



TUGAS AKHIR – TI 141501

**PENENTUAN LOKASI *COAL TERMINAL* UNTUK PLTU
DI PULAU JAWA**

NISRINA NABELLA PUTRI

NRP 02411440000107

Dosen Pembimbing

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TI 141501

**DETERMINATION OF COAL TERMINAL LOCATION FOR
PLTU IN JAVA ISLAND**

NISRINA NABELLA PUTRI

NRP 02411440000107

Supervisor

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1 001

DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**PENENTUAL LOKASI COAL TERMINAL UNTUK PLTU DI
PULAU JAWA
TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program S-1 Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Surabaya

Oleh :

NISRINA NABELLA PUTRI

NRP 02411440000107

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENENTUAN LOKASI *COAL TERMINAL* UNTUK PLTU DI PULAU
JAWA**

Nama : Nisrina Nabella Putri
NRP : 02411440000107
Pembimbing : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas mengenai penentuan lokasi fasilitas *coal terminal*. PT PLN ingin melakukan perubahan sistem distribusi batubara dengan penambahan fasilitas *coal terminal* sebagai sarana *blending* dan penyangga diantara pemasok batubara dan PLTU. Penentuan lokasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan optimasi untuk mendapatkan lokasi dengan tujuan minimasi biaya logistik batubara dan biaya investasi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat dua lokasi yang dapat dipilih, yakni lokasi dekat dengan PLTU atau lokasi dekat dengan pemasok batubara. Lokasi *coal terminal* dekat dengan PLTU terletak di *coal terminal* Tanjung Jati sedangkan lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok terletak di Pulau Laut, Kalimantan Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok akan mendapatkan biaya distribusi yang lebih rendah dibandingkan dengan *coal terminal* dekat dengan PLTU.

Kata Kunci : *Penentuan lokasi, coal terminal, batubara.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DETERMINATION OF COAL TERMINAL LOCATION FOR PLTU IN JAVA ISLAND

Name : Nisrina Nabella Putri
NRP : 02411440000107
Supervisor : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRACT

This study discusses about coal terminal facility location determination. PT PLN wants to change the coal distribution system by adding coal terminal facilities as a blending and buffering facilities between coal suppliers and PLTU. Location determination was performed using an optimization approach to obtain locations. It aims to minimize coal logistics cost and investment costs. The results show that there are two locations that can be selected, namely the location close to the PLTU or the location close to the coal supplier. The location of coal terminal near to PLTU is located at Tanjung Jati coal terminal while coal terminal location close to supplier is located in Pulau Laut, South Kalimantan. The results show that the location of the coal terminal close to the supplier will get a lower distribution cost compared to the coal terminal close to the PLTU.

Kata Kunci : Location determination, coal terminal, coal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT senantiasa penulis panjatkan karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis mampu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir “Penentuan Lokasi *Coal Terminal* untuk PLTU di Pulau Jawa.” Shalawat serta salam juga senantiasa penulis haturkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis telah menerima banyak sekali bantuan, saran dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan, motivasi, kritik dan saran kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Ridwan, Mbak Diah dan seluruh karyawan PT PJB yang telah bersedia memberikan informasi yang berguna bagi penelitian ini.
3. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., Bapak Dody Hartanto, S.T., M.T., dan Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, memberikan saran dan perbaikan untuk penelitian ini.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku Kepala Departemen dan seluruh Bapak/Ibu Dosen serta Karyawan Departemen Teknik Industri yang telah memberikan arahan, dukungan dan nasihat selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Industri.
5. Jasmadi dan Eka Widiyati, selaku kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan, semangat serta doa yang luar biasa kepada penulis, dan Helmi Fitrananda Putra, selaku adik penulis yang memberikan

semangat baik selama penulis menjalani kuliah maupun dalam penulisan laporan.

6. Seluruh asisten laboratorium QMIPA, Gardapati dan teman-teman yang telah banyak membantu penulis dan memberikan semangat serta motivasi selama masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa penyusunan penelitian Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kekurangan tersebut. Kritik dan saran sangat diharapkan untuk perbaikan kedepannya. Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Nisrina Nabella Putri

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5.1 Batasan	5
1.5.2 Asumsi	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Batubara	9
2.1.1 Kualitas Batubara.....	9
2.1.2 Harga Batubara	10
2.1.3 Blending Batubara	10
2.2 Pemodelan Sistem	13
2.3 Pemilihan Lokasi.....	14
2.3.1 Taksonomi Permasalahan Lokasi dan Model	14

2.3.2	Teknik Penyelesaian untuk Permasalahan Diskrit.....	17
2.4	Posisi Penelitian	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Pembuatan Ringkasan Situasi Permasalahan.....	24
3.2	Identifikasi Sistem	26
3.3	Pembuatan Sistem Relevan.....	26
3.4	Pengumpulan Data.....	27
3.5	Pengolahan Data	28
3.5.1	Model Matematis	28
3.5.2	Validasi.....	30
3.5.3	Uji Coba Model	31
3.6	Analisis Hasil	31
3.7	Kesimpulan dan Saran	31
BAB 4 DATA DAN PENGEMBANGAN MODEL		33
4.1	Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	33
4.1.1	Harga Batubara	33
4.1.2	Pengukuran Jarak antara Pemasok dengan Setiap Kandidat Coal Terminal.....	35
4.1.3	Pengukuran Jarak antara Coal Terminal dengan PLTU.	36
4.1.4	Biaya Transportasi	37
4.1.4	Perhitungan Kapasitas Coal Terminal	38
4.1.5	Perhitungan Biaya Investasi Coal Terminal	38
4.2	Pengembangan Model Matematika.....	40
4.3	Validasi	45
BAB 5 ANALISIS HASIL		49
5.1	Analisis Hasil	49

5.1.1	Aproksimasi 1	49
5.1.2	Aproksimasi 2	55
5.2	Analisis Sensitivitas	56
5.2.1	Pengaruh Pemilik Coal Terminal.....	56
5.2.2	Pengaruh Batas Volume Minimum Pembelian Batubara	68
5.2.3	Pengaruh Lokasi dan Volume Pemasok Batubara	71
5.2.4	Pengaruh Perubahan Permintaan Batubara	72
5.2.5	Pengaruh Perubahan Harga Batubara	72
5.2.6	Pengaruh Lokasi Coal Terminal di Pulau Laut.....	73
5.2.7	Perbandingan Pengaruh Lokasi Coal Terminal	74
5.2.8	Pengaruh Jumlah Coal Terminal.....	75
BAB 6 KESIMPULAN.....		85
6.1	Kesimpulan.....	85
6.2	Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA		87
BIOGRAFI PENULIS		91

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi PLTU di Pulau Jawa.....	2
Gambar 1.2 Trend Kenaikan Harga Gas dan Batubara	3
Gambar 2.1 <i>Stockpile Blending</i>	12
Gambar 2.2 Notasi <i>Influence Diagram</i>	13
Gambar 2.3 Segitiga Perencanaan pada Logistik/ <i>Supply Chain Management</i>	14
Gambar 2.4 Ilustrasi Perbedaan antara Pohon dan Grafik	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir (lanjutan).....	24
Gambar 3.3 <i>Mind Map</i> Logistik Batubara PLTU Jawa	25
Gambar 3.4 Model Konseptual Total Biaya Logistik	27
Gambar 4.1 Contoh Pengukuran Jarak antara Pelabuhan Muat dan Pelabuhan Bongkar.....	36
Gambar 4.2 Contoh Pengukuran Jarak antara Pelabuhan Muat dan Pelabuhan Bongkar.....	37

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antar Penelitian Terdahulu	22
Tabel 4.1 Kualitas <i>Price Marker</i> 6 Envirocoal	34
Tabel 4.2 Kualitas Batubara Berau Coal.....	34
Tabel 4.3 Biaya Transportasi Tongkang	38
Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Investasi.....	39
Tabel 4.5 Verifikasi Konstrain.....	45
Tabel 4.6 Alokasi Pemasok – <i>Coal Terminal</i>	46
Tabel 4.7 Alokasi <i>Coal Terminal</i> – Pemasok	47
Tabel 5.1 Alokasi Pemasok- <i>Coal Terminal</i> (Ton).....	52
Tabel 5.2 Alokasi <i>Coal Terminal</i> -PLTU (Ton)	53
Tabel 5.3 Total Biaya.....	54
Tabel 5.4 Proyeksi Investasi 2018-2022	54
Tabel 5.5 Perbandingan PLTU yang Terlayani oleh <i>Coal Terminal</i>	56
Tabel 5.6 Utilisasi Pemasok Batubara	57
Tabel 5.7 Biaya Investasi <i>Coal Terminal</i> Milik PJB	59
Tabel 5.8 Total Biaya.....	59
Tabel 5.10 Proyeksi Investasi <i>Coal Terminal</i> PJB 2018-2027	60
Tabel 5.11 Alokasi Pemasok Batubara (Ton)	61
Tabel 5.12 Alokasi <i>Coal Terminal</i> (Ton).....	63
Tabel 5.13 Hasil <i>Running IP</i>	64
Tabel 5.14 Biaya Investasi <i>Coal Terminal</i>	65
Tabel 5.15 Biaya Total.....	65
Tabel 5.16 Proyeksi Investasi <i>Coal Terminal</i> IP Tahun 2018-2027	66
Tabel 5.17 Alokasi Pemasok Batubara (ton)	67
Tabel 5.18 Alokasi Pemasok Aproksimasi 2 (ton)	67
Tabel 5.19 Uji Sensitivitas Batas Volume Minimum Pembelian Batubara.....	70
Tabel 5.20 Perbandingan Biaya dan Lokasi	71
Tabel 5.21 Rencana Pembangunan PLTU di Jawa	72
Tabel 5.22 Hasil Uji Coba Perubahan Harga Batubara	73

Tabel 5.23 Perbandingan Biaya Total	75
Tabel 5.24 Perhitungan Kapasitas <i>Coal Terminal</i> Lontar dan Rembang	76
Tabel 5.25 Perhitungan Biaya Investasi Rembang	77
Tabel 5.26 Perhitungan Biaya Investasi Lontar	77
Tabel 5.27 Total Biaya <i>Coal Terminal</i> Rembang dan Lontar	78
Tabel 5.28 Proyeksi Biaya Investasi Tahun 2018-2027	79
Tabel 5.29 Perhitungan Kapasitas <i>Coal Terminal</i> Pulau Laut dan Paiton	80
Tabel 5.30 Perhitungan Biaya Investasi Paiton	81
Tabel 5.31 Perhitungan Biaya Investasi Pulau Laut	81
Tabel 5.32 Total Biaya <i>Coal Terminal</i> Pulau Laut dan Paiton	82
Tabel 5.33 Proyeksi Investasi <i>Coal Terminal</i> Tahun 2018-2027	83
Tabel 5.34 Total Biaya 3 <i>Coal Terminal</i>	84

BAB 1

PENDAHULUAN

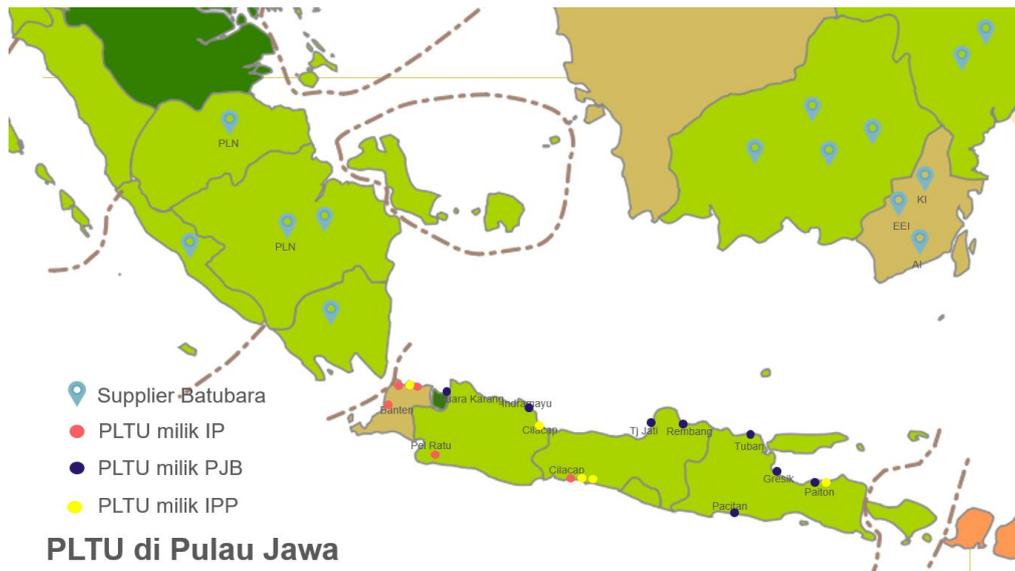
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pendahuluan dari proposal penelitian tugas akhir. Pendahuluan ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

1.1 Latar Belakang

PT Perusahaan Listrik Negara (PT PLN) merupakan perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) penyedia listrik utama negara. PT PLN bergerak di bidang pembangkit, transmisi dan distribusi listrik di Indonesia. Komponen biaya pembangkit tenaga listrik dapat dibagi menjadi empat komponen yakni komponen A mengenai biaya pengembalian investasi, komponen B mengenai biaya operasi dan pemeliharaan tetap, komponen C merupakan biaya energi primer dan komponen D merupakan biaya operasi dan pemeliharaan variabel. Sistem pembelian komponen C pada PLTU di Jawa menganut sistem *passthrough* sehingga pembelian batubara akan dikelola oleh PT PLN. Terdapat tiga pengelola pembangkit di Indonesia yakni PT Pembangkitan Jawa Bali (PT PJB), PT Indonesia Power (PT IP), dan *Independent Power Plant* (IPP).

Salah satu jenis pembangkit dengan kapasitas besar yang banyak dioperasikan adalah PLTU yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama untuk menghasilkan listrik. Gambar 1.1 menampilkan sebaran lokasi PLTU di Pulau Jawa dan pemasok batubara. Batubara digunakan untuk memanaskan air pada bagian *boiler* PLTU dan menghasilkan uap panas. Uap panas akan memutar turbin dan menghasilkan listrik.

Proses produksi di masing-masing PLTU membutuhkan kualitas batubara sesuai dengan desain mesin dan kapasitas pembangkit. Indikator kualitas batubara yang paling umum digunakan adalah nilai kalori. Kualitas batubara yang sesuai dengan desain pembangkit akan menghasilkan efisiensi yang tinggi.

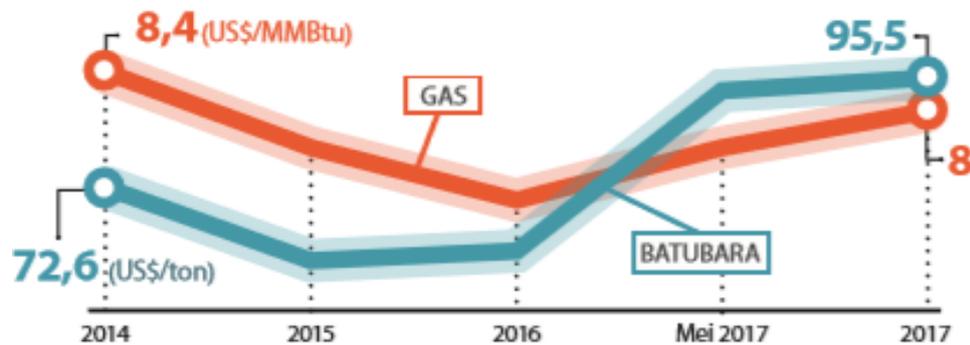


Gambar 1.1 Lokasi PLTU di Pulau Jawa

PLTU mengalami kesulitan dalam mencari pemasok batubara dengan kalori yang sesuai dengan kebutuhan. Oleh sebab itu, diputuskan untuk menggunakan lebih dari satu pemasok batubara dengan beberapa pasokan kalori. Kalori yang sesuai akan langsung di proses pada mesin *boiler*. Kalori yang tidak sesuai akan dilakukan proses *mixing* untuk mendapatkan kalori batubara yang dibutuhkan pembangkit. Proses *mixing* pernah menimbulkan permasalahan *derating* yaitu pembangkit tidak dapat memenuhi permintaan beban. Namun demikian proses *mixing* terpaksa tetap harus dilakukan karena keterbatasan pasokan batubara dengan kalori tertentu.

Pemasok batubara umumnya memiliki banyak tambang dengan lokasi berbeda sehingga memiliki variansi kalor atau kualitas yang berbeda. Harga perolehan batubara dipengaruhi oleh kualitas batubara, merk dagang atau nama pemasok batubara dan transportasi batubara. Hal ini menyebabkan harga perolehan batubara di setiap PLTU mengalami perbedaan. Harga batubara setiap tahunnya mengalami fluktuasi harga. Pergerakan fluktuasi harga batubara dapat dilihat pada Gambar 1.2.

Trend Kenaikan Harga Gas dan Batubara



Gambar 1.2 Trend Kenaikan Harga Gas dan Batubara (PLN, 2018)

Kenaikan harga batubara pada tahun 2017 berdampak pada penurunan laba bersih PT PLN sebesar 45,7% dari tahun sebelumnya yang mencapai Rp 8,15 triliun. Menurut Direktur Human Capital Management (HCM) PLN Muhammad Ali kenaikan biaya energi primer sangat berdampak pada kenaikan biaya pokok produksi PLN. Biaya energi primer mencapai 58% dari biaya pokok produksi listrik. Kenaikan biaya pokok produksi listrik tidak sesuai dengan pemasukan PT PLN yakni subsidi dan harga tarif dasar listrik. Pada tahun 2017, terjadi penurunan subsidi dan tidak adanya kenaikan harga tarif dasar listrik. PT PLN berupaya melakukan efisiensi pada operasional PT PLN terutama pada batubara.

PT PLN berencana untuk melakukan integrasi pemasok batubara baik pada anak perusahaan maupun IPP dengan melakukan perubahan metode pengiriman melalui *coal terminal*. *Coal terminal* berguna sebagai gudang penyangga dan lokasi *mixing* batubara. Adanya *mixing* batubara pada *coal terminal* akan menghilangkan proses *mixing* batubara di lokasi pembangkit sehingga dapat mengurangi *derating* pada pembangkit karena ketidaksesuaian kalori pembangkit.

Pemilihan lokasi *coal terminal* merupakan strategi penting dalam perencanaan logistik (Ballou, 2004). Pemilihan lokasi fasilitas pada jaringan rantai pasok merupakan keputusan penting yang memberikan bentuk, dan struktur pada keseluruhan rantai pasok. Pemilihan lokasi melibatkan penentuan jumlah, lokasi dan ukuran fasilitas yang akan digunakan. Fasilitas merupakan titik dalam rantai pasok dimana barang berhenti sementara sebelum diteruskan menuju pembeli.

Penelitian terkait pemilihan lokasi fasilitas batubara telah dilakukan sebelumnya. Shuo (2012) meneliti mengenai pemilihan lokasi *transshipment* pada transportasi batubara di China. Lokasi *transshipment* berguna untuk garansi keamanan bagi persediaan batubara di China dan lokasi *blending* batubara. Lokasi *blending* secara terpusat akan memberikan efisiensi yang lebih baik dan kualitas batubara dibandingkan dengan *blending* secara individual pembangkit. Penelitian ini menggunakan *linear programming* sebagai metode pemilihan lokasi. Biaya logistik yang terkecil akan menjadi lokasi *transshipment*. Ramadhani (2013) meneliti mengenai penentuan lokasi terbaik *transshipment* antara *offshore/onshore transshipment*. Penelitian ini menggunakan analisis spasial dan *spatial multicriteria decision analysis* sebagai metode menentukan lokasi *offshore/onshore*. Selain itu, untuk menentukan lokasi, penulis menggunakan alokasi batubara sebagai pertimbangan pemasukan kemudian dipilih profit tertinggi sebagai lokasi terpilih. Selain itu, terdapat perusahaan yang telah menerapkan penggunaan *coal terminal* yakni Idemitsu Kosan. Idemitsu Kosan membuat *coal terminal* sebagai gudang penyangga dan tempat melakukan *mixing* batubara. Idemitsu Kosan membuat *coal terminal* dikarenakan permintaan kalori konsumen beragam dan biaya transportasi yang cukup tinggi. Idemitsu Kosan mendapatkan batubara melalui tambang yang berada di Australia dan Indonesia. Selanjutnya, batubara akan dijual di Jepang dan beberapa diekspor. Adanya *coal terminal* dan tambahan fasilitas *jetty* membuat biaya transportasi berkurang karena penggunaan kapal yang lebih besar dan jarak transportasi yang jauh. Oleh karena itu, penelitian ini ingin menerapkan *coal terminal* di Indonesia melalui penentuan lokasi, jumlah dan alokasi batubara PT PLN.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan lokasi *coal terminal* untuk PLTU di Pulau Jawa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan lokasi *coal terminal* pada rantai pasok batubara PLTU Pulau Jawa.
2. Menentukan alokasi batubara dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU.
3. Menentukan kapasitas *coal terminal* pada rantai pasok batubara PLTU Pulau Jawa.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi pada PT PLN dalam menentukan lokasi *coal terminal* bagi sistem rantai pasok batubara.
2. Memberikan rekomendasi pada PT PLN dalam melakukan alokasi batubara dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU.
3. Menambah pemahaman bagi penulis mengenai permasalahan lokasi-alokasi.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian tugas akhir terdiri dari dua bagian yakni batasan dan asumsi. Berikut ini merupakan batasan dan asumsi yang digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan pada penelitian ini hanya mempertimbangkan 23 pemasok yang telah memiliki kontrak batubara dengan PT PLN yang berlokasi di Pulau Kalimantan dan Sumatera.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. 19 PLTU di Jawa dapat menjadi alternatif lokasi *coal terminal*.

2. Biaya investasi *coal terminal* diasumsikan sama di setiap PLTU apabila kapasitas *coal terminal* sama.
3. Kualitas batubara yang diterima *coal terminal* sesuai dengan kualitas pada kontrak batubara.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam pembuatan laporan penelitian tugas akhir terdiri dari enam bab. Berikut ini merupakan susunan penulisan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pendahuluan memaparkan mengenai hal-hal yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Bab pendahuluan akan berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka terdiri dari teori-teori yang digunakan sebagai landasan dalam melakukan penelitian. Selanjutnya, landasasn teori akan digunakan sebagai pedoman dalam penentuan metode penyelesaian permasalahan dalam penelitian ini. Sumber yang digunakan pada tinjauan pustaka antara lain adalah buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang sesuai dengan topik masalah.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian berisi mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian serta metode yang digunakan agar penelitian dapat dilakukan secara sistematis.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini dipaparkan mengenai data yang digunakan pada penelitian tugas akhir beserta hasil pengolahan data yang telah dipaparkan pada bab metodologi penelitian. Pengolahan data berisi mengenai pemilihan model matematis, uji coba model menggunakan optimasi.

BAB 5 ANALISIS HASIL

Bab ini membahas tentang dan analisis hasil yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan antara lokasi dengan total biaya logistik. Hal ini dapat menentukan jumlah lokasi, lokasi dan kapasitas lokasi yang dipilih. Selanjutnya, dilakukan analisis sensitivitas apabila parameter dalam sistem berubah.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan sebagai dasar landasan dalam melakukan penelitian. Sumber yang digunakan pada tinjauan pustaka antara lain adalah buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang sesuai dengan topik masalah.

2.1 Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil berbentuk padat. Batubara terbentuk melalui dekomposisi parsial tumbuhan dan perubahan kimiawi material organik selama jutaan tahun. Dekomposisi dilakukan melalui proses biologi oleh mikroba dengan bantuan tekanan dan pemanasan. Batubara merupakan material berwujud bongkahan hitam kecoklatan yang dapat terbakar. Batubara dapat digunakan untuk pembangkit listrik, produksi semen, dan pembuatan besi dan baja. (Institute, 2014)

2.1.1 Kualitas Batubara

Batubara memiliki kualitas beragam. Kualitas batubara dapat dinyatakan dengan parameter yang ditunjukkan pada saat memberikan perlakuan panas terhadap batubara. Berikut ini merupakan parameter kualitas batubara :

1. Kandungan air (*moisture*). Kandungan air berpengaruh terhadap kandungan panas per kg batubara.
2. Zat terbang (*volatile matter*). Zat terbang merupakan zat yang mudah menguap atau mudah terbang. Metan, hidrokarbon, hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida dan nitrogen merupakan zat terbang yang dimiliki oleh batubara. Zat terbang akan mempengaruhi karakteristik pembakaran batubara. Semakin tinggi zat terbang, maka panjang nyala api lebih singkat.
3. Abu. Abu merupakan zat organik hasil pembakaran batubara. Kandungan abu sangat berpengaruh pada titik leleh abu dan menimbulkan kerak pada tungku pembakaran.

4. Karbon Tetap (*fixed carbon*). Karbon tetap merupakan bahan padat berupa karbon yang tersisa di dalam tungku setelah proses pembakaran selesai.
5. Nilai Kalor. Nilai kalor batubara adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran setiap satuan berat batubara pada kondisi standar. Batubara yang memiliki nilai kalor tinggi akan menghasilkan panas yang tinggi. Menurut Badan Geologi, kualitas batubara di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 bagian menurut nilai kalor yakni, kalori rendah (<5100 kcal/kg), kalori sedang (5100-6100 kcal/kg), kalori tinggi (6100-7100 kcal/kg), dan kalori sangat tinggi (>7100 kcal/kg).

2.1.2 Harga Batubara

Pemerintah Indonesia telah menetapkan harga batubara acuan melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Harga Batubara Acuan (HBA) merupakan rata-rata dari empat indeks yakni Indonesia Coal Index (ICI), Newcastle Export Index (NEI), Globalcoal Newcastle Index (NGCI) dan Platts 5900 pada bulan sebelumnya pada kualitas tertentu yang meliputi nilai kalori, kandungan air, sulfur dan kandungan abu. HBA merupakan harga yang ditetapkan pada FOB Vessel. Berdasarkan HBA, selanjutnya dapat dihitung Harga Patokan Batubara (HPB) yang dipengaruhi oleh kualitas batubara sesuai dengan merek dagang batubara. Satuan dalam harga batubara adalah USD/Ton.

2.1.3 Blending Batubara

Blending batu bara merupakan pencampuran dua atau lebih material berbeda untuk menghasilkan tingkat parameter material baru. *Blending* batu bara dapat diterapkan pada *supplier* batu bara maupun pada PLTU. *Blending* batu bara pada *supplier* memiliki tujuan untuk dapat memenuhi spesifikasi batu bara konsumen dan memaksimalkan profit dari batu bara yang tersedia. *Blending* batu bara pada PLTU diharapkan mampu meminimasi biaya dan memenuhi spesifikasi pembangkit. Proses *blending* batu bara mempertimbangkan beberapa aspek kualitas batu bara yakni *GCV*, *ash content*, *volatile content*, dan *sulphur content*. Proporsi pencampuran batu bara akan sangat bergantung pada komponen batu bara yang tersedia dan batu bara yang diinginkan (Carpenter, 1995). Proporsi pencampuran

batubara dapat menggunakan rumusan linear sederhana dengan menggunakan parameter aditif pada persamaan 2.1.

$$X_b = \frac{\alpha_1 \times X_1 + \alpha_2 \times X_2 + \dots + \alpha_n \times X_n}{a_b} \quad (2.1)$$

Dimana :

X_b = Parameter kualitas batubara hasil campuran

X_1 = Parameter kualitas batubara 1

X_2 = Parameter kualitas batubara 2

X_n = Parameter kualitas batubara n

α_1 = Proporsi batubara 1

α_2 = Proporsi batubara 2

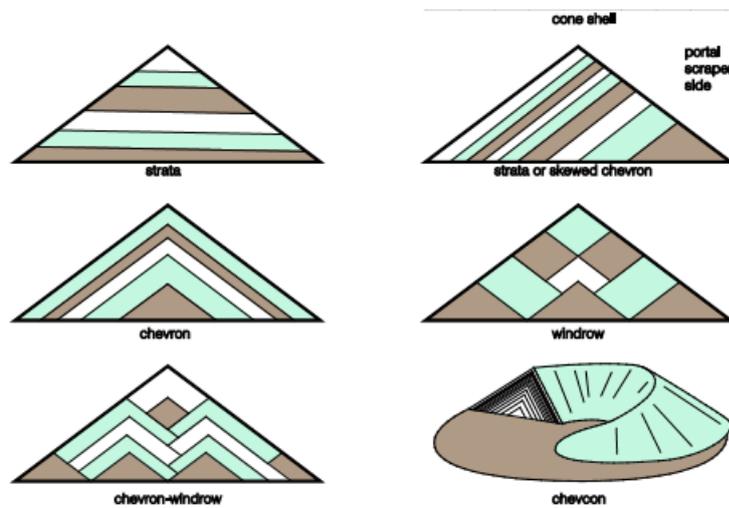
α_n = Proporsi batubara 3

α_b = Proporsi batubara campuran

Terdapat beberapa macam metode *blending* yang sering digunakan. Berikut ini merupakan metode *blending* batu bara, yakni :

2.1.3.1 Stockpile Blending

Metode *blending* batu bara dengan menumpuk dua atau lebih batu bara pada lapisan batu bara. Metode ini terjadi di tempat penyimpanan batu bara sehingga memungkinkan pencampuran dalam skala besar. Penyimpanan batu bara dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan perubahan kualitas karena oksidasi. Gambar 2.1 menunjukkan terdapat beberapa model dalam *stockpile blending*. *Stockpile* terdiri dari beberapa lapisan batu bara yang berbeda dengan penambahan lapisan secara horizontal. Perbedaan warna menunjukkan perbedaan batu bara pada *stockpile*. Kekurangan pada metode ini membutuhkan alat yang besar, mahal dan membutuhkan *skill*. Hal ini dikarenakan pergerakan alat terbatas vertikal dan lapisan batu bara secara horizontal.



Gambar 2.1 *Stockpile Blending* (Sloss, 2014)

2.1.3.2 Silos/ Bin Blending

Metode ini menggunakan *silo* sebagai sarana *blending* batu bara. Silo merupakan tempat penyimpanan batu bara sementara atau tempat proses *blending* batu bara. Silo memiliki kapasitas lebih kecil daripada *stockpile* dan memiliki kapasitas maksimum. Proses *blending* dilakukan dengan memasukkan batu bara dengan kualitas berbeda ke dalam silo. Penggunaan silo pada *blending* batu bara terjadi pada keadaan tertutup sehingga kemungkinan oksidasi lebih kecil. Sistem ini baik digunakan ketika ratio *blending* berkisar 20-100%. Keuntungan dari metode ini adalah akurasi dari rasio *blending*. Kelemahan dari metode ini adalah biaya investasi silo yang tinggi.

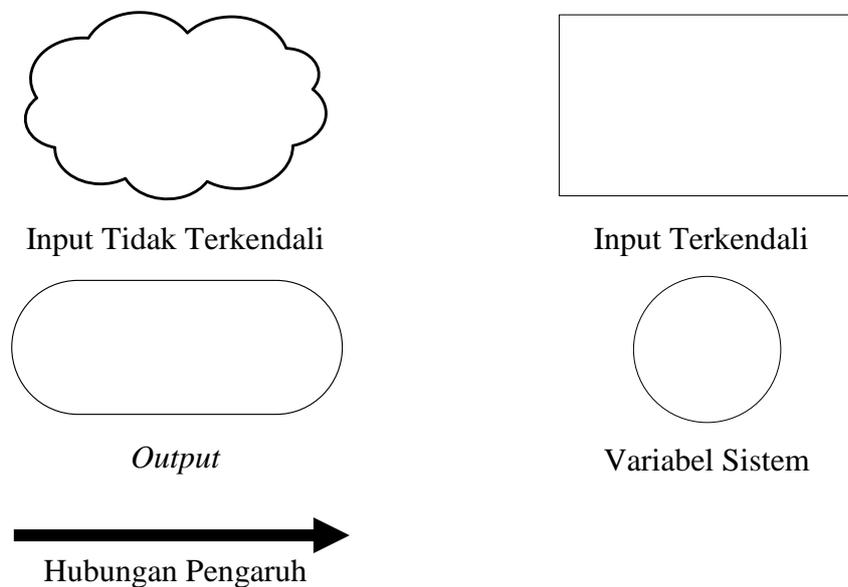
2.1.3.4 Conveyor Belt Blending

Metode ini merupakan pencampuran batu bara berdasarkan massa maupun volume pada *conveyor belt*. Metode ini tidak dapat mengakomodasi penyimpanan setelah pencampuran batu bara. Metode ini membutuhkan fasilitas penyimpanan terpisah seperti silo atau *stockpile*. Keunggulan metode ini bahwa rasio *blending* dapat diubah-ubah.

2.2 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem merupakan representasi dari sebuah sistem. Sistem yang sama dapat dibangun model sederhana hingga model kompleks tergantung persepsi, kemampuan dan sudut pandang peneliti yang bersangkutan. Terdapat tipe model yakni ikon, analog dan simbolik. Ikonik merupakan representasi objek secara fisik hanya berbeda skala dan detail. Analog merupakan representasi pengganti baik sifat maupun fitur sistem. Simbolik merupakan representasi hubungan berbagai entitas dalam bentuk simbol.

Influence Diagram merupakan model simbolik yang merepresentasikan grafis dari suatu sistem relevan. *Influence diagram* berguna ketika menggunakan pendekatan proses. *Influence diagram* terdiri dari komponen yang terpisah dimana dihubungkan dengan tanda panah. Tanda panah menunjukkan adanya pengaruh dari komponen satu ke komponen yang lain. Terdapat empat komponen pada Gambar 2.2 *influence diagram* yakni *input* terkendali, *input* tidak terkendali, *output*, dan variabel sistem.



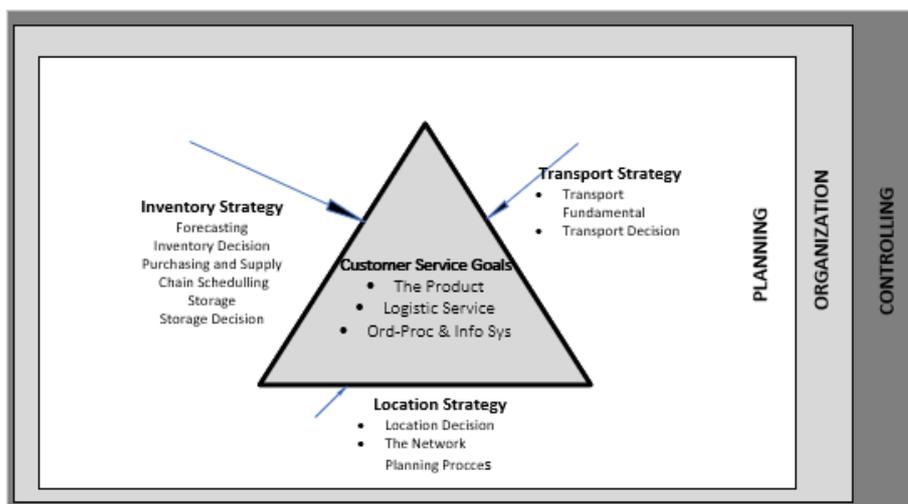
Gambar 2.2 Notasi *Influence Diagram* (Daellenbach, 2005)

2.3 Pemilihan Lokasi

Strategi lokasi merupakan salah satu dari tiga strategi perencanaan logistik. Gambar 2.3 menunjukkan tiga strategi perencanaan dalam logistik yakni strategi persediaan, transportasi dan lokasi. Strategi lokasi terdiri dari pemilihan lokasi dan perencanaan jaringan. Pemilihan lokasi fasilitas pada jaringan rantai pasok merupakan keputusan penting yang memberikan bentuk, dan struktur pada keseluruhan rantai pasok (Ballou, 2004). Pemilihan lokasi melibatkan penentuan jumlah, lokasi dan ukuran fasilitas yang akan digunakan. Fasilitas merupakan titik dalam rantai pasok dimana barang berhenti sementara sebelum diteruskan menuju pembeli. Fasilitas dapat berupa pabrik, gudang, dan pusat pelayanan.

2.3.1 Taksonomi Permasalahan Lokasi dan Model

Menurut Daskin, permasalahan lokasi dan model dapat diklasifikasikan menjadi beberapa cara. Klasifikasi berdasarkan topografi yang digunakan atau jumlah lokasi yang akan ditempatkan. Model dapat diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan tipe produk tunggal atau tidak, tujuan tunggal atau lebih dari satu tujuan, dan fasilitas memiliki kapasitas atau tidak. Taksonomi akan mengklasifikasikan beberapa model dan klasifikasi akan membantu dalam identifikasi permasalahan.



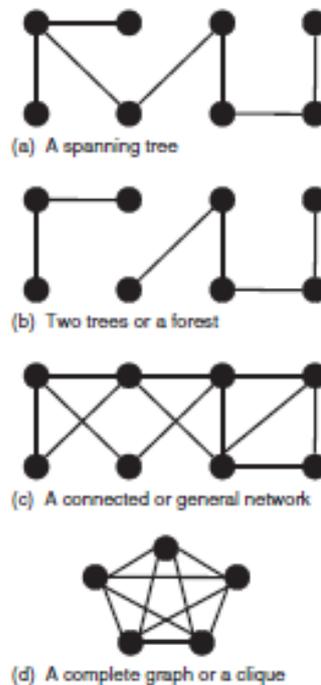
Gambar 2.3 Segitiga Perencanaan pada Logistik/ *Supply Chain Management* (Ballou, 2004)

2.3.1.1 Model Lokasi Planar, Jaringan, dan Diskrit

Klasifikasi model ini berdasarkan permintaan dan alternatif lokasi. Jika permintaan terjadi dimanapun di bidang datar dan lokasi fasilitas dapat ditetapkan dimana saja maka model tersebut adalah model planar. Model jaringan digunakan ketika permintaan terjadi di titik atau jalur dan lokasi fasilitas dapat ditetapkan di sepanjang jalur dan titik. Model diskrit digunakan ketika alternatif lokasi telah tersedia.

2.3.1.2 Permasalahan Pohon, dan Permasalahan Grafik Umum

Klasifikasi permasalahan dapat dibedakan menurut pohon dan grafik. Gambar 2.4 merupakan ilustrasi perbedaan antara pohon dan grafik. Pohon merupakan jaringan yang menghubungkan paling banyak satu jalur dari titik ke titik lainnya. Pohon merupakan jaringan yang tidak membentuk *coal terminalungan* putaran. Pohon banyak digunakan pada transmisi listrik dan telekomunikasi. Grafik merupakan jaringan yang meng*coal terminalungan* semua titik dengan titik yang lain.



Gambar 2.4 Ilustrasi Perbedaan antara Pohon dan Grafik (S.Daskin, 1995)

2.3.1.3 Jarak Metrik

Model lokasi sering dikategorikan sebagai jarak metrik. Jarak metrik merupakan metode untuk menghitung jarak terpendek antara dua titik di jaringan. Pada model lokasi planar, terdapat tiga tipe jarak metrik yang biasa digunakan yakni:

- Jarak Manhattan

$$d[(x_i, y_i); (x_j, y_j)] = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2.2)$$

- Jarak Euclidean

$$d[(x_i, y_i); (x_j, y_j)] = \{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2\}^{0.5} \quad (2.3)$$

- Jarak Lp

$$d[(x_i, y_i); (x_j, y_j)] = \{|x_i - x_j|^p + |y_i - y_j|^p\}^{1/p} \quad (2.4)$$

$d[(x_i, y_i); (x_j, y_j)]$ merupakan jarak antara dua titik, titik i dan titik j dalam koordinat.

2.3.1.4 Jumlah Fasilitas

Salah satu klasifikasi permasalahan fasilitas lokasi adalah jumlah fasilitas yang akan ditempatkan. Pada beberapa permasalahan tertentu, jumlah fasilitas telah ditentukan namun terdapat permasalahan yang mencari *output* berupa jumlah fasilitas. Jika jumlah fasilitas lokasi telah ditentukan, maka permasalahan akan mengabaikan antara fasilitas tunggal atau fasilitas jamak. Penyelesaian fasilitas tunggal umumnya lebih mudah dibandingkan dengan fasilitas jamak.

2.3.1.5 Permasalahan Lokasi Statis dan Dinamis

Model statis menggunakan *input* yang tidak tergantung pada waktu. Penyelesaian akan menggunakan *input* yang representatif dan menyelesaikan permasalahan pada periode tertentu. Model dinamis tidak hanya berfokus pada dimana fasilitas akan ditempatkan namun juga berfokus pada kapan fasilitas akan dibangun atau ditutup.

2.3.1.6 Model Deterministik dan Probabilistik

Model deterministik menggunakan *input* yang telah pasti atau diketahui sedangkan model probabilistik menggunakan *input* tidak pasti.

2.3.1.7 Produk Tunggal dan Banyak

Klasifikasi permasalahan berdasarkan jenis produk yakni produk tunggal dan jamak. Produk tunggal diidentifikasi merupakan produk sejenis dan membutuhkan perlakuan yang sama. Sebagian besar model menggunakan asumsi ini.

2.3.1.8 Permasalahan Sektor Publik dan Pribadi

Biaya investasi dan keuntungan akan dihitung secara rinci melalui kajian finansial pada sektor pribadi. Sedangkan, pada sektor publik banyak biaya nonmonetari dan keuntungan juga dipertimbangkan.

2.3.1.9 Model Tunggal Tujuan dan Banyak Tujuan

Banyak model yang menggunakan tunggal tujuan dalam menyelesaikan permasalahan. Namun, tujuan tunggal terkadang kurang merepresentasikan permasalahan sehingga banyak tujuan dapat diterapkan.

2.3.1.10 Fasilitas dengan Kapasitas dan Tidak Memiliki Kapasitas

Klasifikasi model berdasarkan jenis kapasitas fasilitas. Fasilitas yang tidak memiliki kapasitas umumnya banyak digunakan dan mudah diselesaikan. Pada kenyataannya, fasilitas yang dibangun harus diketahui kapasitas yang dibutuhkan.

2.3.2 *Teknik Penyelesaian untuk Permasalahan Diskrit*

Menurut Heragu, terdapat tiga metode untuk menyelesaikan permasalahan diskrit yakni analisis kualitatif, analisis kuantitatif, dan analisis *hybrid*.

2.3.2.1 Analisis Kualitatif

Penyelesaian ini menggunakan penilaian lokasi dengan pengambilan keputusan subjektif. Berikut ini merupakan langkah-langkah :

Langkah 1 Tuliskan semua faktor yang memiliki dampak pada keputusan lokasi.

Langkah 2 Berikan bobot pada masing-masing faktor berdasarkan kepentingan dengan jumlah bobot bernilai 1.

Langkah 3 Berikan nilai untuk setiap lokasi berdasarkan faktor yang telah ditetapkan pada langkah 1.

Langkah 4 Hitung skor terbobot untuk setiap faktor dan setiap lokasi dengan mengalikan bobotnya dengan skor yang sesuai.

Langkah 5 Hitung jumlah nilai terbobot dari masing-masing lokasi dan pilih lokasi berdasarkan nilai.

2.3.2.2 Analisis Kuantitatif

Terdapat beberapa teknik kuantitatif yang tersedia untuk lokasi diskrit. Teknik yang sering digunakan adalah model transportasi.

- Fungsi Tujuan

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q c_{ij} \quad (2.5)$$

- Pembatas

$$\sum_{j=1}^q x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^p x_{ij} \leq D_k \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (2.7)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (2.8)$$

Parameter yang digunakan :

S_i Kapasitas yang dimiliki oleh pemasok i

D_j Jumlah permintaan batubara yang dimiliki oleh PLTU j

C_{ij} Biaya transportasi dari pemasok i ke PLTU j

X_{ij} Jumlah produk yang dikirim dari pemasok i ke PLTU j

Persamaan 2.5 merupakan fungsi tujuan dengan meminimalkan biaya logistik batubara. Persamaan 2.6 memastikan bahwa kuantitas pengiriman masing-masing pemasok tidak melebihi kapasitas pemasok tersebut. Persamaan 2.7 memastikan bahwa pengiriman menuju PLTU memenuhi permintaan batubara PLTU tersebut. Persamaan 2.8 memastikan bahwa kuantitas pengiriman berupa bilangan bulat.

Transshipment merupakan bentuk khusus dari masalah transportasi. Pengiriman pada model ini tidak dapat dilakukan secara langsung dari suatu titik sumber menuju titik tujuan. Dalam pengiriman harus melalui titik perantara sebelum barang tiba di titik tujuan. Salah satu bentuk *transshipment* adalah

permasalahan *two stage transportation*. Berikut merupakan model yang digunakan:

- Fungsi Tujuan :

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^r c_{jk} x_{jk} \quad (2.9)$$

- Pembatas :

$$\sum_{j=1}^q x_{ij} \leq S_i \quad i=1,2,\dots,p \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^p x_{ij} \leq P_j \quad \forall j = 1,2,\dots,q \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^q x_{jk} \geq D_k \quad \forall k=1,2,\dots,r \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^p x_{ij} = \sum_{k=1}^r x_{jk} \quad \forall j = 1,2,\dots,q \quad (2.13)$$

$$x_{ij}, x_{jk} \geq 0 \quad (2.14)$$

Notasi yang digunakan :

S_i Kapasitas yang dimiliki oleh pemasok i

P_j Kapasitas yang dimiliki oleh PLTU (*coal terminal*) j

D_k Jumlah permintaan batubara yang dimiliki oleh PLTU k

C_{ij} Biaya transportasi dari pemasok i ke *coal terminal* j

C_{jk} Biaya transportasi dari *coal terminal* j ke pemasok k

X_{ij} Jumlah produk yang dikirim dari pemasok i ke PLTU j

X_{jk} Jumlah produk yang dikirim dari PLTU j ke PLTU k

Persamaan 2.9 merupakan fungsi tujuan dengan meminimalkan biaya pengiriman *inbound* maupun *outbound*. Persamaan 2.10 memastikan bahwa kuantitas pengiriman masing-masing pemasok tidak melebihi kapasitas pemasok tersebut. Persamaan 2.11 memastikan bahwa kuantitas pengiriman menuju *coal terminal* tidak melebihi kapasitas *coal terminal*. Persamaan 2.12 memastikan bahwa pengiriman menuju PLTU memenuhi permintaan batubara PLTU tersebut. Persamaan 2.13 memastikan bahwa pengiriman menuju *coal terminal* sama dengan

pengiriman keluar *coal terminal*. Persamaan 2.14 memastikan bahwa kuantitas pengiriman berupa bilangan bulat.

2.3.2.3 Analisis Hybrid

Analisis *hybrid* merupakan kombinasi antara analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Berdasarkan Buku Logistic/Supply Chain Management yang dikutip dari penelitian Brown dan Gibson (1972), model ini dikelompokkan menjadi tiga tujuan yakni kritikal, objektif dan subjektif. Faktor kritikal merupakan faktor wajib yang harus dimiliki oleh kandidat lokasi. Jika faktor wajib tidak terpenuhi maka lokasi tersebut tidak terpilih. Faktor objektif merupakan faktor yang telah dibahas pada analisis kuantitatif sebelumnya. Faktor subjektif merupakan faktor yang telah dibahas pada analisis kualitatif.

Parameter :

$$CF_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika lokasi } i \text{ memenuhi faktor kritikal } j \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

OF_{ij} = Nilai faktor objektif j untuk lokasi i

SF_{ij} = Nilai (skala 0-1) faktor subjektif j untuk lokasi i

w_j = bobot untuk faktor subjektif ($0 \leq w_j \leq 1$)

m = lokasi kandidat

p = faktor kritikal

q = faktor objektif

r = faktor subjektif

$$CFM_i = \prod_{j=1}^p CF_{ij}, \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (2.15)$$

$$OFM_i = \frac{\max_i [\sum_{j=1}^q OF_{ij}] - \sum_{j=1}^q OF_{ij}}{\max_i [\sum_{j=1}^q OF_{ij}] - \min_i [\sum_{j=1}^q OF_{ij}]}, \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (2.16)$$

$$SFM_i = \sum_{j=1}^r w_j SF_{ij}, \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (2.17)$$

CFM_i merupakan penilaian untuk mendapatkan faktor kritikal. OFM_i merupakan penilaian untuk mendapatkan faktor objektif. SFM_i merupakan penilaian untuk mendapatkan faktor subjektif.

2.4 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai penentuan lokasi fasilitas telah banyak digunakan dalam beberapa penelitian. Pada penelitian sebelumnya, terdapat perbedaan baik dalam konteks permasalahan maupun metode penyelesaian yang digunakan. Perbedaan penelitian sekarang dan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Antar Penelitian Terdahulu

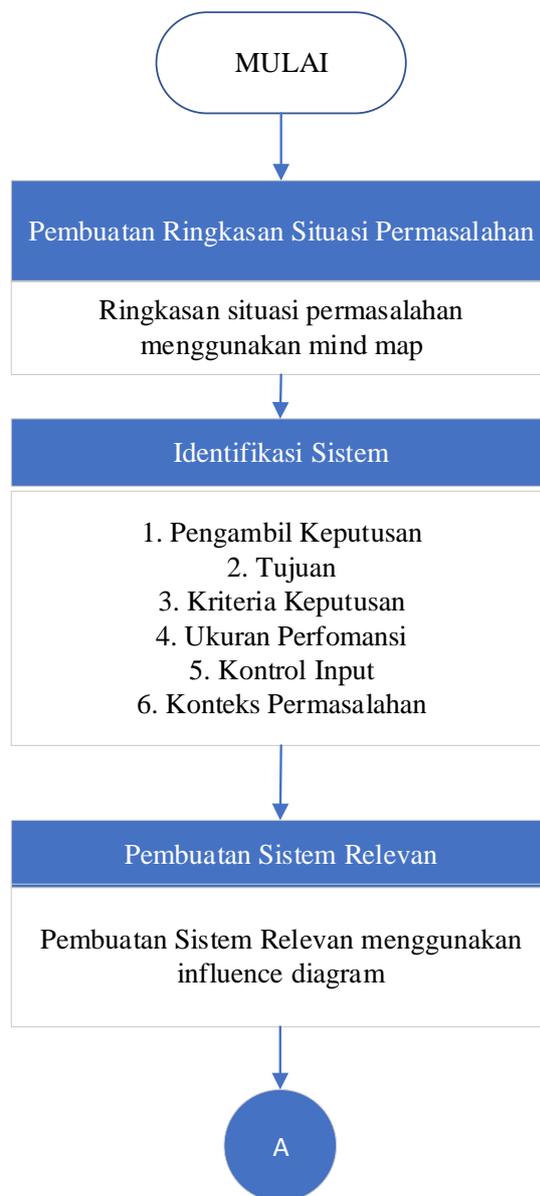
Penulis	Tahun	Judul	Model Lokasi		Transportasi		Jumlah Fasilitas		Metode		
			Kontinyu	Diskrit	Single	Double	Tunggal	Multi	Kualitatif	Kuantitatif	Hybrid
Shuo	2012	Research On Coal Transportation Network Optimization		√	√			√		√	
Ramadhani	2013	Pemilihan Alternatif Lokasi Investasi Onshore/Offshore Transshipment dengan Menggunakan Metode Spasial Model Alokasi (Studi Kasus : PT.X)		√		√		√			√
YANG Zhiyi, HE Zhenggang, LIANG Xingchao	2016	Research on location selection for emergency center of the location enterprises based on gravity method	√		√			√			√
Penelitian ini	2018	Kajian Logistik Batubara untuk PLTU di Jawa dengan Coal Terminal		√		√		√	√		√

Sumber : Penulis, 2018

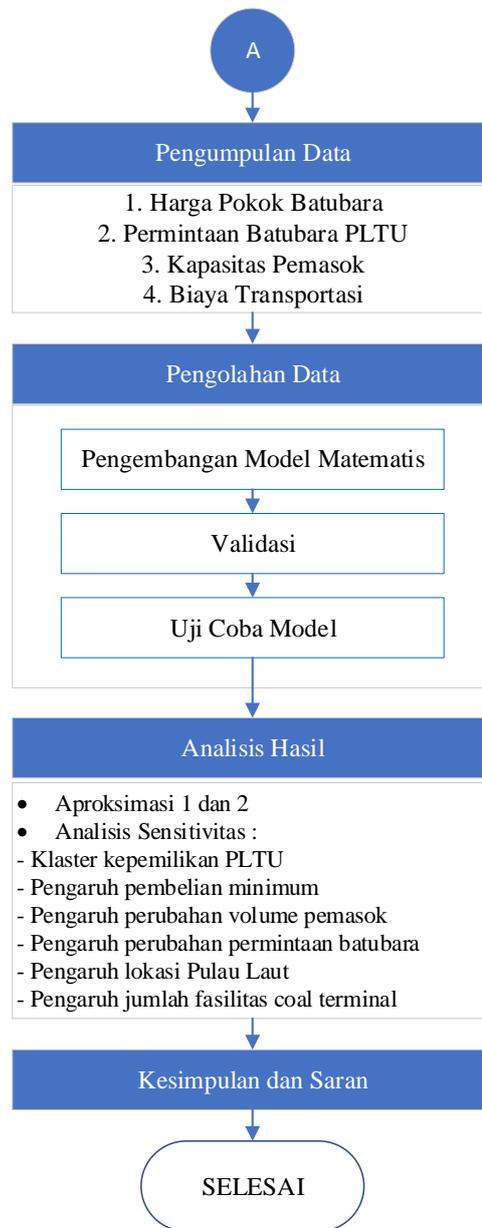
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian beserta *flowchart* penelitian ini. Tahapan penyelesaian permasalahan yang telah dibahas pada Bab 1 dijelaskan pada Gambar 3.1. Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam pembuatan penelitian :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir



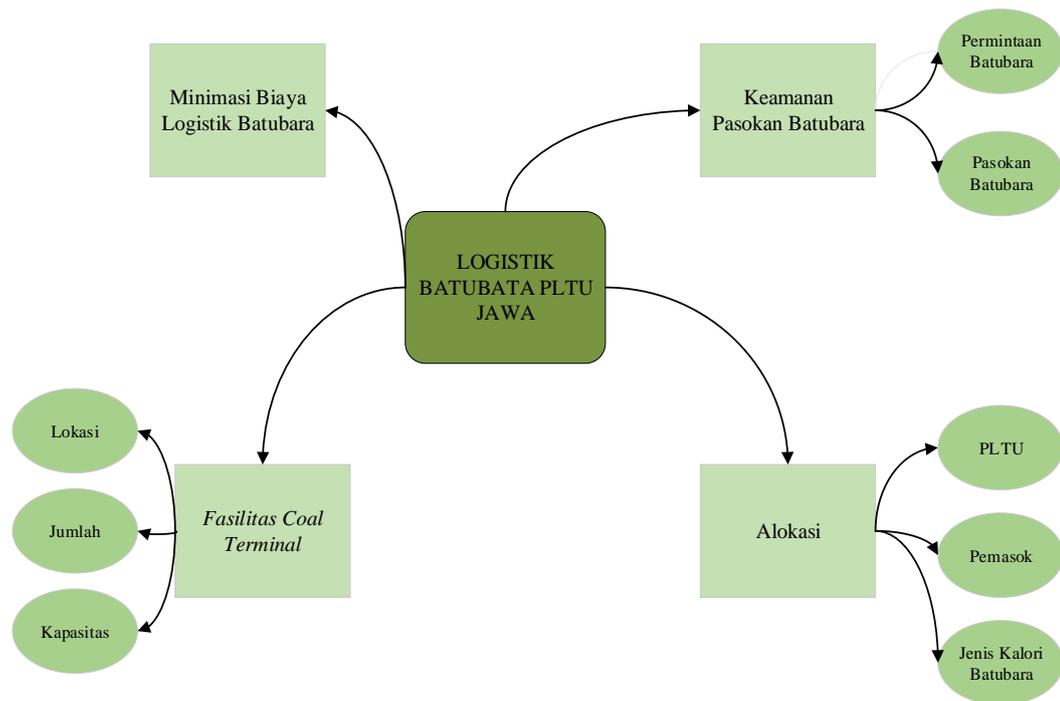
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir (lanjutan)

3.1 Pembuatan Ringkasan Situasi Permasalahan

Pembuatan ringkasan situasi permasalahan merupakan langkah pertama dalam metodologi *hard OR*. Permasalahan merupakan kumpulan dari semua aspek yang mempengaruhi bentuk masalah atau perhatian (Daellenbach, 2005). Ringkasan permasalahan akan menunjukkan proses, tujuan, konsekuensi, dan

kontrol. *Mind map*, *rich picture*, dan *cognitive maps* merupakan penggambaran permasalahan yang efektif dalam menampilkan semua aspek.

Penelitian ini menggunakan *mind map* dalam penggambaran ringkasan permasalahan. Ringkasan permasalahan dapat dilihat pada *mind map* pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 *Mind Map* Logistik Batubara PLTU Jawa

Ringkasan permasalahan yang ditunjukkan pada *mind map* berkaitan dengan logistik batubara PLTU di Pulau Jawa. Tujuan dari ringkasan permasalahan ini adalah minimasi biaya logistik batubara dengan adanya penambahan fasilitas *coal terminal* diantara pemasok dan PLTU. Adanya penambahan fasilitas, maka perlu dicari dimana lokasi fasilitas, jumlah fasilitas dan kapasitas fasilitas tersebut. Selain minimasi biaya logistik, faktor keamanan pasokan batubara juga merupakan faktor penting sehingga harus seimbang antara permintaan dan kontrak batubara. Keamanan pasokan batubara berkaitan dengan alokasi dari pemasok menuju PLTU dengan kalori tertentu.

3.2 Identifikasi Sistem

Menurut Daellenbach, terdapat 6 elemen permasalahan yaitu pengambil keputusan, tujuan, kriteria keputusan, ukuran perfomansi, kontrol input, dan konteks permasalahan.

1. Pengambil Keputusan

Pengambil keputusan dalam permasalahan ini adalah PT PLN.

2. Tujuan

Tujuan dalam permasalahan ini adalah menentukan lokasi *coal terminal* dengan minimasi biaya logistik batubara pada PLTU.

3. Kriteria Keputusan

Kriteria keputusan pada permasalahan ini adalah minimasi biaya logistik batubara pada PLTU.

4. Ukuran Perfomansi

Ukuran perfomansi yang digunakan pada permasalahan ini adalah total biaya logistik batubara pada PLTU dengan mengetahui alokasi batubara dan lokasi *coal terminal*. Biaya logistik merupakan biaya pembelian batubara dan biaya transportasi batubara.

5. Kontrol Input

Kontrol input yang digunakan pada permasalahan ini adalah alokasi pengiriman batubara dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU

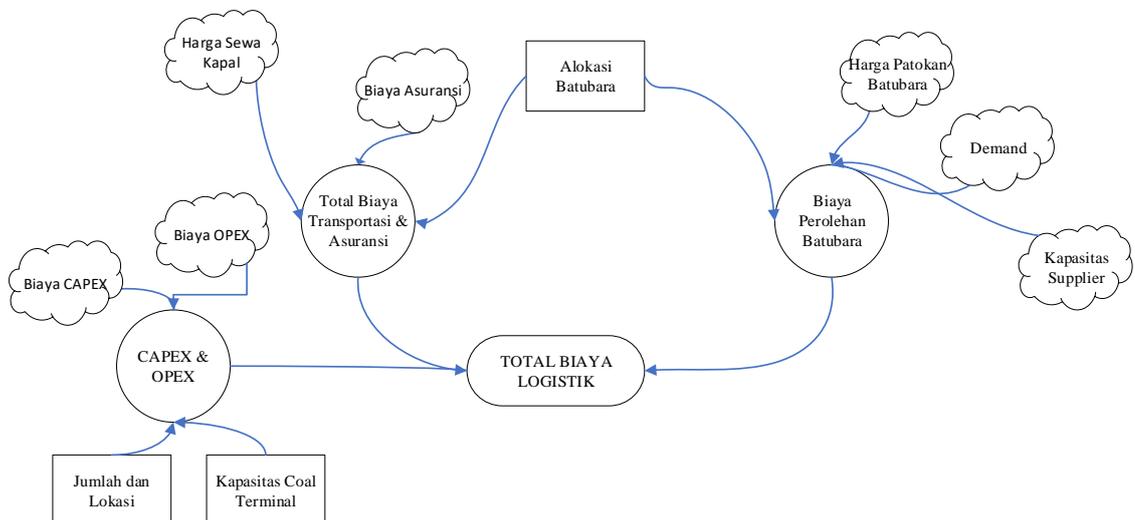
6. Konteks Permasalahan

Konteks permasalahan pada sistem adalah lokasi PLTU yang digunakan. Lokasi PLTU di Indonesia tersebar di seluruh pulau di Indonesia. Namun, PLTU yang digunakan pada sistem ini adalah PLTU di Pulau Jawa. PLTU di Pulau Jawa memiliki lokasi yang berbeda dengan pemasok batubara yang terletak di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera. Selain itu, pemasok batubara yang digunakan adalah pemasok yang telah memiliki kontrak dengan PLTU.

3.3 Pembuatan Sistem Relevan

Langkah selanjutnya adalah pembuatan sistem relevan berdasarkan identifikasi permasalahan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya. Sistem

relevan menggunakan menggunakan *influence diagram*. *Influence diagram* terdiri dari komponen yang terpisah dan dihubungkan dengan tanda panah. Komponen tersebut berupa input tidak terkendali, input terkendali, *output*, dan variabel sistem. Input terkendali pada permasalahan ini adalah alokasi batubara dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU, kapasitas *coal terminal* dan lokasi *coal terminal*. Hal tersebut dengan tujuan/*output* minimasi total biaya logistik batubara pada PLTU di Pulau Jawa. Input tidak terkendali pada sistem ini adalah *demand* dan kapasitas pemasok, harga patokan batubara, biaya opex dan capex. Variabel sistem pada penelitian ini adalah biaya perolehan batubara, biaya transportasi dan biaya Capex dan OPEX.. *Influence diagram* pada sistem dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Model Konseptual Total Biaya Logistik

Biaya logistik dipengaruhi oleh biaya perolehan batubara dan biaya transportasi serta biaya CAPEX dan OPEX. Biaya perolehan batubara dipengaruhi oleh harga patokan batubara dan alokasi batubara. Biaya transportasi dipengaruhi oleh alokasi dan jarak. Biaya CAPEX dan OPEX dipengaruhi oleh jumlah dan kapasitas *coal terminal*.

3.4 Pengumpulan Data

Tahapan setelah identifikasi permasalahan adalah tahapan pengumpulan data yang akan digunakan dalam penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan data historis perusahaan. Berikut ini merupakan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

1. Harga Patokan Batubara.
2. Permintaan kuantitas dan kalori PLTU.
3. Kapasitas pemasok.
4. Biaya transportasi batu bara.

3.5 Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses yang terdiri dari pemilihan model matematis, validasi dan uji coba model. Model matematis digunakan dalam melakukan optimasi pada sistem ini. Teknik solusi merupakan tahapan yang digunakan untuk merancang penelitian ini.

3.5.1 Model Matematis

Model matematis yang dipilih merupakan pengembangan dari model dasar *uncapacitated location-allocation model* (Heragu, 2016). Model dasar hanya mempertimbangkan *single transportation* dengan tujuan minimasi biaya investasi dan distribusi. Model dasar juga hanya mempertimbangkan 1 jenis barang.

Notasi :

M = Jumlah alternatif fasilitas

N = Jumlah pelanggan

C_{ij} = Biaya transportasi dari fasilitas i ke pelanggan j

F_i = Biaya investasi pembangunan fasilitas i

D_j = Jumlah permintaan pada pelanggan j

X_{ij} = Jumlah barang yang dikirimkan dari fasilitas i ke pelanggan j

$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{jika coal terminal } j \text{ dibangun} \\ 0, & \text{jika coal terminal } j \text{ tidak dibangun} \end{cases}$

Fungsi tujuan

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m F_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, \forall j \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq y_i \sum_{j=1}^n D_j, \forall i \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i, j \quad (3.4)$$

$$y_i = 1 \text{ or } 0, \forall i \quad (3.5)$$

Persamaan 3.1 merupakan fungsi tujuan yakni minimasi biaya distribusi *single transportation* dan biaya investasi. Persamaan 3.2 merupakan persamaan untuk jaminan pemenuhan permintaan agar barang yang dikirimkan sesuai dengan permintaan masing-masing pelanggan. Persamaan 3.3 merupakan persamaan yang menghubungkan variabel keputusan Y dan X. Persamaan 3.3 berbunyi apabila ada alokasi x_{ij} untuk memenuhi permintaan j maka fasilitas dapat dibangun. Hal ini mencegah adanya alokasi namun fasilitas j tidak dibangun. Persamaan 3.4 merupakan batasan variabel bahwa x_{ij} tidak dapat negatif. Persamaan 3.5 merupakan batasan variabel Y biner.

Model ini dikembangkan dengan adanya *double transportation*, multiproduk, dan *blending*. *Double transportation* diterapkan karena penambahan fasilitas berada diantara pemasok dan PLTU sehingga yang awalnya hanya membutuhkan *single transportation* berubah menjadi *double transportation*. Multiproduk diterapkan karena pada permasalahan ini membutuhkan berbagai macam produk yang berbeda pada masing-masing PLTU. *Blending* diterapkan karena fungsi utama fasilitas *coal terminal* adalah *blending* batubara. Model juga dikembangkan adanya jumlah fasilitas sebagai input parameter. Model dikembangkan dengan 2 pendekatan aproksimasi. Aproksimasi 1 menggunakan asumsi bahwa alokasi dari pemasok dan menuju PLTU harus melalui *coal terminal*. Aproksimasi 2 dikembangkan lebih fleksibel yang menggunakan asumsi bahwa alokasi dari pemasok dan menuju PLTU dapat memilih antara melalui *coal terminal* atau *direct shipping* dari pemasok menuju PLTU. Pilihan *direct shipping* menyebabkan proses *blending* harus dilakukan di PLTU.

Model ini menggunakan model transportasi *transshipment*. Model matematis terdiri dari :

1. Fungsi Tujuan

Minimasi biaya logistik batubara pada PLTU di Pulau Jawa (*double transportation*) dan biaya investasi.

2. *Decision Variable*

Alokasi pengiriman batubara dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU dan lokasi *coal terminal* j dibangun.

3. Batasan

Berikut merupakan batasan dari permasalahan ini :

- Jumlah batubara yang dikirim dari pemasok tidak melebihi kapasitas kontrak.
- Jumlah batubara yang diterima oleh PLTU tidak kurang dari *demand* dan sesuai dengan kalori permintaan.
- Jumlah batubara yang diterima oleh *coal terminal* tidak melebihi kapasitas *coal terminal*.
- Jumlah batubara yang diterima dan dikirim oleh *coal terminal* adalah sama.
- Proses *blending* batubara untuk mendapatkan kalori tertentu.
- Jumlah fasilitas yang dibangun sesuai dengan input parameter

Model di atas merupakan gambaran dari Aproksimasi 1 yang selengkapnya dapat dilihat pada Bab 4. Selanjutnya, pembuatan Aproksimasi 2 yang akan menghasilkan alokasi batubara yang lebih fleksibel karena dapat memilih antara *direct shipping* atau melalui *coal terminal*. Aproksimasi 2 terdapat batasan bahwa proses *blending* dilakukan di PLTU apabila memilih *direct shipping*. Alokasi batubara yang menuju *coal terminal* dan *direct shipping* tidak boleh melebihi kontrak. Alokasi batubara yang diterima PLTU baik dari *direct shipping* dan *coal terminal* harus melebihi permintaan PLTU.

3.5.2 Validasi

Validasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yakni validasi internal dan validasi eksternal. Validasi internal atau yang sering disebut dengan verifikasi merupakan proses pengecekan model secara matematika dan logika serta pengecekan data yang digunakan telah sesuai. Validasi eksternal merupakan proses pengecekan model apakah model yang telah dibangun telah merepresentasikan realitas yang ada. Validasi internal yang dapat dilakukan pada penelitian ini adalah mengecek hasil optimasi dengan masing-masing konstrain, menghitung output secara manual dan mengecek konsistensi dimensional setiap pembatas. Validasi

eksternal yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan titik ekstrim untuk melihat logika model.

3.5.3 Uji Coba Model

Tahap uji model merupakan tahap *running* pada *software* optimasi dengan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Uji coba model dilakukan dengan *running* Aproksimasi 1 dan Aproksimasi 2.

3.6 Analisis Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan analisis mengenai biaya logistik batubara PLTU yang dihasilkan oleh Aproksimasi 1 dan Aproksimasi 2. Selanjutnya, uji sensitivitas akan digunakan untuk melihat perubahan biaya logistik batubara PLTU apabila nilai parameter pada sistem berubah. Nilai parameter yang diubah adalah pasokan batubara, permintaan batubara, jumlah *coal terminal*, pemilik *coal terminal*, harga batubara dan lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap penarikan kesimpulan akhir berdasarkan analisis yang berkaitan dengan tujuan dan uji coba model yang telah dilakukan. Selain itu, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

DATA DAN PENGEMBANGAN MODEL

Bab pengolahan data ini berisi mengenai pengumpulan data terkait penelitian tugas akhir serta pengembangan model matematis, aproksimasi dan *running* dengan *software* optimasi.

4.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan wawancara dengan pihak PLN dan juga didapatkan dari *software daftlogic* dan *software portworld*. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder dari pihak PLN berupa data PLTU dan data pemasok batubara. Selain itu, harga batubara didapatkan dari keputusan menteri ESDM dan biaya transportasi didapatkan dari perhitungan sesuai dengan peraturan Dirjen Minerba.

4.1.1 Harga Batubara

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia melalui Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No 11 K/32/Mem/2018 telah menetapkan harga mineral logam acuan dan harga batubara acuan untuk Bulan Januari 2018 sebesar USD 70 per metrik ton *Free on Board Vessel* dengan spesifikasi GCV 6332 kcal/kg, kelembapan 8%, kandungan sulphur 0.8% dan kandungan abu sebesar 15%.

Harga batubara acuan akan dijadikan dasar sebagai perhitungan harga patokan batubara. Harga patokan batubara akan disesuaikan berdasarkan merk dagang dan kualitas batubara. Rumus perhitungan harga pasokan batubara telah diatur pada Keputusan Menteri ESDM No 11 K/32/Mem/2018 yang tertera pada Lampiran A.

Terdapat 19 pemasok batubara dengan 10 kualitas batubara yang berbeda. Masing-masing pemasok memiliki harga jual batubara yang berbeda sesuai dengan kualitas dan merk dagang. Berikut ini contoh perhitungan HPB dengan kualitas 5000 kcal/kg.

- Perhitungan *Price Marker* no 6 kualitas 5000 kcal/kg dengan merk dagang Envirocoal

Tabel 4.1 Kualitas *Price Marker* 6 Envirocoal

Kualitas <i>Price Marker</i> 6 Envirocoal	
Cv	5000
TM	26
TS	0.1
Ash	1.2

$$K_{(i)} = \frac{5000}{6322} = 0.7908$$

$$A_{(i)} = \frac{(100-26)}{100} = 0.804$$

$$B_{(i)} = (0.1 - 0.8) \times 4 = -2.8$$

$$U_{(i)} = (1.2 - 15) \times 0.4 = -5.52$$

Price Maker no 6

$$HPB \text{ Marker}_{(6)} = (70 \times 0.79 \times 0.80) - (-2.8 - 5.52) = \$ 52$$

Jadi, harga patokan batubara dengan kualitas 5000 kcal/kg dengan merk dagang Envirocoal adalah \$ 52 per metrik ton.

- Perhitungan HPB kualitas 5000 kcal/kg dengan merk dagang selain *Price Marker*.

Tabel 4.2 Kualitas Batubara Berau Coal

Kualitas <i>Price Marker</i> 6 Berau Coal	
Cv	5000
TM	22.4
TS	0.54
Ash	8.9

$$B_{(i)} = -2.8$$

$$U_{(i)} = -5.52$$

$$B_{(j)} = (0.54 - 0.8) \times 4 = -1.04$$

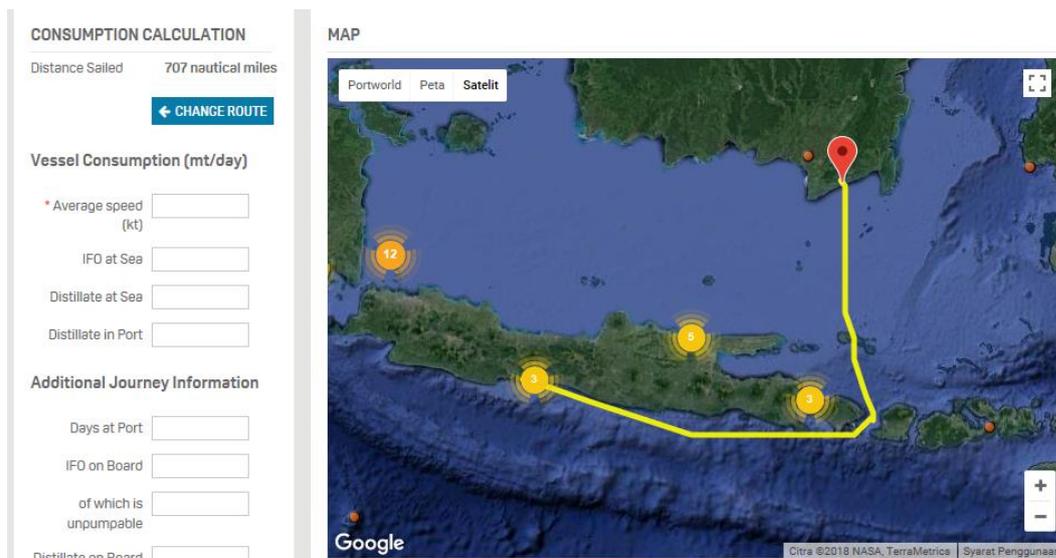
$$U_{(j)} = (8.9 - 15) \times 0.4 = -2.44$$

$$HPB \text{ Marker}_{(j)} = \{(52 + (-2.8 - 5.52)) \times \left(\frac{0.86}{0.85}\right) \times \left[\frac{100-22.4}{100-26}\right] \times 1\} - (-1.04 - 2.44) = \$44$$

Jadi, harga patokan batubara dengan kualitas 5000 kcal/kg dengan merk dagang Berau Coal adalah \$ 44 per metrik ton.

4.1.2 Pengukuran Jarak antara Pemasok dengan Setiap Kandidat Coal Terminal

Distribusi batubara dari pemasok menuju *coal terminal* menggunakan jalur laut. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran jarak antara lokasi pemasok batubara dengan kandidat *coal terminal*. Pengukuran jarak yang dilakukan adalah jarak antar pelabuhan muat pemasok batubara dengan pelabuhan bongkar kandidat *coal terminal*. Pengukuran jarak melalui transportasi laut menggunakan aplikasi *Portworld.com* dan *daftlogic.com*. *Portworld* dapat digunakan jika pelabuhan tergolong pelabuhan besar dan telah disediakan rute kapal. Sedangkan *Daftlogic* digunakan jika pelabuhan tergolong pelabuhan kecil. Terdapat 23 lokasi pemasok batubara dan 19 lokasi kandidat *coal terminal*. Berikut merupakan pengukuran jarak antara pelabuhan muat dengan pelabuhan bongkar.

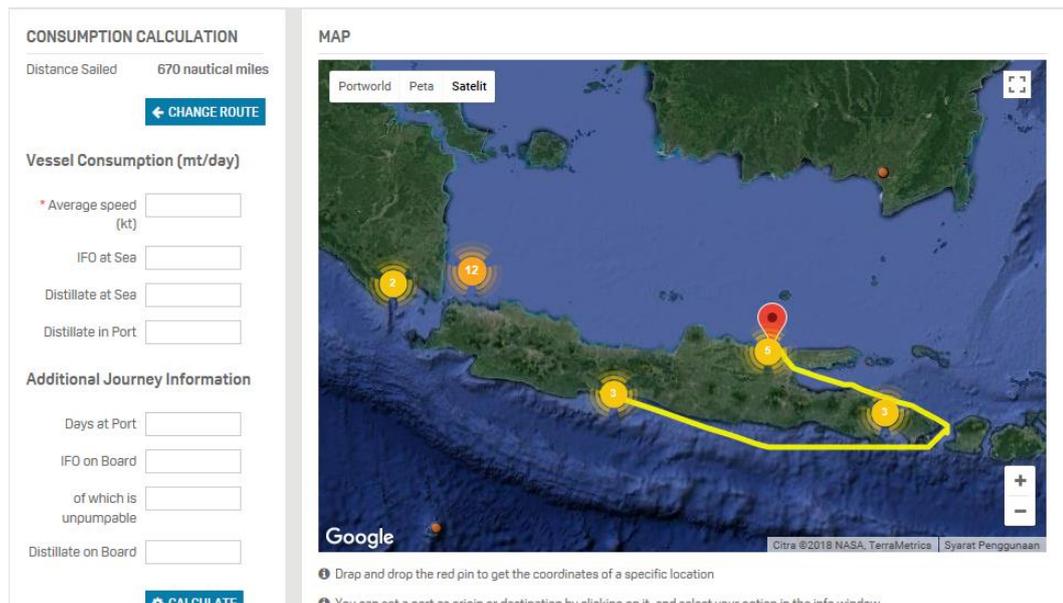


Gambar 4.1 Contoh Pengukuran Jarak antara Pelabuhan Muat dan Pelabuhan Bongkar (portworld.com)

Gambar 4.1 merupakan contoh pengukuran jarak menggunakan *daftlogic* yakni jarak antara pelabuhan muat *jetty* kintap dengan pelabuhan bongkar PLTU Cilacap. Output dari pengukuran jarak di laut adalah 770 Nm (*Nautical miles*). Selanjutnya, data tersebut dimasukkan pada Microsoft Excel sebagai matriks jarak. Lampiran B.

4.1.3 Pengukuran Jarak antara Coal Terminal dengan PLTU.

Distribusi batubara dari *coal terminal* menuju PLTU menggunakan jalur laut. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran jarak antara lokasi kandidat *coal terminal* dengan lokasi PLTU. Pengukuran jarak yang dilakukan adalah jarak antar pelabuhan muat dengan pelabuhan bongkar. Pengukuran jarak dilakukan menggunakan aplikasi yang sama saat menghitung jarak pemasok dengan *coal terminal*.



Gambar 4.2 Contoh Pengukuran Jarak antara Pelabuhan Muat dan Pelabuhan Bongkar (portworld.com)

Gambar 4.2 merupakan contoh pengukuran jarak menggunakan *daftlogic* yakni jarak antara pelabuhan muat kandidat *coal terminal* Tanjung Awar dengan pelabuhan bongkar PLTU Cilacap. Output dari pengukuran jarak di laut adalah 670 Nm (*Nautical miles*). Selanjutnya, data tersebut dimasukkan pada Microsoft Excel sebagai matriks jarak yang dapat dilihat pada Lampiran B.

4.1.4 Biaya Transportasi

Pemerintah telah menentukan biaya transportasi batubara menggunakan tongkang melalui Peraturan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara no 644.K/30/DJB/2013. Dalam peraturan tersebut, diatur mengenai biaya transportasi FOB dan pengurangan dalam satu pulau dengan pengguna akhir. Penulis menggunakan peraturan mengenai biaya FOB. Perhitungan biaya transportasi membutuhkan data jarak dalam satuan Nm (*Nautical Mile*) yang telah didapatkan pada sub bab sebelumnya.

Tabel 4.3 Biaya Transportasi Tongkang

Ukuran Tongkang (Feet)	Persamaan
<270	BB= 0.0221 (JT) +3.74
270-300	BB= 0.0184 (JT) +3.11
>330	BB= 0.0154 (JT) +2.60

Tabel 4.3 menunjukkan persamaan biaya transportasi pada tongkang. Notasi BB yang ada pada persamaan merupakan biaya transportasi dengan satuan USD/ton. JT merupakan jarak tempuh dengan satuan *Nautical Miles* (Nm). Perhitungan biaya transportasi dilakukan untuk transportasi pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU. Selanjutnya, perhitungan tersebut akan direkap di dalam Microsoft Excel sebagai data biaya transportasi.

4.1.4 Perhitungan Kapasitas Coal Terminal

Coal terminal merupakan fasilitas tambahan yang digunakan sebagai sarana *blending* batubara dan tempat penyimpanan batubara. PLN telah menetapkan peraturan bahwa tempat penyimpanan batubara harus dapat mencapai 30 hari kerja.

Total permintaan batubara pada 19 PLTU di Jawa sebesar 67.348.786 ton/tahun. Maka untuk mendapatkan 30 hari kerja :

$$Kapasitas\ maximum = \frac{30}{365} \times 67.348.738 = 5.535.512\ ton$$

Jadi, kapasitas *coal terminal* adalah 5.5 juta ton.

4.1.5 Perhitungan Biaya Investasi Coal Terminal

Biaya investasi dapat diketahui setelah menghitung kapasitas *coal terminal*. Biaya investasi *coal terminal* merupakan investasi yang harus dikeluarkan PLN dalam melakukan pembangunan *coal terminal*. Biaya investasi *coal terminal* terdiri dari beberapa biaya yakni biaya persiapan lahan, biaya *coal handling facilities*, dan biaya dermaga. Perhitungan biaya ini didapatkan dari referensi pembangunan *coal terminal* di Pelabuhan di Kalimantan Selatan. (OCIDI, 2012)

Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Investasi

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	1000000	Rp 700,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	12000	Rp 600,000,000
	Lighthing	paket	Rp 1,000,000	4	Rp 4,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	2	Rp 3,699,400
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 1,314,500,400
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	4	Rp 160,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 244,018,250
TOTAL					Rp 1,558,518,650

Tabel 4.4 menunjukkan biaya investasi yang digunakan sebesar Rp 1.558.518.650. *Coal terminal* merupakan fasilitas yang memiliki umur hidup yang panjang yakni 30 tahun. Penelitian ini membutuhkan nilai investasi sebagai perbandingan pemilihan lokasi. Oleh karena itu, biaya investasi per tahun merupakan biaya depresiasi per tahun. Biaya operasional per tahun merupakan 10% dari biaya investasi.

4.2 Pengembangan Model Matematika

Model matematika menunjukkan hubungan antar elemen dalam sistem. Model matematika dapat dikembangkan dari sistem relevan yang telah digambarkan pada bab sebelumnya yakni *influence diagram*. Model matematika memiliki fungsi tujuan dan beberapa pembatas. Fungsi tujuan menggambarkan ukuran performansi.

- Aproksimasi 1

Aproksimasi 1 merupakan model dasar dengan asumsi semua alokasi harus melalui *coal terminal*. Fungsi tujuan pada Aproksimasi 1 adalah minimasi biaya pengiriman

- Indeks :

I : indeks untuk pemasok

J : indeks untuk *coal terminal*

K : indeks untuk pabrik

A : indeks untuk produk gcv pltu

- Variabel Keputusan

X_{ija} : Alokasi batubara dari pemasok i ke coal terminal j untuk membuat batubara jenis a .

X_{jka} : Alokasi batubara jenis a dari coal terminal j ke pltu k .

Y_j : $\begin{cases} 1, & \text{jika coal terminal } j \text{ dibangun} \\ 0, & \text{jika coal terminal } j \text{ tidak dibangun} \end{cases}$

- Parameter

GCV_i : Nilai GCV yang dimiliki oleh pemasok i .

$Kontrak_i$: Kapasitas pemasok i dalam memasok batubara.

$Demand_k$: Permintaan PLTU k terhadap batubara.

GCV_a : Nilai GCV produk.

C_{ij} : Biaya dari pemasok i menuju coal terminal j .

C_{jka} : Biaya dari terminal j menuju PLTU k dengan GCV a .

D_a : Permintaan masing-masing GCV a .

F_j : Biaya investasi *coal terminal* j .
 N : Jumlah *coal terminal* yang akan dibangun.

➤ Fungsi tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimasi biaya logistik dari pemasok menuju *coal terminal* dan *coal terminal* menuju PLTU.

Minimasi $Z = [\text{Alokasi}_{ij} \times \text{Biaya}_{ij}] + [\text{Alokasi}_{jk} \times \text{Biaya}_{jk}]$

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{a \in A} X_{ija} \times C_{ija} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{a \in A} X_{jka} \times C_{jka} + \sum_{j \in J} Y_j \times F_j \quad (4.1)$$

➤ Batasan

$$\sum_{j \in J} \sum_{a \in A} X_{ija} \leq \text{Kontrak}_i, \forall i \quad (4.2)$$

$$\sum_{i \in I} GCV_i \times X_{ija} = GCV_a \times \sum_{i \in I} X_{ija}, \forall k, a \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_{ija} = da, \forall a \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ija} = \sum_{k \in K} X_{jka}, \forall ja \quad (4.5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{a \in A} X_{jka} = \text{demand}_j, \forall j \quad (4.6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} X_{ija} \leq \text{BigM} \times Y_j, \forall j \quad (4.7)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = N \quad (4.8)$$

$$X_{ija}, X_{jka} \in \{\text{integer}\} \quad (4.9)$$

$$Y \in \{\text{biner}\} \quad (4.10)$$

Persamaan (4.1) memastikan untuk minimasi biaya logistik dari pemasok-*coal terminal* dan *coal terminal*-PLTU. Notasi X_{ija} dan C_{ija} merupakan notasi yang melambangkan pemasok menuju ke *coal terminal* sedangkan X_{jka} dan C_{jka} merupakan notasi yang melambangkan *coal terminal* menuju PLTU. Persamaan (4.2) memastikan alokasi batubara yang dikirim dari pemasok menuju *coal terminal* tidak melebihi nilai kontrak pemasok untuk setiap pemasok. Persamaan (4.3) merupakan persamaan untuk proses *blending* batubara yang dapat menghasilkan produk a pada *coal terminal* k . Persamaan ini memaksa untuk adanya pencampuran kualitas batubara untuk menghasilkan kualitas batubara produk a .

Apabila persamaan ini tidak ada, maka *coal terminal* bukan menjadi fasilitas *blending* namun hanya sebagai fasilitas *transit*. Persamaan (4.4) memastikan jumlah *blending* yang dihasilkan sama dengan permintaan GCV_a . D_a merupakan akumulasi permintaan PLTU pada GCV_a . Permasamaan ini memastikan bahwa semua permintaan PLTU harus terpenuhi oleh pasokan yang ada pada *coal terminal*. Persamaan (4.5) memastikan jumlah yang diproduksi *blending* pada *coal terminal* sama dengan jumlah yang dikirim keluar *coal terminal*. Hal ini untuk jumlah pasokan dan permintaan batubara di *coal terminal* seimbang. Apabila persamaan ini tidak ada, maka dapat menyebabkan tidak seimbangnya antara permintaan dan jumlah pasokan di *coal terminal*. Persamaan (4.6) memastikan jumlah yang dikirimkan sesuai dengan permintaan PLTU. Apabila persamaan ini tidak ada, alokasi yang dikirim pasti 0 karena fungsi tujuannya minimasi biaya. Adanya persamaan ini akan memaksa untuk adanya alokasi *coal terminal* menuju PLTU. Persamaan (4.7) merupakan persamaan bahwa apabila ada alokasi yang menuju *coal terminal j* maka *coal terminal j* harus dibangun. Persamaan (4.8) merupakan persamaan jumlah *coal terminal* yang diinginkan. Persamaan (4.9) memastikan alokasi pengiriman bernilai *integer*. Persamaan (4.10) memastikan bahwa variabel keputusan Y_j bernilai biner.

- Aproksimasi 2

Aproksimasi 2 merupakan pengembangan dari Aproksimasi 1, dimana alokasi dari pemasok dapat melalui dua cara yakni melalui *coal terminal* atau langsung menuju PLTU. Apabila alokasi dari pemasok batubara langsung menuju PLTU, maka *blending* akan dilakukan di masing-masing PLTU. Adanya penambahan cara alokasi dari pemasok langsung menuju PLTU maka membutuhkan variabel keputusan tambahan yakni X_{ik} . Parameter pun bertambah dengan C_{jk} yakni biaya dari pemasok i menuju PLTU k .

- Indeks :

- I : indeks untuk pemasok
- J : indeks untuk *coal terminal*
- K : indeks untuk pabrik
- A : indeks untuk produk gcv pltu

➤ Varibel Keputusan

X_{ija} : Alokasi batubara dari pemasok i ke coal terminal j untuk membuat batubara jenis a

X_{jka} : Alokasi batubara jenis a dari coal terminal j ke pltu k

X_{ik} : Alokasi batubara dari pemasok i menuju PLTU k

Y_j : $\begin{cases} 1, & \text{jika coal terminal } j \text{ dibangun} \\ 0, & \text{jika coal terminal } j \text{ tidak dibangun} \end{cases}$

➤ Parameter

GCV_i : Nilai GCV yang dimiliki oleh pemasok i

$Kontrak_i$: Kapasitas pemasok i dalam memasok batubara

$Demand_k$: Permintaan PLTU k terhadap batubara

GCV_a : Nilai GCV produk a

GCV_k : Nilai GCV produk pada PLTU

C_{ij} : Biaya dari pemasok i menuju coal terminal j

C_{jka} : Biaya dari terminal j menuju PLTU k dengan GCV a

C_{jk} : Biaya dari pemasok i menuju PLTU k

D_a : Permintaan masing-masing GCV a pada coal terminal

N : Jumlah coal terminal yang akan dibangun

➤ Fungsi Tujuan

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{a \in A} X_{ija} \times C_{ija} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{a \in A} X_{jka} \times C_{jka} + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_{ik} \times C_{ik} \end{aligned} \quad (4.11)$$

➤ Batasan

$$\sum_{j \in J} \sum_{a \in A} X_{ija} + \sum_{k \in K} X_{ik} \leq \text{Kontrak } i, \forall i \quad (4.12)$$

$$\sum_{i \in I} GCV_i \times X_{ija} = GCV_a \times \sum_{i \in I} X_{ija}, \forall k, a \quad (4.13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_{ija} \leq da, \forall a \quad (4.14)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ija} = \sum_{k \in K} X_{jka}, \forall ja \quad (4.15)$$

$$\sum_{i \in I} GCV_i \times X_{ik} = GCV_k \times \sum_{i \in I} X_{ik}, \forall k \quad (4.16)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{a \in A} X_{jka} + \sum_{i \in I} X_{ik} = \text{demand}_i, \forall j \quad (4.17)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} X_{ija} \leq \text{BigM} \times Y_j, \forall j \quad (4.18)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = N \quad (4.19)$$

$$Y_j \in \{\text{biner}\} \quad (4.20)$$

$$X_{ija}, X_{jka}, X_{ik} \in \{\text{integer}\} \quad (4.21)$$

Persamaan (4.11) merupakan fungsi tujuan dengan penambahan biaya logistik dari pemasok langsung menuju PLTU. Alokasi dapat dilakukan dengan 2 cara yakni melalui *coal terminal* atau *direct* menuju PLTU. Persamaan (4.12) memastikan bahwa alokasi batubara yang keluar baik menuju *coal terminal* ataupun langsung menuju PLTU dari masing-masing supplier tidak melebihi kontrak untuk setiap pemasok. Apabila persamaan (4.12) tidak ditulis maka alokasi akan memilih pemasok yang memiliki biaya yang rendah dan mengabaikan aturan kontrak pemasok dengan PLTU. Persamaan (4.13) memastikan bahwa *blending* batubara sesuai dengan kebutuhan GCV di masing-masing PLTU. Persamaan (4.14) merupakan persamaan agar alokasi yang tiba di *coal terminal* kurang dari atau sama dengan permintaan di *coal terminal* pada masing-masing kualitas batubara. Persamaan (4.15) merupakan persamaan alokasi yang diterima pada *coal terminal* harus sama dengan yang keluar dari *coal terminal*. Persamaan (4.16) merupakan persamaan untuk proses *blending* batubara yang dapat menghasilkan produk *a* pada *coal terminal* *k*. Persamaan ini memaksa untuk adanya pencampuran kualitas batubara untuk menghasilkan kualitas batubara produk *a*. Apabila persamaan ini tidak ada, maka *coal terminal* bukan menjadi fasilitas *blending* namun hanya sebagai fasilitas *transit*. Persamaan (4.17) merupakan persamaan yang memastikan bahwa alokasi yang menuju PLTU telah sesuai kualitas dan kuantitas baik pengiriman langsung ataupun *blending* di *coal terminal*. Persamaan (4.18) merupakan persamaan bahwa apabila ada alokasi yang menuju *coal terminal* *j* maka

coal terminal j harus dibangun. Persamaan (4.19) merupakan persamaan jumlah *coal terminal* yang diinginkan. Persamaan (4.20) merupakan persamaan bahwa Y_j bernilai biner. Persamaan (4.15) memastikan alokasi pengiriman bernilai *integer*.

4.3 Validasi

Validasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yakni validasi internal dan validasi eksternal. Validasi internal atau yang sering disebut dengan verifikasi merupakan proses pengecekan model secara matematika dan logika serta pengecekan data yang digunakan telah sesuai. Validasi eksternal merupakan proses pengecekan model apakah model yang telah dibangun telah merepresentasikan realitas yang ada.

Validasi yang dapat dilakukan pada penelitian ini adalah mengecek hasil optimasi dengan masing-masing konstrain, menghitung output secara manual dan mengecek konsistensi dimensional setiap pembatas. Pada penelitian ini menggunakan software optimasi dalam proses *running*. Proses validasi dapat dilakukan dengan mengecek variabel keputusan dengan masing-masing konstrain. Terdapat 9 konstrain pada Aproksimasi 1, Tabel 4.5 merupakan tabel pengecekan konstrain.

Tabel 4.5 Verifikasi Konstrain

Konstrain	Verifikasi
Konstrain 1	✓
Konstrain 2	✓
Konstrain 3	✓
Konstrain 4	✓
Konstrain 5	✓
Konstrain 6	✓
Konstrain 7	✓
Konstrain 8	✓
Konstrain 9	✓

Hasil pengecekan kontrain menyatakan bahwa masing-masing konstrain telah terverifikasi. Jika masing-masing konstrain telah terverifikasi maka model ini dapat dikatakan telah terverifikasi. Proses verifikasi dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan satuan pada masing-masing batasan. Batasan yang akan digunakan contoh adalah batasan *script* yang telah disampaikan di atas. X_{ij} merupakan variabel keputusan dengan satuan ton dan kontrak batubara pemasok juga memiliki satuan ton. Penjumlahan X_{ij} (ton) harus kurang dari Kontrak (ton). Satuan antara variabel keputusan dengan parameter telah sesuai sehingga model telah terverifikasi.

Proses verifikasi juga dapat dilihat dari pengecekan fungsi objektif. Peneliti melakukan perhitungan dengan *microsoft excel* untuk mengetahui fungsi objektif kemudian dibandingkan dengan hasil *software* optimasi. Perhitungan excel dengan menggunakan PLTU Suralaya sebagai *coal terminal* dan *coal terminal* melayani melayani semua PLTU milik Indonesia Power menghasilkan biaya logistik sebesar Rp 19.568.760.854.547. Hasil *running software* optimasi menghasilkan fungsi objektif Rp 19.568.760.854.547. Adanya persamaan hasil fungsi objektif antara perhitungan manual dengan *software* optimasi menandakan bahwa model pada *software* optimasi telah terverifikasi dan solusi yang dihasilkan memiliki status *global optimum*.

Proses validasi juga dapat dilakukan dengan dilakukannya titik ekstrim. Terdapat 3 pemasok, 3 calon *coal terminal* dan 3 PLTU. Terdapat 2 tipe kualitas yakni 4200 dan 5000. Kualitas yang sama yakni 4200 akan memiliki harga yang berbeda karena dipengaruhi oleh jarak. Oleh karena itu, hipotesis awal pemasok yang digunakan adalah pemasok dengan harga terendah dengan kualitas yang sama. Pemasok A dan B memiliki kualitas yang sama namun harga pemasok B lebih tinggi. Hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7

Tabel 4.6 Alokasi Pemasok – *Coal Terminal*

ALL		Availability	D	E	F
			4400	4400	4400
A	4200	7,470,000	0	0	2100000
B	4200	18,300,000	0	0	0
C	5000	8,000,000	0	0	700000

Tabel 4.7 Alokasi *Coal Terminal* – Pemasok

		D	E	F
		4400	4400	4400
D	4400	0	0	0
E	4400	0	0	0
F	4400	2000000	500000	300000
		2000000	500000	300000

Hasil optimasi menunjukkan bahwa pemasok B tidak digunakan karena harganya yang tinggi dibandingkan dengan pemasok A. *Coal terminal* berada di lokasi F dengan proporsi *blending* 7:3. *Coal terminal* F akan melayani PLTU D, E dan F.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

ANALISIS HASIL

Pada bab ini akan dibahas terkait analisis model yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Terdapat beberapa hal yang akan dibahas pada bab ini yakni analisis model dan analisis sensitivitas.

5.1 Analisis Hasil

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai hasil *running* model pada bab sebelumnya mengenai Aproksimasi 1 dan Aproksimasi 2.

5.1.1 Aproksimasi 1

Model Aproksimasi 1 merupakan model dasar dari pemilihan lokasi *coal terminal*. Fungsi tujuan dari Aproksimasi 1 adalah minimasi biaya logistik batubara dengan mengetahui alokasi distribusi batubara dari pemasok menuju *coal terminal* dan *coal terminal* menuju PLTU. Asumsi yang digunakan pada Aproksimasi ini adalah alokasi batubara harus melalui *coal terminal*. Terdapat 19 pemasok batubara yang memiliki lokasi dan kualitas batubara yang berbeda. Pembangunan *coal terminal* mempunyai tugas khusus yakni *blending* batubara dari pemasok. Adanya penugasan ini akan membuat alokasi batubara dari *coal terminal* menuju PLTU sudah sesuai dengan kuantitas dan kualitas yang dibutuhkan masing-masing PLTU.

Hasil *coal terminal* yang terpilih pada Aproksimasi 1 yakni *coal terminal* Tanjung Jati dengan biaya distribusi sebesar Rp 50.848.560.000.000. Tanjung Jati terpilih dikarenakan memiliki biaya distribusi batubara terkecil. Pada Aproksimasi 1, biaya investasi dapat diabaikan karena kapasitas yang sama akan menghasilkan biaya investasi yang sama. *Coal terminal* Tanjung Jati akan mencampurkan batubara dengan hasil kualitas 5500, 5200, 5000, 4700, 4500, 4400 dan 4200 kcal/kg. Terdapat 19 dari 23 pemasok batubara yang digunakan sebagai pemasok batubara PLN. Hasil *running* menunjukkan bahwa untuk menghasilkan batubara dengan kualitas 5000 kcal/kg dibutuhkan bahan baku batubara kualitas 4900 kcal/kg dan 5500 dengan perbandingan 2:1. Kemudian hasil tersebut akan

didistribusikan kepada yang sesuai dengan kalori tersebut yakni PLTU Tanjung Jati. Alokasi menuju Tanjung Jati telah sesuai baik dari kualitas dan kuantitas. Alokasi hasil *running* dapat dilihat pada Tabel 5.1 hingga 5.2.

Terdapat beberapa hal yang menyebabkan Tanjung Jati terpilih menjadi *coal terminal* yakni harga batubara, jarak pemasok-*coal terminal* dan jarak *coal terminal*-PLTU. Alokasi pemasok menuju *coal terminal* akan berkaitan erat dengan biaya logistik pemasok-*coal terminal* yang meliputi biaya transportasi dan biaya pembelian batubara. Perbandingan antara biaya transportasi dan biaya pembelian batubara mencapai 3:7. Adanya perbandingan biaya ini maka alokasi sangat dipengaruhi oleh harga batubara. Alokasi batubara didominasi dengan alokasi batubara berkualitas rendah. Hal ini dikarenakan biaya batubara berkualitas rendah lebih murah dibandingkan batubara berkualitas tinggi. Perbedaan harga batubara kualitas rendah dengan kualitas tinggi mencapai Rp 241.000.000/ton. Hal ini dibuktikan dengan utilitas penggunaan kontrak pemasok batubara kualitas rendah mencapai 100% sedangkan utilitas penggunaan pemasok batubara kualitas tinggi sekitar 20-100%. Namun, meskipun batubara berkualitas rendah lebih murah, batubara berkualitas tinggi tetap dibutuhkan sebagai alat untuk menghasilkan kualitas batubara yang diinginkan. Oleh karena itu, komposisi pencampuran harus seimbang antara berbagai kualitas dengan memperhatikan biaya distribusi. Jika kualitas batubara sama, maka alokasi pemasok akan diberikan kepada jarak pemasok terdekat dengan *coal terminal*. Hal ini terjadi dengan batubara dengan kualitas 4600 kg/kkal lokasi *coal terminal* di PLTU Tanjung Jati antara pemasok (TIE) pelabuhan muat di Bengkulu dengan pemasok PLN Batubara (PLNBB) pelabuhan muat di Kalimantan Selatan. Utilitas pemasok TIE sebesar 0% sedangkan utilitas PLNBB sebesar 100%. Hal ini terjadi karena jarak Tanjung Jati menuju Kalimantan Selatan lebih dekat dibandingkan Tanjung Jati menuju Bengkulu sehingga alokasi diberikan kepada jarak terdekat *coal terminal* dengan pemasok.

Alokasi *coal terminal* menuju PLTU berkaitan erat dengan biaya transportasi *coal terminal*- PLTU. Biaya transportasi dipengaruhi oleh jarak antar *coal* dengan PLTU sehingga *coal terminal* yang terpilih dapat meminimasi biaya

transportasi *coal*-PLTU. Mayoritas PLTU di Jawa terletak di bagian utara-timur dan utara-barat. Tanjung Jati berlokasi di bagian utara-tengah Pulau Jawa, hal ini menandakan bahwa Tanjung Jati berada di tengah antara mayoritas PLTU yang ada.

Aproksimasi 1 menggunakan asumsi alokasi batubara harus melalui *coal terminal*. Adanya asumsi ini akan meningkatkan biaya transportasi batubara. Hal ini terjadi apabila pemasok dari Pulau Sumatera kemudian menuju *coal terminal* Tanjung Jati kemudian diberikan kembali pada PLTU yang letaknya dekat dengan pemasok.

Tabel 5.1 Alokasi Pemasok-Coal Terminal (Ton)

Tanjung Jati		Utilitas	Alokasi Batubara (Ton)							
			5500	5200	5000	4700	4500	4400	4300	4200
AI	4200	100%	0	0	0	0	1	7,469,999	0	0
Adaro	4700	100%	0	0	1	11,667,594	2,420,691	4,211,714	0	0
DGL	4300	100%	0	0	0	0	0	1	1,029,999	0
EEI	4300	100%	0	0	0	0	0	2,050,000	0	0
KII	4200	100%	0	0	0	0	0	0	0	2,082,000
OBP	4250	100%	0	0	0	0	846,000	0	0	0
RAP	4250	100%	0	0	0	0	0	763,730	467,566	0
TIE	4600	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
Bukit Asam	4900	77%	1,750,248	3,774,884	6,037,191	1,669,087	0	0	0	0
PLNBB L	4200	100%	0	0	0	0	0	0	0	2,700,000
PLNBB L	4400	100%	0	0	0	0	2,228,131	0	471,869	0
PLNBB L	4600	100%	0	0	0	2,700,000	0	0	0	0
PLNBB M	4200	100%	0	0	0	0	0	0	238,086	24,914
PLNBB M	4700	100%	0	0	0	0	0	263,000	0	0
HE	4200	100%	0	0	0	0	0	0	0	1,858,000
DP	4600	100%	0	0	0	0	0	500,000	0	0
TME	4200	100%	0	0	0	0	166,083	0	0	978,917
TME	4600	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
KPC	4600	19%	0	0	0	638,174	1	1,855,726	0	0
BC	5000	0%	0	0	5	0	0	0	0	0
IDM	5800	100%	3,500,496	1,544,856	754,648	0	0	0	0	0

Tabel 5.2 Alokasi *Coal Terminal*-PLTU (Ton)

Tanjung Jati		Alokasi Batubara (Ton)							
		5500	5200	5000	4700	4500	4400	4,300	4200
Indramayu	4400	0	0	0	0	0	3,810,600	0	0
Rembang	4300	0	0	0	0	0	0	2,207,520	0
Tanjung Awar	4400	0	0	0	0	0	2,398,294	0	0
Pacitan	4200	0	0	0	0	0	0	0	2,016,747
Paiton	4700	0	0	0	3,075,247	0	0	0	0
Paiton 9	4200	0	0	0	0	0	0	0	3,285,000
Tanjung Jati	5500	5,250,744	0	0	0	0	0	0	0
Labuan	4400	0	0	0	0	0	2,016,747	0	0
Suralaya 1-7	4700	0	0	0	13,599,608	0	0	0	0
Suralaya 8	4400	0	0	0	0	0	2,469,347	0	0
Pelabuhan Ratu	4400	0	0	0	0	0	3,725,482	0	0
Lontar	4500	0	0	0	0	3,270,400	0	0	0
Adipala	4400	0	0	0	0	0	2,693,700	0	0
Banten	4200	0	0	0	0	0	0	0	2,342,084
PEC	5200	0	3,816,858	0	0	0	0	0	0
PEC 3	5000	0	0	2,677,275	0	0	0	0	0
Jawa Power	5000	0	0	4,114,572	0	0	0	0	0
Cilacap	5200	0	2,188,054	0	0	0	0	0	0
Cilacap EXP	4500	0	0	0	0	2,390,507	0	0	0

Total biaya pembangunan *coal terminal* di PLTU Tanjung Jati dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Total Biaya

No	Komponen Biaya	Biaya (Juta)
1	Biaya Distribusi	Rp 50,848,560
2	Biaya Investasi	Rp 51,951
3	Biaya Operasional	Rp 155,852
Total		Rp 51,056,362

Adanya penerapan Aproksimasi 1 akan membutuhkan biaya sebesar Rp 51.056.356.000.000. Biaya eksisting dengan menerapkan pengiriman langsung dan *blending* di PLTU membutuhkan biaya sebesar Rp 52.261.910.000.000. Hal ini akan menghemat total biaya sebesar Rp 1.205.548.000.000 dalam setahun.

Biaya investasi yang dihitung merupakan biaya investasi pada tahun 2018. Namun, proyek ini belum dijalankan sehingga perlu dilakukan proyeksi biaya investasi untuk kedepannya. Jangka waktu yang digunakan adalah 5 tahun sesuai dengan jangka rencana pembuatan proyek. Inflasi yang digunakan untuk proyeksi sebesar 3.5% sesuai dengan data inflasi yang digunakan oleh Bank Indonesia. Tabel 5.4 menunjukkan proyeksi investasi pembangunan *coal terminal* dari tahun 2018-2022.

Tabel 5.4 Proyeksi Investasi 2018-2022

Tahun	Nilai Investasi
2018	Rp 1,558,530,000,000
2019	Rp 1,613,078,550,000
2020	Rp 1,669,536,299,250
2021	Rp 1,727,970,069,724
2022	Rp 1,788,449,022,164
2023	Rp 1,851,044,737,940
2024	Rp 1,915,831,303,768
2025	Rp 1,982,885,399,400
2026	Rp 2,052,286,388,379
2026	Rp 2,124,116,411,972

5.1.2 Aproksimasi 2

Model Aproksimasi 2 merupakan model pengembangan dari model Aproksimasi 1. Pada Aproksimasi ini, alokasi dapat melalui *coal terminal* atau langsung menuju PLTU. Apabila alokasi langsung menuju PLTU, maka proses *blending* dilakukan di masing-masing PLTU. Tujuan dari Aproksimasi ini adalah meminimalkan biaya logistik batubara dengan mengetahui alokasi distribusi batubara melalui *coal terminal* atau langsung menuju PLTU. Aproksimasi ini akan membuat biaya logistik lebih murah dibandingkan dengan Aproksimasi 1 karena diperbolehkan terdapat dua cara alokasi yakni melalui *coal terminal* atau langsung PLTU. Apabila distribusi lebih murah dilakukan secara langsung dari pemasok menuju PLTU maka alokasi batubara akan memilih *direct shipping*, namun apabila penggunaan *coal terminal* lebih murah dibandingkan *direct shipping* maka alokasi tersebut akan melalui *coal terminal*. Pada Aproksimasi 1 diwajibkan alokasi melalui *coal terminal* maka akan membuat alokasi meningkat karena terdapat alokasi.

Namun, jika dilihat dari alokasi, *coal terminal* Paiton hanya melayani PLTU Paiton saja dan hanya melakukan *blending* sesuai dengan kebutuhan PLTU Paiton yakni batubara kualitas 4200. Hasil ini tidak sesuai dengan konsep *coal terminal* sehingga distribusi batubara yang sesuai adalah pengiriman secara langsung. Namun, pengiriman secara langsung disini bukan keadaan eksisting. Kondisi keadaan eksisting terjadi ketika 1 PLTU memiliki beberapa pemasok. Pada Aproksimasi 2, telah ada perubahan proses bisnis sehingga pemasok yang telah memiliki kontrak adalah pemasok milik bersama bukan lagi milik PLTU tertentu. Perbedaan biaya logistik ini terjadi karena pada kondisi eksisting PLTU memiliki pemasok yang letaknya jauh dengan lokasi PLTU sehingga menyebabkan biaya tinggi padahal masih terdapat pemasok yang lokasinya dekat. Optimasi *blending* juga belum diterapkan di masing-masing PLTU sehingga biaya logistik batubara tinggi.

Aproksimasi 2 menunjukkan bahwa pengiriman batubara lebih baik dilakukan secara langsung. Hal ini diakibatkan jarak pemasok dan PLTU sebenarnya masih dekat. Peneliti melakukan uji coba jika jarak antara pemasok dengan PLTU berubah menjadi besar maka *coal terminal* akan semakin digunakan

dibandingkan pengiriman secara langsung. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perbandingan PLTU yang Terlayani oleh *Coal Terminal*

Jarak	Jumlah PLTU yang terlayani
Normal	1
Diperbesar 5x	11
Diperbesar 10x	14
Diperbesar 100x	17

Jarak antara pemasok dan PLTU dilakukan perbesaran. Jika pada keadaan eksisting, *coal terminal* terpilih hanya melayani 1 PLTU saja dan hal ini tidak sesuai dengan konsep *coal terminal* karena *coal terminal* tersebut hanya melayani dirinya sendiri. Jika jarak antara PLTU dengan pemasok diperbesar 5 kali maka *coal terminal* akan melayani 11 PLTU. Jika jarak antara pemasok dengan PLTU diperbesar 10 kali maka *coal terminal* akan melayani 14 PLTU. Jika jarak antara PLTU dengan pemasok diperbesar hingga 100 kali maka *coal terminal* tersebut akan melayani 17 PLTU. Percobaan ini menunjukkan bahwa jika jarak PLTU dan pemasok semakin jauh, maka keberadaan *coal terminal* dekat dengan PLTU semakin dibutuhkan. Hal ini ditunjukkan dengan semakin banyaknya jumlah PLTU yang terlayani apabila jarak diperbesar.

5.2 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah parameter yang ada pada sistem dan melihat pengaruhnya terhadap performansi sistem. Analisis sensitivitas yang digunakan pada model ini adalah mengubah pemilik *coal terminal*, mengubah sistem pembelian *minimum* pada pemasok batubara, mengubah jumlah *coal terminal*, dan mengubah lokasi dan *volume* pemasok batubara.

5.2.1 Pengaruh Pemilik Coal Terminal

Pada model Aproksimasi 1 dan Aproksimasi 2 pembangunan *coal terminal* merupakan tanggung jawab dan milik PLN tetapi untuk kebutuhan PLTU milik IP, PJB dan IPP. Namun, pada percobaan analisis sensitivitas ini akan dipisah berdasarkan pemilik PLTU yakni IP dan PJB. *Coal terminal* milik PJB akan

dipasok dari pemasok batubara PJB dan khusus untuk memasok PLTU milik PJB sedangkan milik IP akan dipasok dari pemasok batubara IP dan khusus untuk memasok PLTU milik IP. Hal ini perlu dilakukan apabila masing-masing pemilik PLTU ingin melakukan pembuatan *coal terminal*.

- Pembangkit Jawa Bali (PJB)

PJB memiliki 14 pemasok dengan 18 titik pasok yang berbeda yakni Adaro, Arutmin, DGL, Energi EI, KII, OBP, RAP, TIE, Bukit Asam, PLNBB, KPC, BC, IDM, dan JMB. PJB juga memiliki 7 PLTU yang tersebar di Jawa yakni PLTU Indramayu, PLTU Rembang, PLTU Tanjung Awar, PLTU Pacitan, PLTU Paiton, PLTU Paiton 9 dan PLTU Tanjung Jati. Tujuh PLTU tersebut memiliki 5 varian kebutuhan kalori yakni 5500, 4700, 4400, 4300, dan 4200. Tabel 5.6 merupakan hasil dari *running* optimasi Aproksimasi 1 dan 2.

Tabel 5.6 Utilisasi Pemasok Batubara

Utilisasi Pemasok Batubara			
Nama Pemasok	GCV	Aproksimasi 1(%)	Aproksimasi 2(%)
AI	4200	100%	100%
Adaro	4700	65%	30%
DGL	4300	100%	100%
EEI	4300	100%	100%
KII	4200	100%	100%
OBP	4250	23%	100%
RAP	4250	100%	100%
TIE	4600	0%	2%
Bukit Asam	4900	0%	17%
PLNBB L	4200	100%	100%
PLNBB L	4400	0%	100%
PLNBB L	4600	100%	100%
PLNBB M	4200	100%	100%
PLNBB M	4700	100%	100%
KPC	4600	0%	0%
BC	5000	60%	17%
IDM	5800	100%	100%
JMB	5500	44%	64%

Pemilihan lokasi *coal terminal* berdasarkan total biaya logistik batubara minimum yakni pada *coal terminal* PLTU Paiton dengan biaya logistik batubara sebesar Rp 15.603.650.000. Hal ini dikarenakan Paiton merupakan tempat strategis bagi pemasok dan PLTU PJB lainnya. Dari segi pemasok, pemasok yang mayoritas terpilih adalah pemasok dengan kalori rendah, hal ini sesuai dengan permintaan PLTU milik PJB. Selain itu, pemasok yang terpilih mayoritas berasal dari Pulau Kalimantan. Jarak Pulau Kalimantan dengan Paiton lebih dekat dengan Pulau Sumatera sehingga pemasok yang terpilih merupakan Paiton. Dari segi permintaan, adanya rumpun akan menghemat biaya transportasi dari *coal terminal* menuju PLTU.

Tabel 5.7 Biaya Investasi *Coal Terminal* Milik PJB

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total (ribu)
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	610000	Rp 427,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighthing	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 837,650,700
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 204,018,250
TOTAL					Rp 1,041,668,950

Tabel 5.8 Total Biaya

No	Komponen Biaya	Biaya (Juta)
1	Biaya Distribusi	Rp 15,603,650
2	Biaya Investasi	Rp 35
3	Biaya Operasional	Rp 104
Total		Rp 51,603,789

Kebutuhan batubara pada PLTU milik PJB adalah 22.044.152 ton/tahun. Maka kapasitas *coal terminal* adalah 1.900.000 ton. Tabel 5.6 menampilkan biaya investasi *coal terminal*. Tabel 5.7 menampilkan biaya. Biaya distribusi eksisting pada Rp 16.205.100.535.746. Penggunaan *coal terminal* di Paiton akan menghemat biaya distribusi batubara sebesar Rp 601.311.535.745.

Proyeksi investasi dapat dilihat pada Tabel 5.10 Adanya investasi dapat menyebabkan peningkatan biaya investasi setiap tahunnya.

Tabel 5.10 Proyeksi Investasi *Coal Terminal* PJB 2018-2027

Tahun	Nilai Investasi
2018	Rp 1,050,000,000
2019	Rp 1,086,750,000
2020	Rp 1,124,786,250
2021	Rp 1,164,153,769
2022	Rp 1,204,899,151
2023	Rp 1,247,070,621
2024	Rp 1,290,718,093
2025	Rp 1,335,893,226
2026	Rp 1,382,649,489
2027	Rp 1,431,042,221

Pada Aproksimasi 2, *coal terminal* terpilih adalah Paiton. Namun jika dilihat dari alokasi, *coal terminal* Paiton hanya melayani PLTU Paiton saja dan hanya melakukan *blending* sesuai dengan kebutuhan PLTU Paiton yakni batubara kualitas 4200. Hasil ini tidak sesuai dengan konsep *coal terminal* sehingga distribusi batubara yang sesuai adalah pengiriman secara langsung. Namun, pengiriman secara langsung disini bukan keadaan eksisting. Kondisi keadaan eksisting terjadi ketika 1 PLTU memiliki beberapa pemasok. Pada Aproksimasi 2, telah ada perubahan proses bisnis sehingga pemasok yang telah memiliki kontrak adalah pemasok milik bersama bukan lagi milik PLTU tertentu. Adanya perbedaan Aproksimasi juga menimbulkan perbedaan utilisasi pemasok batubara. Pada Aproksimasi 1, terdapat 4 pemasok yang tidak digunakan yakni pemasok GCV 4250, 4400, dan 4600 kcal/kg. Pada Aproksimasi 2, terdapat 1 pemasok yang tidak digunakan yakni KPC dengan GCV 4600 kcal.kg.

Tabel 5.11 dan 5.12 menunjukkan bahwa perbedaan Aproksimasi dapat menyebabkan perbedaan proporsi pencampuran batubara. Pada Aproksimasi 1, pembuatan batubara GCV 4700 kcal/kg membutuhkan 7 jenis kalori batubara dari 10 pemasok yang berbeda. Kalori terkecil yang digunakan adalah 4200 kcal/kg sehingga membutuhkan kalori 5000 kcal/kg untuk melakukan campuran. Pada Aproksimasi 2, pembuatan batubara GCV 4700 kcal/kg membutuhkan 4 jenis kalori batubara dari 5 pemasok yang berbeda. Kalori terkecil yang digunakan adalah 4400 kcal/kg sehingga tidak terlalu membutuhkan kalori tinggi, cukup kalori 4900 kcal/kg sebagai bahan pencampur. Adanya perbedaan proporsi ini disebabkan karena Aproksimasi 1 memaksa semua alokasi harus melalui *coal terminal* sedangkan Aproksimasi 2 tidak memaksa hal tersebut jadi lebih fleksibel. Pada Aproksimasi 2, pembuatan kalori 4400 kcal/kg dapat dihasilkan dari bahan baku batubara yang berbeda. Pada PLTU labuan, batubara yang dibutuhkan adalah batubara dengan kualitas 4200 dan 4600 serta semua berlokasi di Kalimantan Selatan. Hal ini dikarenakan Kalimantan Selatan lebih dekat dengan Labuan dibandingkan yang lainnya. Pada PLTU Adipala, batubara yang dibutuhkan adalah batubara kualitas 4200, 4600, dan 5800 kcal/kg serta masing-masing pemasok terletak mayoritas di Sumatera. Hal ini dikarenakan Sumatera lebih dekat dibandingkan dengan Kalimantan.

Tabel 5.11 Alokasi Pemasok Batubara (Ton)

PJB		Alokasi Batubara Paiton (Ton)				
		5500	4700	4400	4300	4200
AI	4200	0	0	1326296	0	4673704
Adaro	4700	1	3075247	1145380	0	0
DGL	4300	1	0	0	1029999	0
EEI	4300	0	0	256997	3	0
KII	4200	0	0	0	801957	628043
OBP	4250	0	0	1	92777	0
RAP	4250	0	0	499999	1	0
TIE	4600	0	0	0	0	0
Bukit Asam	4900	0	0	0	0	0
PLNBB L	4200	0	0	1000000	0	0
PLNBB L	4400	0	0	0	2	0
PLNBB L	4600	0	0	1217217	282730	0
PLNBB M	4200	0	0	500000	0	0

PJB		Alokasi Batubara Paiton (Ton)				
		5500	4700	4400	4300	4200
PLNBB M	4700	0	0	262999	1	0
KPC	4600	0	0	3	50	0
BC	5000	1739996	0	2	0	0
IDM	5800	2900000	0	0	0	0
JMB	5500	610746	0	0	0	0

Tabel 5.12 Alokasi *Coal Terminal* (Ton)

PJB		Alokasi Batubara (Ton)						
		Indramayu	Rembang	Tanjung Awar	Pacitan	Paiton	Paiton 9	Tanjung Jati
		4400	4300	4400	4200	4700	4200	5500
AI	4200	1,452,860	942,016	1,233,377	0	0	2,371,747	0
Adaro	4700	235,504	907,918	0	0	812,247	0	0
DGL	4300	0	1,030,000	0	0	0	0	0
EEI	4300	0	0	257,000	0	0	0	0
KII	4200	0	0	0	1,430,000	0	0	0
OBP	4250	400,000	0	0	0	0	0	0
RAP	4250	500,000	0	0	0	0	0	0
TIE	4600	42,660	0	0	0	0	0	0
Bukit Asam	4900	834,080	0	0	0	0	0	1,450,000
PLNBB L	4200	0	0	0	86,747	0	913,253	0
PLNBB L	4400	581,000	0	0	0	0	0	0
PLNBB L	4600	0	0	0	0	1,500,000	0	0
PLNBB M	4200	0	0	0	500,000	0	0	0
PLNBB M	4700	0	0	0	0	263,000	0	0
KPC	4600	0	0	0	0	0	0	0
BC	5000	0	0	0	0	500,000	0	0
IDM	5800	0	0	0	0	0	0	2,900,000
JMB	5500	0	0	0	0	0	0	900,744

- Indonesia Power (IP)

IP memiliki 15 pemasok batubara dengan 18 titik pasok yakni Arutmin, Adaro, EEI, KII, OBP, RAP, Bukit Asam, PLNBB, HE, DP, TME, KPC, BC, IDM dan KDC. IP memiliki 6 PLTU yakni PLTU Labuan, Suralaya 1-7, Suralaya 8, Pelabuhan Ratu, Lontar dan Adipala. Enam PLTU tersebut memiliki 3 varian kualitas batubara yakni 4700, 4500 dan 4400. Tabel 5.13 menunjukkan hasil *running* PLTU IP.

Tabel 5.13 Hasil *Running* IP

Utilisasi Pemasok Batubara			
Nama Pemasok	GCV	Aproksimasi 1(%)	Aproksimasi 2(%)
AI	4200	100%	100%
Adaro	4700	100%	100%
EEI	4300	100%	100%
KII	4200	100%	100%
OBP	4250	100%	100%
RAP	4250	100%	100%
Bukit Asam	4900	100%	100%
PLNBB L	4200	100%	100%
PLNBB L	4400	100%	100%
PLNBB L	4600	100%	100%
HE	4200	100%	100%
DP	4600	100%	100%
TME	4200	100%	100%
TME	4600	100%	100%
KPC	4600	49%	58%
BC	5000	44%	5%
IDM	5800	0%	13%
KDC	4900	100%	100%

Pemilihan lokasi *coal terminal* berdasarkan total biaya logistik batubara minimum yakni pada *coal terminal* PLTU Suralaya dengan biaya logistik batubara sebesar Rp 19.568.750.000. Hal ini dikarenakan Suralaya merupakan tempat strategis bagi pemasok dan PLTU IP lainnya. Dari segi pemasok, pemasok yang mayoritas terpilih adalah pemasok dengan kalori rendah, hal ini sesuai dengan permintaan PLTU milik IP yang mayoritas berkalori rendah. Selain itu, pemasok yang terpilih merupakan pemasok yang terletak di Sumatera dan Kalimantan

Selatan. Pemasok yang berada di Kalimantan Timur hanya minoritas. *Coal Terminal* Suralaya berada di antara Kalimantan Selatan dan Sumatera. Dari segi permintaan, Suralaya merupakan kumpulan dari beberapa PLTU yakni Suralaya 1-7 dan Suralaya 8, adanya kumpulan PLTU maka akan memperbesar permintaan di rumpun tersebut. Permintaan yang lebih besar dibandingkan yang lainnya akan memicu terpilihnya lokasi tersebut sebagai *coal terminal*. Hal ini dikarenakan penghematan biaya transportasi dari *coal terminal* menuju PLTU. Dari sisi lokasi *coal terminal* dengan PLTU, *coal terminal* Suralaya berada di tengah-tengah antara PLTU yang lainnya. Alokasi dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan 5.18.

Tabel 5.14 Biaya Investasi *Coal Terminal*

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total (ribu)
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	800000	Rp 560,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighthing	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 970,650,700
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 204,018,250
TOTAL					Rp 1,174,668,950

Tabel 5.15 Biaya Total

No	Komponen Biaya	Biaya
1	Biaya Distribusi (Juta)	Rp 19,568,760.85
2	Biaya Investasi (juta)	Rp 39
3	Biaya Operasional (juta)	Rp 117
Total (juta)		Rp 19,568,917

Kebutuhan batubara pada PLTU milik IP adalah 27.775.284 ton/tahun. Maka kapasitas *coal terminal* adalah 2.300.000 ton. Tabel 5.14 menampilkan biaya investasi *coal terminal*. Tabel 5.15 menampilkan biaya. Biaya distribusi eksisting adalah Rp 20.506.030.788.897. Penggunaan Aproksimasi 1 akan menghasilkan penghematan sebesar Rp 937.113.788.897. Proyeksi investasi dapat dilihat pada tabel 5.16. Adanya investasi dapat menyebabkan peningkatan biaya investasi setiap tahunnya.

Tabel 5.16 Proyeksi Investasi *Coal Terminal* IP Tahun 2018-2027

Tahun	Nilai Investasi
2018	Rp 1,170,000,000
2019	Rp 1,210,950,000
2020	Rp 1,253,333,250
2021	Rp 1,297,199,914
2022	Rp 1,342,601,911
2023	Rp 1,389,592,978
2024	Rp 1,438,228,732
2025	Rp 1,488,566,737
2026	Rp 1,540,666,573
2027	Rp 1,594,589,903

Pada Aproksimasi 2, *coal terminal* terpilih adalah *coal terminal* Suralaya. Namun dari alokasi yang didapatkan Suralaya akan mengirim batubara ke dirinya sendiri. Hal ini tidak sesuai dengan konsep *coal terminal*. Oleh karena itu, distribusi batubara pada PLTU milik IP dilakukan secara langsung dan proses pencampuran di masing-masing PLTU milik IP. Biaya distribusi minimum antara Aproksimasi 1 dan 2 adalah Aproksimasi 2 sebesar Rp 18.905.860.000.000. Adanya perbedaan Aproksimasi juga menimbulkan perbedaan utilisasi pemasok batubara. Pada Aproksimasi 1, terdapat 1 pemasok yang tidak digunakan yakni pemasok Indominco Mandiri dengan GCV 5800 kcal/kg yang terletak di Kalimantan Timur. Pada Aproksimasi 2, semua pemasok digunakan sebagai pasokan batubara namun adanya penurunan utilisasi batubara khususnya pada GCV tinggi. Aproksimasi 2 menggunakan GCV 5800 kcal/kg sebagai kualitas batubara tinggi dibandingkan dengan GCV 5000 kcal/kg. Meskipun harga GCV 5800 kcal/kg lebih mahal, namun 5800 kcal/kg lebih efektif dalam melakukan pembakaran.

Tabel 5.17 Alokasi Pemasok Batubara (ton)

IP		Alokasi Batubara Suralaya 8 (Ton)		
		4700	4500	4400
AI	4200	0	0	1,380,000
Adaro	4700	418,056	0	2,381,944
EEI	4300	785,000	0	0
KII	4200	652,000	0	0
OBP	4250	0	576,000	0
RAP	4250	0	0	791,000
Bukit Asam	4900	4,000,000	0	0
PLNBB L	4200	0	0	1,741,666
PLNBB L	4400	522,334	0	2,752,666
PLNBB L	4600	2,175,000	0	0
HE	4200	0	0	858,000
DP	4600	0	0	1,000,000
TME	4200	631,400	313,600	0
TME	4600	0	945,000	0
KPC	4600	1,487,113	1,435,800	0
BC	5000	928,705	0	0
IDM	5800	0	0	0
KDC	4900	2,000,000	0	0

Tabel 5.18 Alokasi Pemasok Aproksimasi 2 (ton)

IP		Labuan	Suralaya 1-7	Suralaya 8	Pelabuhan Ratu	Lontar	Adipala
		4400	4700	4400	4400	4500	4400
AI	4200	0	0	353,546	0	0	1,026,454
Adaro	4700	0	2,800,000	0	0	0	0
EEI	4300	0	0	785,000	0	0	0
KII	4200	652,000	0	0	0	0	0
OBP	4250	0	0	0	576,000	0	0
RAP	4250	0	0	0	791,000	0	0
Bukit Asam	4900	0	4,000,000	0	0	0	0
PLNBB L	4200	356,373	0	567,693	0	817,600	0
PLNBB L	4400	1	3,274,999	0	0	0	0
PLNBB L	4600	0	1,741,407	433,593	0	0	0
HE	4200	0	0	0	666,616	0	191,384
DP	4600	0	0	0	1,000,000	0	0
TME	4200	0	0	0	0	0	945,000
TME	4600	0	0	0	691,866	0	253,134
KPC	4600	1,008,373	0	0	0	2,452,800	5,732

IP		Labuan	Suralaya 1-7	Suralaya 8	Pelabuhan Ratu	Lontar	Adipala
		4400	4700	4400	4400	4500	4400
BC	5000	0	0	112,717	0	0	0
IDM	5800	0	0	0	0	0	271,996
KDC	4900	0	1,783,202	216,798	0	0	0

Tabel 5.13 menunjukkan bahwa perbedaan Aproksimasi dapat menyebabkan perbedaan proporsi pencampuran batubara. Pada Aproksimasi 1, pembuatan batubara GCV 4700 kcal/kg membutuhkan 7 jenis kalori batubara dari 10 pemasok yang berbeda. Kalori terkecil yang digunakan adalah 4200 kcal/kg sehingga membutuhkan kalori 5000 kcal/kg untuk melakukan campuran. Pada Aproksimasi 2, pembuatan batubara GCV 4700 kcal/kg membutuhkan 4 jenis kalori batubara dari 5 pemasok yang berbeda. Kalori terkecil yang digunakan adalah 4400 kcal/kg sehingga tidak terlalu membutuhkan kalori tinggi, cukup kalori 4900 kcal/kg sebagai bahan pencampur. Adanya perbedaan proporsi ini disebabkan karena Aproksimasi 1 memaksa semua alokasi harus melalui *coal terminal* sedangkan Aproksimasi 2 tidak memaksa hal tersebut jadi lebih fleksibel. Pada Aproksimasi 2, pembuatan kalori 4400 kcal/kg dapat dihasilkan dari bahan baku batubara yang berbeda. Pada PLTU labuan, batubara yang dibutuhkan adalah batubara dengan kualitas 4200 dan 4600 serta semua berlokasi di Kalimantan Selatan. Hal ini dikarenakan Kalimantan Selatan lebih dekat dengan Labuan dibandingkan yang lainnya. Pada PLTU Adipala, batubara yang dibutuhkan adalah batubara kualitas 4200, 4600, dan 5800 kcal/kg serta masing-masing pemasok terletak mayoritas di Sumatera. Hal ini dikarenakan Sumatera lebih dekat dibandingkan dengan Kalimantan.

5.2.2 Pengaruh Batas Volume Minimum Pembelian Batubara

Model yang digunakan pada analisis sensitivitas adalah aproksimasi 1 dengan pengaruh batas *volume* minimum pembelian batubara. Pada model sebelumnya, terdapat beberapa pemasok batubara yang tidak terpilih namun telah memiliki kontrak kepada pihak PLTU. Adanya tambahan konstrain ini akan memperbaiki hubungan antara pemasok batubara dengan PT.PLN. PT.PLN akan menjamin adanya pembelian batubara pada pemasok yang telah memiliki kontrak.

Penelitian ini menggunakan 4 nilai perbandingan yakni 10%, 30%, 50% dan 60%. Adanya batas *volume* minimum pembelian batubara yang berbeda akan menyebabkan perbedaan alokasi batubara yang mengakibatkan perbedaan lokasi dan biaya logistik batubara.

Pada batas *volume* 10% dan 30% terjadi perbedaan alokasi batubara yang akan berakibat pada perbedaan biaya logistik batubara namun tidak sampai mengubah lokasi *coal terminal*. Pada batas *volume* 50% dan 60% terjadi perbedaan alokasi yang akan berakibat pada penambahan biaya logistik batubara dan pergeseran lokasi *coal terminal*.

Perubahan biaya logistik memang wajar terjadi karena hasil optimal mengatakan bahwa terdapat beberapa pemasok yang tidak digunakan yakni pada TIE, TME, BC, dan KDC. TIE dan KME merupakan pemasok yang terletak di Pulau Sumatera dan TIE merupakan pemasok dengan kontrak besar. BC dan KDC merupakan pemasok yang terletak di Kalimantan Timur dan merupakan pemasok yang tidak terlalu besar kontraknya. Ketika pembelian minimum order 30% maka alokasi akan berubah, semula tidak digunakan kemudian dipaksa untuk digunakan 30% sehingga utilitas pemasok lainnya yang awalnya 100% akan berkurang. Hal ini menyebabkan kenaikan biaya distribusi batubara. Demikian pula dengan pembelian minimum 50%, akan menyebabkan kenaikan biaya logistik batubara yang cukup signifikan karena memaksa harus 50%.

Perubahan lokasi *coal terminal* juga dapat terjadi akibat adanya konstrain batas *volume* minimum pembelian batubara. Adanya minimum pembelian akan mengubah alokasi. Pembelian minimum 50% dan 60% dapat mengubah lokasi karena memaksa untuk membeli di Pulau Sumatra yakni pemasok TIE dalam jumlah besar sehingga untuk meminimasi biaya logistik, lokasi *coal terminal* bergeser sesuai dengan lokasi pasokan yang banyak yakni *coal terminal* Suralaya. Kapasitas dan biaya investasi yang digunakan tetap.

Uji sensitivitas ini dilakukan untuk dapat membuat kebijakan antara pemasok dengan PLTU. Penerapan pembelian minimum dengan *range* 10-30%, ternyata tidak mengubah lokasi *coal terminal* terpilih. Namun, terdapat konsekuensi yang didapatkan PT PLN yakni meningkatnya biaya distribusi. Oleh

karena itu, demi memperbaiki hubungan PT PLN dengan pemasok batubara maka nilai yang disarankan penulis adalah 10-30% pembelian minimum.

Tabel 5.19 Uji Sensitivitas Batas Volume Minimum Pembelian Batubara

Apoksimasi 1 Uji Sensitivitas Pembelian Minimum					
Nama Pemasok	Normal	10%	30%	50%	60%
	Tanjung Jati	Tanjung Jati	Tanjung Jati	Pelabuhan Ratu	Pelabuhan Ratu
	Rp50,848	Rp50,876	Rp50,987	Rp56,642	Rp56,752
AI	100%	100%	100%	100%	100%
Adaro	100%	100%	100%	50%	60%
DGL	100%	100%	100%	100%	100%
EEl	100%	100%	100%	100%	100%
KII	100%	100%	100%	100%	100%
OBP	100%	100%	100%	100%	100%
RAP	100%	100%	100%	100%	85%
TIE	0%	10%	30%	100%	84%
Bukit Asam	77%	73%	58%	72%	60%
PLNBB L	100%	100%	100%	100%	100%
PLNBB L	100%	100%	93%	100%	100%
PLNBB L	100%	100%	100%	100%	60%
PLNBB M	100%	100%	100%	100%	100%
PLNBB M	100%	100%	100%	50%	60%
HE	100%	100%	100%	100%	100%
DP	100%	100%	100%	100%	100%
TME	100%	100%	30%	83%	76%
TME	0%	10%	30%	100%	66%
KPC	19%	17%	30%	50%	60%
BC	0%	10%	30%	50%	60%
IDM	100%	100%	97%	89%	87%
KDC	0%	10%	30%	50%	60%
JMB	29%	25%	30%	50%	60%

5.2.3 Pengaruh Lokasi dan Volume Pemasok Batubara

Pada sub bab ini akan dilakukan uji coba dengan mengubah volume pemasok batubara terhadap mengubah lokasi *coal terminal*. Analisis ini dilakukan karena adanya keterbatasan kontrak yang ada. Penulis ingin melihat apabila terdapat perubahan nilai kontrak apakah dapat mengubah keputusan lokasi *coal terminal*. Pada sub bab ini menggunakan Aproksimasi 1 untuk 1 fasilitas *coal terminal*. Terdapat beberapa skenario yakni perubahan volume pada Pulau Sumatera, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Timur. Perbandingan biaya dan lokasi dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Perubahan pasokan batubara pada wilayah tertentu dapat mengubah lokasi *coal terminal* dan biaya distribusi batubara. Lokasi yang terpilih dengan volume pasokan sesuai dengan kontrak adalah *coal terminal* Tanjung Jati dengan biaya distribusi Rp 50.848.560.000. Jika pemasok bagian Sumatra diperbesar pasokannya sebanyak dua kali, maka *coal terminal* yang terpilih adalah *coal terminal* Tanjung Jati dengan biaya distribusi yang tetap. Hal ini terjadi karena pada saat keadaan normal, terdapat beberapa pemasok yang terletak di Pulau Sumatra tidak digunakan. Jika pasokan pada Pulau Sumatra diperbesar maka tidak akan berpengaruh pada distribusi batubara.

Jika pemasok pada bagian Kalimantan diperbesar, maka akan merubah lokasi dan juga memperkecil biaya distribusi batubara. Lokasi yang awalnya berada pada Tanjung Jati bergeser menjadi Paiton. Hal ini terjadi karena utilisasi pemasok batubara di Kalimantan pada keadaan normal adalah 100%, jika pasokan diperbesar maka akan terjadi kecenderungan memilih pasokan tersebut. Adanya perbedaan alokasi akan menimbulkan perubahan lokasi dan biaya distribusi.

Tabel 5.20 Perbandingan Biaya dan Lokasi

Analisis Sensitivitas	Normal	Volume Sumatera Diperbesar	Volume Kalimantan Diperbesar
Lokasi	Tanjung Jati	Tanjung Jati	Paiton
Biaya Distribusi (juta)	Rp 50,848,560	Rp 50,848,560	Rp 50,511,540

Perubahan lokasi dan *volume* pemasok dapat mengubah lokasi *coal terminal* apabila pemasok tersebut terutilisasi maksimal. Perubahan lokasi juga akan diikuti oleh penurunan biaya distribusi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.20

5.2.4 Pengaruh Perubahan Permintaan Batubara

Pada sub bab ini akan dilakukan uji coba dengan mengubah volume permintaan batubara terhadap lokasi *coal terminal*. Pada sub bab ini menggunakan Aproksimasi 1 untuk 1 fasilitas *coal terminal*. Penambahan permintaan batubara berdasarkan rencana pembangunan PLTU di Pulau Jawa hingga tahun 2025. Jenis batubara yang digunakan sesuai dengan kondisi eksisting PLTU tersebut dengan adanya penambahan dua kali pasokan batubara untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Tabel 5.21 menunjukkan daftar penambahan PLTU di beberapa daerah. Rencana pengadaan PLTU terletak di Banten, Jawa Barat dan Jawa Tengah.

Tabel 5.21 Rencana Pembangunan PLTU di Jawa

Nama PLTU	Wilayah PLTU	Kapasitas
PLTU Jawa 9&10	PLTU Suralaya	2x1000
PLTU Jawa 5	PLTU Suralaya	1000
PLTU Tanjung Jati	PLTU Tanjung Jati	2x1000
PLTU Indramayu	PLTU Indramayu	1000

Adanya perubahan permintaan akan mengubah lokasi *coal terminal* menjadi di Labuan. Semakin banyak permintaan di suatu wilayah, maka lokasi *coal terminal* akan mendekati permintaan tersebut. Adanya penambahan PLTU maka akan memperbesar permintaan di Jawa Barat dan Jawa Tengah sehingga *coal terminal* bergeser dari Tanjung Jati menuju Labuan.

5.2.5 Pengaruh Perubahan Harga Batubara

Pada sub bab ini akan dilakukan uji coba dengan mengubah harga batubara. Harga batubara merupakan salah satu komponen penting pada biaya distribusi batubara. Pada sub bab ini menggunakan Aproksimasi 1 dengan 1 *coal terminal*. Hasil uji coba perubahan harga batubara dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hasil Uji Coba Perubahan Harga Batubara

Harga Batubara	Biaya Distribusi	Lokasi <i>Coal Terminal</i>
50%	Rp 32,531,760,000,000	Tanjung Jati
70%	Rp 40,196,460,000,000	Tanjung Jati
80%	Rp 43,517,000,000,000	Tanjung Jati
90%	Rp 47,182,780,000,000	Tanjung Jati
100%	Rp 50,848,560,000,000	Tanjung Jati
110%	Rp 54,841,220,000,000	Paiton
120%	Rp 59,378,110,000,000	Paiton

Perubahan harga batubara dapat merubah alokasi batubara sehingga dapat mengubah lokasi *coal terminal*. Pada harga batubara 50%-90%, alokasi batubara sama dengan kondisi 100% namun adanya perbedaan biaya distribusi dikarenakan perbedaan harga batubara. Lokasi *coal terminal* terpilih pun sama dengan kondisi Aproksimasi 1 yakni terletak di *coal terminal* Tanjung Jati. Namun, jika harga batubara dinaikkan 10%-20% akan mengubah alokasi yang akan berdampak pada lokasi *coal terminal*. Jika harga batubara meningkat, maka alokasi akan memilih penggunaan batubara dengan kualitas tinggi dan menurunkan alokasi dengan kualitas sedang. Hal ini dibuktikan pada kondisi eksisting penggunaan kualitas batubara 5000 kcal/kg dan 5500 kcal/kg sebesar 0% dan 29%. Peningkatan harga membuat penggunaan kualitas tersebut meningkat menjadi 100% dan 88%. Lokasi pemasok tersebut berada di Kalimantan Timur. Adanya perubahan alokasi maka akan mengubah lokasi *coal terminal* yang awalnya Tanjung Jati bergeser ke timur mendekati Kalimantan Timur yakni *coal terminal* Paiton.

5.2.6 Pengaruh Lokasi *Coal Terminal* di Pulau Laut

Pada sub bab ini akan dilakukan uji coba dengan mengubah lokasi *coal terminal* di Pulau Laut. Pulau Laut merupakan sebuah pulau di Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan. Perubahan lokasi *coal terminal* di Pulau Laut diharapkan dapat mendekati pemasok yang mayoritas berada di Kalimantan sehingga biaya distribusi batubara menjadi rendah. Penambahan alternatif *coal terminal* pada Pulau Laut akan menambah alternatif lokasi *coal terminal* yang awalnya terdapat 19 menjadi 20. Pada *software* optimasi, terdapat konstrain tambahan yang berbunyi bahwa Y20 bernilai 1. Hal ini menandakan bahwa lokasi *coal terminal* berada di Pulau Laut. Kemudian,

dilakukan pencarian jarak seperti yang dilakukan pada bab sebelumnya. Peneliti menggunakan kedua Aproksimasi pada analisis sensitivitas.

Pada Aproksimasi 1, *coal terminal* terletak di Pulau Laut maka biaya distribusi akan semakin kecil dari *coal terminal* sebelumnya yang terletak di Tanjung Jati. Biaya distribusi jika *coal terminal* berada di Pulau Laut adalah Rp 46.612.930.000.000. Perbedaan biaya disebabkan adanya perbedaan alokasi batubara dari pemasok batubara. Adanya *coal terminal* Pulau Laut menyebabkan pemasok di Sumatera tidak digunakan sama sekali. Hal ini dikarenakan asumsi yang digunakan pada Aproksimasi 1 bahwa alokasi harus melalui *coal terminal* sehingga lokasi yang letaknya jauh dengan *coal terminal* tidak terpilih. Namun, adanya penempatan *coal terminal* di Pulau Laut akan menyebabkan penambahan biaya investasi daripada *coal terminal* di PLTU.

Jika menggunakan Aproksimasi 2, biaya distribusi di Pulau Laut menjadi Rp 44.576.510.000.000. Alokasi batubara dapat menggunakan 2 cara yakni melalui *direct* atau melalui *coal terminal*. Letak *coal terminal* ini mendekati pemasok batubara sehingga PLTU yang dekat dengan *coal terminal* akan dikirimkan langsung dari masing-masing *coal terminal*, sedangkan yang berjauhan dari *coal terminal* akan dikirimkan melalui *coal terminal*. PLTU yang dilayani oleh *coal terminal* adalah Indramayu, Tanjung Jati, Labuan, Suralaya, Pelabuhan Ratu, Lontar, Banten, dan Cilacap. PLTU yang menggunakan sistem pengiriman langsung adalah Rembang, Tanjung Awar, Pacitan, Paiton, dan Adipala. Pemasok yang memasok *coal terminal* adalah pemasok yang berada di Pulau Kalimantan. Pemasok dari Pulau Sumatera akan memilih untuk memasok secara *direct* untuk meminimasi biaya.

5.2.7 Perbandingan Pengaruh Lokasi Coal Terminal

Terdapat dua perbandingan lokasi *coal terminal* yakni lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok (Pulau Laut) dan lokasi *coal terminal* dekat dengan PLTU. Tabel 5.23 merupakan perbandingan biaya antara dua lokasi tersebut.

Tabel 5.23 Perbandingan Biaya Total

Total Biaya	PLTU	Pemasok	
Lokasi <i>Coal Terminal</i>	Tanjung Jati	Pulau Laut ap1	Pulau Laut ap2
Biaya Distribusi (Juta)	Rp 50,848,560	Rp 46,612,930	Rp 44,576,510
Biaya Investasi (juta)	Rp 51,951	Rp 77,926	Rp 77,926
Biaya Operasional (juta)	Rp 155,852	Rp 233,778	Rp 233,778
Total	Rp 51,056,362	Rp 46,924,634	Rp 44,888,214

Perbandingan biaya total menunjukkan bahwa biaya total lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok akan lebih murah dibandingkan dengan lokasi *coal terminal* dekat dengan PLTU. Hal ini dikarenakan jarak antar pemasok tidak terlalu jauh dan jarak antar PLTU relatif lebih jauh dibandingkan dengan jarak antar pemasok. Pada permasalahan ini, maka lokasi *coal terminal* terletak di Pulau Laut, Kalimantan Selatan dengan menerapkan Aproksimasi 2.

5.2.8 Pengaruh Jumlah Coal Terminal

Model yang digunakan pada analisis sensitivitas adalah Aproksimasi 1 dengan pengaruh jumlah *coal terminal*. Pada analisis ini dilakukan pemilihan untuk dua *coal terminal* sekaligus. Hal ini dilakukan dengan pengubahan nilai parameter $N=2$. N merupakan jumlah fasilitas yang ingin dibangun. Dari 19 kandidat *coal terminal* akan dipilih 2 kandidat yang akan menjadi *coal terminal*. Peneliti menggunakan Aproksimasi 1 sebagai uji coba dalam pengaruh jumlah *coal terminal*.

- Dua Lokasi Dekat dengan PLTU

Pada analisis sensitivitas ini menggunakan asumsi bahwa dua lokasi *coal terminal* terletak dekat dengan PLTU yakni di Pulau Jawa. Hasil Aproksimasi ini menunjukkan bahwa lokasi *coal terminal* terpilih adalah PLTU Rembang dan PLTU Lontar dengan biaya distribusi sebesar Rp 49.661.830.000.000. Biaya distribusi ini lebih rendah dibandingkan dengan jumlah *coal terminal* adalah 1. Namun, jika terdapat 2 *coal terminal* maka terdapat 2 investasi yakni pada lokasi yang berbeda. PLTU Rembang akan melayani 10 PLTU bagian timur yakni Indramayu, Rembang, Tanjung Awar, Pacitan, Paiton, Paiton 9, Tanjung Jati, Labuan, Suralaya, PEC3, PEC dan Jawa Power dengan total permintaan batubara dalam setahun 32.400.000 ton. PLTU Lontar akan melayani 9 PLTU bagian barat yakni Suralaya 1-7, Suralaya 8,

Pelabuhan Ratu, Lontar, Adipala, Banten, Cilacap dan Cilacap Exp dengan permintaan batubara dalam setahun sebesar 36.000.000 ton. *Coal terminal* Lontar hanya akan memproduksi batubara dengan kualitas 5200,4700,4500,4400, dan 4200 kcal/kg sedangkan *coal terminal* Rembang memproduksi lebih banyak kualitas batubara yakni 5500,5200,5000,4700,4400, 4300, dan 4200 kcal/kg.

Mayoritas pemasok *coal terminal* Rembang adalah pemasok yang berada di Pulau Kalimantan, hanya ada satu pemasok yang berasal dari Pulau Sumatra yakni Bukit Asam karena pasokan GCV 4900 di Pulau Kalimantan telah habis digunakan. Pemasok *coal terminal* Lontar mayoritas berasal dari Pulau Sumatra, karena tidak memenuhi kebutuhan *blending* batubara maka diperlukan pasokan dari Kalimantan.

Kapasitas 2 *coal terminal* tersebut akan berbeda. Berikut merupakan perhitungan kapasitas *coal terminal*.

Tabel 5.24 Perhitungan Kapasitas *Coal Terminal* Lontar dan Rembang

Deskripsi	Satuan	Kapasitas	
		Rembang	Lontar
Ton batubara	ton	2,700,000	3,000,000
Desain Tinggi	m	14	14
Coal Specific Gravity	ton/m ³	0.8	0.8
Coal Yard Volume	m ³	3,375,000	3,750,000
Coal Yard Area	ha	31	34

Tabel 5.25 Perhitungan Biaya Investasi Rembang

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	610000	Rp 427,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighthing	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 837,650,700
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 204,018,250
TOTAL					Rp 1,041,668,950

Tabel 5.26 Perhitungan Biaya Investasi Lontar

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total (ribu)
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	800000	Rp 560,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total (ribu)
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighting	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 970,650,700
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 204,018,250
TOTAL					Rp 1,174,668,950

Tabel 5.27 Total Biaya *Coal Terminal* Rembang dan Lontar

No	Komponen Biaya	Biaya (Juta)
1	Biaya Distribusi	Rp 49,661,830
2	Biaya Investasi	Rp 74
3	Biaya Operasional	Rp 222
Total		Rp 49,662,126

Total Biaya per tahun untuk 2 fasilitas adalah Rp 49.661.868.249.930. Penghematan yang dapat dilakukan sebesar Rp 2.599.784.000.000 per tahun. Proyeksi investasi dapat dilihat pada Tabel 5.28. Adanya investasi dapat menyebabkan peningkatan biaya investasi setiap tahunnya.

Tabel 5.28 Proyeksi Biaya Investasi Tahun 2018-2027

Tahun	Nilai Investasi
2018	Rp 2,220,000,000
2019	Rp 2,297,700,000
2020	Rp 2,378,119,500
2021	Rp 2,461,353,683
2022	Rp 2,547,501,061
2023	Rp 2,636,663,599
2024	Rp 2,728,946,824
2025	Rp 2,824,459,963
2026	Rp 2,923,316,062
2027	Rp 3,025,632,124

- Dua Lokasi Dekat Pemasok dan PLTU

Analisis sensitivitas ini menunjukkan bahwa terdapat dua lokasi *coal terminal*, satu lokasi dekat dengan PLTU dan satu lokasi dekat dengan pemasok. Aproksimasi yang digunakan pada analisis ini adalah Aproksimasi 1. Lokasi *coal terminal* dekat dengan pemasok adalah Pulau Laut. Lokasi *coal terminal* di Pulau Laut adalah wajib sedangkan lokasi *coal terminal* dekat PLTU bebas. Hasil Aproksimasi ini menunjukkan bahwa lokasi *coal terminal* terpilih adalah Pulau Laut dengan Paiton. Biaya distribusi yang digunakan dengan menerapkan analisis sensitivitas ini adalah Rp 45.676.710.000. Jika dilihat dari analisis sebelumnya, maka penghematan biaya distribusi sebesar Rp 3.985.120.000.000 dalam setahun.

Pulau Laut akan mengirimkan batubara menuju PLTU yang jauh dari pemasok yakni Indramayu, Rembang, Tanjung Awar, Pacitan, Tanjung Jati, Labuan, Suralaya, Pelabuhan Lontar, Adipala, Banten, dan Cilacap. *Coal terminal* Pulau Laut melayani dengan total batubara 48.000.000 ton dalam setahun. *Coal terminal* Pulau Laut akan dipasok melalui pemasok yang berada di Pulau Kalimantan.

Coal terminal Paiton akan mengirimkan batubara menuju 7 PLTU sekitar PLTU Paiton yakni kompleks PLTU Paiton dan Cilacap. *Coal terminal* Paiton akan memproduksi 5 jenis kalori batubara yakni 5200, 5000, 4700, 4500 dan 4200 kcal/kg.

Coal terminal Paiton mampu menerima 19.000.000 ton dalam setahun. Pemasok yang melayani *coal terminal* Paiton adalah pemasok dari Pulau Kalimantan. Pemasok yang berasal dari Pulau Sumatera tidak akan digunakan karena jaraknya yang relatif jauh jika dibandingkan dengan *coal terminal*.

Tabel 5.29 Perhitungan Kapasitas *Coal Terminal* Pulau Laut dan Paiton

Deskripsi	Satuan	Kapasitas	
		Pulau Laut	Paiton
Ton batubara	ton	4,000,000	1,500,000
Desain Tinggi	m	14	14
Coal Specific Gravity	ton/m ³	0.8	0.8
Coal Yard Volume	m ³	5,000,000	1,875,000
Coal Yard Area	ha	50	22

Tabel 5.30 Perhitungan Biaya Investasi Paiton

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	440000	Rp 308,000,000
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighting	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 718,650,700
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 204,018,250
TOTAL					Rp 922,668,950

Tabel 5.31 Perhitungan Biaya Investasi Pulau Laut

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total
1. Pekerjaan Sipil					
1.1	Pra Konstruksi	paket	Rp 2,801,000	1	Rp 2,801,000
1.2	Pembebasan Lahan	m2	Rp 700	800000	Rp 560,000,000

Deskripsi		Unit	Harga (ribu)	Jumlah	Total
1.3	Konstruksi Jetty Kecil				
	Struktur	m2	Rp 50,000	8000	Rp 400,000,000
	Lighthing	paket	Rp 1,000,000	2	Rp 2,000,000
1.4	Drainase	paket	Rp 1,849,700	1	Rp 1,849,700
1.5	Akses Jalan	paket	Rp 4,000,000	1	Rp 4,000,000
Biaya Pekerjaan Sipil					Rp 1,455,976,050
2. Struktur Terminal					
2.1	Coal conveyor	unit	Rp 6,700,000	2	Rp 13,400,000
2.2	Ship Unloader	unit	Rp 40,000,000	3	Rp 120,000,000
2.3	Utility Facilities	paket	Rp 68,968,250	1	Rp 68,968,250
2.4	Weighing Device	paket	Rp 1,650,000	1	Rp 1,650,000
Biaya Struktur Terminal					Rp 306,027,375
TOTAL					Rp 1,762,003,425

Tabel 5.32 Total Biaya *Coal Terminal* Pulau Laut dan Paiton

No	Komponen Biaya	Biaya (Juta)
1	Biaya distribusi	Rp 45,676,710
2	Biaya investasi	Rp 89
3	Biaya operasional	Rp 268
Total biaya		Rp 45,677,068

Biaya investasi yang dihitung penulis merupakan biaya investasi pada tahun 2018. Namun, proyek ini belum dijalankan sehingga perlu dilakukan proyeksi biaya investasi untuk kedepannya. Jangka waktu yang digunakan adalah 10 tahun sesuai dengan jangka rencana pembuatan proyek. Inflasi yang digunakan untuk proyeksi sebesar 3.5% sesuai dengan data inflasi yang digunakan oleh Bank Indonesia. Proyeksi investasi dapat dilihat pada Tabel 5.33. Adanya investasi dapat menyebabkan peningkatan biaya investasi setiap tahunnya.

Tabel 5.33 Proyeksi Investasi *Coal Terminal* Tahun 2018-2027

Tahun	Nilai Investasi
2018	Rp 2,670,000,000
2019	Rp 2,763,450,000
2020	Rp 2,860,170,750
2021	Rp 2,960,276,726
2022	Rp 3,063,886,412
2023	Rp 3,171,122,436
2024	Rp 3,282,111,721
2025	Rp 3,396,985,632
2026	Rp 3,515,880,129
2027	Rp 3,638,935,933

- Tiga Lokasi

Analisis sensitivitas ini menunjukkan bahwa terdapat tiga lokasi *coal terminal*, satu lokasi dekat dengan PLTU dan dua lokasi dekat dengan pemasok yakni Sumatra dan Kalimantan. Aproksimasi yang digunakan pada analisis ini adalah Aproksimasi 1. Lokasi *coal terminal* yang berada di Pulau Sumatra adalah Tarahan. Tarahan dipilih karena memiliki kedalaman laut yang dapat cukup. Selain itu, lokasi tarahan dinilai berada di tengah antara Bengkulu dan Palembang sehingga menghindari *back track*. Lokasi *coal terminal* yang berada pada dekat PLTU adalah *coal terminal* Tanjung Awar dengan biaya distribusi Rp 45.640.000.000. *Coal terminal* Pulau Laut melayani Indramayu, Pacitan, Paiton, Tanjung Jati, Labuan, Suralaya, Pelabuhan Ratu, Lontar, Banten, dan Cilacap. *Coal terminal* Tarahan melayani *coal terminal* Pacitan, Pelabuhan Ratu, Adipala dan Cilacap. *Coal terminal* Tanjung Awar melayani Rembang, Tanjung Awar, dan Paiton.

Pemasok yang memasok *coal terminal* Tanjung Awar berasal dari mayoritas Pulau Kalimantan dan 2 pemasok Pulau Sumatra. *Coal terminal* Pulau Laut dipasok

oleh pemasok yang berasal dari Pulau Kalimantan. *Coal terminal* Tarahan dipasok oleh pemasok yang berasal dari Pulau Sumatra. Total biaya dari 3 *coal terminal* dapat dilihat pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34 Total Biaya 3 *Coal Terminal*

No	Komponen Biaya	Biaya (Juta)
1	Biaya Distribusi	Rp 45,640,000
2	Biaya Investasi	Rp 122
3	Biaya Operasional	Rp 367
Total		Rp 45,640,649

BAB 6

KESIMPULAN

Pada bab ini akan dibahas terkait kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang disesuaikan dengan tujuan dari pengerjaan penelitian. Selain itu terdapat saran berdasarkan hasil penelitian untuk penelitian sejenis yang dilakukan

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, berikut ini merupakan kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini.

1. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menentukan lokasi, alokasi pengiriman batubara, dan blending batubara untuk kebutuhan PLTU di Jawa.
2. Model yang dirancang dapat digunakan untuk menentukan pemilihan lokasi dengan mempertimbangkan kondisi sebagai berikut:
 - a. *Single-coal terminal* atau *multiple-coal terminal* dengan memasukkan jumlah fasilitas sebagai parameter.
 - b. Semua pengiriman batubara ditetapkan harus melalui CT sebagai *intermediate node* atau pengiriman batubara dapat memilih melalui CT atau langsung ke PLTU dengan mempertimbangkan biaya yang minimal.
 - c. Alternatif lokasi *coal terminal* yang dipertimbangkan harus diketahui sebelumnya dan diasumsikan layak.
3. Hasil uji coba perhitungan dengan menggunakan data artifisial diperoleh hasil sebagai berikut:
 - a. Lokasi *coal terminal* yang terpilih dengan mempertimbangkan kedekatan dengan tujuan adalah PLTU Tanjung Jati.
 - b. Lokasi *coal terminal* yang terpilih dengan mempertimbangkan kedekatan dengan sumber adalah *coal terminal* Pulau Laut.

- c. Lokasi *coal terminal* berdasarkan pemilik PLTU dibagi menjadi dua yakni IP dan PJB. Lokasi *coal terminal* milik IP terletak di PLTU Suralaya. Lokasi *coal terminal* milik PJB terletak di PLTU Paiton.
4. Penelitian ini menunjukkan bahwa lokasi *coal terminal* yang lebih baik adalah *coal terminal* dekat dengan pemasok dibandingkan dekat dengan PLTU sehingga lokasi *coal terminal* terpilih adalah Pulau Laut.
5. Lokasi *coal terminal* dapat berubah karena dipengaruhi oleh pembelian minimum, perubahan lokasi dan kontrak pemasok batubara, perubahan permintaan batubara dan jarak pemasok dengan PLTU.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian dapat dikembangkan melalui studi simulasi untuk mendapatkan kebutuhan *jetty* yang akan berkaitan dengan pemilihan lokasi dan kebutuhan investasi.
2. Keputusan *coal terminal* harus mempertimbangkan kondisi dinamis yang akan datang seperti lokasi dan kapasitas lokasi pembangkit baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Ballou, R. H., 2004. *Business Logistics/Supply Chain Management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Carpenter, A., 1995. *Coal Blending for Power Station*. London: IEA Coal.
- Daellenbach, H. G., 2005. *Managemenr Science: Decision Making Through System Thinking*. New York: Palgrave.
- ESDM, M., 2018. *Harga Mineral Logam Acuan dan Harga Batubara Acuan untuk Bulan Januari Tahun 2018*, Jakarta: Menteri ESDM.
- Heragu, S. S., 2016. *Facilities Design*. New York: CRC Press.
- Institute, W. C., 2014. *Sumber Daya Batubara*. Jakarta: World Coal Institute.
- Korporat, K., 2018. *Terangi Kehidupan Hingga Ke Daerah 3T*, Jakarta: PLN.
- NARUUCHI, S., 2017. *Promotion of coal utilization harmonized with environment and its technical development to overseas countries*. s.l.:Idemitsu Kosan Co.,Ltd.
- OCDI, 2012. *Case Study on Coal Terminal in Pelabuhan*, s.l.: OC DI.
- Ramadhani, A., 2013. *Pemilihan Alternatif Lokasi Investasi Onshore/Offshore Transshipment dengan Menggunakan Metode Spasial Model Alokasi (Studi Kasus : PT.X)*. Surabaya: s.n.
- S.Daskin, M., 1995. *Network and Discrete Location*. Canada: John Wiley & Sons,Inc.
- Shuo, L. e. a., 2012. *Research On Coal Transportation Network Optimization, Future Communication, Computing, Control and Management*. s.l.:s.n.
- Sloss, L., 2014. *Blending of Coals to Meet Power Station Requirement*. London: IEA Clean Coal Centre.
- Suprateka, I. M., 2018. *Laporan Keuangan PT PLN (Persero) Tahun 2017*, Jakarta: PLN.

YANG Zhiyi, H. Z. L. X., 2016. *Research on Location Selection for Emergency Center of the Coal Enterprises based on Gravity Method*. China, s.n.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Nisrina Nabella Putri merupakan anak pertama dari dua bersaudar. Lahir di Sidoarjo, 23 Mei 1996. Penulis memulai pendidikan di TK Al-Irsyad Al-Islamiah, SD Al-Irsyad Al-Islamiah, SMP Bhakti Pertiwi, dan SMA 3 Malang. Penelitian Tugas Akhir ini dibuat agar penulis mendapatkan gelar Strata-1 di Departemen Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selain mengikuti kegiatan akademis, penulis juga terlibat dalam kegiatan kepanitiaan dalam jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Industri, dan Asisten Laboratorium Quantitative Modelling and Industrial Policy Analysis. Selain itu, penghargaan yang pernah diterima oleh penulis adalah Juara 3 Lomba INCREASE yang diadakan oleh Telkom University. Tugas akhir ini masih belum sempurna sehingga untuk saran dan kritik dapat menghubungi penulis mengenai tugas akhir ini pada email nisrinap@gmail.com.

