

Analisis Peluang Penggunaan Moda Transportasi Laut untuk Pengiriman Limbah Produksi PLTU: Studi Kasus PLTU Paiton

Nova Aulia Larasati, Firmanto Hadi, dan Siti Dwi Lazuardi
Departemen Teknik Transportasi Laut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: firmanto@seatrans.its.ac.id

Abstrak—Dalam pengoperasian PLTU Paiton menghasilkan limbah dari hasil pembakaran batubara sebagai bahan bakar untuk dapat menghasilkan tenaga listrik. Limbah dari batubara yang berupa *flying ash – bottom ash* tidak diizinkan untuk langsung dibuang, limbah ini terlebih dahulu harus diolah agar tidak mencemari lingkungan karena limbah ini dulunya tergolong ke dalam B3. Pada kondisi eksisting limbah dari batubara PLTU Paiton diolah di tempat pengolahan limbah yang berada di daerah Cileungsi, Jawa Barat. Limbah ini diangkut dengan menggunakan truk dari PLTU Paiton, Probolinggo menuju ke Cileungsi, Jawa Barat. Penggunaan truk untuk mengangkut limbah Batubara ini dinilai kurang efektif dari segi biaya maupun lingkungan. Selain itu juga penggunaan truk dengan muatan yang banyak dapat menambah beban jalan serta menimbulkan polusi berbahaya. Penggunaan truk dapat digantikan dengan kapal maupun tongkang untuk mengangkut limbah tersebut. Penggunaan alat transportasi laut ini diharapkan nantinya dapat mengangkut lebih banyak limbah dalam satu kali pengangkutan dan juga dapat mengurangi beban jalan. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh unit biaya minimum yaitu pada opsi pengiriman limbah dengan menggunakan kapal *Ocean Going* dengan unit biaya sebesar Rp. 267.719 /ton dengan sewa kapal *Time Charter Hire*. Sedangkan unit biaya termahal adalah jika melakukan pengiriman limbah menggunakan truk dengan jalur tidak melewati tol dengan unit biaya sebesar Rp. 885.564 /ton.

Kata Kunci—Limbah Batubara, Perbandingan Biaya, Transportasi Laut.

I. PENDAHULUAN

UNIT Pembangkit Listrik Paiton adalah sebuah Kawasan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dikelola oleh beberapa perusahaan pembangkit listrik. Beberapa perusahaan listrik yang ada di kawasan pembangkit listrik Paiton yaitu PT. Pembangkit Jawa – Bali (PJB), Paiton Energy Company, PT. Jawa Power, PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dalam pengoperasiannya sebuah PLTU menghasilkan limbah dari hasil pembakaran batubara. Limbah yang dihasilkan berupa fly ash – bottom ash. Limbah yang berbentuk fly ash – bottom ash yang akan dibuang tidak diizinkan untuk dibuang secara langsung setelah limbah tersebut terbentuk. Limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang agar nantinya tidak mencemari lingkungan. Fly ash – bottom ash digolongkan kedalam golongan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Dari total kebutuhan batubara untuk memenuhi demand di Kawasan PLTU Paiton selama 1 tahun yaitu sebesar 1.020.975 ton/tahun, sebanyak 5% limbah yang dihasilkan dari hasil pembakaran batubara yang digunakan [1].

Pada kondisi eksistingnya, limbah batubara yang berasal dari Kawasan PLTU Paiton diolah di tempat pengolahan limbah. Tempat pengolahan limbah tersebut berada di daerah



Gambar 1. Limbah Pembakaran Batubara.

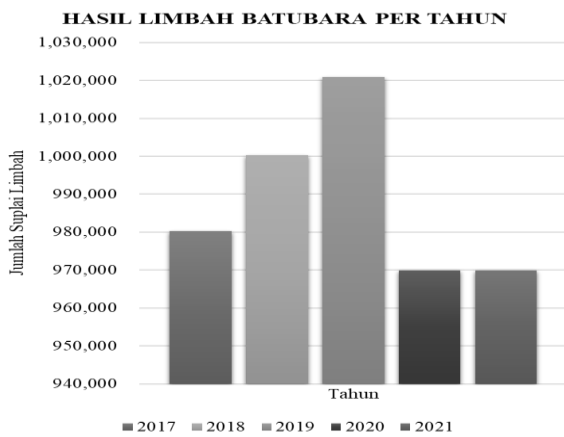
Cileungsi, Bogor. Limbah tersebut diangkut dengan menggunakan truk dari Kawasan PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur menuju ke tempat pengolahan limbah B3 yaitu PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri atau PT. PPLI yang terletak di Cileungsi, Bogor. Penggunaan truk pada kondisi eksisting untuk pengiriman limbah batubara dalam jumlah besar kurang efektif dan efisien dari segi biaya maupun lingkungan. Selain itu penggunaan truk dengan muatan yang besar dapat memperbanyak polusi dan menambah beban jalan yang nantinya akan lebih cepat merusak aspal jalan yang dilewati. Penggunaan truk dengan jumlah yang banyak dapat digantikan dengan moda transportasi laut dengan armada yang lebih sedikit namun dapat mengangkut muatan dengan jumlah yang besar sehingga dapat membuat pengiriman lebih efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

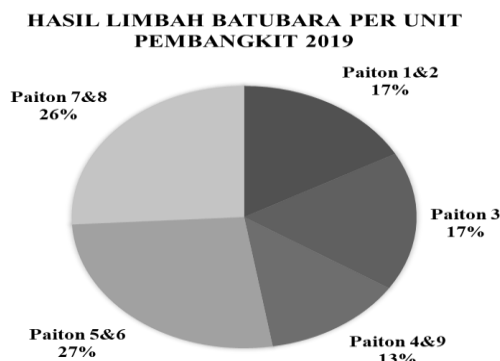
A. Limbah Hasil Pembakaran Batubara

Selain dapat menghasilkan listrik yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, PLTU dengan bahan bakar batubara juga menghasilkan aneka limbah yang dapat mencemari lingkungan. Batubara yang dibakar menghasilkan produk sisa berupa material – material yang dapat terbang dan terendapkan yang disebut “*fly ash – bottom ash*”. Secara fisik, *fly ash – bottom ash* terlihat seperti debu halus atau pasir halus atau mirip seperti abu vulkanik yang dikeluarkan gunung api.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun *fly ash – bottom ash* termasuk limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) dengan kode limbah B409 dan B410 pada lampiran 1 tabel 4 daftar limbah B3 dari sumber tidak spesifik. Dengan 8 kapasitas sebesar 4765 MW, jumlah batubara yang dibutuhkan sebagai sumber energi primer sangatlah banyak. Tercatat kebutuhan batubara untuk seluruh unit pembangkit yang ada di kawasan PLTU Paiton



Gambar 2. Limbah Pembakaran Batubara Per Tahun.



Gambar 3. Hasil Limbah Batubara Per Unit Tahun 2019.

yaitu sebesar 20.419.500 ton/tahun dalam produksi listriknya. Seiring banyaknya batubara yang dibutuhkan, produksi limbah *fly ash-bottom ash* juga semakin banyak. Oleh karena itu diperlukan penanganan khusus dalam mengelola limbah *fly ash-bottom ash* agar tidak menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan dan masyarakat sekitar, salah satunya meningkatnya potensi timbulnya penyakit ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Akut).

B. Moda Transportasi

Moda transportasi merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menyatakan alat angkut yang digunakan untuk berpindah tempat dari suatu titik ke titik lainnya. Moda yang biasa digunakan dalam transportasi dapat digolongkan atas moda yang dapat berjalan di darat, berlayar di air, dan terbang di udara. Untuk moda darat juga masih dapat dikelompokkan atas moda jalan, moda kereta api, dan moda pipa. Untuk pengiriman barang antar pulau dalam jumlah yang banyak moda air / laut lebih banyak dipilih karena kapasitas angkut yang paling besar dari pada moda darat dan moda udara. Sedangkan pada moda darat, untuk pengiriman barang dalam jumlah besar biasanya digunakan truk atau kereta api karena memiliki kapasitas yang paling besar.

1) Truk

Truk atau disebut juga sebagai mobil barang adalah kendaraan transportasi yang juga masuk kategori alat berat. Truk memiliki spesifikasi tertentu yang dipergunakan untuk 9 mengangkut barang dalam ukuran besar dan berat. Pada tahun 2018 jumlah truk yang beroperasi sebanyak 4.797.254 unit [2]. Truk banyak digunakan untuk pengiriman barang karena memiliki kapasitas yang besar selain kereta api. Dan truk memiliki pergerakan yang lebih fleksibel dibandingkan

Tabel 1. Spesifikasi Truk Terpakai

Spesifikasi Truk		
Tipe Truk	ISO Tank	
Kapasitas	35	Ton
Harga	1,139,000,000	

Tabel 2. Total Biaya Truk rute Tol

Jenis Biaya	Nominal	
Biaya Operasional	40,213,234,233	Rp/Tahun
Biaya Perjalanan	107,958,771,621	Rp/Tahun
Biaya Kapital	182,057,225,049	Rp/Tahun
Total Biaya	330,229,230,903	Rp/Tahun
Unit Biaya	323,445	Rp/Ton

Tabel 3. Total Biaya Truk rute Tidak Tol

Jenis Biaya	Nominal	
Biaya Operasional	130,493,652,784	Rp/Tahun
Biaya Perjalanan	27,223,933,266	Rp/Tahun
Biaya Kapital	746,500,600,000	Rp/Tahun
Total Biaya	904,218,186,050	Rp/Tahun
Unit Biaya	885,564	Rp/Ton

dengan kereta, dimana kereta hanya dapat menjangkau daerah–daerah yang memiliki rel kereta api sebagai jalurnya sedangkan truk tidak. Beberapa jenis truk yang banyak digunakan, yaitu: truk pick up, colt diesel engkel, colt diesel double, truk fuso, truk tronton, truk trinton, truk trailer, truk container, truk wingbox, dan truk iso tank.

2) Kapal Curah Kering

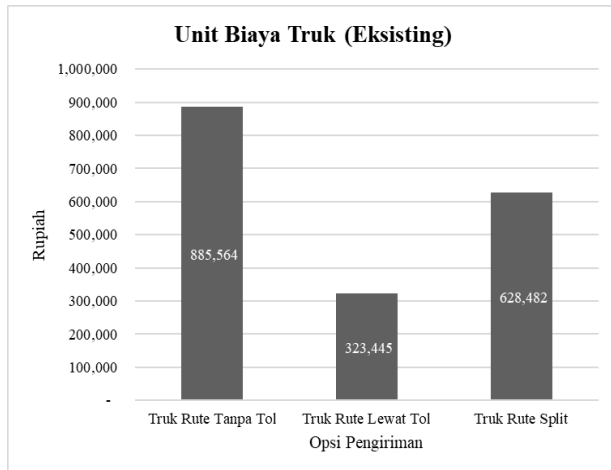
Kapal kargo curah kering atau kapal *bulker* adalah kapal yang dirancang dan dibuat untuk mengangkut muatan curah / *unpackaged* [3]. Kapal ini membawa muatan seperti contohnya batubara, semen, biji – bijian, biji logam dan lainnya. Kapal ini memiliki spesifikasi mengangkut muatan curah. Dikatakan curah karena cara meletakkan muatannya dengan cara mencurahkan atau menuangkan muatannya langsung ke dalam ruang muat tanpa muatan tersebut harus di bungkus terlebih dahulu. Jumlah armada kapal curah kering di dunia pada tahun 2019 yaitu mencapai 16.892 unit kapal. Berbeda dengan kapal general cargo, kapal curah kering biasanya hanya mengangkut satu jenis muatan saja, serta masuk kedalam tipe *single decker* yang tidak bisa dipakai untuk mengangkut peti kemas. Kapal curah kering sendiri terdiri dari sejumlah bagian, seperti *cargo hold* untuk dipakai menempatkan muatan dengan desain *self trimming* dan *hatches* untuk melindungi muatan yang dirancang dengan bukaan luas agar tidak menghalangi perpindahan muatan.

3) Tongkang Bermesin (Self Propelled Barge)

Secara umum *Self Propelled Barge* (SPB) adalah kapal yang mempunyai bentuk seperti tongkang namun menggunakan tenaga pendorong sendiri. Apabila dibandingkan dengan biaya pembangunan kapal pada umumnya terutama dengan kapal *bulk carrier*, *Self Propelled Barge* memiliki biaya pembangunan yang lebih rendah yaitu 1/3 kali dari biaya pembangunan kapal curah kering. Sehingga tongkang bermesin ini dapat berlayar dan bermanufer dengan bebas, karena memiliki sistem penggerak sendiri. Penggunaan tongkang bermesin ini lebih menguntungkan karena dapat digunakan sebagai alat angkut

Tabel 7.
Total Biaya Truk rute Split

Jenis Biaya	Nominal	
Biaya Operasional	87,262,053,333	Rp/Tahun
Biaya Perjalanan	81,053,950,909	Rp/Tahun
Biaya Kapital	473,348,785,127	Rp/Tahun
Total Biaya	641,664,789,369	Rp/Tahun
Unit Biaya	628,482	Rp/Ton



Gambar 4. Unit Biaya Opsi Pengiriman dengan Truk.

dengan kapasitas yang lebih besar pada alur pelayaran yang memiliki kedalaman air terbatas. Demikian pula dari segi pembangunan, kapal *self propeller barge* lebih mudah dibandingkan dengan kapal lainnya seperti *bulk carier*. Hal ini dikarenakan bentuk konstruksinya relatif lebih sederhana sehingga akan lebih mudah pada proses pembangunan dan perbaikan kapal. Untuk barang yang diangkut melalui sungai yang waktu bongkar muatnya cepat dan berlayar pada kecepatan rendah maka akan lebih menguntungkan untuk menggunakan tongkang bermesin. Pertimbangan untuk menggunakan mesin pada tongkang adalah keekonomian, pada tongkang yang bongkar muatnya cepat akan lebih menguntungkan menggunakan tongkang bermesin sedang bila bongkar muatnya membutuhkan waktu yang lama maka akan lebih menguntungkan menggunakan tongkang tanpa berpengerak sendiri.

C. *Komponen Biaya Transportasi Laut*

Pada pelayaran sebuah kapal tidak terdapat standar cost classification yang dapat diterima atau ditentukan secara internasional, sehingga pendekatan dibuat untuk mengklasifikasikan biaya tersebut. Niko Wijmolst dan Tor Wergeland pada bukunya yang berjudul *Shipping*, biaya tersebut dibagi menjadi 4 kategori yaitu:

1) *Biaya Modal (Capital Cost)*

Biaya modal merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan pelayaran untuk pengadaan armada. Besarnya biaya modal untuk pengadaan kapal baru atau kapal bekas berbeda. Biaya modal meliputi harga kapal dan biaya penyusutan.

2) *Biaya Operasional (Operational Cost)*

Biaya operasional adalah biaya-biaya yang tetap dikeluarkan untuk aspek-aspek operasional sehari-hari kapal untuk membuat kapal selalu dalam keadaan siap berlayar. Biaya operasional meliputi biaya gaji anak buah kapal

Tabel 4.
Data Kapal Terpakai

Nama Kapal	Tipe	LOA (m)	LPP(m)	B (m)	T (m)	DWT (ton)
Osprey	SPB	122	111	35	7	21545
Ocean Going	SPB	120	111	32	6	21980
Rong Da Chang Sha	BC	170	158	28	10	22271
Leye	BC	169	158	25	10	22279
Horizon	BC	160	151	24	10	22983
Bao Yun	BC	158	148	25	9	22887
Hongseng 7	BC	159	150	24	10	23000

Tabel 5.
Biaya Pengiriman dengan KM. Osprey

Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	19,241,142,618	Rp/Tahun
Voyage Cost	123,337,264,408	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,818,430,688	Rp/Tahun
Total Cost	145,396,837,713	Rp/Tahun
Unit Cost	142,410	Rp/Ton

Tabel 6.
Biaya Pengiriman dengan KM. Ocean Going

Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	19,214,366,403	Rp/Tahun
Voyage Cost	89,365,231,179	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,793,876,800	Rp/Tahun
Total Cost	111,373,474,381	Rp/Tahun
Unit Cost	109,085	Rp/Ton

(ABK), perawatan dan perbaikan, perbekalan, asuransi, dan administrasi.

3) *Biaya Pelayaran (Voyage Cost)*

Biaya pelayaran atau *voyage cost* merupakan biaya-biaya variabel yang dikeluarkan untuk kebutuhan kapal selama berlayar. Komponen dari biaya pelayaran meliputi biaya bahan bakar untuk mesin induk dan mesin bantu, dan biaya pelabuhan seperti pandu, tunda, tambat, dan labuh.

4) *Biaya Bongkar Muat (Cargo Handling Cost)*

Kegiatan bongkar muat di pelabuhan dilakukan oleh perusahaan bongkar muat (PBM). Untuk menggunakan jasa bongkar muat, perusahaan pelayaran harus mengeluarkan biaya bongkar muat muatannya bisa dipindahkan dari darat ke kapal atau sebaliknya. Perhitungan biaya tenaga kerja bongkar muat (TKBM) dari atau ke kapal telah diatur dalam KM 35 Tahun 2007.

D. *Unit Pembangkit Listrik PLTU Paiton*

Unit Pembangkitan Paiton adalah sebuah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dikelola oleh beberapa perusahaan diantaranya PT. Pembangkitan Jawa Bali (PT. PJB), PT. Paiton Energy, PT. Jawa Power, PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN). Kapasitas dari masing masing unit pembangkit yaitu unit 1 dan 2 memiliki kapasitas 800 mw, unit 3 memiliki kapasitas 815 kw, unit 5 dan 6 memiliki kapasitas 1260, unit 7 dan 8 memiliki kapasitas 1230 mw, dan unit 9 memiliki kapasitas 660 mw. Energi listrik ini kemudian didistribusikan melalui sistem interkoneksi untuk kebutuhan listrik Jawa – Bali. Selama bertahun – tahun, PLTU Paiton turut mengaliri listrik untuk seluruh wilayah di Jawa dan Bali. PLTU Paiton memiliki peran penting dalam menyediakan kebutuhan listrik di Pulau Jawa dan Bali. Pembangkit ini menyediakan listrik bagi jutaan rumah tangga, industri, dan sektor bisnis di wilayah tersebut. Dalam skala nasional, PLTU Paiton berkontribusi dalam pengediaan energi listrik yang stabil dan dapat diandalkan. Memiliki luas lahan

Tabel 10.

Biaya Pengiriman dengan KM. Rong Da Chang Sha		
Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	20,771,925,567	Rp/Tahun
Voyage Cost	107,596,635,720	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,852,900,348	Rp/Tahun
Total Cost	131,221,461,635	Rp/Tahun
Unit Cost	128,526	Rp/Ton

Tabel 11.

Biaya Pengiriman dengan KM. Leye		
Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	20,771,925,567	Rp/Tahun
Voyage Cost	107,605,846,499	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,853,552,128	Rp/Tahun
Total Cost	131,231,324	Rp/Tahun
Unit Cost	128,535	Rp/Ton

Tabel 8.

Biaya Pengiriman dengan KM. Horizon		
Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	21,747,649,453	Rp/Tahun
Voyage Cost	108,327,183,541	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,858,647,125	Rp/Tahun
Total Cost	132,933,480,119	Rp/Tahun
Unit Cost	130,202	Rp/Ton

Tabel 9.

Pengiriman dengan KM. Bao Yun		
Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	21,625,881,647	Rp/Tahun
Voyage Cost	111,043,912,441	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,849,775,375	Rp/Tahun
Total Cost	135,519,569,464	Rp/Tahun
Unit Cost	132,735	Rp/Ton

mencapai 400 hektare. Berikut adalah profil dari perusahaan – perusahaan yang memiliki unit pembangkit di kompleks PLTU Paiton:

1) *PT. Paiton Energy*

PT. Paiton Energy adalah salah satu perusahaan yang memiliki unit pembangkitan di kompleks PLTU Paiton. Menghasilkan sekitar 13.500 GWh listrik per tahun, yang menyumbang sekitar 10% dari konsumsi listrik tahunan di pulau Jawa [4]. PT. Paiton Energy bekerjasama dengan PT. PLN (Persero) dengan memberikan 2,045 mw listrik atau sekitar 6% dari total kapasitas yang terpasang di Jawa. PT. Paiton Energy mengoperasikan unit 3, unit 7 dan unit 8.

2) *PT. Pembangkitan Jawa – Bali*

PT. Pembangkitan Jawa – Bali atau biasa dikenal dengan PT. PJB adalah sebuah anak perusahaan milik BUMN yaitu PLN. BUMN ini adalah produsen listrik yang menyuplai kebutuhan listrik di Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Yogyakarta, Jawa Timur, dan Bali. Saat ini PT. Pembangkitan Jawa – Bali mengelola 6 pembangkit tenaga listrik di Pulau Jawa, dengan kapasitas total 6.511 MW.

3) *PT. Perusahaan Listrik (PLN)*

PT. Perusahaan Listrik Negara atau PLN adalah sebuah perusahaan BUMN yang mengurus semua aspek kebutuhan kelistrikan yang ada di Indonesia. PLN merupakan satu – satunya perusahaan penjual jasa listrik di Indonesia [5]. Dalam pelayanan pendistribusian kelistrikan PLN membagi – bagi fungsi unit induknya ke dalam beberapa unit induk berdasarkan pada sistem tenaga listrik yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi.

4) *PT. Jawa Power*

PT. Jawa Power adalah perusahaan pembangkit listrik tenaga batubara yang memiliki kapasitas 1.220 MW. PT. Jawa Power mengoperasikan 2 unit pembangkitan listrik yang ada di kompleks PLTU Paiton, yaitu unit 5 dan unit 6 dengan total kapasitasnya sebesar 1260 mw.

E. *PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri*

PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI) adalah perusahaan yang menyediakan layanan pengumpulan, daur ulang, pengolahan dan pembuangan untuk limbah berbahaya dan limbah tidak berbahaya [6]. Kegiatan industri memiliki dampak lingkungan baik positif maupun negatif yang tidak

dapat dihindari. Salah satu dampak negatif industri adalah limbah bahan beracun dan berbahaya atau yang disebut B3.

Perharinya ratusan ton limbah B3 yang berasal dari seluruh industri di Indonesia diolah di kawasan seluas 60 Ha yang terletak di Bogor, Jawa Barat. Adapun pengolahan dimulai dari pemeriksaan berkas limbah yang dimulai dari berat, jenis limbah, dan pengambilan sample yang dibawa ke laboratorium untuk mengetahui kandungan dan material limbah sehingga bisa dipilah untuk masuk menuju proses pengolahan yang tepat. Hasil laboratorium itu menjadi proses penting untuk limbah masuk ke dalam proses selanjutnya.

Pada proses ini limbah – limbah bekas B3 dikeraskan untuk mematikan bahan berbahaya pada limbah sehingga menjadi steril. Setelah steril limbah tersebut akan dipindahkan ke tempat penimbunan dengan kedalaman minimal 10 meter dan memiliki tumpukan limbah maksimal tinggi 25 m, dengan kapasitas 100.000–160.000 ton.

Kemudian pada proses penimbunan ini limbah akan menghasilkan air lini sampah, air lini sampah dialirkan melalui pipa – pipa 29 yang berada pada tumpukan limbah dan diolah dengan efaporator atau melalui proses uap dengan instalasi pengelolaan air limbah. Setelah diolah air limbah diperiksa kembali dan disesuaikan dengan standart tertentu untuk menjamin keamanannya sehingga bisa dikembalikan menjadi air tanpa kandungan berbahaya yang ramah lingkungan dan siap dikembalikan ke alam.

F. *Prosedur Pengangkatan Limbah Fly Ash – Bottom Ash*

Proses Produksi Listrik pada PLTU Batubara dari sejumlah batu bara yang digunakan diasumsikan menghasilkan Fly Ash (FA) dan Bottom Ash (BA) sebesar 5 % dengan komposisi FA (80% – 90%); BA (10% – 20 %). FABA dapat tercipta karena adanya pembakaran pada batubara dengan temperature tinggi (diatas 800c). Dalam pengoperasian PLTU Batubara, Fly Ash ditampung dalam Silo dan harus dijaga pada level tertentu, bila melebihi level yang telah ditentukan, maka Fly Ash harus dikeluarkan / diangkut untuk keamanan beroperasinya unit pembangkit. Bottom Ash pada PLTU Batubara Besar sebelum dibuang terlebih dahulu dimasukkan kedalam Crusher untuk memperkecil butiran selanjutnya diangkut ke ash valley atau ke pemanfaat agar tidak mengganggu pengoperasian unit pembangkit [7]. Kondisi ini berdampak pada biaya pengelolaan FABA yang relatif tinggi, terlebih lagi apabila *Fly Ash* yang dihasilkan

Tabel 12.
Pengiriman dengan KM. Horizon 7

Jenis Biaya	Nominal	
Time Charter Hire	21,992,743,781	Rp/Tahun
Voyage Cost	126,899,333,298	Rp/Tahun
Cargo Handling Cost	2,892,891,450	Rp/Tahun
Total Cost	151,784,968,526	Rp/Tahun
Unit Cost	148,667	Rp/Ton

Tabel 13.
Total Biaya Truk Pelabuhan + PT. PPLi

Jenis Biaya	Nominal	
Biaya Operasional	10,411,895,000	Rp/Tahun
Biaya Perjalanan	11,340,550,000	Rp/Tahun
Biaya Kapital	59,228,000,000	Rp/Tahun
Total Biaya	80,980,445,000	Rp/Tahun
Unit Biaya	79,317	Rp/Ton

tidak memenuhi standar mutu minimum yang dapat diterima oleh pemanfaat (tidak memiliki nilai ekonomis).

Pemanfaatan FABA yang telah diolah dapat digunakan untuk menunjang bermacam – macam kegiatan diantaranya *Fly Ash* dapat digunakan untuk pembuatan batako, paving atau *cone block* dan genting, campuran dalam pembuatan beton siap pakai, lapisan tudung untuk menetralsisir asam tambang pada substitusi bahan baku daerah tambang. Lalu untuk *Bottom Ash* dapat digunakan untuk *Subbased* jalan, dan substitusi material dalam pabrik semen namun memerlukan tambahan menghaluskan *Bottom Ash* terlebih dahulu. Berikut adalah langkah mekanisme pengelolaan FABA:

1. Verifikasi data-data Perusahaan Transporter, Pengumpul, Pemanfaat, Pengolah, dan Penimbunan (Verifikasi dokumen – dokumen perijinan dan KLH dan Dishub).
2. Registrasi Perusahaan Transporter, Pengumpul, Pemanfaat, Pengolah, Penimbun ke dalam system computer timbangan abu batubara PLTU.
3. Truk melakukan antrian untuk pengambilan abu batubara.
4. Truk pengangkut memasuki area pengisian abu batubara.
5. Melakukan pengecekan fisik dokumen (manifest) di pos pintu masuk area pengisian abu batubara.
6. Petugas menginput data dari pos yang terintegrasi ke ruang operator timbangan untuk registrasi.
7. Input data dokumen ke system computer timbangan batubara.
8. Truk menimbang kosong setelah registrasi dan lolos validasi data.
9. Truk melakukan pengisian abu batubara dari Silo.
10. Truk menimbang isi setelah melakukan pengisian muatan.
11. Operator timbangan menimbang berat abu batubara dan mengarsipkan semua dokumen penimbang.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data kebutuhan batubara diseluruh unit pembangkit listrik yang ada di PLTU Paiton. Berdasarkan data yang telah didapat dilakukan analisis untuk menghitung total biaya pengiriman limbah pembakaran batubara yang dikirim dari Kompleks PLTU Paiton, Probolinggo menuju ke tempat pengelolaan limbah di Bogor. Total biaya pengiriman yang dihitung adalah total biaya

Tabel 14.
Total Biaya Pengiriman Kapal + Truk

Nama Kapal	Total Biaya	Satuan
Osprey	226,377,282,713	Rp/Tahun
Ocean Going	192,353,919,381	Rp/Tahun
Rong Da Chang Sha	212,201,906,635	Rp/Tahun
Leye	212,211,769,194	Rp/Tahun
Horizon	213,913,925,119	Rp/Tahun
Bao Yun	216,500,014,464	Rp/Tahun
Hongseng 7	232,765,413,526	Rp/Tahun

pengiriman dengan kondisi eksisting dan total biaya pengiriman dengan kapal.

$$Tt = Tt_1 + Tt_2 + Tt_{3...14} + Tt_{15} \quad (1)$$

Dimana,

Tt : Total Tarif Tol (Rupiah).

Tt_1 : Tarif Ruas Tol 1.

Tt_2 : Tarif Ruas Tol 2.

$Tt_{3...14}$: Tarif Ruas Tol 3-14.

Tt_{15} : Tarif Ruas Tol 15.

Setelah dilakukan perhitungan biaya tarif tol untuk opsi pengiriman dengan truk, dilakukan perhitungan lainnya, yaitu perhitungan biaya truk dengan model matematis:

$$TRC = FiC + VaC \quad (2)$$

$$TRC = (CC + DC + SC + MC + IC) + (FC + Tt) \quad (3)$$

Dimana,

TRC : Biaya Total dengan Truk (Rupiah).

FiC : Biaya Tetap (Rupiah).

VaC : Biaya Variabel (Rupiah).

CC : Biaya Kapital (Rupiah).

DC : Biaya Supir (Rupiah).

SC : Biaya Perbekalan (Rupiah).

MC : Biaya Perawatan (Rupiah).

IC : Biaya Asuransi (Rupiah).

FC : Biaya Bahan Bakar (Rupiah).

Tt : Total Tarif Tol (Rupiah).

Setelah didapatkan hasil perhitungan biaya eksisting pengiriman limbah dengan menggunakan truk selanjutnya menghitung biaya pengiriman limbah pembakaran batubara dengan model matematis:

$$BK = CC + OC + VC + CHC \quad (4)$$

$$BK = CC + (KC + MC + SC + IC) + (FC + PC) + CHC \quad (5)$$

Dimana,

BK : Biaya Total Kapal (Rupiah).

CC : Biaya Kapital (Rupiah).

OC : Biaya Operasional (Rupiah).

VC : Biaya Pelayaran (Rupiah).

CHC : Biaya Penanganan Kargo (Rupiah).

KC : Biaya Gaji Kru (Rupiah).

MC : Biaya Perbekalan (Rupiah).

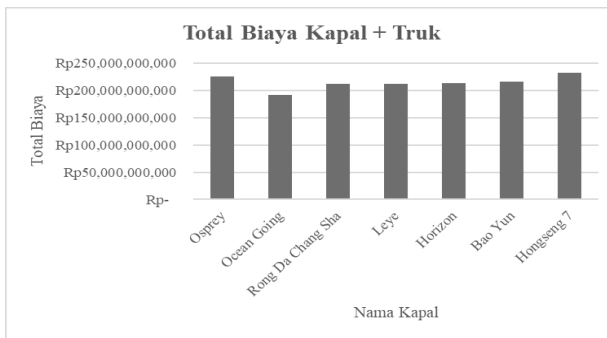
SC : Biaya Perbaikan (Rupiah).

IC : Biaya Asuransi (Rupiah).

FC : Biaya Bahan Bakar (Rupiah).

PC : Tarif Pelabuhan (Rupiah).

Setelah melakukan analisis seluruh total biaya pengiriman melakukan perbandingan dari total biaya, opsi mana yang membutuhkan biaya yang paling minimum. Pada bagian ini, membahas mengenai tahapan penelitian.



Gambar 5. Total Biaya Kapal + Truk.

A. Tahap Identifikasi Permasalahan

Peneliti melakukan identifikasi permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Permasalahan ini di ambil di Kompleks PLTU Paiton Probolinggo, Jawa Timur. Permasalahan yang timbul adalah pengiriman eksisting limbah batubara dikirim dengan truk dengan jumlah yang banyak setiap harinya yang dapat menimbulkan tingginya biaya pengiriman limbah dari Kompleks PLTU Paiton menuju ke tempat pengolahan limbah PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri di Cileungsi Bogor.

B. Tahap Studi Literatur

Peneliti melakukan studi literatur dengan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Materi-materi yang dijadikan sebagai tinjauan pustaka adalah materi terkait perbandingan pengangkutan limbah jika diangkut menggunakan transportasi darat atau dengan menggunakan transportasi laut.

C. Tahap Pengumpulan Data

Peneliti melakukan pengumpulan data. Data yang dibutuhkan terkait dengan data kebutuhan batubara di seluruh unit pembangkit di PLTU Paiton serta data truk yang digunakan untuk pengiriman limbah pada saat kondisi eksisting.

D. Tahap Analisis Data

Peneliti melakukan analisa data yang telah dikumpulkan untuk melakukan komparasi terhadap total seluruh biaya pengiriman limbah jika dikirim dengan truk atau dikirim dengan kapal.

E. Tahap Analisis Perbandingan Total Biaya

Peneliti melakukan Analisa perhitungan total biaya pengiriman limbah setelah itu melakukan perbandingan total biaya. Opsi manakah yang menghasilkan total biaya terkecil untuk pengiriman limbah dari Kompleks PLTU Paiton Probolinggo menuju ke tempat pengolahan limbah di PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri, Cileungsi Bogor.

F. Tahap Kesimpulan

Peneliti telah mendapatkan hasil dari seluruh perhitungan total biaya pengiriman limbah dengan truk dan dengan kapal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kondisi Eksisting

Kompleks PLTU Paiton menyumbang limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) terbesar di Jawa Timur. Dari 170 Juta ton pertahunnya total limbah B3 yang dihasilkan di

Jawa Timur, 153 juta ton diantaranya dihasilkan dari kompleks PLTU Paiton atau menyumbang lebih dari 80%. Bentuk dari hasil limbah sisa pembakarannya berupa *fly ash - bottom ash* yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Limbah Batubara yang berupa *fly ash - bottom ash* tersebut nantinya akan diolah menjadi bahan baku untuk pembuatan semen. Pada kondisi eksisting pengiriman limbah Batubara dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur Batubara tersebut diangkut menggunakan truk menuju ke tempat pengolahan limbah yang berada di Cileungsi, Bogor, Jawa Barat. Dari total kebutuhan Batu bara di kompleks pembangkit listrik PLTU Paiton yaitu sebanyak 20.419.500 ton pertahunnya. Sebanyak 5% dari total hasil pembakaran batu bara menghasilkan limbah batu bara yang berupa *fly ash - bottom ash* sebanyak 1.020.975 pertahunnya.

B. Data Suplai Limbah Pembakaran Batubara

Untuk mengetahui jumlah limbah hasil pembakaran batubara yang akan dihasilkan di seluruh Kompleks PLTU Paiton terlebih dahulu perlu untuk mengetahui jumlah kebutuhan batubara yang dibutuhkan di seluruh unit pembangkit yang ada di kompleks PLTU Paiton. Jumlah limbah yang dihasilkan dari hasil pembakaran limbah batubara yaitu sebanyak 5% dari batubara yang digunakan. Berikut adalah data hasil limbah pembakaran batubara diseluruh unit pembangkit di PLTU Paiton pada beberapa tahun terakhir.

Melalui Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada tahun 2020 dan 2021 hasil limbah dan kebutuhan batubara mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari adanya pandemi Covid-19 sehingga beberapa sektor terpaksa tidak dapat beroperasi sebagai mana mestinya sehingga kebutuhan listrik berkurang yang berdampak pada berkurangnya juga kebutuhan batubara di kompleks PLTU Paiton.

Bagan pada Gambar 3 menunjukkan pembagian hasil limbah batubara pada setiap unit di komplek PLTU Paiton. Dimana limbah terbanyak dihasilkan oleh unit pembangkit 5 dan 6 yaitu sebanyak 27% dari seluruh limbah yang dihasilkan di kopleks PLTU Paiton dan limbah paling sedikit dihasilkan oleh unit pembangkit 4 dan 9 yaitu sebanyak 13% dari seluruh hasil limbah yang dihasilkan di kompleks PLTU Paiton.

C. Perhitungan Unit Biaya Truk (Eksisting)

Pada perhitungan pengiriman limbah batubara saat kondisi eksisting dengan truk dilakukan 3 opsi perhitungan yaitu:

1. Opsi Truk rute Tol
2. Opsi Truk rute tidak Tol
3. Opsi Truk rute *Split* (Tol – tidak Tol)

Pada seluruh perhitungan kondisi eksisting menggunakan spesifikasi truk pada Tabel 1.

1) Opsi Truk rute Tol

Setelah melakukan perhitungan biaya operasional, perjalanan, dan kapital didapatkan hasil total biaya opsi truk melewati tol sebesar Rp. 330.229.230.903 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 323.445 /ton seperti yang dimuat dalam Tabel 2.

2) Opsi Truk rute tidak Tol

Setelah melakukan perhitungan biaya operasional, perjalanan, dan kapital berdasar Tabel 3 didapatkan hasil total

Tabel 15.
Unit Biaya Pengiriman Kapal + Truk

Nama Kapal	Unit Biaya	Satuan
Osprey	301,043	Rp/Ton
Ocean Going	267,719	Rp/Ton
Rong Da Chang Sha	287,159	Rp/Ton
Leye	287,169	Rp/Ton
Horizon	288,836	Rp/Ton
Bao Yun	219,369	Rp/Ton
Hongseng 7	307,300	Rp/Ton

biaya opsi truk melewati rute tidak tol sebesar Rp. 904,218,186,050 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 885,564 /ton.

3) *Opsi rute Split*

Setelah melakukan perhitungan biaya operasional, perjalanan, dan kapital berdasar Tabel 4 didapatkan hasil total biaya opsi truk melewati rute *split* sebesar Rp. 641,664,789 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 628,482 /ton.

Setelah menghitung seluruh opsi eksisting didapatkan hasil seperti pada Gambar 4. Terlihat bahwa unit biaya terkecil adalah Ketika pengiriman limbah dengan opsi truk dengan rute Tol dengan unit biaya sebesar Rp. 323,445 /ton.

D. *Perhitungan Unit Biaya Kapal*

Pada perhitungan biaya pengiriman dengan kapal menggunakan 2 opsi tipe kapal yaitu kapal curah kering dan kapal tongkang bermesin sendiri. Data kapal dimuat dalam Tabel 5.

1) *Kapal Osprey*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Osprey didapatkan hasil total biaya Rp. 145,396,837,712 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 142,410 /ton. Total biaya pengiriman bagian ini ada dalam Tabel 6.

2) *Kapal Ocean Going*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Ocean Going didapatkan hasil total biaya Rp. 111,373,474,381 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 109,085 /ton. Biaya dimuat dalam Tabel 7.

3) *Kapal Rong Da Chang Sha*

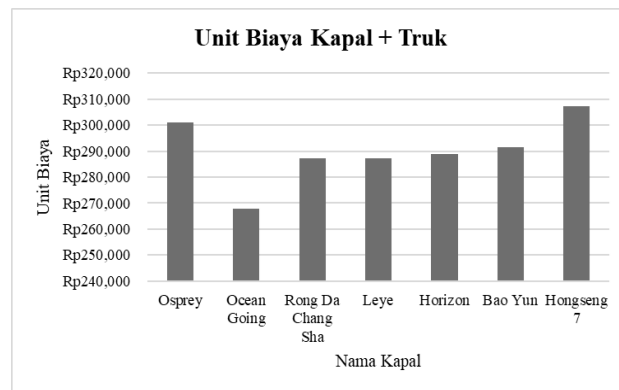
Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Rong Da Chang, berdasar Tabel 8 didapatkan hasil total biaya Rp. 131,221,461,635 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 128,526 /ton.

4) *Kapal Leye*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Leye didapatkan hasil total biaya Rp. 131,231,324,194 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 128,535 /ton. Hasil tersebut dimuat dalam Tabel 9.

5) *Kapal Horizon*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman



Gambar 6. Unit Biaya Kapal + Truk.

limbah jika menggunakan KM. Horizon didapatkan hasil total biaya Rp. 132,933,480,119 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 130,202 /ton, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 10.

6) *Kapal Bao Yun*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Bao Yun didapatkan hasil total biaya Rp. 135,519,569,464 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 132,735 /ton yang dimuat dalam Tabel 11.

7) *Kapal Hongseng 7*

Setelah melakukan perhitungan biaya Time Charter Hire,Voyage Cost, Cargo Handling Cost pada pengiriman limbah jika menggunakan KM. Hongseng 7 didapatkan hasil total biaya Rp. 151,789,968,526 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 148,667 /ton yang dapat dilihat pada Tabel 12.

E. *Perhitungan Unit Biaya Truk Pelabuhan – PT. PPLi*

Limbah yang telah diangkut menggunakan kapal masih harus dibawa kemabli dengan truk karena pengangkutan dengan kapal hanya akan membawa limbah tersebut menuju ke Pelabuhan terdekat dengan tempat pengelolaan limbah yaitu Pelabuhan Tanjung Priuk, Jakarta. Berikut adalah perhitungan biaya truk untuk rute Pelabuhan Tanjung Priuk – PT. PPLi Cielungsi Bogor:

Setelah melakukan perhitungan biaya operasional, perjalanan, dan kapital didapatkan hasil total biaya truk pengangkut limbah dari Pelabuhan Tanjung Priuk – PT. PPLi Cileungsi Bogor sebesar Rp. 80,980,445,000 /tahun dan didapat unit biaya sebesar Rp. 79,317 /ton yang dimuat dalam Tabel 13.

F. *Perhitungan Unit Biaya Kapal + Truk (Opsi diusulkan)*

Setelah melakukan seluruh perhitungan biaya kapal dan truk maka total biaya dari masing-masing kapal di jumlahkan dengan total biaya truk dari Pelabuhan Tanjung Priuk Jakarta – PT. PPLi Cileungsi, Bogor didapatkan hasil seperti pada Tabel 14.

Dapat dilihat pada Tabel 14, bahwa total biaya pengiriman limbah dengan kapal lalu dilanjutkan dengan truk paling sedikit adalah pengiriman dengan KM. Ocean Going dengan Truk dari Pelabuhan Tanjung Priuk dengan seluruh total biaya sebesar Rp. 192,353,919,381 /Tahun.

Gambar 5 menunjukkan selisih dari setiap total biaya pada setiap kapal. Setelah mendapatkan seluruh total biaya pengiriman lalu menghitung unit biaya dari seluruh opsi pengiriman dengan masing – masing kapal, dan didapatkan hasil yang ditunjukkan Tabel 15.

Pada Tabel 15 dapat diketahui bahwa unit biaya terkecil adalah jika pengiriman limbah pembakaran batubara dikirim dengan KM. Ocean Going lalu dilanjutkan dengan menggunakan truk dari Pelabuhan Tanjung Priuk menuju ke tempat pengelolaan limbah PT. PPLi di Cileungsi, Bogor dengan unit biaya sebesar Rp. 267,719 /ton. Grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 6 menunjukkan selisih dari setiap unit biaya pada setiap kapal.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini didapatkan hasil: (1) Opsi pengiriman termurah adalah pengiriman limbah batubara dengan Kapal Ocean Going dengan unit biaya sebesar Rp. 267.719 /ton. (2) Opsi pengiriman termahal adalah pengiriman limbah batubara dengan Truk dengan rute tidak melewati tol dengan unit biaya sebesar Rp. 885.564 /ton. (3) Biaya pengiriman eksisting limbah yaitu dengan truk menggunakan opsi perjalanan

manapun membutuhkan biaya yang lebih besar dari pada biaya pengiriman limbah jika menggunakan kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. E. dan S. D. Mineral, "Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola," Jakarta, *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, 2021.
- [2] B. P. Statistik, *Statistik Transportasi Darat 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, ISSN: 2598-5612, 2019.
- [3] R. N. Buana, H. A. Kurniawati, and A. N. Yulianto, "Desain self-propelled barge sebagai fasilitas pengangkut block untuk galangan kapal dari Batam ke Singapura," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 216–221, Feb. 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.33223.
- [4] S. A. Marini, "Analisis Kompetisi Antar Moda Angkutan: Studi Kasus Muatan Ekspor di Lintas Pelabuhan Panjang – Pelabuhan Tanjung Priok," Departemen Teknik Transportasi Laut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [5] Paiton Energy, "About Us," Jakarta, *PT Paiton Energy*, 2023.
- [6] P. L. Negara, "Profil Perusahaan," Jakarta, *PT PLN (Persero)*, 2023.
- [7] P. P. L. Industri, "Tentang PPLI," Bogor, *PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI)*, 2023.