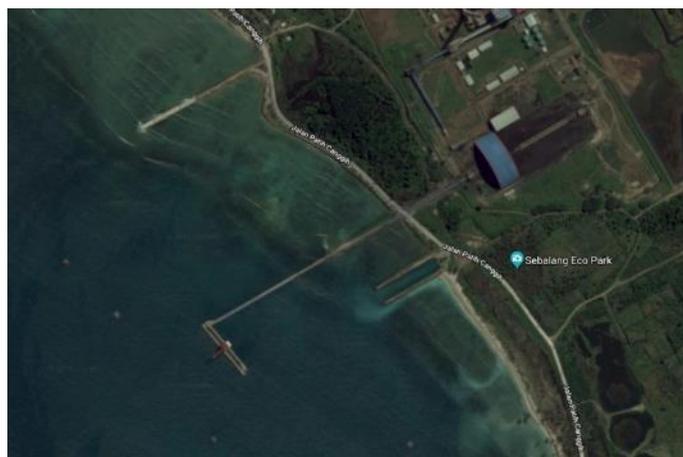


Gambar 4.15 Pelabuhan Khusus PLTU Teluk Sirih

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 220 m dan kedalaman 8 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 811 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 480 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 12 Nm.

4. Pelabuhan Khusus PLTU Sebalang



Gambar 4.16 Pelabuhan Khusus PLTU Sebalang

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga

150 m dan kedalaman 7 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 363 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 15 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 475 Nm.

5. Pelabuhan Khusus PLTU Bangka Baru



Gambar 4.17 Pelabuhan Khusus PLTU Bangka Baru

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 110 m dan kedalaman 6 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 191 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 553 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 780 Nm.

6. Pelabuhan Khusus PLTU Pangkalan Susu



Gambar 4.18 Pelabuhan Khusus PLTU Pangkalan Susu

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 250 m dan kedalaman 8 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 655 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 1144 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 757 Nm.

7. Pelabuhan Khusus PLTU Tenayan



Gambar 4.19 Pelabuhan Khusus PLTU Tenayan

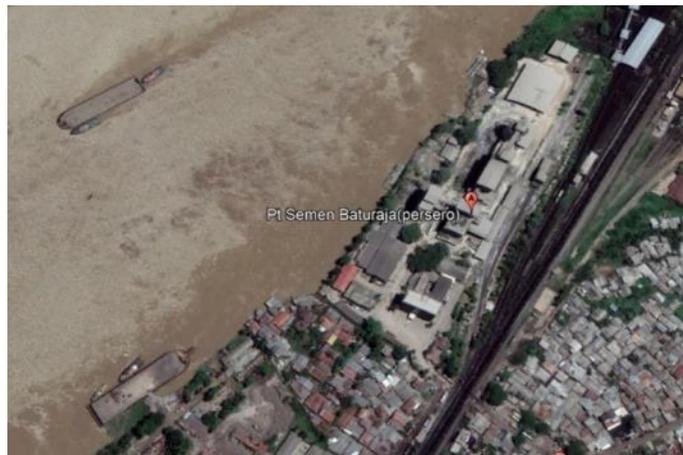
Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara PLTU. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 163 m dan kedalaman 6 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan Semen Baturaja Palembang dengan jarak 405 Nm, Semen Baturaja Lampung dengan jarak 743 Nm, dan Semen Padang dengan jarak 1030 Nm.

4.5.2. Pelabuhan Tujuan

Konsumen *fly ash* yang terdapat dalam tugas akhir ini terdapat pada Pabrik Semen yang ada di pulau sumatera yaitu Pabrik Semen Baturaja (Palembang), Pabrik Semen Baturaja (Lampung), dan Semen Padang. Dalam hal ini diharapkan nantinya kapal yang akan beroperasi untuk pengiriman distribusi *fly ash* dapat beroperasi secara maksimal, guna memperlancar proses pengiriman muatan *fly ash* dari PLTU yang akan dikirimkan ke Pabrik Semen melalui Pelabuhan. Maka lokasi pelabuhan sebagai berikut :

1. Pelabuhan Khusus Baturaja (Palembang)

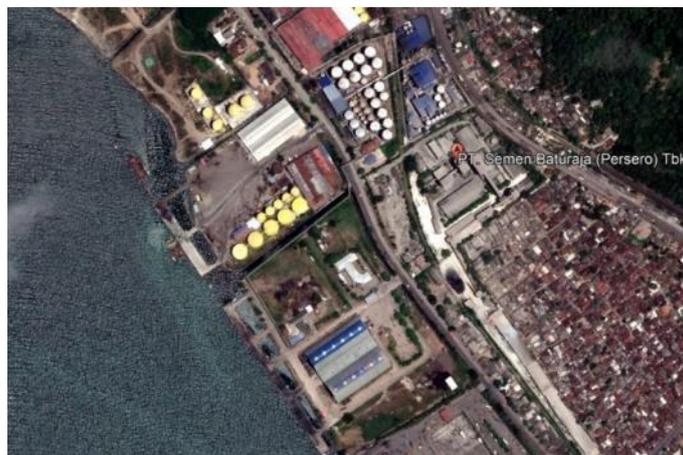


Gambar 4.20 Pelabuhan Khusus PT Semen Baturaja (Palembang)

Sumber : google earth

Pelabuhan khusus ini biasa digunakan untuk aktivitas bongkar batubara guna memenuhi kebutuhan batubara pada Pabrik Semen dan muat semen dalam bentuk curah guna di distribusikan ke berbagai tujuan. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 200 m dan kedalaman 7 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan khusus PLTU Nagan Raya dengan jarak 1077 Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 1201 Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 811 Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 363 Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 191 Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 655 Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 191.

2. Pelabuhan Indonesia II (Panjang)



Gambar 4.21 Pelabuhan Indonesia II (Panjang, Lampung)

Sumber : google earth

Khusus Semen Baturaja (Lampung) menggunakan jasa dari pelindo II panjang dikarenakan tidak mempunyai pelabuhan khusus dan lokasi dari pelindo II tepat di depan PT Semen Baturaja (Lampung). Pelabuhan Panjang sendiri merupakan pelabuhan yang sangat prospektif dimasa mendatang. Luas areal lahan pelabuhan masih dapat dikembangkan untuk kerjasama pembangunan berbagai terminal guna melayani kebutuhan pengguna jasa kepelabuhanan. Disamping itu lahan pertanian dan perkebunan yang membentang di provinsi Lampung sangat subur untuk kegiatan agrobisnis. Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 300 m dan kedalaman 10 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan khusus PLTU Nagan Raya dengan jarak 894 Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 688 Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 480 Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 15 Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 553 Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 1144 Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 743.

3. Pelabuhan Indonesia II (Teluk Bayur)



Gambar 4.22 Pelabuhan Indonesia II (Teluk Bayur)

Sumber : google earth

Pelabuhan Teluk Bayur, sebelumnya bernama Emmahaven, dibangun sejak zaman kolonial Belanda antara tahun 1888 sampai 1893 di Kota Padang. Pelabuhan Teluk Bayur merupakan pelabuhan samudera yang terbuka untuk kegiatan perdagangan internasional di provinsi Sumatera Barat. Pelabuhan ini memiliki beberapa kawasan yang merupakan sentra kegiatan ekonomi di Sumatera Barat meliputi Muara Padang dan Air Bangis.

Pelabuhan Teluk Bayur saat ini telah memiliki standar prosedur pelayanan berdasarkan ISO 9002. Pelabuhan Teluk Bayur telah dilengkapi dengan peralatan modern yang mampu menangani berbagai jenis barang antara lain barang curah seperti batubara, semen, klinker, CPO serta komoditas yang menggunakan petikemas seperti kayu manis, teh, moulding, furnitur dan karet, yang merupakan komoditas ekspor unggulan ke Amerika Serikat, Eropa, Asia, Australia dan Afrika.

Pelabuhan ini mempunyai panjang dermaga 300 m dan kedalaman 10 m. Dalam skenario nantinya kapal dari pelabuhan ini akan berlayar secara port to port ke pelabuhan khusus PLTU Nagan Raya dengan jarak 894 Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 688 Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 480 Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 15 Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 553 Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 1144 Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 743.

BAB 5

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Produksi *Fly Ash* pada PLTU

Pada penelitian ini dimulai dari analisis perhitungan jumlah kebutuhan batubara yang dibutuhkan oleh masing-masing PLTU berdasarkan kapasitas PLTU guna mengetahui jumlah abu *fly ash* yang dihasilkan.



Gambar 5.1 Kapasitas Masing-Masing PLTU

Selanjutnya *fly ash* di kirim ke Pabrik Semen Baturaja (Palembang), Pabrik Semen Baturaja (Lampung), dan Pabrik Semen Padang. Perlu diketahui PLTU yang dipilih yang berada di pulau Sumatera dan yang mempunyai pelabuhan khusus. Berikut perhitungan jumlah *fly ash* yang dihasilkan oleh masing masing PLTU :

$$P = \text{Daya Terpasang (MW)} \times (CF\%) \times 24 \text{ (Jam)} \times 365 \text{ (hari)}$$

$$K = P \text{ (MWh)} \times SFC \text{ (Kg/KWh)}$$

Dimana : P = Produksi

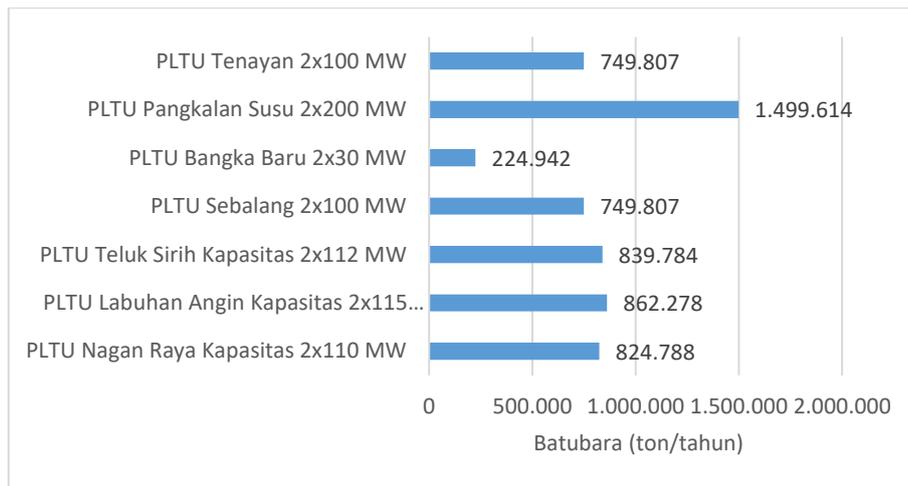
K = Konsumsi

CF = *Capacity Factor* (Rata-rata PLTU 85%)

SFC = *Specific Fuel Consumption* (50%)

Sumber : Menurut Perhitungan PLTU Tarahan, Lampung

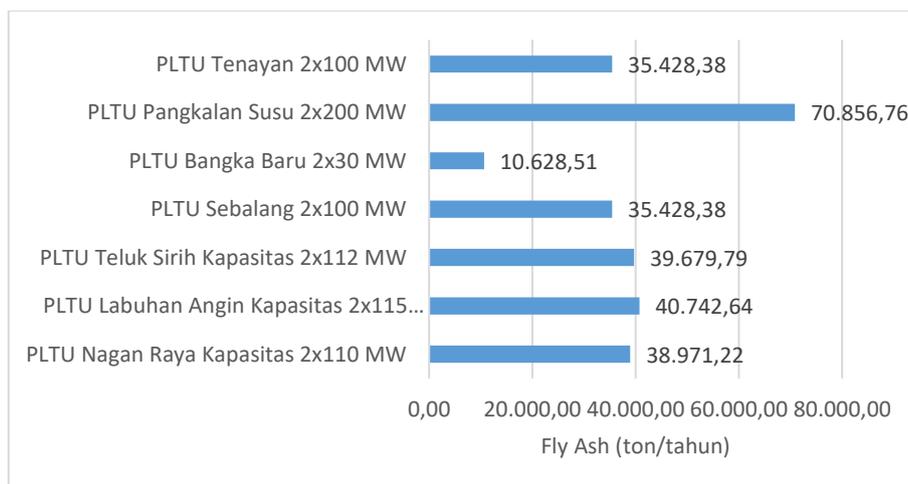
SFC adalah rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan dalam sebuah industri pembangkit listrik, digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik dan untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran. Dengan rumus diatas maka dapat dihitung jumlah kebutuhan batubara untuk masing-masing PLTU yaitu sebesar :



Gambar 5.2 Jumlah Kebutuhan Batubara pada PLTU

Menurut tabel di atas kebutuhan untuk masing-masing PLTU yaitu, PLTU Nagan Raya 2x110MW sebesar 824.788 ton/tahun, PLTU Labuhan Angin 2x115MW sebesar 862.278 ton/tahun, PLTU Teluk Sirih 2x112MW sebesar 839.784 ton/tahun, PLTU Sebalang 2x100MW sebesar 749.807 ton/tahun, PLTU Bangka Baru 2x30MW sebesar 224.942 ton/tahun, PLTU Pangkalan Susu 2x200MW sebesar 1.499.614 ton/tahun, dan PLTU Tenayan 2x100MW sebesar 749.807 ton/tahun

Setelah diketahui jumlah kebutuhan batubara maka limbah abu batubara (*fly ash*) yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara yaitu sebesar 5,25%. Dimana dari jumlah 5,25% tersebut sebesar 10% *bottom ash* dan 90% *fly ash*. Selanjutnya didapatkan hasil jumlah produksi *fly ash* sebagai berikut :



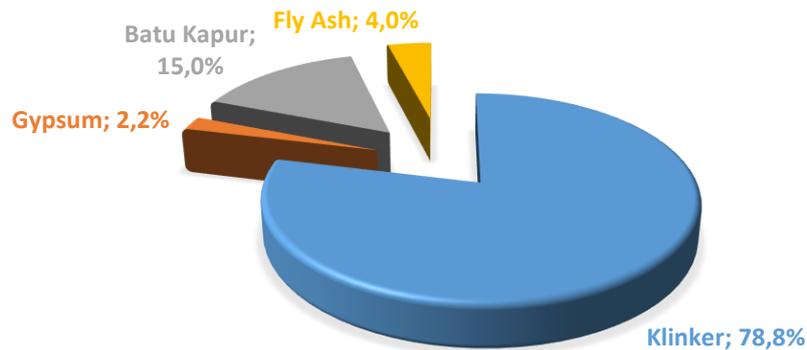
Gambar 5.3 Jumlah *Fly Ash* yang Dihasilkan

Menurut tabel di atas produksi *fly ash* berdasarkan perhitungan yaitu, PLTU Nagan Raya 2x110MW sebesar 38.971 ton/tahun, PLTU Labuhan Angin 2x115MW sebesar 40.742 ton/tahun, PLTU Teluk Sirih 2x112MW sebesar 39.679 ton/tahun, PLTU Sebalang

2x100MW sebesar 35.428 ton/tahun, PLTU Bangka Baru 2x30MW sebesar 10.628 ton/tahun, PLTU Pangkalan Susu 2x200MW sebesar 70.856 ton/tahun, PLTU Tenayan 2x100MW sebesar 35.428 ton/tahun

5.2. Analisis Kebutuhan *Fly Ash* pada Pabrik Semen

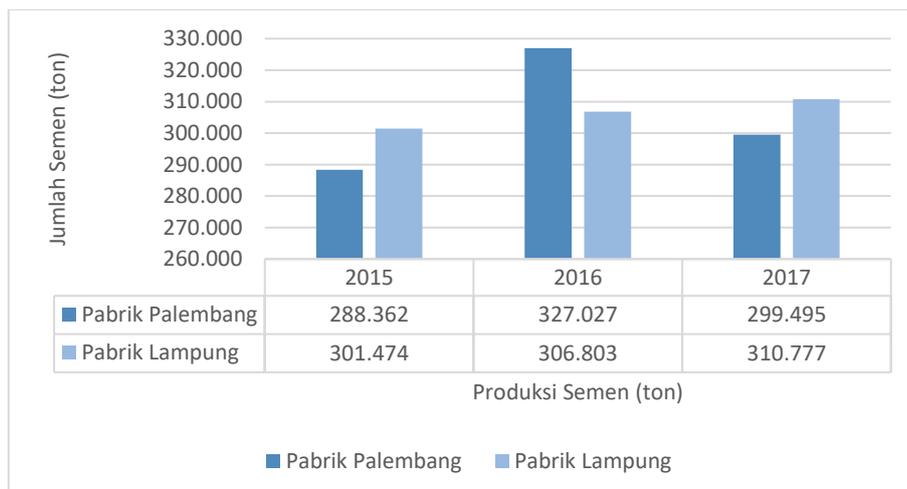
Untuk mengetahui jumlah kebutuhan *fly ash* pada pabrik semen baturaja dan semen padang diperlukan data produksi semen pada masing-masing pabrik setelah itu barulah di bagi berdasarkan presentase komposisi material semen, dimana komposisi semen terdiri dari



Gambar 5.4 Presentase Material Semen

Sebelum menggunakan abu batubara atau *fly ash* pabrik semen menggunakan material berupa *clinker* yang relatif lebih mahal, sehingga ketika *fly ash* ditambahkan dalam komposisi semen akan mengurangi penggunaan klinker sebesar jumlah *fly ash* yang digunakan.

5.2.1. Produksi Semen PT Semen Baturaja



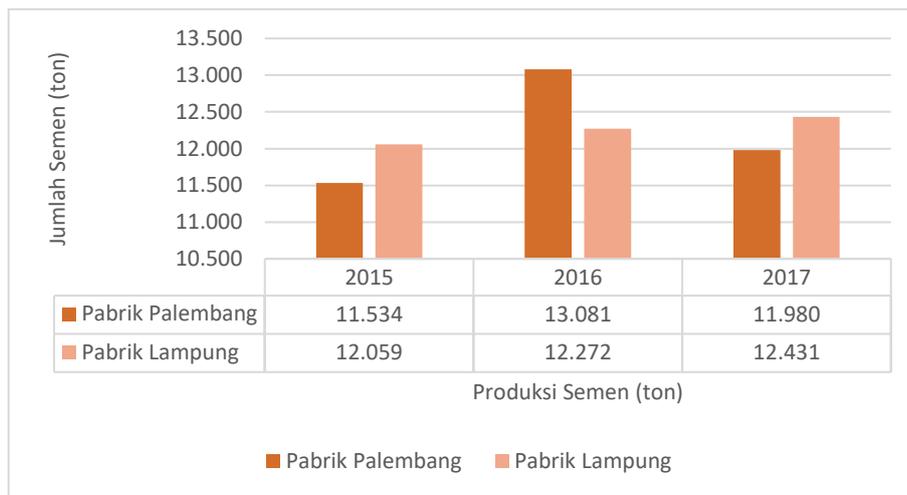
Gambar 5.5 Produksi Semen PT Semen Baturaja

Grafik di atas merupakan produksi semen PT Semen Baturaja pabrik Palembang dan Lampung dimana pada tahun 2015 pabrik Palembang menghasilkan semen sebesar 288.362

ton dan pabrik lampung sebesar 301.474 ton, pada tahun 2016 pabrik Palembang menghasilkan semen sebesar 327.027 ton dan pabrik lampung sebesar 306.803 ton, pada tahun 2017 pabrik Palembang menghasilkan semen sebesar 299.495 ton dan pabrik lampung sebesar 310.777 ton, sehingga untuk total pabrik Palembang dan pabrik lampung yaitu pada tahun 2015 sebesar 589.836 ton, 2016 sebesar 633.830 ton, dan 2017 sebesar 610.272 ton

5.2.2. Kebutuhan Fly Ash PT Semen Baturaja

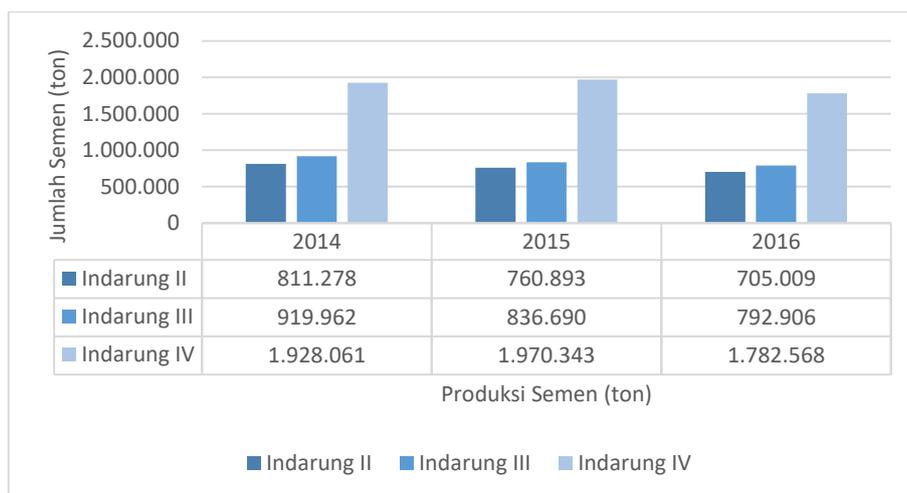
Kebutuhan Fly Ash Didapat dari 4% dari total produksi semen PT. Semen Baturaja yaitu sebagai berikut :



Gambar 5.6 Kebutuhan *Fly Ash* PT Semen Baturaja

Grafik di atas merupakan kebutuhan *fly ash* PT Semen Baturaja pabrik Palembang dan Lampung dimana pada tahun 2015 pabrik Palembang membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 11.534 ton dan pabrik lampung sebesar 12.059 ton, pada tahun 2016 pabrik Palembang membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 13.081 ton dan pabrik lampung sebesar 12.272 ton, pada tahun 2017 pabrik Palembang membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 11.980 ton dan pabrik lampung sebesar 12.431 ton, sehingga untuk kebutuhan total *fly ash* Pabrik Palembang dan Pabrik Lampung yaitu pada tahun 2015 sebesar 23.593 ton, 2016 sebesar 25.353 ton, dan 2017 sebesar 24.411 ton.

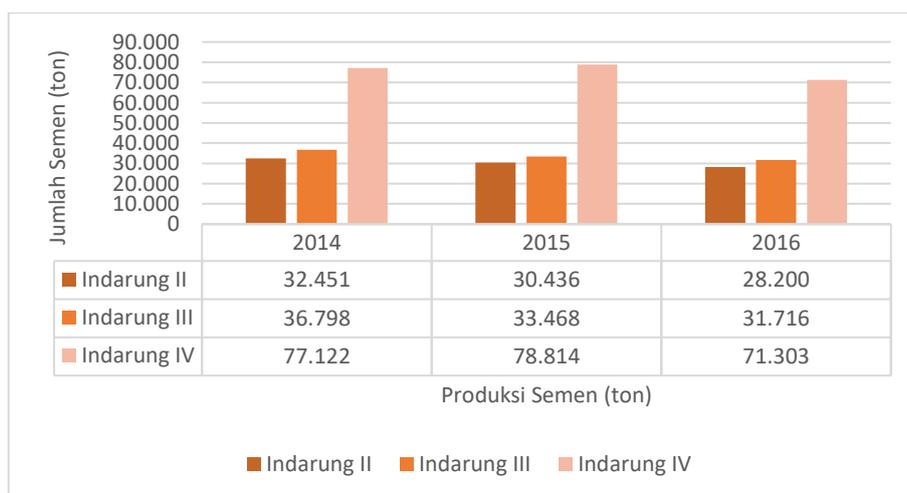
5.2.3. Produksi Semen PT Semen Padang



Gambar 5.7 Produksi Semen PT Semen Padang

Grafik di atas merupakan produksi semen PT Semen Padang dimana pada tahun 2014 pabrik Indarung II menghasilkan semen sebesar 811.278 ton, pabrik Indarung III sebesar 919.962 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 1.928.061 ton, pada tahun 2015 pabrik Indarung II menghasilkan semen sebesar 760.895 ton, pabrik Indarung III sebesar 836.690 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 1.970.343 ton, pada tahun 2016 pabrik Indarung II menghasilkan semen sebesar 705.009 ton, pabrik Indarung III sebesar 792.906 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 1.782.568 ton, sehingga untuk total pabrik Semen Padang yaitu pada tahun 2014 sebesar 3.659.301 ton, 2015 sebesar 3.567.926 ton, dan 2016 sebesar 3.280.483 ton.

5.2.4. Kebutuhan Fly Ash PT Semen Padang



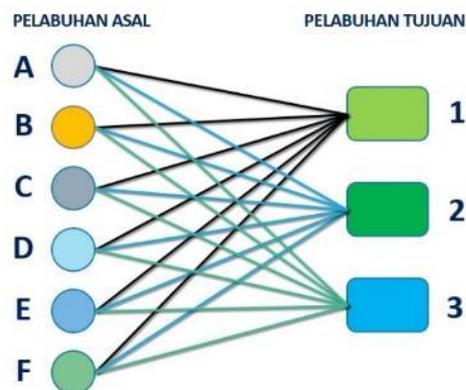
Gambar 5.8 Kebutuhan Fly Ash PT Semen Padang

Grafik di atas merupakan kebutuhan *fly ash* PT Semen Padang dimana pada tahun 2014 pabrik Indarung II membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 32.451 ton, pabrik

Indarung III sebesar 36.798 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 77.122 ton, pada tahun 2015 pabrik Indarung II membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 30.436 ton, pabrik Indarung III sebesar 33.468 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 78.814 ton, pada tahun 2016 pabrik Indarung II membutuhkan *fly ash* kurang lebih sebesar 28.200 ton, pabrik Indarung III sebesar 31.716 ton, dan pabrik Indarung IV sebesar 71.303 ton, sehingga untuk kebutuhan total *fly ash* pabrik Semen Padang yaitu pada tahun 2014 sebesar 146.327 ton, 2015 sebesar 142.717 ton, dan 2016 sebesar 131.219 ton.

5.3. Skenario Distribusi Fly Ash

Perencanaan pola distribusi pada penelitian ini dimulai dari pemilihan posisi *supply fly ash*, yaitu *supply* berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang melakukan pengiriman ke pabrik Semen Baturaja (Palembang), pabrik Semen Baturaja (Lampung), dan pabrik Semen Padang. Dimana *fly ash* di distribusikan dari PLTU menuju pabrik semen secara port to port untuk jumlah yang di kirimkan oleh PLTU tergantung dari hasil optimasi. Ketika terpilih alternatif moda laut dengan biaya satuan paling minimum selanjutnya akan dibandingkan dengan moda darat yang selanjutnya didapatkan biaya satuan paling minimum diantara kedua moda tersebut dari berbagai kombinasi rute yang ada.



Gambar 5.9 Skenario Distribusi Fly Ash

Keterangan :

Pelabuhan Asal :

- A = PLTU Nagan Raya
- B = PLTU Labuhan Angin
- C = PLTU Teluk Sirih
- D = PLTU Sebalang
- E = PLTU Bangka Baru
- F = PLTU Pangkalan Susu
- G = PLTU Tenayan

Pelabuhan Tujuan :

- 1 = Pabrik Semen Baturaja (Palembang)
- 2 = Pabrik Semen Baturaja (Lampung)
- 3 = Pabrik Semen Padang

5.3.1. PLTU – Semen Baturaja (Palembang)



Gambar 5.10 Alur Distribusi PLTU-Semen Baturaja (Palembang)

Dari gambar di atas *fly ash* akan di distribusikan dari PLTU menuju pabrik semen secara port to port, berikut jarak antar PLTU menuju pabrik Semen Baturaja (Palembang) : PLTU Nagan Raya dengan jarak 1077Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 1201Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 811Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 363Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 191Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 655Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 405Nm.

Tabel 5.1 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Baturaja (Palembang)

No	PELABUHAN	Semen Baturaja (Palembang)	Keterangan
1	PLTU Nagan Raya	1077	Nm
2	PLTU Labuhan Angin	1201	Nm
3	PLTU Teluk Sirih	811	Nm
4	PLTU Sebalang	363	Nm
5	PLTU Bangka Baru	191	Nm
6	PLTU Pangkalan Susu	655	Nm
7	PLTU Tenayan	405	Nm

5.3.2. PLTU – Semen Baturaja (Lampung)



Gambar 5.11 Alur Distribusi PLTU-Semen Baturaja (Lampung)

Dari gambar di atas *fly ash* akan di distribusikan dari PLTU menuju pabrik semen secara port to port, berikut jarak antar PLTU menuju pabrik Semen Baturaja (Lampung) : PLTU Nagan Raya dengan jarak 894Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 688Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 480Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 15Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 553Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 1144Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 743Nm.

Tabel 5.2 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Baturaja (Lampung)

No	PELABUHAN	Semen Baturaja (Lampung)	Keterangan
1	PLTU Nagan Raya	894	Nm
2	PLTU Labuhan Angin	688	Nm
3	PLTU Teluk Sirih	480	Nm
4	PLTU Sebalang	15	Nm
5	PLTU Bangka Baru	553	Nm
6	PLTU Pangkalan Susu	1144	Nm
7	PLTU Tenayan	743	Nm

5.3.3. PLTU – Semen Padang



Gambar 5.12 Alur Distribusi PLTU-Semen Padang

Dari gambar di atas *fly ash* akan di distribusikan dari PLTU menuju pabrik semen secara port to port, berikut jarak antar PLTU menuju pabrik Semen Padang : PLTU Nagan Raya dengan jarak 422Nm, PLTU Labuhan Angin dengan jarak 216Nm, PLTU Teluk Sirih dengan jarak 12Nm, PLTU Sebalang dengan jarak 475Nm, PLTU Bangka Baru dengan jarak 780Nm, PLTU Pangkalan Susu dengan jarak 757Nm, PLTU Tenayan dengan jarak 1030Nm.

Tabel 5.3 Jarak Distribusi Fly Ash PLTU-Semen Padang

No	PELABUHAN	Semen Padang	Keterangan
1	PLTU Nagan Raya	422	Nm
2	PLTU Labuhan Angin	216	Nm
3	PLTU Teluk Sirih	12	Nm
4	PLTU Sebalang	475	Nm
5	PLTU Bangka Baru	780	Nm
6	PLTU Pangkalan Susu	757	Nm
7	PLTU Tenayan	1030	Nm

5.4. Perhitungan Muatan Terkirim dan Ukuran Kapal

Pada sub bab ini yaitu menganalisa jumlah *fly ash* yang akan di kirim (*supply*) dari masing-masing PLTU menuju pabrik semen dan biaya transportasi laut dengan metode

pembuatan kapal dan alternatif kapal yang terpilih. Metode jumlah *fly ash* yang dikirim (*supply*), pembuatan kapal dan alternatif kapal yang terpilih dibantu dengan model optimasi untuk mengetahui jumlah yang akan dikirim, ukuran utama dari kapal, alternatif transportasi laut berupa kapal *bulk carrier*, *self propelled barge*, *barge*, selain itu dijelaskan pula proses optimasinya.

5.4.1. Model Optimasi Demand dan Ukuran Kapal

- Objective Function : *minimum unit cost* (diperoleh dari *total cost* dibagi dengan total muatan yang dikirim dari masing-masing PLTU).
- Decision Variable: LPP (*Length of Perpendicular*) dan muatan dikirim (*supply*) dipilih sebagai decision variable karena berpengaruh terhadap komponen-komponen lainnya, terutama biaya.
- Constraint: Batasan-batasan yang digunakan adalah :
 1. Panjang kapal (LPP) harus bernilai dan tidak boleh lebih dari panjang dermaga pelabuhan yang akan disandari.
 2. Sarat kapal (T) harus bernilai dan lebih kecil dari kedalaman minimum pelabuhan yang akan disandari.
 3. Batasan *Demand*, jumlah muatan yang disuplai harus sama dengan jumlah demand (permintaan).
 4. Batasan *Supply*, jumlah muatan yang dikirim harus kurang dari jumlah maksimal pengiriman.
- Metode : Ada 3 metode yang digunakan oleh solver yaitu GRG Nonlinier, Simplex LP dan Evolutionary. Pada optimasi kali ini dipilih metode Evolutionary agar hasil lebih maksimal.

5.4.2. Jumlah Demand yang Dikirim

Dalam sub bab ini akan dijelaskan mengenai jumlah muatan yang di kirim dari masing masing PLTU guna memenuhi jumlah permintaan *fly ash* dari pabrik Semen Baturaja (Palembang), pabrik Semen Baturaja (Lampung), dan pabrik Semen Padang

Tabel 5.4 Muatan yang dikirim dari masing-masing PLTU

Asal		Terkirim		Produksi
PLTU Nagan Raya	A	0	<	38.971
PLTU Labuhan Angin	B	0	<	40.743
PLTU Teluk Sirih	C	4.267	<	39.680
PLTU Sebalang	D	35.412	<	35.428
PLTU Bangka Baru	E	10.622	<	10.629
PLTU Pangkalan Susu	F	70.856	<	70.857
PLTU Tenayan	G	35.415	<	35.428
TOTAL		156.572	ton	

Dari tabel diatas dapat diketahui jumlah *fly ash* yang di kirim untuk masing-masing PLTU berdasarkan hasil optimasi yaitu dari PLTU Teluk Sirih Sebesar 4.267 ton/tahun, PLTU Sebalang sebesar 35.412 ton/tahun, PLTU Bangka Baru sebesar 10.622 ton/tahun, PLTU Pangkalan Susu sebesar 70.856 ton/tahun, dan PLTU Tenayan sebesar 35.415 ton/tahun.

Tabel 5.5 Permintaan dari masing-masing pabrik semen

Tujuan		Terkirim		Demand
Pabrik Semen Baturaja (Palembang)	1	13.081	=	13.081
Pabrik Semen Baturaja (Lampung)	2	12.272	=	12.272
Pabrik Semen Padang	3	131.219	=	131.219
TOTAL		156.572	ton	

Dari tabel diatas dapat diketahui jumlah *fly ash* yang di kirim untuk masing-masing PLTU sesuai dengan permintaan dari masing-masing pabrik semen. Dimana permintaan dari pabrik Semen Baturaja (Palembang) sebesar 13.081 ton/tahun, pabrik Semen Baturaja (Lampung) sebesar 12.272 ton/tahun, dan pabrik Semen Padang sebesar 131.219 ton/tahun.

5.4.3. Dimensi Ukuran Kapal

Pada hasil optimasi yang terpilih dengan rute *port to port* PLTU – Semen Baturaja (Palembang), PLTU – Semen Baturaja (Lampung), dan PLTU Semen Padang terpilih menggunakan alternatif yaitu *Barge* (Tongkang), untuk cell yang berwarna kuning yaitu *decision variable* sedangkan cell yang berwarna merah menandakan kapal yang terpilih dimana terletak pada frekuensi dibutuhkan kapal.

Tabel 5.6 Kapal Terpilih

Asal	Tujuan	Muatan Terangkut (ton)			LPP Kapal (m)			Frekuensi Dibutuhkan			Frekuensi Max Kapal			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
		BC	SPB	Barge	BC	SPB	Barge	BC	SPB	Barge	BC	SPB	Barge	
PLTU Nagan Raya	A Palembang	1	0	0	0	40,5	41,1	42,0	0	0	0	40	30	19
	A Lampung	2	0	0	0	40,5	42,5	39,1	0	0	0	47	35	23
	A Padang	3	0	0	0	40,3	39,0	44,4	0	0	0	90	69	44
PLTU Labuhan Angin	B Palembang	1	0	0	0	38,9	40,8	42,0	0	0	0	36	27	18
	B Lampung	2	0	0	0	39,2	40,5	41,0	0	0	0	61	45	29
	B Padang	3	0	0	0	42,7	43,7	45,3	0	0	0	152	114	75
PLTU Teluk Sirih	C Palembang	1	0	0	0	49,0	39,1	42,8	0	0	0	50	39	25
	C Lampung	2	0	0	0	40,0	38,7	43,0	0	0	0	83	63	40
	C Padang	3	0	0	4.267	40,0	44,0	40,3	0	0	4	508	365	295
PLTU Sebalang	D Palembang	1	0	0	0	39,1	56,0	58,1	0	0	0	104	68	44
	D Lampung	2	0	0	0	38,1	39,4	40,7	0	0	0	548	434	280
	D Padang	3	0	0	35.412	41,7	39,6	48,8	0	0	18	82	62	39
PLTU Bangka Baru	E Palembang	1	0	0	0	39,9	39,8	45,1	0	0	0	163	126	82
	E Lampung	2	0	0	0	38,6	38,2	46,0	0	0	0	72	55	35
	E Padang	3	0	0	10.622	47,5	50,6	44,0	0	0	8	52	38	26
PLTU Pangkalan Susu	F Palembang	1	0	0	0	64,9	51,2	54,5	0	0	0	53	44	29
	F Lampung	2	0	0	0	49,2	48,5	63,7	0	0	0	37	28	17
	F Padang	3	0	0	70.856	41,3	45,9	59,1	0	0	19	55	40	25
PLTU Tenayan	G Palembang	1	0	0	13.081	39,2	43,8	50,1	0	0	6	94	69	44
	G Lampung	2	0	0	12.272	39,3	52,7	49,8	0	0	6	56	40	26
	G Padang	3	0	0	10.062	76,4	74,8	49,4	0	0	5	34	26	20

Berdasarkan tabel diatas PLTU Teluk Sirih mengirim *fly ash* sebanyak 4.267 ton/tahun ke pabrik Semen Padang, PLTU Sebalang mengirim *fly ash* sebanyak 35.412 ton/tahun ke pabrik Semen Padang, PLTU Bangka Baru mengirim *fly ash* sebanyak 10.622 ton/tahun ke pabrik Semen Padang, PLTU Pangkalan Susu mengirim *fly ash* sebanyak 70.856 ton/tahun ke pabrik Semen Padang, PLTU Tenayan mengirim *fly ash* sebanyak 13.081 ton/tahun ke pabrik Semen Baturaja (Palembang), 12.272 ton/tahun ke pabrik Semen Baturaja (Lampung), dan 10.062 ton/tahun ke pabrik Semen Padang.

5.4.4. Asumsi yang Digunakan

Tabel 5.7 Asumsi yang Digunakan

Asumsi	
Hari Kerja	330 hari
Harga MFO	Rp 8.900 /liter
Harga HSD	Rp 9.750 /liter
Kecepatan Loading	600 t/h
Kecepatan Unloading	800 t/h
Kurs	Rp 13.700
Umur Ekonomis	20 tahun
Rate	6% /tahun
Gaji Per Crew	Rp 10.000.000 /bulan
Repair & Maintenance	3% harga kapal
Asuransi Kapal	1,5% harga kapal
Supplies Crew	Rp 50.000 /orang/hari
Dokumen & Administrasi	Rp 5.000.000 /trip
Tiket Penyeberangan	
Orang Dewasa	Rp 13.000 /orang
Gol V-B Truck Sedang	Rp 590.000 /trip

Untuk perhitungan transportasi laut digunakan beberapa angka asumsi yaitu hari kerja kapal 330 hari, harga HFO Rp8.900, harga MDO Rp9.000, kecepatan loading PLTU 600 ton/jam mempunyai 1 crane, kecepatan unloading pabrik semen 800 ton/jam

mempunyai 1, kurs dollar terhadap rupiah sebesar Rp13.700, umu ekonomis kapal yaitu 20 tahun, gaji crew Rp10.000.000 per orang/bulan, perbaikan dan perawatan kapal 3% dari harga kapal, asuransi kapal 1,5% dari harga kapal, perbekalan sebesar Rp50.000 per orang/hari, dan dokumen & administrasi kapal sebesar Rp5.000.000/trip, tiket penyeberangan untuk orang dewasa sebesar Rp13.000 per orang, dan kendaraan Gol V-B Truck Sedang sebesar Rp590.000 per trip.

5.5. Biaya Transportasi Laut Terpilih

Pada sub bab ini akan dibahas biaya yang dibutuhkan kapal terpilih mulai dari biaya pokok kapal, biaya operasional kapal, biaya bahan bakar kapal, biaya pelabuhan, dan biaya satuan.

Tabel 5.8 Kapal Terpilih

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge							
DWT	1.086	2.018	1.452	3.720	2.207	2.161	2.097	Ton
Payload	1.085	1.996	1.415	3.684	2.188	2.126	2.050	Ton
Total Angkut	4.340	35.928	11.328	73.700	13.128	12.762	10.250	Ton/tahun
Roundtrip	18,6	191,0	301,1	299,3	165,9	289,6	394,6	Jam
Frekuensi Dibutuhkan	4	18	8	20	6	6	5	Kali
Frekuensi Maksimal	427	42	27	27	48	28	21	Kali
Jumlah Kapal	1	1	1	1	1	1	1	Unit
Biaya Pelayaran	Rp 19,3	Rp 2.962,9	Rp 2.159,5	Rp 5.238,4	Rp 852,4	Rp 1.543,9	Rp 1.780,1	Juta/Tahun
Biaya Satuan	Rp 903.433	Rp 176.579	Rp 422.823	Rp 143.679	Rp 283.268	Rp 347.600	Rp 434.767	/Ton

Gambar di atas merupakan kapal terpilih dari setiap rute dimana untuk semua rute terpilih Tongkang untuk pendistribusian *fly ash* melalui jalur laut. Dimana payload tongkang berdasarkan rute terpilih yaitu : dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar 1.085 ton dan total angkut sebesar 4.340 ton/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar 1.996 ton dan total angkut sebesar 35.928 ton/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar 1.415 ton dan total angkut sebesar 11.328 ton/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar 3.684 ton dan total angkut sebesar 73.700 ton/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar 2.188 ton dan total angkut sebesar 13.128 ton/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar 2.126 ton dan total angkut sebesar 12.762 ton/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar 2.050 ton dan total angkut sebesar 10.250 ton/tahun.

5.5.1. Waktu Perjalanan Kapal

Roundtrip days merupakan waktu yang diperlukan oleh kapal dari asal menuju tujuan hingga kembali lagi ke asal. Atau, dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$RTD : 2 \times \text{Trip Days days}$$

Rumus diatas berlaku untuk pola operasi dengan sistem *port to port*. Jika kapal menggunakan pola operasi *multiport* atau *transshipment* rumus diatas sudah tidak berlaku. Jika menggunakan pola operasi multiport maka total waktu trip dari origin menuju tujuan pelabuhan serta sampai kapal itu kembali, itu merupakan *roundtrip days*.

Tabel 5.9 Roundtrip Days

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge							
Waktu Pelabuhan Asal	7,8	9,3	8,4	12,1	9,6	9,5	9,4	Jam
Waktu Pelabuhan Tujuan	6,4	7,5	6,8	9,6	7,7	7,7	7,6	Jam
Waktu Berlayar	4,4	174,2	286,0	277,6	148,5	272,4	377,7	Jam
Total Waktu	18,6	191,0	301,1	299,3	165,9	289,6	394,6	Jam
Frekuensi Dibutuhkan	4	18	8	20	6	6	5	Kali
Frekuensi Maksimal	427	42	27	27	48	28	21	Kali

Waktu berlayar atau *Seatime* adalah waktu kapal selama berlayar di laut. Waktu ini diperoleh dari hasil pembagian jarak dibagi dengan kecepatan kapal. *Seatime* akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar selama perjalanan ditambah lagi biaya terbesar dalam transportasi laut adalah konsumsi bahan bakar sehingga perlu perencanaan yang tepat.

Seatime dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Seatime} = (S/V_s)/24 \text{ Day}$$

Keterangan:

S : Jarak pelayaran

V_s : Kecepatan Kapal

Port time adalah waktu kapal selama di pelabuhan dimana waktu ini terdiri dari beberapa komponen, diantaranya:

1. Loading time

Loading time atau waktu pemuatan adalah waktu yang dibutuhkan kapal selamakegiatan memuat muatan ke dalam ruang muat kapal. *Loading time* ditentukan oleh produktivitas alat muat, dalam tugas perencanaan ini alat muat yang digunakan adalah *Loading Arm*.

2. Waktu Bongkar (*Discharging time*)

Waktu bongkar atau *discharging time* yaitu waktu yang dibutuhkan kapal untuk menurunkan muatan dari dalam kapal. Waktu bongkar muat didapatkan dari total angkut kapal (*payload*) dibagi dengan kecepatan bongkar muat pelabuhan.

3. Idle time

Idle time yang dimaksud disini waktu yang tidak digunakan oleh kapal saat dipelabuhan. Waktu tersebut merupakan waktu sia-sia kapal. Idle disini sudah termasuk waiting time dan approaching time.

5.5.2. Biaya Pokok Kapal

Biaya pokok kapal adalah harga kapal pada saat dibeli atau dibangun. Biaya pokok disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal tergantung pada bagaimana pengadaan kapal tersebut. Pengembalian pinjaman ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan. Tabel di bawah ini merupakan biaya pokok untuk masing masing rute yang terpilih.

Tabel 5.10 Biaya Pokok Kapal

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	
DWT	1.086	2.018	1.452	3.720	2.207	2.161	2.097	Ton
Payload	1.085	1.996	1.415	3.684	2.188	2.126	2.050	Ton
Biaya Pokok	Rp 691,4	Rp 1.000,8	Rp 815,7	Rp 1.529,5	Rp 1.061,2	Rp 1.046,5	Rp 1.026,3	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya pokok kapal yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya pokok dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp691 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp1.000 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp815 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp1.529 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp1.061 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp1.046 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp1.026 juta/tahun.

5.5.3. Biaya Operasional Kapal

Operational cost adalah biaya-biaya tetap yang dikeluarkan sehari-hari untuk menjadikan kapal selalu dalam keadaan siap berlayar. Komponen dari biaya operasional adalah gaji ABK, perawatan dan perbaikan, bahan makanan, stores, minyak pelumas, asuransi dan administrasi.

Tabel 5.11 Biaya Operasional Kapal

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge							
Gaji Crew	Rp 480	Rp 600	Juta/Tahun					
Perbaikan & Perawatan	Rp 238	Rp 344	Rp 281	Rp 526	Rp 365	Rp 360	Rp 353	Juta/Tahun
Asuransi Kapal	Rp 119	Rp 172	Rp 140	Rp 263	Rp 183	Rp 180	Rp 177	Juta/Tahun
Supplies Crew	Rp 66	Rp 83	Juta/Tahun					
Dokumen & Administrasi	Rp 2.135	Rp 210	Rp 135	Rp 135	Rp 240	Rp 140	Rp 105	Juta/Tahun
Total Biaya Operasional	Rp 3.038	Rp 1.409	Rp 1.239	Rp 1.607	Rp 1.470	Rp 1.363	Rp 1.317	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya operasional kapal yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya operasional dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang

sebesar Rp3.038 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp1.409 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp1.239 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp1.607 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp1.470 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp1.363 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp1.317 juta/tahun.

5.5.4. Biaya Bahan Bakar Kapal

Sebelum menentukan biaya konsumsi dari bahan bakar selama kapal melakukan pelayaran dan saat berlabuh, terlebih dahulu harus mengetahui spesifikasi mesin dari kapal pada perhitungan setelah dihasilkannya ukuran utama. Biaya bahan bakar merupakan perkalian biaya satuan harga bahan bakar dikali dengan SFR dan waktu serta margin. Bahan bakar yang digunakan untuk mesin induk adalah jenis MFO dengan harga Rp8.900/liter dan jenis bahan yang digunakan untuk mesin bantu adalah HSD dengan harga Rp11.750/liter. Mesin induk digunakan selama kapal berlayar, sedangkan mesin bantu digunakan saat kapal berlayar maupun saat berlabuh. Pada tabel di bawah ini menunjukkan penggunaan bahan bakar selama pertahunnya dan tabel di bawah ini menunjukkan biaya bahan bakar pertahunnya.

Tabel 5.12 Biaya Bahan Bakar Kapal

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	
Main Engine	Rp 1,6	Rp 61,9	Rp 101,7	Rp 98,7	Rp 52,8	Rp 96,9	Rp 134,3	Juta/Roundtrip
Main Engine	Rp 6,3	Rp 1.114,7	Rp 813,6	Rp 1.973,9	Rp 316,8	Rp 581,2	Rp 671,5	Juta/Tahun
Aux. Engine	Rp 2,6	Rp 101,7	Rp 167,1	Rp 162,1	Rp 86,7	Rp 159,1	Rp 220,6	Juta/Roundtrip
Aux. Engine	Rp 10,3	Rp 1.831,2	Rp 1.336,5	Rp 3.242,6	Rp 520,4	Rp 954,8	Rp 1.103,0	Juta/Tahun
Total Biaya Bahan Bakar	Rp 16,5	Rp 2.946,0	Rp 2.150,0	Rp 5.216,6	Rp 837,3	Rp 1.536,0	Rp 1.774,5	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya bahan bakar kapal yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya bahan bakar kapal dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp16,5 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp2.946 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp2.150 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp5.216 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp837 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp1.536 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp1.774 juta/tahun.

5.5.5. Biaya Pelabuhan

Pada saat kapal dipelabuhan biaya-biaya yang dikeluarkan meliputi *port dues* dan *service charges*. *Port dues* adalah biaya yang dikenakan atas penggunaan fasilitas pelabuhan seperti dermaga, tambatan, kolam pelabuhan dan infrastruktur lainnya yang besarnya

tergantung volume *cargo*, berat *cargo*, GRT kapal dan NRT kapal. *Service charge* meliputi jasa yang dipakai kapal selama dipelabuhan termasuk pandu dan tunda.

Tabel 5.13 Biaya Pelabuhan

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	
Pelabuhan Asal								
Labuh	Rp 84	Rp 973	Rp 176	Rp 1.085	Rp 246	Rp 241	Rp 196	Ribu/Tahun
Tambat	Rp 259	Rp 2.805	Rp 698	Rp 4.297	Rp 821	Rp 805	Rp 652	Ribu/Tahun
Pandu	Rp 704	Rp 2.318	Rp 1.067	Rp 3.527	Rp 2.666	Rp 2.646	Rp 2.182	Ribu/Tahun
Tunda	Rp 486	Rp 3.978	Rp 4.859	Rp 2.490	Rp 736	Rp 736	Rp 613	Ribu/Tahun
Pelabuhan Tujuan								
Labuh	Rp 81	Rp 656	Rp 213	Rp 1.312	Rp 370	Rp 346	Rp 189	Ribu/Tahun
Tambat	Rp 234	Rp 1.900	Rp 617	Rp 3.799	Rp 1.068	Rp 998	Rp 548	Ribu/Tahun
Pandu	Rp 317	Rp 1.666	Rp 675	Rp 2.333	Rp 4.822	Rp 787	Rp 468	Ribu/Tahun
Tunda	Rp 584	Rp 2.660	Rp 1.174	Rp 3.016	Rp 4.419	Rp 1.328	Rp 740	Ribu/Tahun
Total Biaya Pelabuhan	Rp 2,7	Rp 17,0	Rp 9,5	Rp 21,9	Rp 15,1	Rp 7,9	Rp 5,6	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya pelabuhan kapal yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya pelabuhan dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp2,7 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp17 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp9,5 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp21,9 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp15,1 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp7,9 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp5,6 juta/tahun.

5.5.6. Biaya Satuan Kapal

Unit cost atau *biaya satuan* merupakan hasil dari *total cost* dibagi dengan volume *cargo* terangkut. *Unit cost* ini menunjukkan biaya 1 unit dalam hal ini memiliki satuan ton per rupiah.

Tabel 5.14 Biaya Satuan

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	
DWT	1.086	2.018	1.452	3.720	2.207	2.161	2.097	Ton
Payload	1.085	1.996	1.415	3.684	2.188	2.126	2.050	Ton
Total Angkut	4.340	35.928	11.328	73.700	13.128	12.762	10.250	Ton/tahun
Roundtrip	18,6	191,0	301,1	299,3	165,9	289,6	394,6	Jam
Frekuensi Dibutuhkan	4	18	8	20	6	6	5	Kali
Frekuensi Maksimal	427	42	27	27	48	28	21	Kali
Jumlah Kapal	1	1	1	1	1	1	1	Unit
Biaya Pelayaran	Rp 19,3	Rp 2.962,9	Rp 2.159,5	Rp 5.238,4	Rp 852,4	Rp 1.543,9	Rp 1.780,1	Juta/Tahun
Biaya Satuan	Rp903.433	Rp176.579	Rp422.823	Rp143.679	Rp283.268	Rp347.600	Rp434.767	/Ton

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya satuan atau *unit cost* kapal dalam satuan (ton) yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya satuan dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp903 ribu/ton, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp176 ribu/ton, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp422 ribu/ton, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp143 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang)

sebesar Rp283 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp347 ribu/ton, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp434 ribu/ton.

5.6. Biaya Transportasi Darat Terpilih

Pada sub bab ini akan dibahas biaya yang dibutuhkan truk berdasarkan *supply* yang terpilih oleh kapal mulai dari biaya pokok truk, biaya operasional truk, biaya bahan bakar truk, dan biaya satuan.

Tabel 5.15 Transportasi Darat Terpilih

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Moda Darat	Truk							
Total Angkut	4.267	35.412	10.622	70.856	13.081	12.272	10.062	Ton/Tahun
Payload	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	Ton
Roundtrip	3,2	66,9	85,2	52,8	44,3	70,5	20,3	Jam
Frekuensi Dibutuhkan	202	1.673	502	3.346	618	580	476	Kali
Frekuensi Maksimal	2.454	119	93	150	179	113	390	Kali
Jumlah Truk	1	15	6	23	4	6	2	Unit
Biaya Satuan	Rp 154.167	Rp 463.660	Rp 597.042	Rp 363.723	Rp 315.223	Rp 499.414	Rp 163.677	/Ton

5.6.1. Biaya Pokok Truk

Biaya pokok truk adalah harga truk pada saat dibeli. Biaya pokok disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal tergantung pada bagaimana pengadaan truk tersebut. Pengembalian pinjaman ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan. Tabel di bawah ini merupakan biaya pokok untuk masing masing rute yang terpilih.

BIAYA POKOK				
Harga Truk	=	Rp	660.000.000	/Unit
Inflasi	=		1,5% · Biaya	
	=	Rp	6.600.000	/Tahun
Pajak	=		-3% · Biaya	
	=	Rp	19.800.000	/Tahun
Total Harga	=		Harga Truk + Inflasi + Pajak	
	=	Rp	686.400.000	
	=	Rp	686.400.000	
	=	Rp	93.259.767	/tahun

Gambar 5.13 Contoh Perhitungan Biaya Pokok Truk

Gambar di atas merupakan contoh perhitungan biaya pokok truk rute PLTU Teluk Sirih – Semen Padang untuk harga truk sendiri yaitu Rp660 juta/unit dimana inflasi dan pajak merupakan asumsi.

Tabel 5.16 Biaya Pokok Truk

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Moda Darat	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	
Harga Truk	Rp 660	Rp 660	Rp 660	Rp 660	Rp 660	Rp 660	Rp 660	Juta/Unit
Inflasi	Rp 6,6	Rp 6,6	Rp 6,6	Rp 6,6	Rp 6,6	Rp 6,6	Rp 6,6	Juta/Tahun
Pajak	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Juta/Tahun
Jumlah Truk	1	15	6	23	4	6	2	Unit
Total Harga	Rp 93,3	Rp 1.398,9	Rp 559,6	Rp 2.145,0	Rp 373,0	Rp 559,6	Rp 186,5	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya pokok truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya pokok dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp93 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp1.398 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp559 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp2.145 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp373 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp559 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp186 juta/tahun.

5.6.2. Biaya Operasional Truk

OPERATING COST				
Gaji Supir	=	Rp	96.000.000	/tahun
Jumlah Supir	=		1	Orang
Gaji Per Supir/Bulan	=	Rp	8.000.000	
Perbaikan & Perawatan	=	3% dari harga truk		
	=	Rp	19.800.000	/tahun
Asuransi Truk	=	1,5% dari harga truk		
	=	Rp	9.900.000	/tahun
Perbekalan Supir	=	Rp	50.000	/orang/hari
	=	Rp	16.500.000	/tahun
Dokumen & Administrasi	=	Rp	150.000	/trip
	=	Rp	374.250.000	
Total Operasional Cost	=	Rp	516.450.000	/tahun

Gambar 5.14 Contoh Perhitungan Biaya Operasional Truk

Gambar di atas merupakan contoh perhitungan biaya operasional truk rute PLTU Teluk Sirih – Semen Padang. Untuk gaji supir Rp8 juta/bulan, perbaikan dan perawatan truk 3% dari harga truk, asuransi truk 1,5% dari harga truk merupakan asumsi.

Tabel 5.17 Biaya Operasional Truk

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Moda Darat	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	Truk	
Gaji Supir	Rp 96,0	Rp 1.440,0	Rp 576,0	Rp 2.208,0	Rp 384,0	Rp 576,0	Rp 192,0	Juta/Tahun
Perbaikan & Perawatan	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Rp 19,8	Juta/Tahun
Asuransi Truk	Rp 9,9	Rp 9,9	Rp 9,9	Rp 9,9	Rp 9,9	Rp 9,9	Rp 9,9	Juta/Tahun
Bekal Supir	Rp 16,5	Rp 247,5	Rp 99,0	Rp 379,5	Rp 66,0	Rp 99,0	Rp 33,0	Juta/Tahun
Dokumen & Administrasi	Rp 368,1	Rp 267,8	Rp 83,7	Rp 517,5	Rp 107,4	Rp 101,7	Rp 117,0	Juta/Tahun
Total Biaya Operasional	Rp 510,3	Rp 1.985,0	Rp 788,4	Rp 3.134,7	Rp 587,1	Rp 806,4	Rp 371,7	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya operasional truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya operasional dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp510 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp1.985 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp788 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp3.134 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp587 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp806 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp371 juta/tahun.

5.6.3. Biaya Bahan Bakar Truk

Sebelum menentukan biaya konsumsi dari bahan bakar selama truk melakukan perjalanan, terlebih dahulu harus mengetahui spesifikasi mesin dari truk. Biaya bahan bakar merupakan perkalian biaya satuan harga bahan bakar dikali dengan SFR dan waktu serta margin. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis Solar dengan harga Rp5.150/liter.

VOYAGE COST		
Konsumsi Bahan Bakar :		Diesel engine : 209 - 178 g/kw/hr, nilai rata-rata : 194
SFOC	=	194 g/kW/hr
	=	0,000194 ton/kw/hr
Diesel Oil		
SFR	=	0,000194 ton/kW h
MCR	=	191 kW
Margin	=	5% ; batas (5% ~ 10%)
WFO	=	SFR x MCR x S/Vs x (1+Margin)
	=	0,04 ton
	=	52,17 liter
Fuel Cost	=	Rp 268.675 /roundtrip
	=	Rp 57.496.387 /tahun

Gambar 5.15 Contoh Perhitungan Biaya Bahan Bakar Truk

Tabel 5.18 Biaya Bahan Bakar Truk

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Kapal Terpilih	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	Barge	
Daya Truk	Rp 260	Rp 260,0	Rp 260,0	Rp 260,0	Rp 260,0	Rp 260,0	Rp 260,0	Ps
	Rp 191,2	Rp 191,2	Rp 191,2	Rp 191,2	Rp 191,2	Rp 191,2	Rp 191,2	kW
Fuel Cost	Rp 269	Rp 7.792	Rp 9.948	Rp 6.124	Rp 5.119	Rp 8.212	Rp 2.287	Ribu/Roundtrip
	Rp 54	Rp 13.035	Rp 4.994	Rp 20.492	Rp 3.163	Rp 4.763	Rp 1.089	Juta/Tahun

Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya bahan bakar truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya bahan bakar dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp54 juta/tahun, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp13.035 juta/tahun, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp4.994 juta/tahun, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp20.492 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang)

sebesar Rp3.163 juta/tahun, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp4.763 juta/tahun, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp1.089 juta/tahun.

5.6.4. Biaya Satuan Truk

Tabel 5.19 Biaya Satuan Truk

Keterangan	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Moda Darat	Truk							
Total Angkut	4.267	35.412	10.622	70.856	13.081	12.272	10.062	Ton/Tahun
Payload	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	Ton
Roundtrip	3,2	66,9	85,2	52,8	44,3	70,5	20,3	Jam
Frekuensi Dibutuhkan	202	1.673	502	3.346	618	580	476	Kali
Frekuensi Maksimal	2.454	119	93	150	179	113	390	Kali
Jumlah Truk	1	15	6	23	4	6	2	Unit
Biaya Satuan	Rp 154.167	Rp 463.660	Rp 597.042	Rp 363.723	Rp 315.223	Rp 499.414	Rp 163.677	/Ton

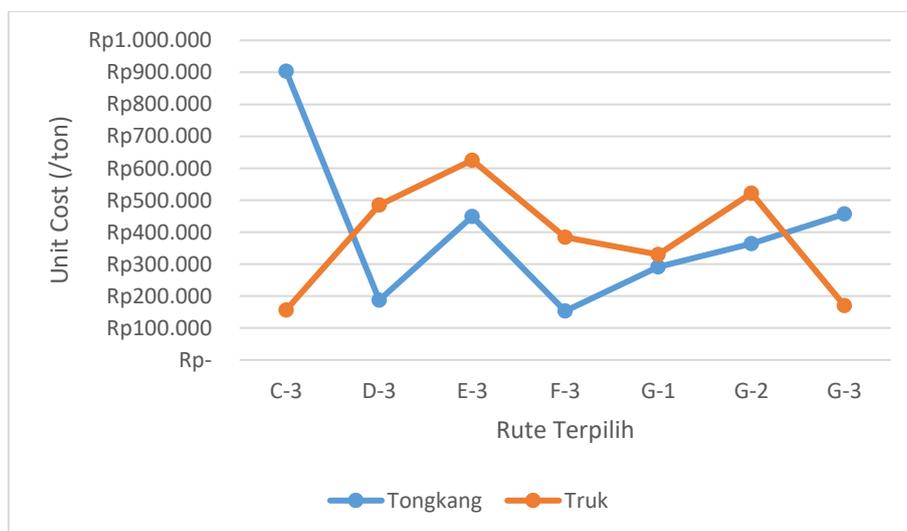
Tabel di atas menunjukkan besarnya biaya satuan atau unit cost truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya satuan dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang sebesar Rp154 ribu/ton, PLTU Sebalang-Semen Padang sebesar Rp463 ribu/ton, PLTU Bangka Baru-Semen Padang sebesar Rp597 ribu/ton, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang sebesar Rp363 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) sebesar Rp315 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) sebesar Rp499 ribu/ton, dan PLTU Tenayan-Semen Padang sebesar Rp163 ribu/ton.

5.7. Penentuan Armada Terpilih Antara Transportasi Laut dan Darat

Pada sub bab ini akan ditentukan pengiriman dengan unit cost atau biaya satuan paling murah antara moda laut dengan moda darat sesuai rute yang terpilih.

Tabel 5.20 Unit Cost Masing-Masing Moda

	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Tongkang	Rp 903.927	Rp 187.187	Rp 448.632	Rp 153.067	Rp 291.430	Rp 363.560	Rp 457.253	/Ton
Truk	Rp 154.167	Rp 463.660	Rp 597.042	Rp 363.723	Rp 315.223	Rp 499.414	Rp 163.677	/Ton



Gambar 5.16 Perbandingan Unit Cost

Gambar di atas menunjukkan besarnya biaya satuan kapal dan truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya yang terpilih yaitu yang paling minimum atau murah didapatkan hasil yaitu berupa distribusi dari PLTU Teluk Sirih-Semen Padang menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp154 ribu/ton, PLTU Sebalang-Semen Padang menggunakan barge dengan biaya satuan sebesar Rp187 ribu/ton, PLTU Bangka Baru-Semen Padang menggunakan barge dengan biaya satuan sebesar Rp448 ribu/ton, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp153 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp291 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp363 ribu/ton, dan PLTU Tenayan-Semen Padang menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp163 ribu/ton.

5.8. Perbandingan Penggunaan *Fly Ash* Terhadap Harga Semen

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perbandingan penggunaan *fly ash* dan tanpa *fly ash* terhadap harga semen jika harga Semen Baturaja Rp72.750/sak (50kg) dan harga Semen Padang Rp70.750/sak (50kg). Sedangkan harga dari masing-masing material yaitu untuk Klinker (Vietnam) seharga Rp650.000/ton, Klinker (Indonesia) seharga Rp585.000/ton, Gypsum seharga Rp274.000/ton, Batu Kapur seharga Rp155.000, dan *Fly Ash* seharga Rp50.000/ton.

5.8.1. Semen Baturaja Tanpa *Fly Ash*

Tabel 5.21 Total biaya material tanpa fly ash PT Semen Baturaja (Palembang)

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya
	Klinker	82,2%	268.816	Rp 157.257.473.490
	Gypsum	2,2%	7.195	Rp 1.971.318.756
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	49.054	Rp 7.603.377.750
	Fly Ash	0,0%	0	Rp -
	Biaya Transportasi Klinker (Truk)			Rp 1.165.922.067
	Total			Rp 167.998.092.063

Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Baturaja (Palembang) sebesar 327.027 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 268.816 ton/tahun dengan harga Rp157.257 juta/tahun, Gypsum sebesar 7.195 ton/tahun dengan harga Rp1.971 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 49.054 ton/tahun dengan harga Rp7.603 juta/tahun, *Fly Ash* tidak digunakan, dan biaya transportasi Klinker sebesar Rp1.165 juta/tahun didapatkan total biaya jika menggunakan klinker atau tanpa *fly ash* sebesar Rp167.998 juta/tahun.

Tabel 5.22 Total biaya material tanpa *fly ash* PT Semen Baturaja (Lampung)

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya
	Klinker	82,8%	254.033	Rp 148.609.237.140
	Gypsum	2,2%	6.750	Rp 1.849.408.484
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	46.020	Rp 7.133.169.750
	Fly Ash	0,0%	0	Rp -
	Biaya Transportasi Klinker (Truk)			Rp 1.686.921.537
	Total			Rp 159.278.736.911

Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Baturaja (Lampung) sebesar 306.803 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 254.033 ton/tahun dengan harga Rp148.609 juta/tahun, Gypsum sebesar 6.750 ton/tahun dengan harga Rp1.849 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 46.020 ton/tahun dengan harga Rp7.133 juta/tahun, *Fly Ash* tidak digunakan, dan biaya transportasi Klinker sebesar Rp1.686 juta/tahun didapatkan total biaya jika menggunakan klinker atau tanpa *fly ash* sebesar Rp159.278 juta/tahun.

5.8.2. Semen Baturaja Menggunakan *Fly Ash*

Tabel 5.23 Total biaya material dengan fly ash PT Semen Baturaja (Palembang)

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya
	Klinker	78,8%	257.697	Rp 150.752.906.460
	Gypsum	2,2%	7.195	Rp 1.971.318.756
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	49.054	Rp 7.603.377.750
	Fly Ash	4,0%	13.081	Rp 654.054.000
	Biaya Transportasi Fly Ash (Kapal)			Rp 3.705.434.570
	Total			Rp 164.687.091.536
Penghematan Biaya Jika Menggunakan Fly Ash				Rp 3.311.000.527
Presentase				98,0%
Perbandingan	% x Harga Semen Awal			Rp 71.316
Selisih Harga Semen				Rp 1.434



Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Baturaja (Palembang) sebesar 327.027 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 257.697 ton/tahun dengan harga Rp150.752 juta/tahun, Gypsum sebesar 7.195 ton/tahun dengan harga Rp1.971 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 49.054 ton/tahun dengan harga Rp7.603 juta/tahun, *Fly Ash* sebesar 13.081 ton/tahun dengan harga Rp654 juta/tahun, dan biaya transportasi *Fly Ash* sebesar Rp3.705 juta/tahun didapatkan total biaya jika menggunakan *Fly Ash* sebesar Rp164.687 juta/tahun. Selisih biaya yang dikeluarkan atau penghematan jika menggunakan fly ash sebesar Rp3.311 juta/tahun. Jika sebelumnya harga semen tanpa menggunakan *fly ash* adalah Rp72.750/sak maka harga semen jika menggunakan *fly ash* yaitu total biaya jika menggunakan *fly ash* dibagi total biaya jika tanpa *fly ash* didapatkan presentase (%) kemudian dikali harga semen sebelumnya didapatkan harga yaitu Rp71.316/sak.

Tabel 5.24 Total biaya material dengan *fly ash* PT Semen Baturaja (Lampung)

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya
	Klinker	78,8%	241.761	Rp 141.430.046.940
	Gypsum	2,2%	6.750	Rp 1.849.408.484
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	46.020	Rp 7.133.169.750
	Fly Ash	4,0%	12.272	Rp 613.606.000
	Biaya Transportasi Fly Ash (Kapal)			Rp 4.265.747.813
	Total			Rp 155.291.978.987
	Penghematan Biaya Jika Menggunakan Fly Ash			Rp 3.986.757.924
	Presentase			97,5%
	Perbandingan	% x Harga Semen Awal		Rp 70.929
Selisih Harga Semen			Rp 1.821	

Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Baturaja (Palembang) sebesar 306.803 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 241.761 ton/tahun dengan harga Rp141.430 juta/tahun, Gypsum sebesar 6.750 ton/tahun dengan harga Rp1.849 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 46.020 ton/tahun dengan harga Rp7.133 juta/tahun, *Fly Ash* sebesar 12.272 ton/tahun dengan harga Rp613 juta/tahun, dan biaya transportasi *Fly Ash* sebesar Rp4.265 juta/tahun didapatkan total biaya jika menggunakan Fly Ash sebesar Rp155.291 juta/tahun. Selisih biaya yang dikeluarkan atau penghematan jika menggunakan *fly ash* sebesar Rp3.986 juta/tahun. Jika sebelumnya harga semen tanpa menggunakan *fly ash* adalah Rp72.750/sak maka harga semen jika menggunakan *fly ash* yaitu total biaya jika menggunakan *fly ash* dibagi total biaya jika tanpa *fly ash* didapatkan presentase (%) kemudian dikali harga semen sebelumnya didapatkan harga yaitu Rp70.929/sak.

5.8.3. Semen Padang Tanpa *Fly Ash*

Tabel 5.25 Total biaya material tanpa *fly ash* PT Semen Padang

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya
	Klinker	82,8%	2.716.240	Rp 1.589.000.355.540
	Gypsum	2,2%	72.171	Rp 19.774.751.524
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	492.072	Rp 76.271.229.750
	Fly Ash	0,0%	0	Rp -
	Biaya Transportasi Klinker (Produksi Sendiri)			
	Total			Rp 1.685.046.336.814

Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Padang sebesar 3.280.483 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 2.716.240 ton/tahun dengan harga Rp1.589.000 juta/tahun, Gypsum sebesar 72.171 ton/tahun dengan harga Rp19.774 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 492.072 ton/tahun dengan harga Rp76.271 juta/tahun, *Fly Ash* tidak digunakan, dan biaya transportasi Klinker sebesar Rp0/tahun dikarenakan pabrik

Semen Padang memproduksi klinker sendiri pada pabrik yang sama didapatkan total biaya jika menggunakan klinker atau tanpa *fly ash* sebesar Rp1.685.046 juta/tahun.

5.8.4. Semen Padang Menggunakan *Fly Ash*

Tabel 5.26 Total biaya material dengan fly ash PT Semen Padang

SEMEN	Material	Presentase	Jumlah	Biaya	
	Klinker	78,8%	2.585.021	Rp 1.512.237.053.340	
	Gypsum	2,2%	72.171	Rp 19.774.751.524	
	Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	492.072	Rp 76.271.229.750	
	Fly Ash	4,0%	131.219	Rp 6.560.966.000	
	Biaya Transportasi Fly Ash (Kombinasi)			Rp 23.229.556.596	
	Total			Rp 1.638.073.557.210	
	Penghematan Biaya Jika Menggunakan Fly Ash				Rp 46.972.779.604
	Presentase			97,2%	
	Perbandingan	% x Harga Semen Awal		Rp 68.778	
Selisih Harga Semen			Rp 3.972		

Dari tabel di atas dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan untuk masing-masing jumlah material yang ada dimana untuk total produksi Semen Padang sebesar 3.280.483 ton/tahun didapatkan jumlah material Klinker sebesar 2.585.021 ton/tahun dengan harga Rp1.512.237 juta/tahun, Gypsum sebesar 72.171 ton/tahun dengan harga Rp19.774 juta/tahun, Batu Kapur sebesar 492.072 ton/tahun dengan harga Rp76.271 juta/tahun, *Fly Ash* sebesar 131.219 ton/tahun dengan harga Rp6.560 juta/tahun, dan biaya transportasi *Fly Ash* sebesar Rp23.229 juta/tahun didapatkan total biaya jika menggunakan *Fly Ash* sebesar Rp1.638.073 juta/tahun. Selisih biaya yang dikeluarkan atau penghematan jika menggunakan *fly ash* sebesar Rp46.972 juta/tahun. Jika sebelumnya harga semen tanpa menggunakan *fly ash* adalah Rp70.750/sak maka harga semen jika menggunakan *fly ash* yaitu total biaya jika menggunakan *fly ash* dibagi total biaya jika tanpa *fly ash* didapatkan presentase (%) kemudian dikali harga semen sebelumnya didapatkan harga yaitu Rp68.778/sak.

5.9. Analisis Sensitivitas

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis sensitivitas demand *fly ash* yang berpengaruh terhadap muatan terkirim dari masing-masing PLTU dan unit cost, sensitivitas hubungan antara material klinker vs material *fly ash* terhadap biaya produksi semen. Analisis sensitivitas dilakukan pada moda terpilih yaitu *Barge* dan *Truck*.

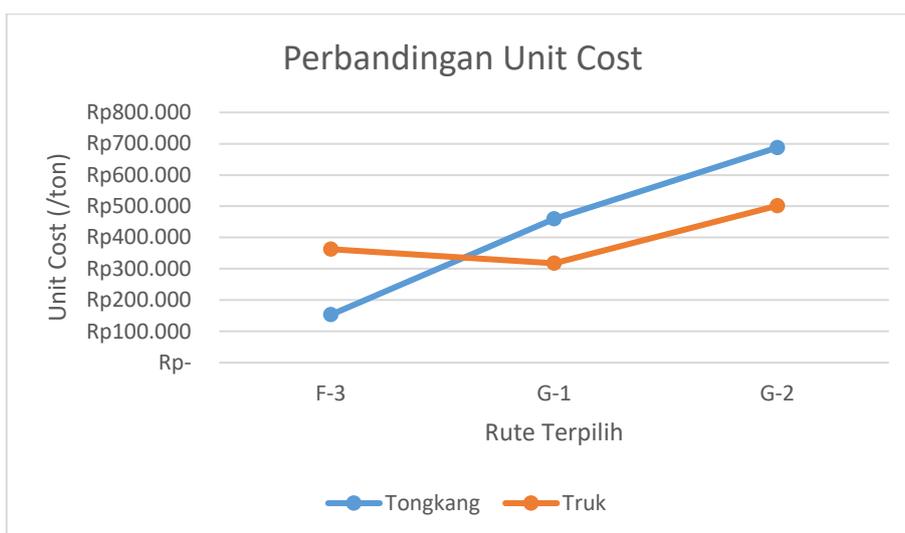
5.9.1. Sensitivitas Demand *Fly Ash*

Menjelaskan mengenai demand *fly ash* dari pabrik semen ke PLTU dimana jika demand *fly ash* berubah maka moda transportasi yang digunakan juga akan berbeda dan muatan *fly ash* yang terkirim dari PLTU juga mengalami perubahan jumlah. Pada hal ini

dilakukan percobaan pada demand 2% dan demand 5%. Sensitivitas yang dipakai adalah dari moda terpilih yaitu *Barge* dan *Truck* dari masing masing rute terpilih.

Tabel 5.27 Unit Cost Masing-Masing Moda Demand *Fly Ash* 2%

	F-3	G-1	G-2	Satuan
Tongkang	Rp 153.051	Rp 459.465	Rp 687.757	/Ton
Truk	Rp 362.791	Rp 317.518	Rp 501.752	/Ton

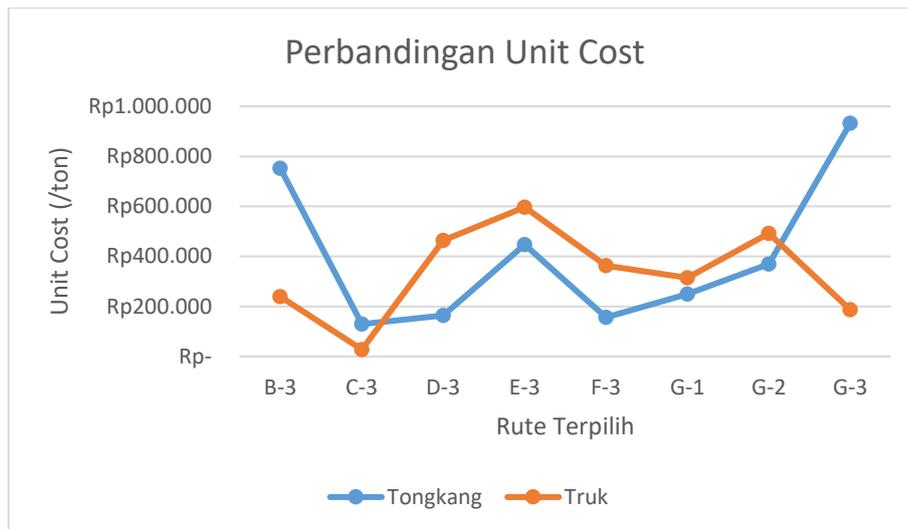


Gambar 5.17 Perbandingan Unit Cost Demand *Fly Ash* 2%

Gambar di atas menunjukkan besarnya biaya satuan kapal dan truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya yang terpilih yaitu yang paling minimum atau murah didapatkan hasil yaitu berupa distribusi dari PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang menggunakan tongkang dengan biaya satuan sebesar Rp153 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp317 ribu/ton, dan PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp501 ribu/ton.

Tabel 5.28 Unit Cost Masing-Masing Moda Demand *Fly Ash* 5%

	B-3	C-3	D-3	E-3	F-3	G-1	G-2	G-3	Satuan
Tongkang	Rp 751.863	Rp 129.490	Rp 163.540	Rp 447.202	Rp 156.683	Rp 249.387	Rp 369.203	Rp 931.741	/Ton
Truk	Rp 238.892	Rp 27.900	Rp 463.451	Rp 596.705	Rp 363.723	Rp 314.930	Rp 491.670	Rp 186.992	/Ton



Gambar 5.18 Perbandingan Unit Cost Demand *Fly Ash* 5%

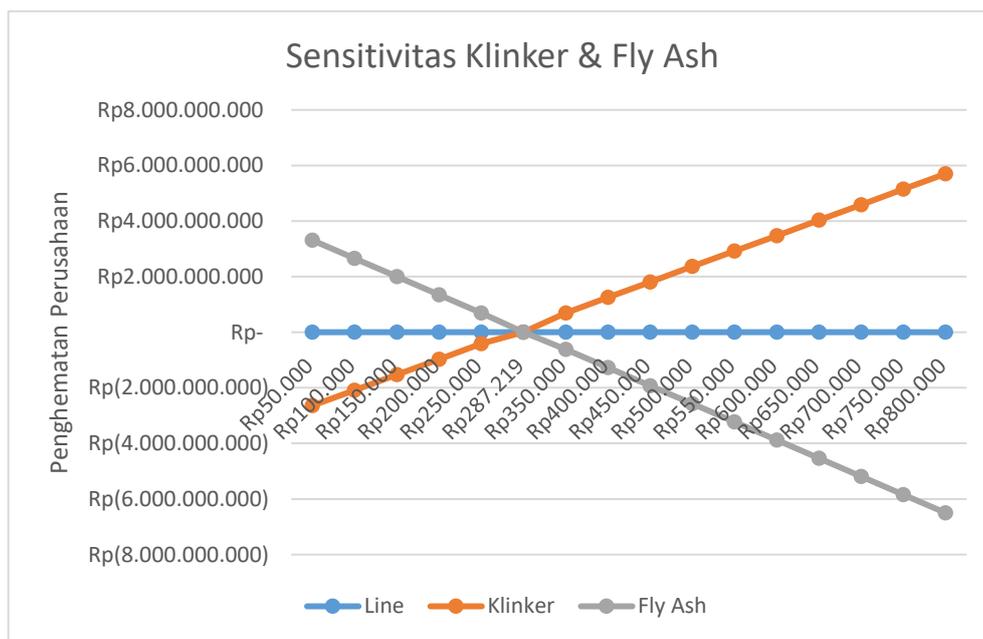
Gambar di atas menunjukkan besarnya biaya satuan kapal dan truk yang dibutuhkan dimasing-masing rute. Dimana biaya yang terpilih yaitu yang paling minimum atau murah didapatkan hasil yaitu berupa distribusi dari PLTU Labuhan Angin-Semen Padang menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp238 ribu/ton, PLTU Teluk Sirih-Semen Padang menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp27 ribu/ton, PLTU Sebalang-Semen Padang menggunakan barge dengan biaya satuan sebesar Rp163 ribu/ton, PLTU Bangka Baru-Semen Padang menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp447 ribu/ton, PLTU Pangkalan Susu-Semen Padang menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp156 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Palembang) menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp249 ribu/ton, PLTU Tenayan-Semen Baturaja (Lampung) menggunakan *barge* dengan biaya satuan sebesar Rp369 ribu/ton, dan PLTU Tenayan-Semen Padang menggunakan truk dengan biaya satuan sebesar Rp186 ribu/ton.

5.9.2. Sensitivitas Hubungan Antara Material Klinker vs *Fly Ash*

Menjelaskan mengenai hubungan antara material klinker vs material *fly ash* terhadap biaya produksi semen. Dimana jika harga suatu material antara klinker atau *fly ash* di titik tertentu maka tidak akan berpengaruh terhadap biaya produksi semen. Pada hal ini dilakukan percobaan jika harga klinker dan *fly ash* mulai dari Rp50.000/ton sampai Rp800.000/ton.

Tabel 5.29 Sensitivitas Hubungan Antara Material Klinker vs *Fly Ash*

Contoh Semen Baturaja (Palembang)							
Harga Klinker per Ton		Penghematan		Harga Fly Ash per Ton		Penghematan	
Rp	50.000	-Rp	2.637.620.603	Rp	50.000	Rp	3.311.000.527
Rp	100.000	-Rp	2.081.674.703	Rp	100.000	Rp	2.656.946.527
Rp	150.000	-Rp	1.525.728.803	Rp	150.000	Rp	2.002.892.527
Rp	200.000	-Rp	969.782.903	Rp	200.000	Rp	1.348.838.527
Rp	250.000	-Rp	413.837.003	Rp	250.000	Rp	694.784.527
Rp	287.219	Rp	-	Rp	303.114	Rp	-
Rp	350.000	Rp	698.054.797	Rp	350.000	-Rp	613.323.473
Rp	400.000	Rp	1.254.000.697	Rp	400.000	-Rp	1.267.377.473
Rp	450.000	Rp	1.809.946.597	Rp	450.000	-Rp	1.921.431.473
Rp	500.000	Rp	2.365.892.497	Rp	500.000	-Rp	2.575.485.473
Rp	550.000	Rp	2.921.838.397	Rp	550.000	-Rp	3.229.539.473
Rp	600.000	Rp	3.477.784.297	Rp	600.000	-Rp	3.883.593.473
Rp	650.000	Rp	4.033.730.197	Rp	650.000	-Rp	4.537.647.473
Rp	700.000	Rp	4.589.676.097	Rp	700.000	-Rp	5.191.701.473
Rp	750.000	Rp	5.145.621.997	Rp	750.000	-Rp	5.845.755.473
Rp	800.000	Rp	5.701.567.897	Rp	800.000	-Rp	6.499.809.473



Gambar 5.19 Sensitivitas Hubungan Antara Material Klinker vs *Fly Ash*

Dapat dilihat pada grafik di atas dimana ketika harga klinker Rp287.219/ton ditambah dengan biaya transportasi klinker maka tidak akan berpengaruh terhadap biaya produksi ketika harga *fly ash* Rp50.000/ton, begitu juga sebaliknya dimana ketika harga *fly ash* Rp303.114/ton ditambah dengan biaya transportasi *fly ash* maka tidak akan berpengaruh terhadap biaya produksi ketika harga klinker tetap yaitu Rp585.000/ton.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Potensi *fly ash* yaitu sebagai alternatif tambahan material dalam produksi semen guna mengurangi penggunaan klinker yang harganya relatif lebih mahal yaitu Rp585.000/ton sedangkan jika menggunakan *fly ash* Rp50.000/ton. Menurut hasil analisis PLTU yang berpotensi mensuplai *fly ash* ke pabrik Semen Baturaja dan Padang adalah PLTU Teluk Sirih, PLTU Sebalang, PLTU Bangka Baru, PLTU Pangkalan Susu, dan PLTU Tenayan.
2. Didapatkan jumlah *fly ash* yang harus di distribusikan oleh PLTU terpilih ke pabrik semen berdasarkan hasil optimasi sebagai berikut :
 - a. PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Baturaja (Palembang) menggunakan *Barge* sebesar 13.081 ton/tahun.
 - b. PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Baturaja (Lampung) menggunakan *Barge* sebesar 12.272 ton/tahun.
 - c. PLTU Teluk Sirih, PLTU Sebalang, Bangka Baru, PLTU Pangkalan Susu, dan PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Padang menggunakan *Barge & Truck* sebesar 131.219 ton/tahun.
3. Didapatkan biaya distribusi minimum rute terpilih di antara 2 (dua) moda yaitu moda transportasi laut dan moda transportasi darat sebagai berikut :
 - a. Untuk Rute PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Baturaja (Palembang) menggunakan *Barge* dengan biaya per unit sebesar Rp283.268/ton.
 - b. Untuk Rute PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Baturaja (Lampung) menggunakan *Barge* dengan biaya per unit sebesar Rp347.600/ton.
 - c. PLTU Teluk Sirih, PLTU Sebalang, Bangka Baru, PLTU Pangkalan Susu, dan PLTU Tenayan ke Pabrik Semen Padang menggunakan *Barge & Truck* dengan unit cost rata-rata Rp212.185/ton
4. Didapatkan penghematan biaya perusahaan Semen Baturaja dan Semen Padang ketika tanpa menggunakan *fly ash*.
 - a. Penghematan untuk pabrik Semen Baturaja sebesar Rp7.297 Juta/tahun
 - b. Penghematan untuk pabrik Semen Padang sebesar Rp46.972 Juta/tahun

6.2. Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah :

1. Hasil studi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak pengelola limbah pembakaran batubara (*fly ash*), khususnya pabrik semen dalam mengambil keputusan yang berkaitan pengambilan keputusan distribusi limbah (*fly ash*) demi meminimalkan biaya transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bertram, H. S. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy* - 2 edition. Butterworth: Heinemann Oxford.
- Closs, C. a. (2002). *Supply Chain Logistic Management*. New York: Brent Gordon.
- Herni Khaerunisa. (2003-2007). "*Toksisitas Abu Terbang dan Abu dasar Limbah PLTU Batubara yang berada di Sumatera dan Kalimantan secara Biologi*", Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Lewis, E. V. (1988). *Principle of Naval Architecture Vol. II*. Jersey: the society of naval architects and marine engineers.
- Pelaihari. 2007. "*Fly Ash sebagai Substitusi Semen*", Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Sri Prabandiyani Retno Wardani. (2008). "*Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*", Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design*. Amsterdam: Elsevier.
- Wergeland, T., & Wijnolst, N. (1997). *Shipping*. Netherlands: Delft University.
- Wikipedia. (2018). *Wikipedia Ensiklopedia Bebas*. Retrieved from Pulau Sumatera: <https://id.wikipedia.org/wiki/Sumatera>
- Wuryaningrum, P. (2014). *Komponen Biaya Transportasi Laut*. Surabaya.
- Www.semenbaturaja.co.id. (2017). *Annual Report PT Semen Baturaja*.
- Www.semenpadang.co.id. (2016). *Annual Report PT Semen Padang*.

LAMPIRAN

1. Dokumentasi Survey
2. Supply & Demand Abu Batubara (Fly Ash)
3. Perhitungan Biaya Truk
4. Perhitungan Biaya Transportasi Laut
5. Rekap Biaya

1. Dokumentasi Survey Survey Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Tarahan)



Survey PT Semen Baturaja (Lampung)



2. Supply & Demand Abu Batubara (Fly Ash) **ESTIMASI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR SISTEM KELISTRIKAN SUMATERA**

MENGGUNAKAN METODE PLTU TARAHAN

Produksi MWh

$$P = \text{Daya Terpasang (MW)} \times \text{CF (\%)} \times 24 \text{ (Jam)} \times 365 \text{ (hari)}$$

Konsumsi (Kg)

$$K = \text{Produksi (MWh)} \times \text{SFC (Kg/Kwh)}$$

Keterangan :

CF = Capacity Factor **85%**

SFC = Specific Fuel Consumption **50%**

Sumber : Estimasi Kebutuhan Batubara PLTU Tarahan Sektor Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan

PLTU Nagan Raya Kapasitas 2x110 MW

Kebutuhan Batubara	=	25,97	kg/detik
	=	93,50	ton/jam
	=	819.060,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	4,91	ton/jam
	=	43.000,65	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	4.300,07	ton/tahun
90% Fly Ash	=	38.700,59	ton/tahun

PLTU Labuhan Angin Kapasitas 2x115 MW

Kebutuhan Batubara	=	27,15	kg/detik
	=	97,75	ton/jam
	=	856.290,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	5,13	ton/jam
	=	44.955,23	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	4.495,52	ton/tahun
90% Fly Ash	=	40.459,70	ton/tahun

PLTU Teluk Sirih Kapasitas 2x112 MW

Kebutuhan Batubara	=	26,44	kg/detik
	=	95,20	ton/jam
	=	833.952,00	ton/tahun

Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	5,00	ton/jam
	=	43.782,48	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	4.378,25	ton/tahun
90% Fly Ash	=	39.404,23	ton/tahun

PLTU Sebalang 2x100 MW

Kebutuhan Batubara	=	23,61	kg/detik
	=	85,00	ton/jam
	=	744.600,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	4,46	ton/jam
	=	39.091,50	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	3.909,15	ton/tahun
90% Fly Ash	=	35.182,35	ton/tahun

PLTU Bangka Baru 2x30 MW

Kebutuhan Batubara	=	7,08	kg/detik
	=	25,50	ton/jam
	=	223.380,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	1,34	ton/jam
	=	11.727,45	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	1.172,75	ton/tahun
90% Fly Ash	=	10.554,71	ton/tahun

PLTU Pangkalan Susu 2x200 MW

Kebutuhan Batubara	=	47,22	kg/detik
	=	170,00	ton/jam
	=	1.489.200,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	8,93	ton/jam
	=	78.183,00	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	7.818,30	ton/tahun
90% Fly Ash	=	70.364,70	ton/tahun

PLTU Tenayan 2x100 MW

Kebutuhan Batubara	=	23,61	kg/detik
	=	85,00	ton/jam
	=	744.600,00	ton/tahun
Abu yang Dihasilkan	=	5,25%	dari pembakaran batubara
	=	4,46	ton/jam
	=	39.091,50	ton/tahun
10% Bottom Ash	=	3.909,15	ton/tahun
90% Fly Ash	=	35.182,35	ton/tahun

TOTAL KAPASITAS SUPPLY FLY ASH

Fly Ash = 269.848,62 ton/tahun

PRODUKSI SEMEN BATURAJA UNTUK MASING MASING PABRIK (DALAM TON)

Keterangan	Satuan/Unit	2015	2016	2017
Pabrik Baturaja I	(Ton)	947.265	993.691	718.001
Pabrik Baturaja II	(Ton)			452.655
Pabrik Palembang	(Ton)	288.362	327.027	299.495
Pabrik Lampung	(Ton)	301.474	306.803	310.777
Total	(Ton)	1.537.101	1.627.521	1.780.928

Sumber : Annual Report Semen Baturaja (2016 & 2017)

Keterangan	Satuan/Unit	2015	2016	2017
Pabrik Baturaja I	(Ton)	947.265	993.691	718.001
Clinker	78,8%	746.445	783.029	565.785
Gypsum	2,2%	20.840	21.861	15.796
Limestone	15,0%	142.090	149.054	107.700
Fly Ash	4,0%	37.891	39.748	28.720
Pabrik Baturaja II	(Ton)			452.655
Clinker	78,8%			356.692
Gypsum	2,2%			9.958
Limestone	15,0%			67.898
Fly Ash	4,0%			18.106
Pabrik Palembang	(Ton)	288.362	327.027	299.495
Clinker	78,8%	227.229	257.697	236.002
Gypsum	2,2%	6.344	7.195	6.589
Limestone	15,0%	43.254	49.054	44.924
Fly Ash	4,0%	11.534	13.081	11.980
Pabrik Lampung	(Ton)	301.474	306.803	310.777
Clinker	78,8%	237.562	241.761	244.892
Gypsum	2,2%	6.632	6.750	6.837
Limestone	15,0%	45.221	46.020	46.617
Fly Ash	4,0%	12.059	12.272	12.431
Total Semen	(Ton)	1.537.101	1.627.521	1.780.928
Total Fly Ash	(Ton)	61.484	65.101	71.237

Sumber : Annual Report Semen Baturaja (2016 & 2017)

TOTAL DEMAND FLY ASH

Semen Baturaja	Palembang	=	13.081	ton/tahun
Semen Baturaja	Lampung	=	12.272	ton/tahun
Semen Padang	Indarung II	=	28.200	ton/tahun
Semen Padang	Indarung III	=	31.716	ton/tahun
Semen Padang	Indarung IV	=	71.303	ton/tahun
TOTAL		=	156.573	ton/tahun

HARGA MATERIAL SEMEN

SEMEN

Klinker (Vietnam)	=	Rp	650.000	/ton
Klinker (Indonesia)	=	Rp	585.000	/ton
Gypsum	=	Rp	274.000	/ton
Batu Kapur/Pozzolan	=	Rp	155.000	/ton
Fly Ash	=	Rp	50.000	/ton

Sumber : Semen Baturaja

"sebelum menggunakan fly ash material yang digunakan adalah klinker"

PRODUKSI SEMEN PADANG UNTUK MASING MASING PABRIK (DALAM TON)

Keterangan	Satuan/Unit	2014	2015	2016
Per Pabrik				
Indarung I	(Ton)	36.976	29.732	21.907
Indarung II	(Ton)	811.278	760.893	705.009
Indarung III	(Ton)	919.962	836.690	792.906
Indarung IV	(Ton)	1.928.061	1.970.343	1.782.568
Indarung V	(Ton)	2.952.500	2.927.786	2.618.376
Jumlah	(Ton)	6.648.777	6.525.444	5.920.766
Cement Mill Dumai	(Ton)	22.330	363.069	535.293
Total Produksi	(Ton)	6.671.107	6.888.513	6.456.059
Per Jenis				
OPC	(Ton)	1.471.327	1.786.267	1.565.061
Non OPC	(Ton)	5.199.780	5.102.246	4.890.998
Total	(Ton)	6.671.107	6.888.513	6.456.059

Sumber : Annual Report Semen Padang (2016)

Keterangan	Satuan/Unit	2014	2015	2016
Indarung I	(Ton)	36.976	29.732	21.907

Clinker	78,8%	29.137	23.429	17.263
Gypsum	2,2%	813	654	482
Limestone	15,0%	5.546	4.460	3.286
Fly Ash	4,0%	1.479	1.189	876
Indarung II	(Ton)	811.278	760.893	705.009
Clinker	78,8%	639.287	599.584	555.547
Gypsum	2,2%	17.848	16.740	15.510
Limestone	15,0%	121.692	114.134	105.751
Fly Ash	4,0%	32.451	30.436	28.200
Indarung III	(Ton)	919.962	836.690	792.906
Clinker	78,8%	724.930	659.312	624.810
Gypsum	2,2%	20.239	18.407	17.444
Limestone	15,0%	137.994	125.504	118.936
Fly Ash	4,0%	36.798	33.468	31.716
Indarung IV	(Ton)	1.928.061	1.970.343	1.782.568
Clinker	78,8%	1.519.312	1.552.630	1.404.664
Gypsum	2,2%	42.417	43.348	39.216
Limestone	15,0%	289.209	295.551	267.385
Fly Ash	4,0%	77.122	78.814	71.303
Indarung V	(Ton)	2.952.500	2.927.786	2.618.376
Clinker	78,8%	2.326.570	2.307.095	2.063.280
Gypsum	2,2%	64.955	64.411	57.604
Limestone	15,0%	442.875	439.168	392.756
Fly Ash	4,0%	118.100	117.111	104.735
Jumlah	(Ton)	6.648.777	6.525.444	5.920.766
Cement Mill Dumai	(Ton)	22.330	363.069	535.293
Clinker	78,8%	17.596	286.098	421.811
Gypsum	2,2%	491	7.988	11.776
Limestone	15,0%	3.350	54.460	80.294
Fly Ash	4,0%	893	14.523	21.412
Total Produksi Semen	(Ton)	6.671.107	6.888.513	6.456.059
Total Fly Ash	(Ton)	266.844	275.541	258.242

Sumber : Annual Report Semen Padang (2016)

BC	SPB	Barge	BC	SPB	Barge	BC	SPB	Barge
40,5	41,1	42,0	0	0	0	40	30	19
40,5	42,5	39,1	0	0	0	47	35	23
40,3	39,0	44,4	0	0	0	90	69	44
38,9	40,8	42,0	0	0	0	36	27	18
39,2	40,5	41,0	0	0	0	61	45	29
42,7	43,7	45,3	0	0	0	152	114	75
49,0	39,1	42,8	0	0	0	50	39	25
40,0	38,7	43,0	0	0	0	83	63	40
40,0	44,0	40,3	0	0	4	508	365	295
39,1	56,0	58,1	0	0	0	104	68	44
38,1	39,4	40,7	0	0	0	548	434	280
41,7	39,6	48,8	0	0	18	82	62	39
39,9	39,8	45,1	0	0	0	163	126	82
38,6	38,2	46,0	0	0	0	72	55	35
47,5	50,6	44,0	0	0	8	52	38	26
64,9	51,2	54,5	0	0	0	53	44	29
49,2	48,5	63,7	0	0	0	37	28	17
41,3	45,9	59,1	0	0	19	55	40	25
39,2	43,8	50,1	0	0	6	94	69	44
39,3	52,7	49,8	0	0	6	56	40	26
76,4	74,8	49,4	0	0	5	34	26	20

Decision Variables						
Muatan Dikirim (ton)			Total Terangkut	Min Muatan Terangkut (ton)		
1 BC	2 SPB	3 Barge		1 BC	2 SPB	3 Barge
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	4.267	4.267	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	35.412	35.412	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	10.622	10.622	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	70.856	70.856	0	0	0
0	0	13.081	13.081	0	0	0
0	0	12.272	12.272	0	0	0
0	0	10.062	10.062	0	0	0

3. Perhitungan Biaya Truk

C-3 PLTU Teluk Sirih - Semen Padang

JENIS MUATAN		Fly Ash	
Demand	=	4.267	ton
Fly Ash Terangkut	=	21,2	ton
Daya Truk	=	260	ps
	=	191,2	kW
Umur Ekonomis	=	10	tahun
Rate	=	6%	/tahun
Harga Solar (22 jun 2018)	= Rp	5.150	/liter
PENGIRIMAN			
Commision Days	=	330	hari
Idle Time	=	1	jam
Jarak	=	39	km
Kecepatan (Berangkat)	=	30	km/jam
Kecepatan (Pulang)	=	40	km/jam
Kecepatan (Rata-Rata)	=	35	km/jam
Kecepatan B/M (Asal)	=	40	ton/jam
Kecepatan B/M (Tujuan)	=	50	ton/jam
PERJALANAN			
Asal - Tujuan	=	1	jam
Tujuan - Asal	=	1	jam
	=	2	jam
	=	0,1	hari
BONGKAR MUAT			
Asal	=	0,5	jam
	=	0,02	hari
Tujuan	=	0,4	jam
	=	0,02	hari
Waktu B/M	=	1,0	jam
Total Time/Roundtrip	=	3,2	jam
	=	0,13	hari
Frekuensi Maksimal Truk	=	2454	kali
Frekuensi Dibutuhkan Truk	=	202	kali
Jumlah Truk	=	1	unit
CAPITAL COST			
Harga Truk	= Rp	660.000.000	/Unit
Inflasi	= 1,5% · Biaya		
	= Rp	6.600.000	/Tahun
Pajak	= -3% · Biaya		
	= Rp	19.800.000	/Tahun
Total Harga	= Harga Truk + Inflasi + Pajak		
	= Rp	686.400.000	
	= Rp	686.400.000	
	= Rp	93.259.767	/tahun

OPERATING COST

Gaji Supir	=	Rp	96.000.000	/tahun
Jumlah Supir	=		1	Orang
Gaji Per Supir/Bulan	=	Rp	8.000.000	
Repair & Maintenance	=	3% dari harga truk		
	=	Rp	19.800.000	/tahun
Asuransi Truk	=	1,5% dari harga truk		
	=	Rp	9.900.000	/tahun
Supplies Sopir	=	Rp	50.000	/orang/hari
	=	Rp	16.500.000	/tahun
Dokumen & Administrasi	=	Rp	150.000	/trip
	=	Rp	368.100.000	
Total Operational Cost	=	Rp	510.300.000	/tahun

VOYAGE COST

Konsumsi Bahan Bakar :	Diesel engine : 209 - 178 g/kw/hr, nilai rata-rata : 194			
SFOC	=		194	g/kW/hr
	=		0,000194	ton/kw/hr
Diesel Oil				
SFR	=		0,000194	ton/kW h
MCR	=		191	kW
Margin	=		5%	; batas (5% ~ 10%)
W _{FO}	=			
	=		0,04	ton
	=		52,17	liter
Fuel Cost	=	Rp	268.675	/roundtrip
	=	Rp	54.272.290	/tahun

TOTAL COST

CAPITAL COST	=	Rp	93.259.767	/tahun
OPERATING COST	=	Rp	510.300.000	/tahun
VOYAGE COST	=	Rp	54.272.290	/tahun
TOTAL COST	=	Rp	657.832.057	/tahun
UNIT COST	=	Rp	154.167	

4. Perhitungan Biaya Transportasi Laut

BARGE

PLTU Pangkalan Susu - Semen Padang

No	Pelabuhan	Asal/Tujuan	Volume (Ton/Thn)	
			Muat (Ton)	Bongkar (Ton)
1	PLTU Nagan Raya	Asal	70.856	-
2	Semen Baturaja (Palembang)	Tujuan	-	13.081

	Minimal (m)	Batasan	Maksimal (m)	Status
LPP/B	2,99	2,99	3,84	OK
B/T	4,71	4,98	7,29	OK
LPP/T	14,89	14,89	24,62	OK
B/H	3,81	3,81	5,40	OK

DATA PENDUKUNG TONGKANG

Freeboard	=	1,223	m
Kecepatan Dinas	=	5	knot
	=	2,57	m/s
Kecepatan Ballast	=	6	knot
	=	3,084	m/s
Percepatan Gravitasi	=	9,81	m/s ²
Massa Jenis Air Laut	=	1,025	ton/m ³
Jumlah hari	=	365	hari
Hari Kerja	=	330	hari
Harga HFO	=	Rp 8.500	/liter
Harga MDO	=	Rp 9.000	/liter
Harga Lub Oil	=	Rp 21.000	/liter
Kecepatan Loading	=	200	t/h
Kecepatan Unloading	=	180	t/h
Kurs	=	Rp 13.700	
Umur Ekonomis	=	20	tahun
Rate	=	6%	/tahun

BERAT MESIN

D	=	2,577	m
n	=	110	
Z	=	4	buah
AE/AO	=	0,40	
P _D	=	226	kW
P _B	=	298	kW

PERHITUNGAN

1. Main Engine

We

Berat Mesin Induk

2,0 ton

2. Auxiliary Engine

7. Other Weight

Wot	0,04-0,07 P	20,86 Ton
-----	-------------	-----------

Ship Design for Efficient and Economy Schneekluth Vol 2. hal 177

Weight Total

WT	$W_e + W_{ae} + W_{gear} + M + W_{prop} + W_{agg} + W_{ot}$	Ton
----	---	-----

Titik Berat Machinery

h_{db}	Tinggi Double bottom B/15	
	$h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$	m
BKI Vol II. Bab 24 -3.3	1,3	
KG	2,7	m
Chapter 11 Parametric Design - M.G. Parson ; page 11-25		
LCB	Panjang Ceruk Buritan $4\% \cdot L_{pp}$	2,4 m
LCG _M	$(-0,5 \cdot L_{pp}) + LCB + 5$	-22,2 m
LCG _{FP}	$-LCG_m + (0,5 \cdot L_{pp})$	51,7 m

PERHITUNGAN PAYLOAD

Displacement	=	4.524,94	m ³
	=	4.638,07	ton
Payload	=	3685	ton
Terangkut	=	73.700	ton/tahun
Sisa terangkut	=	2.844	ton
Penalti sisa	=		/ton
Penalty	=	Rp	
	=	-	
Muatan	=	Fly Ash	
Demand	=	70.856	Ton
Stowage Factor Fly Ash	=	1,26	m ³ /ton
Volume Hold Total	=	5.425	m ³
Volume Muatan	=	4.643	m ³
Selisih Volume Total + Muatan	=	782	m ³

ROUNDRIP

PLTU Pangkalan Susu - Semen Padang

Jarak (Nm)		757		Nm
SEA TIME				
Asal - Tujuan	=			151 jam
Tujuan - Asal	=			126 jam
	=			278 jam
	=			11,57 hari
PORT TIME				
Asal	=			24,4 jam
	=			1,02 hari
Tujuan	=			25,5 jam
	=			1,06 hari
Port Time	=			49,9 jam
Total Time/Roundtrip	=			327,5 jam
	=			13,64 hari
Frekuensi Max Kapal	=			25 kali
Frekuensi Dibutuhkan	=			kali
		20		
Jumlah Kapal	=			kapal
		1		
Demand	=			ton/tahun
		70.856		
Prod. B/M (Asal)	=		100	t/h
Jumlah alat B/M (Asal)	=		2	Unit
Prod. B/M (Tujuan)	=		90	t/h
Jumlah alat B/M (Tujuan)	=		2	Unit
Commision Days	=			330 hari

OPERATING COST

1	Gaji Crew	Rp 600.000.000	/tahun
	Jumlah Crew		5 Orang
	Gaji Per Crew/Bulan	Rp 10.000.000	
2	Repair & Maintenance	3% dari harga kapal	
		Rp 526.301.134	/tahun
3	Asuransi Kapal	1,5% dari harga kapal	
		Rp 263.150.567	/tahun
4	Supplies Crew	Rp 50.000	/orang/hari
		Rp 82.500.000	/tahun

5	Dokumen & Administrasi	Rp 5.000.000	/trip
		Rp 125.000.000	
	Total Opersional Cost	Rp 1.596.951.702	/tahun

TOTAL COST

No	TONGKANG		
1	Capital Cost	=	Rp 1.529.511.041
2	Operating Cost	=	Rp 1.596.951.702
3	Voyage Cost	=	Rp 4.878.430.172
4	Cargo Handling Cost	=	
5	Port Charge	=	Rp 21.859.815
	TOTAL COST	=	Rp 8.026.752.730
	UNIT COST	=	Rp 113.283

CAPITAL COST (PERHITUNGAN HARGA KAPAL)

Input Data

W_{ST}	=	762,803	Ton
$W_{E\&O}$	=	155,591	Ton
W_{ME}	=	0	Ton
Harga Baja	=	\$ 1.100	/ton

Perhitungan Biaya

1. Structural Cost

P_{ST}	=	$W_{ST} \cdot \text{Harga Baja}$
	=	\$ 839.083

2. Outfit Cost

$P_{E\&O}$	=	$W_{E\&O} \cdot C_{E\&O}$
	=	\$ 171.149,63

3. Tug Boat Cost

P_{ME}	=	$W_{ME} \cdot C_{ME}$
	=	\$ 177.650,24

4. Non-weight Cost

C_{NW}	=	10%
P_{NW}	=	$C_{NW} \cdot (P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME})$
	=	\$ 118.788,32

Biaya

	=	$P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME} + P_{NW}$
	=	\$ 1.306.671,47

Perhitungan Harga

1. Keuntungan	=	5% · Biaya
	=	\$ 65.333,57
2. Inflasi	=	2% · Biaya
	=	\$ 26.133,43
3. Pajak	=	-9% · Biaya
	=	\$ (117.600,43)
Harga	=	Biaya + Keuntungan + Inflasi + Pajak
	=	\$ 1.280.538
	=	Rp 17.543.371.146
	=	Rp 1.529.511.041

BERAT BAJA

Input Data :

L	=	59,05	m
H	=	5,19	m
B	=	19,76	m
T	=	3,96	m
Fn	=	0,13	
CSO SPB Carrier	=	0,070	
CKG SPB Carrier	=	0.58 – 0.64	

Volume Superstructure (V_A)

1. Volume Forecastle (V_{FC})

Panjang Forecastle (ℓ_{FC})	$15\% \cdot L_{PP}$	8,86 m
Lebar Forecastle (b_{FC})	selebar kapal	19,76 m
Tinggi Forecastle (t_{FC})		2,4 m
Volume Forecastle (V_{FC})	$0.5 \cdot \ell_{FC} \cdot b_{FC} \cdot t_{FC}$	210,06 m ³

2. Volume Poop (V_{PO})

Panjang Poop (ℓ_{PO})	$20\% \cdot L_{PP}$	m
Lebar Poop (b_{PO})	selebar kapal	m
Tinggi Poop (t_{PO})		m
Volume Poop (V_{PO})	$\ell_{PO} \cdot b_{PO} \cdot t_{PO}$	0,00 m ³

Volume Superstructure (V_A)

$V_{FC} + V_{PO}$	210,06 m ³
-------------------	-----------------------

Volume Deck House (V_{DH})

1. Volume Layer 2 (V_{DH2})

Panjang Layer 2 (ℓ_{DH2})	$15\% \cdot L$
----------------------------------	----------------

Lebar Layer 2 (b_{DH2})	B - 2	8,9	m
Tinggi Layer 2 (t_{DH2})		17,76	m
Volume Layer 2 (V_{DH2})	$l_{DH2} \cdot b_{DH2} \cdot t_{DH2}$	2,5	m
		393,35	m ³
2. Volume Layer 3 (V_{DH3})			
Panjang Layer 3 (l_{DH3})	10 % · L		
	5,91		m
Lebar Layer 3 (b_{DH3})	B - 4		
	15,76		m
Tinggi Layer 3 (t_{DH3})		2,5	m
Volume Layer 3 (V_{DH3})	$l_{DH3} \cdot b_{DH3} \cdot T_{DH3}$		
		232,71	m ³
3. Volume Layer 4 (V_{DH4})			
Panjang Layer 4 (l_{DH4})	7,5 % · L		
	4		m
Lebar Layer 4 (b_{DH4})	B - 6		
		13,76	m
Tinggi Layer 4 (t_{DH4})		2,5	m
Volume Layer 4 (V_{DH4})	$l_{DH4} \cdot b_{DH4} \cdot t_{DH4}$		
		152,39	m ³
4. Volume Anjungan (V_{AN})			
Panjang Anjungan (l_{AN})	5 % · L		
		3,0	m
Lebar Anjungan (b_{AN})	B- 8		
		11,76	m
Tinggi Anjungan (t_{AN})		2,5	m
Volume Anjungan (V_{AN})	$l_{AN} \cdot b_{AN} \cdot t_{AN}$		
		86,83	m ³
Volume Deck House (VDH)	$V_{DH2} + V_{DH3} + V_{DH4} + V_{AN}$		
		865,26	m ³

Berat Baja (W_{ST})			
DA	H+(VA+VDH)/(LPP·B) Tinggi Kapal Setelah Dikoreksi dengan Superstructure & Deck House		
	6,11		m
C _{so}		0,07	t/m ³
Disp.	$\log_{10}[(\Delta/100)]$ Berat Kapal		
		4638,07	ton

U	$CS_0 + 0.06 \cdot e^{-(0.5 \cdot U + 0.1 \cdot U^2.45)}$
	1,67
C _S	0,11

Total Berat Baja

W _{ST}	$L_{PP} \cdot B \cdot DA \cdot C_S$	762,80 ton
-----------------	-------------------------------------	------------

Titik Berat Baja

C _{KG}	Koefisien KG Baja	
	0,58	
KG	$DA \cdot C_{KG}$	m
	3,54	
LCG(%)	$-0,15 + LCB(\%)$	
	4,486	% L
LCG _M	$LCG(\%) \cdot L_{PP}$	m
	2,649	
LCG _{FP}	$0.5 \cdot L_{PP} - LCG_M$	m
	26,88	

PERHITUNGAN FROUDE NUMBER :

LWL	=	61,41
Fn	$V_s / \sqrt{g \cdot L}$	= 0,126
g	9,81 m/s ²	Syarat Fn 0,15 ≤ Fn ≤ 0,3
1 feet	=	0,3048
ρ	1,025 ton/m ³	
<i>Principle of Naval Architecture Vol. II hal. 58</i>	<i>Lf</i>	193,737

PERHITUNGAN KOEFISIEN UKURAN UTAMA :

C _B	$1,12 - 0,5 (V_k / (L_f)^2)$	
	0,94	
C _M	$0.977 + 0.085 (CB - 0.60)$	
	1,01	
C _x	<i>C_m</i>	
C _p	C_b / C_x	
	0,93	
C _{WP}	$C_b / (0.471 + (0.551 \cdot C_b))$	
	0,95	
C _{stern}	0	(<i>Parametric Ship Design hal. 11-16</i>)

LONGITUDINAL CENTER OF BOUYANCY :

LCB (%)	$-13,5 + 19,4 \cdot C_p$	(<i>Parametric Ship Design hal. 11-19</i>)
---------	--------------------------	--

LCB dari M	$LCB \% / 100 \cdot LPP$	4,64 % Lpp
LCB dari AP	$0.5 \cdot LPP + LCBM$	2,74 m dari M
Volume Displasemen	$Lwl \cdot B \cdot T \cdot Cb$	32,26 m dari AP
Displasemen	$Lwl \cdot B \cdot T \cdot Cb \cdot \rho$	4524,94 m ³
		4638,07 ton

PERHITUNGAN HAMBATAN

LPP	=	59,05 m
LWL	=	61,41 m
B	=	19,76 m
H	=	5,19 m
T	=	3,96 m
Vs	=	3,08 m/s
C _B	=	0,94
C _M	=	1,01
C _P	=	0,93
C _{WP}	=	0,95
Fn	=	0,126
C _{stern}	=	0
Lcb	=	4,64 %LPP

VISCOUS RESISTANCE

● C_{FO}

Rn Reynolds Number
 $(LWL \cdot Vs) / (1.18831 \times 10^{-6})$
 159.384.670,19

CF₀ Koefisien tahanan gesek
 $0,075 / (\log Rn - 2)^2$

0,002

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 90

● 1+k₁

C $1 + (0.011 \cdot C_{stern})$

1

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 91

L_R/L $(1 - C_P + 0,06 \cdot C_P \cdot LCB) / (4 \cdot C_P - 1)$
 0,12

L/L_R 8,42

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 91

L_{WL}³/V L_{WL}³/(Lwl.B.T.Cb)

$$1+k_1 = \frac{0,93 + 0,4871 \cdot C \cdot (B/L)^{1,0681} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L/L_R)^{0,1216} \cdot (L^3/V)^{0,3649} \cdot (1-CP)^{-0,6042}}{51,19}$$

$$2,17$$

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 91

APPENDAGES RESISTANCE

● Wetted Surface Area

$$A_{BT} = 0 \quad ; \text{ tanpa bulb}$$

$$0 \quad m^2$$

Practical Ship Design Hal. 233

S Wetted Surface Area

$$L(2T + B)C_m^{0,5} (0.453 + 0.4425 C_b - 0.2862C_m - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{wp}) + 2.38 A_{BT}/C_b$$

$$1561,26 \quad m^2$$

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 91

● Wetted Surface Area of Appendages

(Sapp)

$$S_{rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 (1,75 \cdot L \cdot T / 100)$$

$$8,19 \quad m^2$$

(BKI Vol. II section 14 hal 1-2)

$$S_{bilgekeel} = 4 \cdot (0.6 \cdot CB \cdot LPP) \cdot (0.18 / (CB - 0.2))$$

$$32,40 \quad m^2$$

Watson 1998, hal. 254

$$S_{app} = S_{rudder} + S_{bilgekeel}$$

$$40,59 \quad m^2$$

$$S_{total} = S + S_{app}$$

$$1601,85 \quad m^2$$

● 1 + k2

$$\text{Rentan } 1,3 - 1,5 \text{ (tabel 25)}$$

$$(1,4 \cdot S_{rudder} + 1,4 \cdot S_{bilgekeel}) / (S_{rudder} + S_{bilgekeel})$$

$$1,4$$

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 92

● 1 + K

$$1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \cdot S_{app} / S_{tot}$$

$$2,15$$

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 92

WAVE MAKING RESISTANCE

● C₁

$$B/LWL = 0,32$$

$$C_4 = 0,32 \quad ; \text{ karena } 0.11 < B/LWL \leq 0.25$$

$$T_a = 3,96 \quad m$$

$$T_f = 3,96 \quad m$$

$$i_E = 125.67 B/L - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551 (LCB + 6.8 (T_a - T_f)/T)^3$$

$$92,42$$

$$d = -0,9$$

	C_1	$2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$	
		0,00	
●	m_1		
	C_5	$8.0798 \cdot CP - 13.8673 \cdot CP^2 + 6.9844 \cdot CP^3$	untuk $CP \leq 0.8$
		1,14	
	$V^{1/3}/L$	0,00	
	m_1	$0.01404 L/T - 1.7525V^{1/3}/L - 4.7932 B/L - C_5$	
		-2,47	
	λ	$1.446 Cp - 0.03 L/B$	untuk $L/B < 12$
		1,26	
●	m_2		
	L^3/∇	49,94	
			untuk $L_{WL}^3/V \leq 512$
	C_6	-1,69	
	m_2	$C_6 \cdot 0.4e^{-0.034Fn - 3.29}$	
		0,00	
●	C_2	$0.56 \cdot \sqrt{(A_{BT})}$	
	A_{BT}	0	; tanpa bulbous bow
	r_B		
		$Tf - hB - 0.4464 \cdot rB$	
	h_B	0	
	i		
		3,96	
	C_2	1	
	A_T	0	(tidak memiliki transom)
●	C_3		
	C_3	$1 - 0.8 AT/(B.T.CM)$	
		1	
●	R_W/W		
	RW/W	$C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{(m1Fn^d + m2 \cos(\lambda \cdot Fn - 2))}$	
		0,00000	
●	C_A (Correlation Allowence)		
	Tf/Lwl	0,0646	
	C_A	$0,006 (LWL + 100)^{-0,16} - 0,00205$	untuk $Tf/Lwl > 0,04$
		0,00061	
●	Buoyancy		
	W	Disp · g	
		45499,42	N
●	Total Resistance		

Principle of Naval Architecture Vol. II hal 92

$$R_{total} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_{tot} [C_F (1 + k) + C_A] + RW/W \cdot W$$

	37725,06	N
	37,73	kN

*Principle of Naval
Architecture Vol. II hal 93*

R_{total} + 15%		
R_{total}	43,38	kN

LWT

Berat baja		
W _{ST}	=	762,80 ton
Berat Peralatan & Perlengkapan		
W _{E&O}	=	155,59 ton
Berat Permesinan		
W _m	=	0,00 ton
LWT	=	918,39 ton

DWT

Berat Payload		
DWT	=	3719,67 ton
Payload	=	3684,37 ton

GROSS TONNAGE

Input Data		
H	=	5,19 m
T	=	3,96 m
V _{PO}	=	0,00 m ³
V _{FC}	=	210,06 m ³
V _{DH}	=	865,26 m ³
Δ	=	4638,066 ton
ZC	=	5 orang
N ₁	=	Δ · ((1.25 · H/T) - 0.115)
N ₂	=	0 orang
Gross Tonnage		
V _U	=	7053,35 m ³
V _H	=	V _{PO} + V _{FC} + V _{DH}
	=	1075,33 m ³
V	=	0.2 + 0.02 · log ₁₀ V
	=	V _U + V _H
	=	8128,68 m ³
K ₁	=	0,28
GT	=	V · K ₁
	=	2261,40 m ³

PERHITUNGAN PROPULSI & DAYA MESIN

L _{wl}	=	61,41	m
B	=	19,76	m
H	=	5,19	m
T	=	3,96	m
F _n	=	0,13	
Vol. Disp.	=	4524,94	m ³
Disp.	=	4638,07	ton
A _E /A ₀	=	0,4	; Expanded Area Ratio
P/D	=	1,00	; Pitch Ratio (0.5 sd 1.4)
D	=	2,58	;(0.6 sd 0.65)*T
z	=	4,00	;jumlah blade
n _{rpm}	=	110	
n _{rps}	=	1,83	
C _b	=	0,94	
V _s	=	3,08	m/s
R _T	=	43,38	KN

Perhitungan

Awal :

1+k		2,15	
CF		0,0019	
CA		0,00061	
CV	(1+ k) C _F + C _A	0,0048	
	0.3 C _b + 10 C _v		
w	C _b - 0.1	0,23	
t		0,1	; thrust deduction friction
V _a	V (1 - w)	2,38	; Speed of Advantages

*Principle of Naval Architecture Vol. II
hal. 161 - 163*

1. Effective Horse Power (EHP) :

$$PE = \frac{RT \cdot v}{1000} = 133,80 \text{ kW}$$

*Chapter 11 Parametric Design - M.G.
Parson ; page 11-27*

2. Thrust Horse Power (THP) :

$$PT = \frac{PE \cdot (1-w)}{(1-t)} = 114,89 \text{ kW}$$

*Chapter 11 Parametric Design - M.G.
Parson ; page 11-29*

3. Propulsive Coefficient

Calculation :

$$\eta_H = \frac{\text{Hull Efficiency}}{(1-t)/(1-w)} ; = PE / PT$$

1,16

Chapter 11 Parametric Design - M.G.
Parson ; page 11-29

η_o	Open Water Test Propeller Efficiency $(J/(2 \cdot \eta)) \cdot (KT/KQ)$ (propeller B-series = 0.5 - 0.6) 0,6		
			; Wageningen B-Series
η_r	Rotative Efficiency 0,985	Modul 7 hal. 2	
			; <i>Ship Resistance and Propulsion</i>
η_D	Quasi-Propulsive Coefficient $\eta_o \eta_r$ 0,591		(<i>parametric design hal 11-27</i>)

4. Delivered Horse Power (DHP) :

PD	Delivered Power at Propeller PE/η_D 226,39 Kw		
			Chapter 11 Parametric Design - M.G. Parson ; page 11-29

5. Shaft Horse Power (SHP) :

η_s	Shaft Efficiency ; (0.981 ~ 0.985) ; untuk mesin di 0,98 after		
PS	Shaft Power PD/η_s 231,01 Kw		
			Chapter 11 Parametric Design - M.G. Parson ; page 11-29

6. Brake Horse Power Calculation (BHP) :

η_R	Reduction Gear Efficiency 0,98		
P_{B0}	Brake Horse Power (BHP ₀) PS/η_R 235,72 Kw		
Koreksi MCR	15% · P _{B0}		
PB	115% · P _{B0}		
BHP	271,08 Kw		
	BHP · 1.3596 HP 368,56 HP		
			Chapter 11 Parametric Design - M.G. Parson ; page 11-30

PENENTUAN MESIN UTAMA

MCR Mesin**ME :**

BHP	=	271,08	Kw
	=	368,56	HP
BHP maks mesin	=	406,62	Kw

Mesin :

No. Urut Mesin	=	1
----------------	---	---

Merk	=	CUMMINS
Type	=	NTA855-M400

Daya Mesin Yg Digunakan :

Daya	=	298	Kw
	=	405	HP

Konsumsi Bahan Bakar :

SFOC	=	103	g/kW/hr
	=	0,000103	ton/kw/hr

Konsumsi Pelumas (Oli) :

Cylinder Oil	=	1,0	g/kW/hr
	=	0,0000010	ton/kw/hr

Berat Mesin	=	2,0	ton
-------------	---	-----	-----

PENENTUAN MESIN MESIN BANTU**MCR Mesin****AE :**

BHP	=	67,77	Kw
	=	92,14	HP
BHP maks mesin	=	101,66	Kw

Mesin :

No. Urut Mesin	=	1
----------------	---	---

Merk	=	CATERPILLAR
Type	=	C9

Daya Mesin Yg Digunakan :

Daya	=	217	Kw
	=	295,03	HP

Konsumsi Bahan Bakar :

SFOC	=	212,1	g/kW/hr
	=	0,000212	ton/kw/hr

Konsumsi Pelumas (Oli) :

Cylinder Oil	=	1,0605	g/kW/hr
	=	0,000001	ton/kw/hr

Berat Mensin	=	0,5	ton
--------------	---	-----	-----

BERAT CONSUMABLE & CREW

L	=	59,05	m
B	=	19,76	m
H	=	5,19	m
T	=	3,96	m
V _s	=	2,83	m/s
	=	5,50	nm/jam
S	=	1514,00	nm

Jumlah Crew

C _{st}	1,2	; Coef. Steward (1.2 ~ 1.33)
C _{dk}	2	; Coef. Deck (11.5 ~ 14.5)
C _{eng}	$C_{st} \cdot C_{dk} \cdot ((L_{pp} \cdot B \cdot H \cdot 35) / 10^5)^{1/6} + C_{eng} \cdot (BHP / [10]^5)^{1/3} + \text{cadet}$	
	2	; Coef. Engine (8.5 ~ 11 untuk diesel)
cadet		; Umumnya 2
	2	orang

Jumlah Crew
(Z_c)

5,0 orang

5 orang

Modul TMK bab Consumable and Crew

C _{C&E}	0,1	ton/orang	; Asumsi rata-rata berat manusia
W _{C&E}	Berat Crew Total		
	Z _c · C _{C&E}		
	0,5	ton	

*Parametric design chapter 11,
hal. 11-25*

Main Engine

Fuel Oil

SFR	0,000103	ton/kW h
MCR	298	kW
Margin	5%	; batas (5% ~ 10%)
W _{FO}	$SFR \cdot MCR \cdot S / V_s \cdot (1 + \text{Margin})$	
	8,9	ton
	11089,60	liter

Lubricating Oil

SFR	0,00008	ton/kW hr	; dari data mesin
MCR	298,00	kW	
Margin	5%		; (5% ~ 10%)
W _{LO}	$SFR \cdot MCR \cdot S / V_s \cdot (1 + \text{Margin})$		
	6,89	ton	
	7656,25	liter	

Auxiliary Engine

Fuel Oil

SFR	0,000212	ton/kW hr	
MCR	217	kW	
Margin			; batas (5% ~ 10%)
	5%		
W_{FO}	$SFR \cdot MCR \cdot S / V_S \cdot (1 + \text{Margin})$		
	13,303	ton	
	16628,88	liter	

Lubricating Oil

SFR			
	0,00008	ton/kW hr	; dari data mesin
MCR	217,00	kW	
Margin	5%		; (5% ~ 10%)
W_{LO}	$SFR \cdot MCR \cdot S / V_s \cdot (1 + \text{Margin})$		
	5,02	ton	
	5575,19	liter	

Fresh Water

Jumlah hari berlayar

W_{FW}	0,17	ton/orang . hari
----------	------	------------------

Parametric design chapter 11, hal. 11-24

$W_{FWtotal}$	0,14	ton
	$W_{FW total} + 4\%$	
W_{FW}	$W_{FW total}$; terdapat penambahan koreksi 4%
	0,150	ton

Provision & Store

C_{PR}	10	kg/orang hari	
	0,000416667	ton/ orang jam	; Koef. Provision & Store
W_{PR}	$CP \cdot S / V_s \cdot Z_c$		
	0,6	ton	; Berat Provision & Store

Total Berat Consumable dan Crew

W_{cons}	$WLO + WPR + WFW + WDO + WFO + Wce$	
	35,31	ton
	35,31	ton
KG_{cons}		m

Grup III (Accommodation)

The specific volumetric and unit area weights are:

For small and medium sized cargo ships 160 – 170 kg/m²

For large cargo ships, large Bulk Carriers, etc 180 – 200 kg/m²

Therefore, for oat, it is used 200 kg/m²

• **POOP**

L _{poop}	=	0,00	m
B _{poop}	=	0,00	m
A _{poop}	=	0,00	m ²
W _{poop}	=	0,00	ton

• **FORECASTLE**

L _{forecasle}	=	8,86	m
B _{forecasle}	=	19,76	m
A _{forecasle}	=	175,05	m ²
W _{forecasle}	=	35,01	ton

• **DECKHOUSE**

Layer II

L _{DH II}	=	8,86	m
B _{DH II}	=	17,76	m
A _{DH II}	=	157,34	m ²
W _{DH II}	=	31,47	ton

Layer III

L _{DH III}	=	5,91	m
B _{DH III}	=	15,76	m
A _{DH III}	=	93,08	m ²
W _{DH III}	=	18,62	ton

Layer IV

L _{DH IV}	=	4,43	m
B _{DH IV}	=	13,76	m
A _{DH IV}	=	60,95	m ²
W _{DH IV}	=	12,19	ton

Wheel house

L _{WH}	=	2,95	m
B _{WH}	=	11,76	m
A _{WH}	=	34,73	m ²
W _{WH}	=	6,95	ton

W_{Group III} = 69,22 ton

Grup IV (Miscellaneous)

C = (0.18 ton / m² < C < 0.26 ton / m²)

W_{Group IV} = (L*B*D)^{2/3} * C = 86,37 [ton]

Equipment and Outfitting Total Weight

= 155,59 [ton]

Outfit Weight Center Estimation

D_A	=	6,11	m
$KG_{E\&O}$	=	$1.02 - 1.08D_A$	
	=	6,41	m
1. LCG₁ (25% W_{E&O} at LCG_M)			
25% W _{E&O}	=	38,898	
Lcb	=	2,953	m
LCG _M dr FP	=	53,461	m
LCG _M	=	-23,935	m
Lkm	=	10,000	m
Layer II			
L _{DH II}	=	8,858	m
W _{DH II}	=	17,763	ton
LCG _I	=	$[0,5*L+(Lkm+Lcb)+0,5*Ideck]$	
	=	8,524	m
Layer III			
L _{DH III}	=	5,905	m
W _{DH III}	=	15,763	ton
LCG _{II}	=	10,000	m
Layer IV			
L _{DH IV}	=	4,429	m
W _{DH IV}	=	13,763	ton
LCG _{III}	=	10,738	m
Wheelhouse			
L _{WH}	=	2,953	m
W _{WH}	=	11,763	ton
LCG _{IV}	=	11,476	m
2. LCG₂ (37,5% W_{E&O} at LCG_{DH})			
W _{E&O DH}	=	58,346	ton
LCG _{M DH}	=	10,022	m
3. LCG₃ (37,5% W_{E&O} at midship)			
W _{E&O Midship}	=	58,346	ton
midship	=	0	m
LCG _{E&O} (LCG di belakang midship)	=	-2,226	m
LCG _{E&O} (dari FP)	=	31,751	m

Parametric design chapter 11, hal. 11-25

VOYAGE COST

1. FUEL COST

Main Engine	=	Rp	94.261.623	/roundtrip
	=	Rp	1.885.232.456	/tahun
<i>Lub Oil Main Engine</i>	=	Rp	160.781.295	/roundtrip
	=	Rp	3.215.625.891	/tahun
Aux. Engine	=	Rp	149.659.886	/roundtrip
	=	Rp	2.993.197.716	/tahun
<i>Lub Oil Aux. Engine</i>	=	Rp	117.078.996	/roundtrip
	=	Rp	2.341.579.927	/tahun
Total	=	Rp	4.878.430.172	/tahun

2. PORT CHARGES

PELABUHAN ASAL				
Jasa Labuh	Rp	24	/GT/Kunjungan	Rp 1.085.473
Jasa Tambat				
Dermaga Beton	Rp	50	/GT/Etmal	Rp 2.261.402
Breasting Dolphin	Rp	25	/GT/Etmal	Rp 1.130.701
Pinggiran	Rp	20	/GT/Etmal	Rp 904.561
Jasa Pandu				
Tarif Tetap	Rp	52.000	/Kapal/Gerakan	Rp 2.080.000
Tarif Variable	Rp	16	/GT/Kapal/Gerakan	Rp 1.447.297
Jasa Tunda Kapal				
Tarif Tetap	Rp	120.000	/Kapal yg Ditunda/Jam	Rp 2.400.000
Tarif Variabel	Rp	2	/GT/Kapal yg Ditunda/Jam	Rp 90.456
Total				Rp 11.399.890

PELABUHAN TUJUAN				
Jasa Labuh	Rp	29	/GT/Kunjungan	Rp 1.311.613
Jasa Tambat				
Dermaga Beton	Rp	46	/GT/Etmal	Rp 2.080.490
Breasting Dolphin	Rp	23	/GT/Etmal	Rp 1.040.245
Pinggiran	Rp	15	/GT/Etmal	Rp 678.421
Jasa Pandu				
Tarif Tetap	Rp	31.200	/Kapal/Gerakan	Rp 1.248.000
Tarif Variable	Rp	12	/GT/Kapal/Gerakan	Rp 1.085.473
Jasa Tunda Kapal				
Tarif Tetap	Rp	144.000	/Kapal yg Ditunda/Jam	Rp 2.880.000
Tarif Variabel	Rp	3	/GT/Kapal yg Ditunda/Jam	Rp 135.684
Total				Rp 10.459.925

JASA TUNDA PELABUHAN ASAL				
Ukuran GT	Batas		TARIF	Variabel /GT/call/jam
Batas Bawah	Atas		Tetap	
0	3500		Rp 120.000	2
3501	8000		Rp 300.000	2
8001	14000		Rp 475.000	2
14001	18000		Rp 625.000	2

JASA TUNDA PELABUHAN TUJUAN				
Ukuran GT	Batas		TARIF	Variabel /GT/call/jam
Batas Bawah	Atas		Tetap	
0	3500		Rp 144.000	3

3501	8000	Rp	360.000	3
8001	14000	Rp	570.000	3
14001	18000	Rp	750.000	3

5. Persentase Biaya Distribusi Limbah Terhadap Harga Semen

PRODUKSI SEMEN PT. BATURAJA (PERSERO)

dalam satuan (ton)

	2015	2016	2017
Pabrik Palembang	288.362	327.027	299.495
Pabrik Lampung	301.474	306.803	310.777
Total	589.836	633.830	610.272

Sumber : Annual Report Semen Baturaja (2016 & 2017)

PRODUKSI SEMEN PT. SEMEN PADANG (Semen Indonesia Group)

dalam satuan (ton)

	2014	2015	2016
Indarung II	811.278	760.893	705.009
Indarung III	919.962	836.690	792.906
Indarung IV	1.928.061	1.970.343	1.782.568
Total	3.659.301	3.567.926	3.280.483

Sumber : Annual Report Semen Padang (2016)

SEMEN	HARGA MATERIAL SEMEN		
	Klinker (Vietnam)	Rp	650.000 /ton
	Klinker (Indonesia)	Rp	585.000 /ton
	Gypsum	Rp	274.000 /ton
	Batu Kapur/Pozzolan	Rp	155.000 /ton
Fly Ash	Rp	50.000 /ton	

Sumber : Semen Baturaja

Material	Presentase	Jumlah	Biaya
Klinker	82,8%	2.716.240	Rp 1.589.000.355.540
Gypsum	2,2%	72.171	Rp 19.774.751.524
Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	492.072	Rp 76.271.229.750
Fly Ash	0,0%	0	Rp -
Biaya Transportasi Klinker (Produksi Sendiri)			
Total			Rp 1.685.046.336.814

Material	Presentase	Jumlah	Biaya
Klinker	78,8%	2.585.021	Rp 1.512.237.053.340
Gypsum	2,2%	72.171	Rp 19.774.751.524
Batu Kapur/Pozzolan	15,0%	492.072	Rp 76.271.229.750
Fly Ash	4,0%	131.219	Rp 6.560.966.000
Biaya Transportasi Fly Ash (Kombinasi)			Rp 23.229.556.596

Total		Rp	1.638.073.557.210
Penghematan Biaya Jika Menggunakan Fly Ash		Rp	46.972.779.604
Presentase			97,2%
Perbandingan	% x Harga Semen Awal	Rp	68.778
Selisih Harga Semen		Rp	3.972

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Algar Prakosa Bagaskara, dilahirkan di Jombang, 06 Juni 1996. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SD Negeri Mojorejo 1 (2002-2008), SMP Negeri 11 Madiun (2008-2011), SMA Negeri 1 Madiun (2011-2014), dan pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2015 pernah menjuarai Best Design RC Boat Design and Control Boat Competition di Universitas Diponegoro. Pada tahun 2016 melaksanakan Kerja Praktek I di PT Pertamina (Persero) bagian Bunker & Operatin Compliance. Pada tahun 2016 melaksanakan Kerja Praktek II di PT Semen Indonesia (Persero) bagian Bureau of Transportation. Bagi pembaca yang ingin menghubungi penulis bisa melalui alamat email: algarprakosa@gmail.com