

# Desain Rantai Pasok Gas Alam Cair (LNG) Untuk Kebutuhan Pembangkit Listrik Di Indonesia Bagian Timur

Made Arya Satya Dharma Putra, Ketut Buda Artana, Dhimas Widhi Handani  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail:* ketutbuda@its.ac.id

**Abstrak** — Indonesia merupakan negara yang memiliki gas alam yang melimpah, namun kurangnya kesadaran masyarakat Indonesia untuk memanfaatkan gas tersebut untuk kebutuhan listrik di Indonesia yang sekarang sedang dalam krisis terutama di Indonesia Timur. Salah satu penyebab krisis tenaga listrik yang terjadi di Indonesia adalah tingginya nilai harga bahan bakar minyak, di mana High Speed Diesel Oil merupakan bahan bakar utama bagi pembangkit listrik di Indonesia. Gas alam cair atau Liquefied Natural Gas (LNG) dapat menjadi solusi alternatif bahan bakar bagi pembangkit listrik di Indonesia.

Studi kali ini bertujuan untuk pemanfaatan gas alam cair (LNG) untuk kebutuhan pembangkit listrik di Indonesia Timur dengan menentukan pola distribusi LNG dengan menggunakan Blok Masela sebagai sumber LNG dan menggunakan kapal untuk mendistribusikannya. Terdapat 39 pembangkit yang tersebar di 4 pulau yaitu Maluku, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, dan Papua. Kapal yang digunakan untuk mendistribusikan terdapat 5 kapal dengan ukuran 2500 m<sup>3</sup>, 7500 m<sup>3</sup>, 10000 m<sup>3</sup>, 19500 m<sup>3</sup>, 23000 m<sup>3</sup>. Untuk mendapatkan rute distribusi, studi ini menggunakan metode Linear Programming dan dalam Vehicle Routing Problem. Hasil optimasi pada distribusi ini adalah rute dan kapal yang optimal / terbaik dengan biaya ekonomi yang minimal.

Dari hasil penelitian ini pembangkit akan dibagi menjadi 5 cluster di mana terdapat 5 rute yang terpilih dengan menggunakan 6 kapal yaitu 5 kapal ukuran 2500 m<sup>3</sup> dan 1 kapal dengan ukuran 7500m<sup>3</sup>. Biaya total yang diperlukan dalam mendistribusikan LNG sebesar US\$ 111,863,119.15 untuk Opex dan US\$ 283,967,000.00 untuk Capex. Hasil dari kajian ekonomi menunjukkan bahwa margin penjualan yang terpilih adalah antara US\$ 3.5 sampai US\$ 3.9 dengan payback period selama 6.8 – 4.7 tahun tahun dari waktu operasi 20 tahun.

**Kata Kunci**—Distribusi LNG, Linear Programming, Vehicle Routing Problem, Kajian Ekonomi

## I. PENDAHULUAN

Saat ini bahan bakar minyak (BBM) merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan di Indonesia. Namun ketersediaan BBM yang semakin berkurang mengakibatkan harga BBM semakin mahal. Oleh karena itu perlunya alternatif lain untuk mengurangi ketergantungan akan BBM tersebut yang lebih efisien dan ekonomis. Salah satunya dengan memanfaatkan gas alam yang melimpah di Indonesia. Penggunaan LNG (Liquidified Natural Gas) merupakan pilihan yang tepat sebagai bahan bakar di sektor

pembangkit listrik tenaga gas, industri – industri, dan pemukiman.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Production in billion m <sup>3</sup>	75.1	74.3	71.5	73.7	76.9	85.7	81.5	77.1	72.1	73.4
Consumption in billion m <sup>3</sup>	35.9	36.6	34.1	39.1	41.5	43.4	42.1	42.2	36.5	38.4

Gambar 1.1 Data Produksi dan Konsumsi Gas Indonesia (Sumber: BP Statical Review of World Energy 2015)

Indonesia memproduksi gas alam dua lipat dibandingkan dengan dikonsumsi. Ini sama saja tidak berarti jika kebutuhan domestik di Indonesia tidak tercukupi. Perusahaan Gas Negara (PGN) bekerja sama dengan Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk memaksimalkan gas alam yang ada di Indonesia agar dapat dikonsumsi untuk pembangkit listrik, dan sektor – sektor lainnya. Agar tidak beralih ke pilihan dimana memakai bahan bakar yang lebih mahal dan tidak ramah lingkungan.

Dalam kurun waktu 2012–2035, total konsumsi gas bumi diperkirakan akan tumbuh rata-rata sebesar 2,2% per tahun atau naik mencapai hingga 1,6 kali pada tahun 2035. Penggunaan gas bumi meningkat dari 1.445 BCF pada tahun 2012 menjadi 2.367 BCF pada tahun 2035. Pertumbuhan penggunaan gas bumi yang terbesar adalah sektor rumah tangga dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 17,6% per tahun diikuti oleh sektor transportasi (13,4%), komersial (3,9%), pembangkit listrik (2,8%) dan industri (2,9%). [1]

Semakin meningkatnya kebutuhan gas alam, diperlukannya pemanfaatan gas sebagai sumber energi ke semua sektor. Kebijakan pemerintah mengenai pemanfaatan sumber daya energy yang ada sangat penting guna pemenuhan kebutuhan sumber energi pada dalam negeri. Sebagai salah satu bentuk pemanfaatan gas sebagai sumber energi bagi pembangkit listrik PLN adalah pemanfaatan berupa LNG (Liquified Natural Gas) sebagai bahan bakar untuk menggantikan penggunaan HSD yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik PLN. Pemanfaatan gas alam dalam bentuk LNG merupakan alternatif pemecahan masalah untuk mengatasi krisis tenaga listrik. Pemanfaatan tersebut tentunya harus ditunjang dengan fasilitas pendukung, dimana fasilitas pendukung yang dimaksud adalah tersedianya kapal pengangkut serta fasilitas penunjang baik dalam memproduksi, memproses, dan mendistribusikan.[2]

II. DASAR TEORI

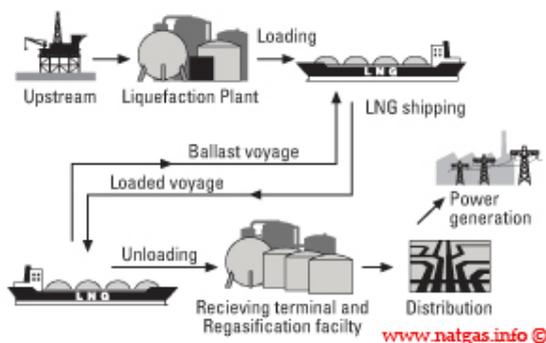
A. Liquefied Natural Gas (LNG)

LNG atau bisa disebut Liquid Natural Gas (Metana-CH4) merupakan Gas Alam yang dikonversikan menjadi cairan dimana gas tersebut didinginkan hingga mencapai suhu minus 162 derajat Celcius pada tekanan atmosfer dan merubah volumenya menjadi 1/600 dari kondisi awal gas tersebut. Jadi LNG sangat memungkinkan diangkut dengan jumlah yang besar dan lebih hemat dengan menggunakan kapal – kapal pengangkut LNG / LNG Tanker. [3]

LNG supply chain atau rantai pasok LNG memiliki 4 segmen yang saling ergantungan satu sama lain, antara lain produksi, liquefaction / pencairan, transportasi LNG, dan penyimpanan dan regasifikasi. Ada empat kawasan produksi gas alam di Indonesia dimana produksi gas dikumpulkan dan disalurkan menuju kilang pencair gas alam untuk diubah menjadi LNG. Kawasan tersebut adalah Kilang Badak (Bontang, Kalimantan Timur), Kilang Arun (Nangroe Aceh Darussalam), Kilang Tangguh (Papua) dan Kilang Donggi-Senoro (Sulawesi).

Kapal merupakan salah satu media transportasi laut yang dapat mengangkut LNG maupun gas. Kapal digunakan dikarenakan pembangunan saluran pipa tidak dapat dilakukan pada wilayah yang akan dilalui oleh pipa, dan juga dari sisi ekonomi atau terlalu dalamnya wilayah perairan yang akan dilewati oleh saluran pipa.

Selain itu terminal penerimaan LNG merupakan salah satu dari rangkaian rantai suplai LNG. Proses kerja pada terminal penerima LNG yaitu menerima gas alam cair dari kapal khusus LNGcarrier, menyimpan cairandalam tangki penyimpanan khusus, dilakukan proses vaporizer LNG, dan kemudian menyalurkan gas alam ke dalam pipa distribusi. Lokasi terminal penerimaan harus memenuhi berbagai kriteria termasuk di dalamnya dari segi keselamatan, keamanan, adanya akses terhadap laut, kedekatan dengan jaringan distribusi gas, serta luas area yang memadai untuk menjamin jarak yang aman dari aktifitas manusia di sekitarnya. Terminal penerimaan juga harus memenuhi persyaratan lingkungan. [4]



Gambar 2.1 Rantai Supply LNG (Sumber: <http://www.natgas.info/>)

B. Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik di Indonesia telah diatur sepenuhnya oleh pihak PLN (Perusahaan Listrik Negara), dimana terdapat beberapa jenis pembangkit yang tersedia di Indonesia diantaranya adalah PLTG, PLTD, PLTA, PLTU, dan PLTGU. Pada tugas akhir ini penggunaan LNG digunakan sebagai sumber energi bagi pembangkit listrik di Indonesia bagian timur, dimana kebutuhan daya dari tiap –

tiap pembangkit yang ada pada masing – masing wilayah akan dikonversikan kedalam bentuk ton LNG. Tujuan dari konversi tersebut adalah untuk mengetahui berapa nilai kebutuhan LNG yang harus disuplai dari kilang LNG atau LNG Plant yang sudah ditentukan menuju tiap – tiap pembangkit di wilayah Indonesia bagian Timur.

Tabel 2.1 Kapasitas Pembangkit Wilayah Indonesia Timur (MW) Tahun 2014 (Sumber: RUPTL PLN 2015 – 2024)

UNIT	PLN										IPP						Jumlah PLN+IPP
	PLTGU	PLTU	PLTD	PLTG	PLTP	PLTA	EBT Lain	Jumlah	PLTGU	PLTU	PLTD	PLTG	PLTP	PLTA	EBT Lain	Jumlah	
Kalbar	-	-	178	34	-	2	-	214	-	-	-	-	-	-	-	0	214
Kalbareng	-	260	216	21	-	30	-	527	-	14	-	-	-	-	-	14	541
Kaltim	60	-	224	154	-	-	-	438	-	95	-	-	-	-	-	95	533
Sulawesi	-	50	261	-	-	80	66	457	-	50	-	-	-	-	22	72	529
Sulawesibar	-	124	172	123	-	-	158	2	579	315	200	60	-	-	214	789	1368
Maluku	-	-	175	-	-	-	-	176	-	-	-	-	-	-	-	0	176
Papua	-	-	142	-	-	-	-	148	-	-	-	-	-	-	-	0	148
NTB	-	25	144	-	-	2	1	172	-	-	-	-	-	6	-	6	178
NTT	-	-	136	-	-	6	5	149	-	-	-	-	-	4	-	4	153
JUMLAH	60	450	1650	332	80	269	7	2863	315	350	60	6	4	241	0	980	3843

Kapasitas pembangkit milik PLN dan IPP yang tersebar di Indonesia Timur sampai dengan tahun 2014 adalah sekitar 3.842 MW dengan perincian ditunjukkan pada Tabel 2.1. Kapasitas pembangkit tersebut sudah termasuk IPP dengan kapasitas 980MW. Beban puncak sistem kelistrikan Indonesia Timur pada tahun 2014 diperkirakan akan mencapai 4.073 MW. Jika beban puncak dibandingkan dengan daya mampu pembangkit dan apabila menerapkan kriteria cadangan 40%, maka diperkirakan terjadi kekurangan sekitar 1.600 MW. [5]

C. Linear Programming (LP)

Masalah keputusan yang biasa dihadapi para analis adalah alokasi optimum sumber daya yang langka. Sumber daya dapat berupa modal, tenaga kerja, bahan mentah, kapasitas mesin, waktu, ruangan atau teknologi. Penugasan analisa disini adalah mencapai hasil terbaik yang mungkin dengan keterbatasan sumber daya ini. Hasil yang diinginkan mungkin ditunjukkan sebagai maksimasi dari beberapa ukuran seperti profit, penjualan dan kesejahteraan, atau minimasi seperti biaya, waktu dan jarak. Setelah masalah diidentifikasi, tujuan diterapkan, langkah selanjutnya adalah formulasi model matematik yang meliputi tiga tahap:

1. Menentukan variabel yang tak diketahui (variabel keputusan) dan menyatakan dalam simbol matematik.
2. Membentuk fungsi tujuan yang ditunjukkan sebagai suatu hubungan linier (bukan perkalian) dari variabel keputusan.
3. Menentukan semua kendala masalah tersebut dan mengekspresikan dalam persamaan dan pertidaksamaan yang juga merupakan hubungan linier dari variabel keputusan yang mencerminkan keterbatasan sumberdaya masalah itu.

D. Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem merupakan permasalahan distribusi yang mencari serangkaian rute untuk sejumlah kendaraan dengan kapasitas tertentu dari satu atau lebih depot untuk melayani konsumen. [6] Tujuan yang ingin dicapai dalam VRP di antaranya:

- a. Meminimalkan ongkos perjalanan secara keseluruhan yang dipengaruhi oleh
- b. Keseluruhan jarak yang ditempuh dan jumlah kendaraan yang digunakan.
- c. Meminimalkan jumlah kendaraan yang digunakan untuk melayani semua
- d. konsumen.

- e. Menyeimbangkan rute.
- f. Meminimalkan keluhan pelanggan.

Nusa Tenggara Timur	171,6
<b>TOTAL KESELURUHAN</b>	<b>807.50</b>

*E. Kajian Ekonomi*

Kajian ekonomis yang direncanakan pada penelitian kali ini adalah kelayakan investasi yang dilakukan benar dapat memberikan hasil yang menguntungkan atau tidak. Beberapa teknik yang dipakai pada kajian ekonomi kali ini untuk membandingkan alternatif investasi adalah Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR) dan untuk mengetahui periode pengembalian suatu investasi menggunakan Payback Periods (PP).

III. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, distribusi LNG yang dilakukan berawal dari sumber LNG yaitu di Blok Masela menuju onshore storage di Saumlaki dan didistribusikan menuju pembangkit – pembangkit yang terdapat di Indonesia Timur. Distribusi ini memiliki 2 tahapan penting yang akan dicari.

Tahapan pertama yang akan dilakukan pemilihan kapal dan rute yang terbaik yang akan dibantu dengan menggunakan metode *Linear Programming, Vehicle Routing Problem*, dan aplikasi Lingo, dimana akan menghasilkan rute dan kapal yang terpilih yang sesuai dengan kebutuhan dari pembangkit – pembangkit yang berada di Indonesia Timur.

Lalu dilanjutkan dengan tahapan kedua yaitu mengkaji keekonomian dari distribusi tersebut. Apakah meguntungkan atau tidak dari segi ekonomi, dan mengetahui berapa harga jual LNG tersebut sehingga dapat balik modal dengan cepat.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Kebutuhan Listrik di Indonesia Timur

Data kebutuhan daya listrik di Indonesia berdasarkan masing – masing wilayah operasional atau usaha dari PLN diperoleh dari RUPTL 2015 – 2024. Data kebutuhan daya listrik yang diambil adalah data kebutuhan daya listrik pada September 2014. Dimana pada kasus ini hanya memakai 4 wilayah di Indonesia Timur yaitu NTB, NTT, Maluku, dan Papua. Pada pengumpulan data kebutuhan listrik di Indonesia, total daya listrik yang diperoleh adalah total daya listrik yang dihasilkan dari tiap – tiap pemangkit listrik berbahan bakar minyak (HSD – MFO) dan gas alam.

Dikarenakan 1 pembangkit akan dilayani oleh satu terminal, maka diusahakan terminal penerima dibangun sedekat mungkin dengan pembangkit dan agar mempermudah proses unloading kapal dengan penerima, pembangkit yang akan dipakai yang terdekat dengan laut. Dan jika ada pembangkit yang berdekatan akan dibuat satu terminal saja. Berikut total kebutuhan listrik untuk pembangkit yang ada di Indonesia Timur :

Tabel 4.1  
Data Kebutuhan Listrik di Indonesia Timur

PROVINSI	Daya (MW)
Maluku Utara dan Maluku Selatan	144,5
Papua dan Papua Barat	218,0
Nusa Tenggara Barat	273,4

Setelah mendapatkan kebutuhan / demand, kemudian akan dikonversikan menjadi satuan LNG yaitu mmscfd. Data yang dipakai yaitu data Daya Mampu dari pembangkit tersebut dikarenakan daya mampu merupakan daya yang mampu dikeluarkan oleh tiap pembangkit, walaupun kapasitas dari tiap pembangkit besar belum tentu daya yang dikeluarkan sama dengan daya pada kapasitas yang terpasang. Berikut konversi daya mampu (MW) ke mmscfd  $807.5 \text{ MW} \times 0.2 = 161.5 \text{ MMSCFD}$

B. Data Kapasitas Produksi LNG

Pada distribusi kali ini ada 1 kilang LNG yang digunakan sebagai sumber yang akan dianalisa yaitu Blok Masela. Blok Masela merupakan proyek dari Abadi LNG Project yang dikerjakan oleh perusahaan Jepang yaitu INPEX dan SKK Migas yang berada di Masela. Blok Masela diperkirakan dapat menghasilkan 7.5 juta ton per tahun dimana yang awalnya hanya 2.5 juta ton per tahun. [7]



Gambar 4.1 Peta Lokasi Blok Masela

C. LNG Storage di Saumlaki

Pada perencanaan pola distribusi LNG untuk penelitian kali ini ditetapkan daerah yang menjadi tempat untuk penyimpanan dari LNG tersebut sebelum didistribusikan menuju pembangkit berada di Saumlaki. Setelah dari storage ini kemudian LNG didistribusikan ke pembangkit – pembangkit di tiap – tiap daerah di Indonesia Timur.

Kapal yang digunakan kali ini adalah kapal dengan ukuran 7500 m<sup>3</sup>. Maka storage di Saumlaki diperkirakan memiliki kapasitas sebesar 7500 m<sup>3</sup>/day ditambah dengan safety stock sebesar 30 hari, total kapasitas storage tank menjadi 225000 m<sup>3</sup>/day.

D. Kapal LNG

Pada penelitian distribusi LNG dari kilang ke terminal penerima direncanakan menggunakan kapal LNG dengan ukuran relatif kecil (mini LNG carrier) dengan ukuran dari 2,500 m<sup>3</sup> sampai 23,000 m<sup>3</sup>. Mini LNG carrier sangat cocok digunakan untuk distribusi LNG di kepulauan Indonesia, karena jumlah node banyak dengan jarak yang tidak terlalu jauh dan permintaan masing masing node relatif kecil.[3] 5 kapal LNG yang dijadikan sebagai kapal perbandingan antara lain:

1. Shinju Maru (2500 m3)
2. Coral Methane (7500 m3)
3. Norgas (10.000 m3)
4. Surya Aki (19.500 m3)

5. Surya Satsuma (23.000 m3)

E. Clustering

Clustering adalah metode penganalisaan data, yang sering dimasukkan sebagai salah satu metode *Data Mining*, yang tujuannya adalah untuk mengelompokkan data dengan karakteristik yang sama ke suatu ‘wilayah’ yang sama dan data dengan karakteristik yang berbeda ke ‘wilayah’ yang lain. [8] Pada penelitian ini dikarenakan begitu banyaknya wilayah yang harus dikaji maka digunakan clustering agar mempermudah perhitungan.

Jadi pembangkit – pembangkit akan dikelompokkan menjadi 5 clustering dimana penentuan clustering ini secara kualitatif, dimana pertimbangan clustering adalah jarak dan letak geografis, antara jarak sesama pembangkit maupun antara pembangkit dan supply.



Gambar 4.2 Cluster 1



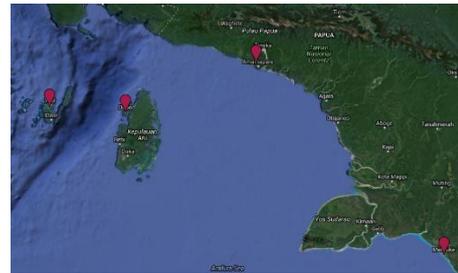
Gambar 4.3 Cluster 2



F. Gambar 4.4 Cluster 3



Gambar 4.5 Cluster 4



Gambar 4.6 Cluster 5

G. Optimasi Pemilihan Rute dan Kapal

Optimasi dilakukan dengan output rute yang terpilih dan menggunakan kapal yang terpilih dengan mempertimbangkan constrain – constrain yang telah ada. Untuk kali ini optimasi akan dibantu dengan menggunakan aplikasi yaitu LINGO 16.0 dimana aplikasi ini berfungsi untuk membantu menyelesaikan persoalan model optimasi dengan cepat, mudah, dan efisien.

Sebelum melakukan optimasi fungsi objektif dan batasan – batasan harus diketahui terlebih dahulu berikut fungsi objektif dan batasan – batasan dari distribusi kali ini:

1. Fungsi objektif:

$$Z = \text{Min} \left( \sum_{i \in C} z_{kij} + \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} \sum_{k \in K, i \neq j} c_{ijk} x_{ijk} \right) \quad (1)$$

Tujuan pembuatan model ini adalah meminimalkan total jarak tempuh perjalanan dari kapal pada pengiriman LNG, sehingga fungsi tujuan dapat dilihat pada persamaan (1) diatas.

2. Batasan – batasan:

$$\sum_{k \in K, i \neq 1}^n y_{ik} = \text{binary}, \forall i = 1, \dots, N \quad (2)$$

Batasan (2) memastikan setiap pembangkit dikunjungi satu kali oleh 1 kapal. Jika pembangkit tidak dilayani oleh kapal maka bernilai 0, sedangkan jika dilayani akan bernilai 1, oleh sebab itu hasil dari perhitungan ini merupakan bilangan biner.

$$\sum_{k \in K}^n y_{1k} \leq 5, \forall k = 1, \dots, 5 \quad (3)$$

Batasan (3) ini menyatakan bahwa jumlah keluar masuk kapal dari supply (Saumlaki) harus sama. Dimana terdapat 5 kapal dimodel ini dengan berbagai kapasitas yang berbeda.

$$\sum_{j \neq i}^m x_{ijk} = y_{ik}, \forall i = 1, \dots, N, \forall j = 1, \dots, N \quad (4)$$

Batasan (4) merupakan batasan yang menentukan kapal yang sama harus masuk dan keluar pembangkit kecuali supply (Saumlaki).

$$\sum_{i \in N, i \neq 1}^n d_i \times y_{ik} \leq u z_k, \forall i = 1, \dots, N \quad (5)$$

Kemudian batasan (5) merupakan batasan yang menyatakan demand dari pembangkit tidak boleh melebihi dari ukuran kapal.

$$v_k \times \text{Dur}_{ijk} = D_{ij} \quad (6)$$

$$c_{ijk} = \text{Dur}_{ijk} \quad (7)$$

Kemudian hubungan antara jarak, kecepatan kapal, dan biaya kapal. Dimana biaya kapal diasumsikan sama dengan durasi berlayar kapal. Sedangkan durasi berlayar bergantung dengan kecepatan kapal dan jarak antar pembangkit dapat dilihat pada batasan (6) dan (7).

$$z_k = \text{binery} \tag{8}$$

$$y_{ik} = \text{binery} \tag{9}$$

$$x_{ijk} = \text{binery} \tag{10}$$

Batasan (8), (9), (10) merupakan batasan terhadap kendala biner untuk variable yang dicari adalah sebagai berikut, dimana  $z_k$ ,  $y_{ik}$ , dan  $x_{ijk}$  merupakan bilangan biner 1,0.

Dari hasil optimasi, Cluster 1 membutuhkan 1 kapal yaitu dengan menggunakan tipe kapal yang berukuran 2500 m<sup>3</sup> yaitu Shinju Maru dengan rute perjalanan bermula dari pembangkit 1 (Saumlaki) menuju pembangkit 2 (Lombok), dilanjutkan menuju pembangkit 3 (Sumbawa), kemudian menuju pembangkit 4 (Bima), dan terakhir kembali ke pembangkit 1. Jarak keseluruhan dari cluster ini sebesar 3618 km / 2010 nm.

Cluster 2 memiliki hasil sebagai berikut. Pada cluster ini terdiri dari 14 pembangkit beserta Storage Saumlaki. Dimana rute yang terpakai yaitu 1-13-11-12-5-3-2-4-6-7-8-9-10-14-1 dengan jarak tempuh sebesar 3641.4 km / 2023 nm.

Cluster 3 memiliki hasil sebagai berikut kapal yang digunakan untuk melayani 12 pembangkit (termasuk supply) pada cluster ini adalah kapal yang berukuran 2500 m<sup>3</sup> dengan rute 1-11-12-10-8-7-4-2-3-5-6-9-1. Jarak keseluruhan dari cluster ini sebesar 3455.7 km / 1919.83 nm.

Cluster 4 dimana memiliki pembangkit sebanyak 9, dilayani dengan menggunakan kapal yang berukuran sebesar 2500 m<sup>3</sup> dengan rute 1-9-6-5-4-2-3-7-8-1. Jarak keseluruhan dari cluster ini sebesar 6361 km / 3633.89 nm.

Cluster 5 dimana memiliki pembangkit sebanyak 5, dilayani dengan menggunakan kapal yang berukuran sebesar 2500 m<sup>3</sup> dengan rute 1-5-4-3-2-1. Jarak keseluruhan dari cluster ini sebesar 2938 km / 1632.22 nm.

Berikut rangkuman hasil dari seluruh cluster beserta Masela – Saumlaki beserta ukuran tangki yang dibutuhkan:

Tabel 4.2  
Hasil Keseluruhan CAPEX

	Masela - Saumlaki	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3	CLUSTER 4	CLUSTER 5
<b>Kapal</b>						
1. Jumlah	1	1	1	1	1	1
2. Size (m <sup>3</sup> )	7500	2500	2500	2500	2500	2500
<b>Storage Tank</b>						
1. Size (m <sup>3</sup> )	22500	2496	1567	1222	1598	490
Time Round Trip (day)	2	8	15	13	15	7
Route (km)	300	3618	3641.4	3385.3	6361	2938

H. Perhitungan Biaya Transportasi

Pada perhitungan kali ini ada beberapa aspek yang berpengaruh dalam cost dari distribusi. Pertama pada ukuran kapal, dimana ukuran kapal berpengaruh ke ukuran pada terminal penerima. Semakin besar ukuran kapal maka semakin besar pula ukuran pada terminal penerima dan hal ini akan menaikkan nilai investasi pada terminal penerima. Kedua penggunaan bahan bakar kapal, ketiga gaji dari crew kapal yang mana pada kali ini gaji tersebut sebesar US\$2000, keempat port charge dimana perhitungan port charge kali ini adalah number of voyage (berapa kali kapal

akan berlabuh) dikali dengan berapa harga port charge tiap kapal dan dikalikan lagi dengan jumlah terminal yang ada. Yang kelima adalah biaya asuransi dan terakhir biaya sewa kapal. Berikut perbandingan biaya transportasi tiap – tiap cluster :



Gambar 4.7 Perbandingan Biaya Transportasi

I. Kajian Ekonomi

Setelah pemodelan dari distribusi diatas sudah selesai dan biaya transportasi telah dihitung, maka perlu adanya analisa ekonomi terhadap biaya investasi pada distribusi kali ini. Dimana biaya investasi ini akan berpengaruh untuk merealisasikan distribusi kali ini. Analisa kali ini didasarkan pada besarnya unit biaya pengiriman hingga menuju terminal penerima pada pembangkit – pembangkit.

Pola distribusi LNG untuk pembangkit – pembangkit di Indonesia Timur telah ditentukan melalui optimasi dalam aplikasi LINGO 16.0 dan telah mendapatkan hasil rute yang harus dilalui pada tiap – tiap cluster yang sudah ditentukan dan pemilihan kapal yang sesuai dengan batasan – batasan yang ada. Oleh karena itu pola distribusi ini tentu membawa konsekuensi biaya (investasi) yang perlu dikeluarkan. Pada kajian ekonomi kali ini ada dua variable yang ada pada kelayakan investasi, yaitu Capitan Expenditure (CAPEX) dan Operational Expenditure (OPEX).

1. Capital Expenditure (CAPEX)

CAPEX merupakan biaya yang dikeluarkan pada awal, dimana pada distribusi kali ini untuk biaya yang dikeluarkan untuk kapal tidak ada, dikarenakan dalam pola distribusi kali ini kapal di charter / disewa bukan membuat kapal baru. Sedangkan pada terminal penerima / receiving terminal ada beberapa biaya yang harus dikeluarkan pada awal, seperti biaya pembangunan terminal, LNG Storage Tank, Pompa LNG, Jetty, Kantor, dsb. Berikut hasil dari CAPEX tiap – tiap cluster dan rute Masela – Saumlaki:

Tabel 4.3  
Hasil Keseluruhan CAPEX

	<b>CAPEX</b>	
CLUSTER 1	US\$	12,434,000.00
CLUSTER 2	US\$	34,963,000.00
CLUSTER 3	US\$	34,428,000.00
CLUSTER 4	US\$	21,843,000.00
CLUSTER 5	US\$	11,548,000.00
Masela - Saumlaki	US\$	168,751,000.00
<b>TOTAL</b>		<b>283,967,000.00</b>

2. Operational Expenditure (OPEX)

Operational Expenditure (OPEX) merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan untuk melakukan operasional pada periode tertentu, biasanya pada periode satu tahun. Pada distribusi kali ini biaya operasional kapal sudah dijelaskan diatas dimana terdapat 6 kapal yang akan dipakai dimana terdapat 4 kapal tipe 1 (2500 m3), dan 2 kapal tipe 2 (7500 m3). Sedangkan dalam bagian terminal penerima / receiving terminal biaya operasional yang dikeluarkan berupa pompa LNG, Loading arm, lampu jalan dan lampu bangunan, 2 securities, 4 control room, 4 port master dan yang utama biaya listrik pada terminal tersebut. Kemudian perhitungan biaya operasional kapal dan terminal dijumlahkan dan berikut hasil dari operational cost untuk kapal dan terminal penerima pada tiap – tiap cluster:

Tabel 4.4  
Hasil Keseluruhan OPEX

OPEX		
CLUSTER 1	US\$	11,375,269.13
CLUSTER 2	US\$	27,228,055.90
CLUSTER 3	US\$	20,018,600.34
CLUSTER 4	US\$	29,638,848.73
CLUSTER 5	US\$	6,883,745.77
Masela - Saumlaki	US\$	16,718,599.28
<b>TOTAL</b>		<b>111,863,119.15</b>

Hasil kajian ekonomi yang dilakukan berupa Payback Period, IRR, dan NPV, dengan margin penjualan – pembelian sebesar \$3.1, \$3.3, \$3.5, \$3.7, dan \$3.9. bunga yang dipakai sebesar 10.25% dengan biaya pribadi sebesar 50%. Berikut hasil dari kajian ekonomi tiap – tiap margin:

Tabel 4.5  
Hasil Dari Kajian Ekonomi Tiap – Tiap Margin

	Margin 3.1		Margin 3.3	
LNG Purchase	\$	8.00	\$	8.00
Margin	\$	3.10	\$	3.30
LNG Sell	\$	11.10	\$	11.30
Annual Revenue	\$	176,857,877.61	\$	188,268,063.26
NPV	\$	(1,950,767.47)	\$	96,521,335.42
IRR		5%		10%
PP		0		9.0

	Margin 3.5		Margin 3.7	
LNG Purchase	\$	8.00	\$	8.00
Margin	\$	3.50	\$	3.70
LNG Sell	\$	11.50	\$	11.70
Annual Revenue	\$	199,678,248.91	\$	211,088,434.57
NPV	\$	194,996,762.47	\$	293,474,555.97
IRR		15%		19%
PP		6.8		5.6

	Margin 3.9	
LNG Purchase	\$	8.00
Margin	\$	3.90
LNG Sell	\$	11.90
Annual Revenue	\$	222,498,620.22
NPV	\$	391,968,477.48
IRR		22%
PP		4.7

Dari hasil diatas bisa dilihat bahwa pada margin 3.1 belum terjadi payback period dan nilai IRR masih dibawah bunga bank (10.25%). Begitu juga pada margin 3.3 walaupun payback period-nya diketahui namun IRR masih

dibawah bunga. 1 dan besar. Pada margin 3.5, 3.7 dan 3.9 syarat – syarat telah terpenuhi dimana IRR lebih besar dari pada bunga bank (10.25%) dan Payback Period 6.8 5.6 dan 4.7 tahun

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Skenario distribusi LNG ini dimulai dari kilang gas alam yang berada di Masela menuju *storage* di Saumlaki kemudian akan diteruskan menuju pembangkit – pembangkit di Indonesia Timur
- Rute dan kapal yang terpilih pada distribusi kali ini untuk Cluster 1 rute berjarak 3618 km / 2010 nm, Cluster 2 berjarak 3641.4 km / 2023 nm, Cluster 3 berjarak 3385.3 km / 1880.72 nm, dan Cluster 4 berjarak 6361 km / 3533.89 nm, dan Cluster 5 berjarak 2938 km / 1632.22 nm. Kapal yang digunakan sebanyak 6 kapal, 2 kapal berukuran 7500 m<sup>3</sup> dan 4 berukuran 2500 m<sup>3</sup>.
- Kajian Ekonomi pada distribusi kali ini ada 5 margin penjualan (\$3.1, \$3.3, \$3.5, \$3.7, dan \$3.9) dimana akan menghasilkan Payback Period, IRR dan NPV sebagai output. Dan hasil dari kajian ekonomi pada margin 3.1 belum terjadi *payback period* dan nilai IRR masih dibawah bunga bank (10.25%). Begitu juga pada margin 3.3 walaupun *payback period*-nya diketahui namun IRR masih dibawah bunga. 1 dan besar. Pada margin 3.5, 3.7 dan 3.9 syarat – syarat telah terpenuhi dimana IRR lebih besar dari pada bunga bank (10.25%) dan Payback Period 6.8 5.6 dan 4.7 tahun

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2014. Outlook Energi Indonesia
- Oscarino, Yohanes NS. 2010. Distribusi Gas Alam Cair (LNG) dari Kilang Menuju Floating Storage Regasification Unit (FSRU) untuk Pemenuhan Kebutuhan Pembangkit Listrik di Indonesia Melalui Pendekatan Simulasi. Surabaya: ITS.
- Soegiono, Ketut Buda Artana. 2006. Transportasi LNG Indonesia. Surabaya: Airlangga University Press.
- Armita, I Putu Yusna. 2011. Optimasi Rantai Pasok LNG: Studi Kasus Kebutuhan LNG di Bali. Surabaya: ITS.
- Perusahaan Listrik Negara. 2015. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (persero) Tahun 2015-2024.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. (P. Toth & D. Vigo, Eds.) Optimization (Vol. 9, p. 367). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- INPEX Corporation. 2015. Annual Report 2015
- Iqro, Muhammad Adam. 2012. A Study on Designing Gas Handling System and Transportation System: Gas Demand in Bali. Surabaya: UTS