

# Desain Konseptual *Push Barge*: Studi Kasus Angkutan Batu Bara Sungai Mahakam

Thariqul Fahmi, Setyo Nugroho, dan Muhammad Riduwan  
Departemen Teknik Transportasi Laut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: snugroho@seatrans.its.ac.id

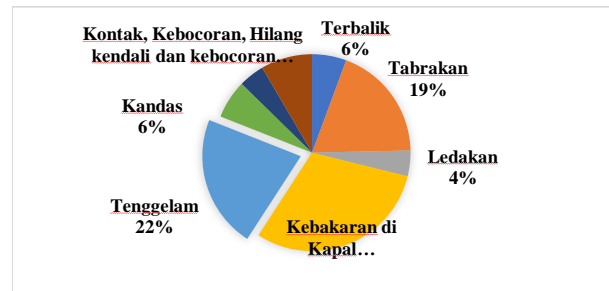
**Abstrak**— Saat ini pengiriman batu bara rata-rata masih menggunakan kapal tunda dengan menarik tongkang. Penggunaan kapal tunda jenis ini memiliki beberapa kendala diantaranya sulitnya pengoperasian kapal karena kondisi perairan di Sungai Mahakam terutama untuk daerah-daerah yang memiliki tikungan tajam dan berarus serta faktor cuaca yang menjelang akhir tahun ketinggian gelombang di laut yang tinggi yang mengakibatkan tingginya potensi kecelakaan. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan solusi mengenai kapal yang sesuai yaitu menggunakan kapal jenis Articulated Tug Barge (ATB). Kelebihan yang dimiliki kapal ATB adalah lebih mudah dalam bermanuver dan pergerakan Barge dapat lebih terkendali di daerah berarus karena Barge bergerak sesuai pergerakan Push Boat. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Berdasarkan Analisis didapatkan Pola Operasi Push Barge dari Hulu Sungai mahakam menuju Muara Berau di Hilir Sungai Mahakam dengan kebutuhan pengangkutan Batubara 1,346,219 ton/tahun didapatkan nilai unit Cost untuk tongkang 270ft senilai Rp141,251/ton. Berdasarkan Analisis kelayakan didapatkan nilai Benefit Cost Ratio (BCR) dari Pusher adalah 1.78 dan Kapal Tunda sebesar 1.79. Sehingga Dapat disimpulkan Penggunaan Pusher untuk angkutan Batubara di Sungai Mahakam tidak lebih efektif dari penggunaan Kapal Tunda yang saat ini dioperasikan di Sungai Mahakam. Terdapat alternatif lain pengangkutan batubara dengan menggunakan metode pengangkutan Missisipi Barge dengan pendorong Pusher didapatkan nilai Benefit Cost Ratio (BCR) sebesar 1.8 dengan Unit Cost Rp101,282/ton.

**Kata Kunci**— *Articulated Tug Barge* , Kecelakaan, dan Pola Operasi.

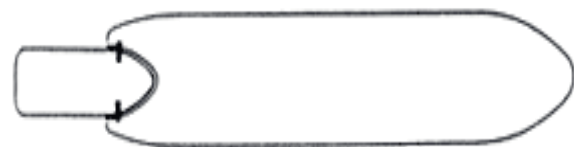
## I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN data dari BPS Kalimantan Timur menunjukkan bahwa adanya kenaikan tren produksi Batu bara di tahun 2021 mencapai 43% dari tahun 2020 [1]. Tingginya angka produksi Batu bara di Kalimantan Menunjukkan adanya kenaikan permintaan untuk komoditas baru bara. Pada tahun 2021 Produksi batu bara mencapai 294.252.801 ton. Tingginya produksi batu bara tentunya membutuhkan Moda transportasi kapal yang mampu untuk mengirimkan muatan hingga ke konsumen. Salah satu alur pelayaran yang dilewati oleh kapal pengangkut batu bara adalah alur pelayaran Sungai Mahakam. Tingginya kepadatan kapal di Alur Pelayaran Sungai Mahakam berakibat pada tingginya angka kecelakaan [2].

Data Komite Nasional Kecelakaan Transportasi menunjukkan bahwa salah satu penyebab kecelakaan kapal di Indonesia adalah tabrakan dengan persentase 19%. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih tingginya angka kecelakaan kapal di Inonesia. Sebagian besar kecelakaan kapal di Indonesia diakibatkan oleh cuaca yang buruk serta kesalahan crew kapal dalam mengoperasikan kapal. Secara lengkap, penyebab kecelakaan di Indonesia dapat dilihat pada



Gambar 1. Penyebab Kecelakaan Kapal di Indonesia.



Gambar 2. Trayek Untuk Setiap Pangkalan.

Gambar 1. Sungai Mahakam memiliki alur pelayaran dengan intensitas cukup tinggi sehingga potensi terjadinya kecelakaan cukup tinggi sehingga perlu diperhatikan adanya prosedur keselamatan di Sungai Mahakam. Saat ini pengiriman batu bara rata-rata masih menggunakan kapal tunda dengan menarik tongkang. Penggunaan kapal tunda jenis ini memiliki beberapa kendala diantaranya sulitnya pengoperasian kapal karena kondisi perairan di Sungai Mahakam terutama untuk daerah-daerah yang memiliki tikungan tajam dan berarus serta faktor cuaca yang menjelang akhir tahun ketinggian gelombang di laut yang tinggi. Oleh karena itu, Dengan Keadaan tersebut diperlukan adanya Desain Konseptual Push Barge: Studi Kasus Angkutan Batu bara Sungai Mahakam Hasil penelitian diharapkan dapat menjawab permasalahan terkait dengan keselamatan pelayaran di Sungai Mahakam, serta pola operasi Articulated Tug Barge (ATB) yang optimum dan dapat diterapkan di Sungai Mahakam.

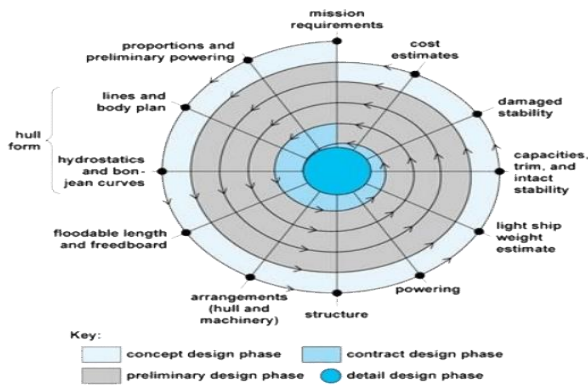
## II. STUDI LITERATUR

### A. Articulated Tug Barge (ATB)

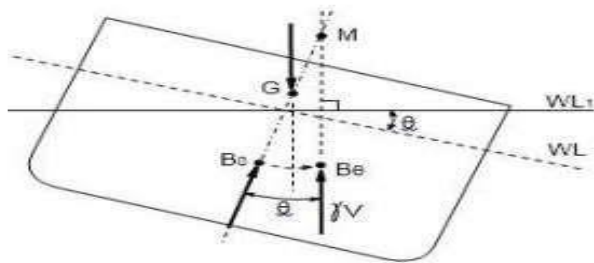
ATB merupakan Kapal tunda terhubung ke tongkang melalui sistem koneksi yang memungkinkan gerakan relatif antara keduanya. Ilustrasi dari ATB dengan sistem dua sambungan (*Articuple*) ditunjukkan oleh Gambar 2.

Berdasarkan sisi ekonomi keunggulan ATB dari kapal lain yang banyak dioperasikan di sungai ataupun di laut adalah [3]:

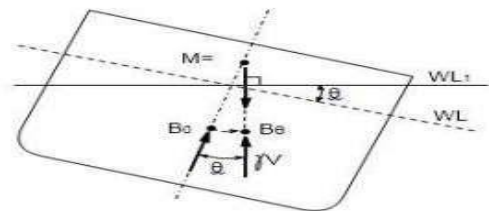
- Pengurangan Biaya Modal
- Mengurangi Ukuran Kru dan Budaya yang Lebih Fleksibel
- Perbaikan di Pekarangan yang Lebih Kecil dan Lebih Murah
- Drydocking Lebih Mudah



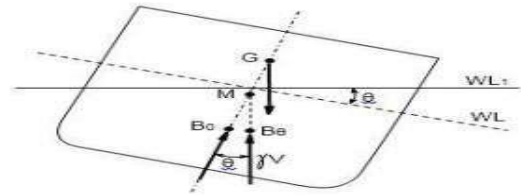
Gambar 3. Spiral Design.



Gambar 4. Stabilitas Positif.



Gambar 5. Stabilitas Netral.



Gambar 6. Stabilitas Negatif.



Gambar 7. Self Unloader Barge yang pernah beroperasi di Sungai Mahakam.

- e. Pusher dapat tetap digunakan untuk mendorong tongkang lain ketika tongkang utama sedang dalam docking
- f. Pengurangan Biaya Pelabuhan
- g. Jumlah Assist Tugs Lebih Sedikit
- h. Draft Umumnya Lebih Ringan dan Akses ke Pelabuhan Lebih Kecil
- i. Peningkatan Biaya Bahan Bakar pada Kecepatan Lebih Tinggi
- j. Turunnya Asuransi Akibat Turunnya Kecelakaan Awak Kapal
- k. Biaya modal yang cukup besar

**B. Biaya Transportasi Laut**

Biaya transportasi laut merupakan penjumlahan dari *capital cost*, *operating cost*, dan *voyage cost*. *Capital Cost* merupakan biaya yang diberikan untuk membeli kapal Pusher dan tongkang. *Operating Cost* merupakan biaya yang terdiri dari:

$$OC = M + ST + MN + I + AD \quad (1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- OC : *Operational Cost* [Rp]
- M : *Manning Cost* [Rp]
- ST : *Store, Supplies and Lubricating Oils* [Rp]
- MN : *Maintenance and Repair Cost* [Rp]
- I : *Insurance* [Rp]
- AD : *Administration Cost* [Rp]

*Voyage cost* terdiri dari biaya bahan bakar, biaya bongkar muat, dan biaya pengolongan dengan model sebagai berikut [4]:

$$VC = FC + PC + PE \quad (2)$$

Keterangan:

- VC : *Voyage Cost* [Rp]
- FC : *Fuel Cost* [Rp]
- PC : *Port Charge* [Rp]
- PE : *Pilotage and Assist Charge* [Rp]

**C. Benefit Cost Ratio**

*Benefit cost ratio* (BCR) membandingkan nilai sekarang dari semua manfaat dengan biaya dan investasi proyek atau investasi. Semakin rendah BCR, semakin tinggi kelebihan biaya yang didiskontokan dibandingkan dengan manfaat yang didiskontokan. BCR digunakan untuk membandingkan 8 skenario yang dirancang. Skenario dengan BCR tertinggi dipilih untuk digunakan dalam pengoperasian angkutan batu bara di Sungai Mahakam.

**D. Analisis Sensitivitas**

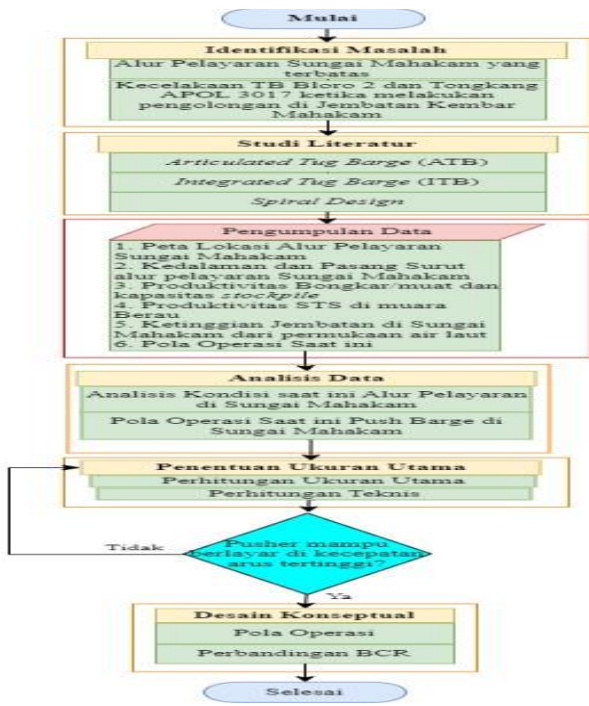
Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan pada solusi optimal suatu persoalan program linear karena adanya perubahan diskrit parameter untuk melihat berapa besar perubahan dapat ditolerir sebelum solusi optimal mulai kehilangan optimalitasnya. Analisis digunakan untuk mengetahui kemungkinan pengangkutan batubara yang lebih optimal pada volume muatan tertentu.

**E. Simulasi Monte Carlo**

Ide dasar dari simulasi Monte Carlo adalah melakukan eksperimen berulang kali dengan menghasilkan sejumlah besar angka acak, yang kemudian digunakan untuk menghitung probabilitas atau mendapatkan perkiraan nilai dari suatu variabel atau sistem kompleks [5]. Monte Carlo digunakan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kecelakaan kapal tunda yang beroperasi di alur pelayaran Sungai Mahakam.

**F. Spiral Design**

Proses membuat desain sebuah kapal adalah proses yang berulang-ulang, dimana harus melewati setiap tahapan-tahapan yang harus dipenuhi guna mendapatkan desain kapal yang baik dan optimal. Diagram *spiral design* ditunjukkan oleh Gambar 3 [6].



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian.

Desain spiral membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan, yaitu *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design*. Pada umumnya proses desain dan pembangunan kapal menggunakan metode spiral desain, atau inovasi terhadap sebuah desain kapal yang sudah ada sebelumnya, dengan melakukan rekayasa desain untuk mendapatkan desain yang lebih optimal.

G. Teknis Perancangan Kapal

Dalam proses perancangan kapal terdapat langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran utama kapal yang dirancang berdasarkan kapal-kapal pembanding. Langkah-langkah ini berlaku pada umumnya untuk berbagai tipe kapal. Ukuran utama yang dicari harus sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan. Sebagai langkah awal, dicari berbagai variasi tonase kapal tunda berdasarkan ukuran serta kapasitas tongkang yang akan didorong. Adapun ukuran-ukuran yang perlu diperhatikan sebagai kapal pembanding adalah:

1) *Lpp (Length Between Perpendicular)*

Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*).

2) *LOA (Length Overall)*

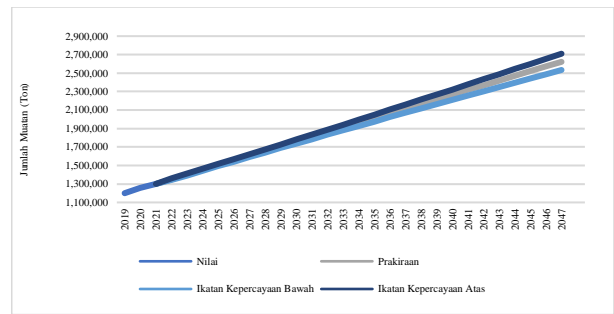
Panjang seluruhnya yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal.

3) *Bm (Moulded Breadth)*

Lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja. Untuk kapal yang terbuat dari kayu atau bukan logam lainnya, diukur antara dua sisi terluar kulit kapal.

4) *H (Height)*

Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai titik atas balok geladak sisi kapal.



Gambar 9. Proyeksi PDRB Samarinda.



Gambar 10. Gambaran Pola Operasi Kapal Tunda.

5) *T (Draught)*

Jarak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

*Articulated Tug Barge* merupakan kapal baja, oleh karena itu pada tahap ini perhitungan berat baja kapal dilakukan dengan rumus dari buku *Practical Ship Design* oleh Watson (1998) [7]. Selain menghitung berat baja kapal kosong, juga dilakukan perhitungan berat perlengkapan, berat permesinan serta berat cadangan. Adapun rumus dasar perhitungan ini adalah [8]:

$$W_{si} = K \cdot E \cdot 1.36 \tag{3}$$

$$E = L(B + T) + 0.85 L(D - T) + 0.85 \{ (l1 \cdot h1) + 0.75(l2 \cdot h2) \} \tag{4}$$

Dimana:

K: koefisien faktor Untuk Tug boat K: 0.044 ±0.002

Perhitungan berat perlengkapan:

$$W_o = C_o \times L \times B \tag{5}$$

Dimana:

C<sub>o</sub>: outfit weigh coefficient

Berat cadangan (W<sub>res</sub>):

$$W_{res} = (7 - 10)\% \times LWT \tag{6}$$

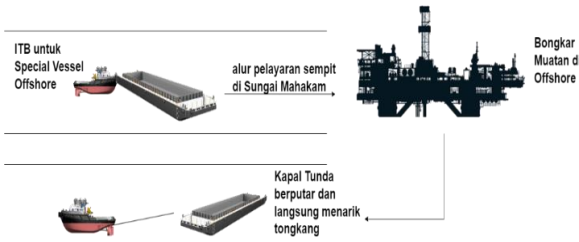
Berat kapal terdiri dua komponen yaitu LWT (*light weight tonnage*) dan DWT (*dead weight tonnage*) komponen DWT kapal meliputi berat bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, berat kru, penumpang serta barang bawaannya, dan berat provision. Sedang untuk LWT kapal memiliki komponen yang meliputi berat kapal kosong, berat dan instalasi perlengkapan, dan berat permesinan.

Untuk *Integrated Tug Barge* nilai hambatan kapan tunda ditambahkan dengan nilai hambatan dari tongkang. Hal ini untuk memastikan pemilihan mesin yang tepat Berikut merupakan perhitungan hambatan dengan metode *holtrop*:

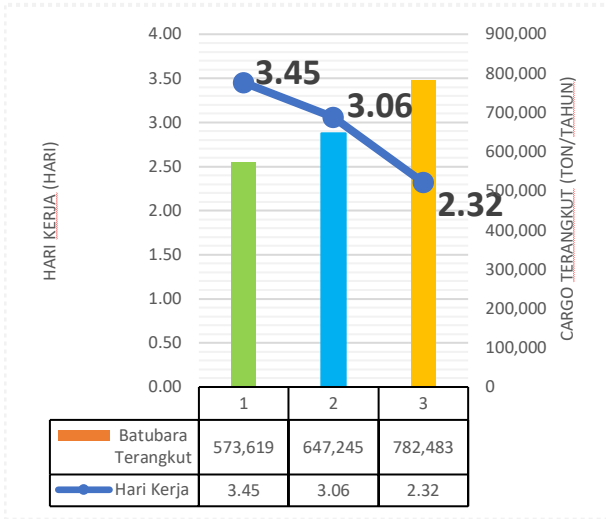
$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Stot \cdot (CF(1 + k) + CA) + (Rw/W) \cdot W \tag{7}$$

Dimana:

R<sub>t</sub> : Hambaran Total



Gambar 11. Gambaran Pola Operasi Pusher di Sungai Mahakam.



Gambar 12.4 Perbandingan Waktu Operasional.

- P : Massa jenis air laut = 1.025 ton/m<sup>3</sup>
- S<sub>tot</sub> : Srudder + Sbilgakeel
- C<sub>f</sub> : Koefisien Gesek
- C<sub>a</sub> : Hambaran Sisa

Dengan mengetahui hambatan yang dialami kapal dan juga efisiensi dari propeller yang direncanakan maka dapat dihitung daya mesin yang dibutuhkan.

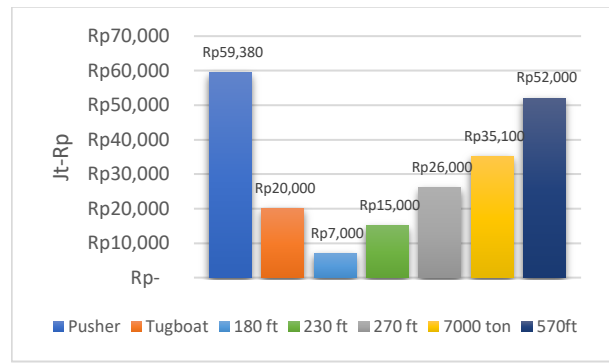
$$PB = BHP = PD / \eta_s \cdot \eta_{rg} \quad (8)$$

Keterangan:

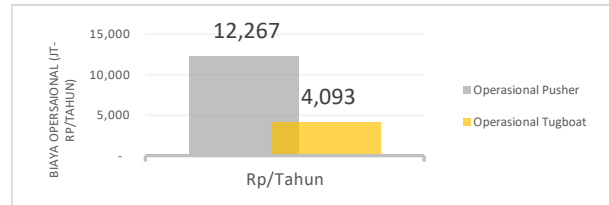
- P<sub>b</sub> : Daya Mesin (HP)
- H<sub>s</sub> : Daya yang terukur hingga daerah didepan bantalan tabung poros (HP)
- H<sub>rg</sub> : Koenfisien Gear.

Ilustrasi ketika kapal dalam kondisi Stabilitas Positif dengan kondisi kemiringan tertentu ditunjukkan oleh Gambar 4 [9]. Stabilitas Positif adalah Suatu keadaan dimana titik G berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu menyenget mesti memiliki kemampuan untuk menegak kembali atau disebut stabilitas positif.

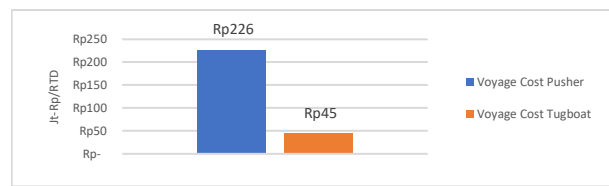
Ilustrasi ketika kapal dalam kondisi Stabilitas Netral dengan kondisi kemiringan tertentu dapat dilihat pada Gambar 5. Suatu keadaan stabilitas dimana titik G berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu menyenget. Dengan kata lain bila kapal senget tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut senget yang sama. Ilustrasi ketika kapal dalam kondisi Stabilitas Negatif ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 13. Perbandingan Biaya Beli Kapal.



Gambar 14.5 Perbandingan Biaya Operasional.



Gambar 15. Perbandingan Biaya Pelayaran.

### H. Self Unloader Barge

Self Unloader Barge adalah salah satu jenis tongkang yang memiliki sistem pembongkaran muatan sendiri. Self Unloader Barge memiliki produktivitas hingga 2000 ton/jam. Visualisasi Self Unloader Barge ada pada Gambar 7. Kelebihan dari Self Unloader Barge diantaranya: cepat, efisien, serbaguna, hemat biaya, dan mengurangi Jejak Lingkungan. Self-Unloader Barge menjadi opsi dalam skenario pengangkutan batu bara di Sungai Mahakam.

## III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode desain konseptual dan komparasi. Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan oleh Gambar 8.

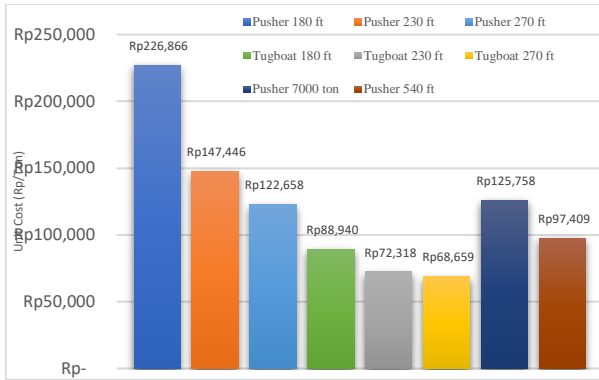
### A. Tahap Pendahuluan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi mengenai permasalahan yang diangkat dalam Tugas akhir ini. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai desain konseptual dan pola operasi Push Barge. Permasalahan yang terjadi adalah terjadinya kecelakaan kapal akibat manuver kapal Towing Barge yang dinilai kurang baik menghadapi arus yang cukup kuat.

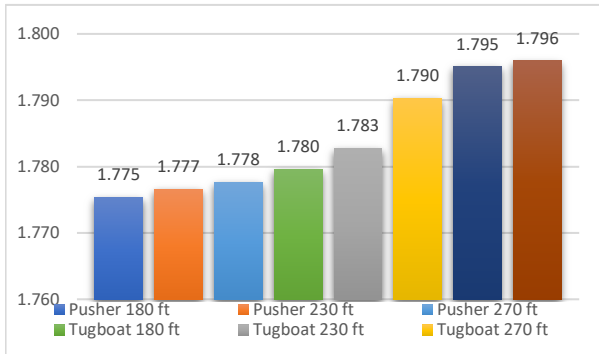
### B. Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur. Pengkajian landasan teori sebagai acuan untuk melakukan penelitian baik observasi, perhitungan, maupun analisis yang lain. Studi Literatur yang dilakukan yaitu berkaitan dengan pengerjaan penelitian.





Gambar 16. Perbandingan *Unit Cost*.



Gambar 17. Perbandingan BCR.

C. Analisis Kondisi Saat Ini

Analisis Kondisi Saat ini di Alur Pelayaran Sungai Mahakam untuk mendapatkan data terkait alur pelayaran dan lokasi kolam labuh di Sungai Mahakam terbaru serta dilakukan analisis terkait penerapan *Push Barge* di Sungai Mahakam.

D. Desain Konseptual

Setelah mengetahui ukuran utama serta nilai perhitungan Pusher maka dapat melakukan proses desain rencana garis kapal serta rencana umum. Desain rencana garis kapal untuk mengetahui karakteristik bagian kapal yang tercelup air dan desain rencana umum untuk mengetahui gambaran detail ruang yang terdapat di Pusher.

E. Pola Operasi

Salah satu keunggulan Pusher adalah dapat mendorong banyak jenis tongkang mendukung Articouple di tongkang tersebut sehingga memungkinkan satu Pusher dapat mengoperasikan lebih dari satu tongkang. Komponen utama dalam pengerjaan pola operasi adalah waktu kapal berlayar dan sandar untuk muat atau bongkar dan komponen biaya yang berupa *capital cost*, *operating cost* dan *voyage cost*.

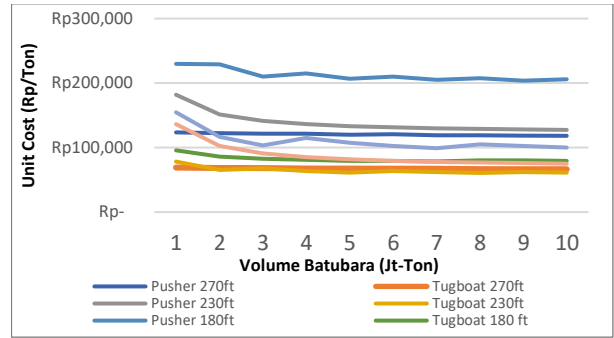
F. Perbandingan BCR

Berdasarkan perhitungan maka dapat ditentukan nilai dari BCR setiap skenario. BCR tertinggi merupakan pilihan skenario terbaik yang dipilih.

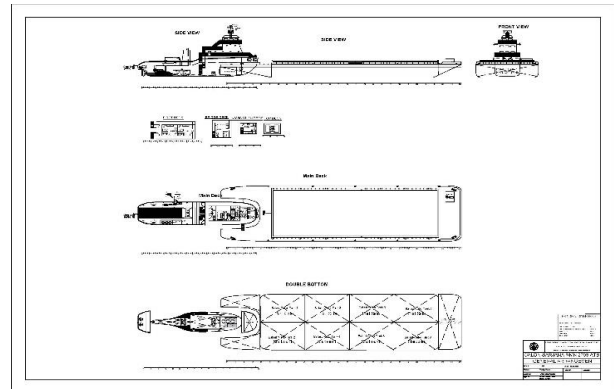
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kondisi Ekonomi dan Kunjungan Kapal

Gambar 9 merupakan proyeksi muatan Batu bara Kota Samarinda yang dilakukan berdasarkan pertumbuhan PDRB dengan kondisi Optimis, Pesimis, dan Moderat [10]. Data produksi batu bara pada tahun 2019 mencapai 32,000,000



Gambar 18. Analisis Sensitivitas.



Gambar 19.6 General Arrangement.

ton, Pada tahun 2020 produksi batu bara mencapai 30,200,000 ton dan pada tahun 2021 Produksi batu bara mencapai 38,900,000 ton. Nilai regresi didapatkan dengan membandingkan jumlah produksi batu bara dengan PDRB Kota Samarinda sehingga didapatkan persamaan  $y=mx+c$  untuk mengetahui perkiraan pertumbuhan produksi batu bara di Samarinda.

B. Pola Operasi Saat Ini

Gambaran pola operasi kapal Tunda yang saat ini beroperasi di Sugai Mahakam ditunjukkan oleh Gambar 10. *Towing* adalah metode yang digunakan untuk menarik tongkang dengan menggunakan tali *Towing* untuk membawa tongkang dari pelabuhan asal menuju pelabuhan tujuan. Di Sungai Mahakam Penggunaan sistem *Towing* adalah penggunaan yang paling umum digunakan. Berikut merupakan gambaran pola operasi angkutan batu bara Tugboat dengan tongkang menggunakan sistem *Towing* [11].

Kapal tongkang awalnya dilakukan pemuatan muatan batu bara di *jetty* menggunakan *conveyor* hingga penuh. Selanjutnya Tugboat mempersiapkan tali untuk nantinya di sambungkan dari tongkang ke *Tugboat*. *Tugboat* dan tongkang akan berlayar melewati alur pelayaran sungai mahakam hingga muara berau. Muara Berau merupakan batas kapal Kapal Curah Kering dapat sandar menunggu *Tug Boat* dan Tongkang. Selanjutnya, dilakukan proses pemindahan muatan *Ship to Ship transfer* batu bara dari tongkang ke Kapal Curah Kering. Selanjutnya, *Tugboat* dan tongkang kembali ke pelabuhan muat untuk memuat kembali muatan dengan muatan kosong menuju hulu.

*Pusher* pernah dioperasikan di alur pelayaran Sungai Mahakam untuk kepentingan *offshore* di Mahakam Ulu Energi. Gambaran pola operasi Kapal *Pusher* yang pernah beroperasi di Sungai Mahakam ditunjukkan oleh Gambar 11.

Sampai saat ini *Push Barge* belum pernah diaplikasikan di Sungai Mahakam untuk angkutan batu bara. Penggunaan

Tabel 1.  
Tabel Penjadwalan

Hari ke-	Tanggal	B1	B2	B3
0.0	1/1/2022			
0.1	1/1/2022	12,000.0	-	-
0.2	1/1/2022	-	-	-
0.3	1/1/2022	-	-	-
0.4	1/1/2022	-	-	-
0.5	1/1/2022	-	-	-
0.6	1/1/2022	-	-	-
0.7	1/1/2022	-	-	-
0.8	1/1/2022	-	-	-
0.9	1/1/2022	-	-	-
1.0	1/1/2022	-	-	-
1.1	1/2/2022	-	-	-
1.2	1/2/2022	-	-	-
1.3	1/2/2022	-	-	-
1.4	1/2/2022	-	-	-
1.5	1/2/2022	-	-	-
1.6	1/2/2022	-	-	-
1.7	1/2/2022	-	-	-
1.8	1/2/2022	-	-	-
1.9	1/2/2022	-	-	-
2.0	1/3/2022	-	12,000.0	-
...	...	...	...	...
365.0	31/12/2022	-	-	26,510.0

*Push Barge* pernah dilakukan pada kegiatan pengeboran minyak dan gas lepas pantai. Berikut merupakan Gambaran pola operasi *Push Barge* yang pernah di terapkan untuk kegiatan pengeboran minyak dan gas di lepas pantai melewati alur pelayaran sempit di Sungai Mahakam [12].

*Pusher* dimodifikasi untuk dapat melakukan *Towing* ehingga *Pusher* dapat berperan ganda dalam mendorong atau menarik tongkang. Ketika *Pusher* mendorong tongkang membawa muatan untuk kegiatan *offshore* hingga sampai ke tujuan di *Offshore* Maka *Pusher* berputar balik dan tali *Towing* digunakan untuk mengaitkan ke tongkang sehingga tongkang yang sebelumnya di dorong menjadi berbalik di tarik menuju *shorebase* ke pelabuhan awal.

C. Waktu Operasi Kapal

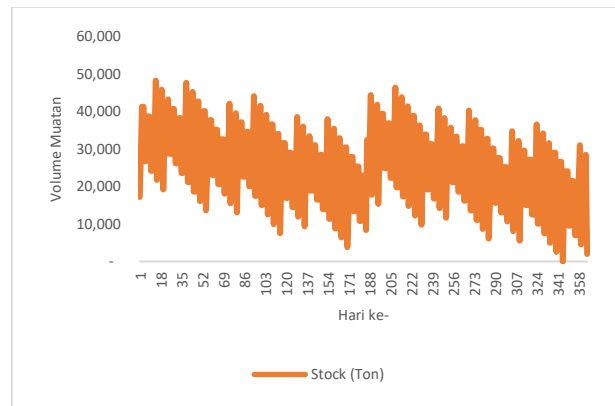
Kapal *Pusher* dan *Tugboat* yang beroperasi di Sungai Mahakam tidak berlayar lebih dari 4 knot dikarenakan keterbatasan alur dan rawan terjadinya kecelakaan. Salah satu hal yang mempengaruhi *sea time* adalah lamanya waktu tunggu kapal ketika akan melakukan pengolongan dengan waktu tunggu mencapai 6 jam. Hasil perhitungan dari waktu operasi kapal dapat dilihat pada Gambar 12.

Terdapat perbedaan waktu operasional dari setiap tongkang. Hal tersebut diakibatkan dari perbedaan kapasitas angkut dari tongkang tersebut serta perbedaan dalam waktu bongkar muat dengan menggunakan *crane* kapal, *belt conveyor*, serta *self unloader*. Waktu operasional kapal mempengaruhi bagaimana tongkang tersebut dapat membawa muatan dalam waktu satu tahun. Waktu Operasional kapal mempengaruhi biaya yang akan dibebankan dan tarif *unit Cost* dalam satuan ton.

D. Skenario Angkutan Batu bara

Skenario pengangkutan Batu bara melalui beberapa tahapan Jenis tongkang dengan opsi *Pusher* ataupun Kapal Tunda. Beberapa Jenis Jenis Tongkang yang digunakan diantaranya dimuat dalam Gambar 13.

Semakin besar kapasitas angkut tongkang maka, semakin besar biaya yang harus dikeluarkan. Begitu juga dengan *Pusher* yang memiliki harga beli tiga kali lipat lebih tinggi



Gambar 207. Stok batubara berdasarkan penjadwalan hingga 1 tahun.

dari kapal Tunda karena daya mesin dan ukuran utama relatif lebih besar.

E. Hasil Perhitungan Biaya

Hasil perhitungan Biaya Operasional untuk *Pusher* dan Kapal Tunda ditunjukkan oleh Gambar 14. Berdasarkan perhitungan Biaya Operasional yang dibutuhkan *Pusher* adalah Rp12,266,865,843/Tahun dan *Tugboat* sebesar Rp4,093,147,981/Tahun. Perbedaan Biaya Operasional dipengaruhi oleh besarnya biaya pembelian kapal yang berbeda. Selain itu, terdapat biaya pelayaran yang menjadi komparasi dalam perbandingan biaya pelayaran seperti yang ditunjukkan Gambar 15.

Kecepatan kapal di Sungai Mahakam maksimal adalah 4 knot. Penggunaan mesin kapal *Pusher* ataupun *Tugboat* tidak dioperasikan secara maksimal sehingga penggunaan daya mesin juga turun. Hal tersebut mengakibatkan biaya bahan bakar yang lebih murah dibandingkan dengan biaya bahan bakar di laut lepas. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa Biaya Pelayaran *Pusher* lebih mahal dibandingkan dengan *Tugboat* dikarenakan Perbedaan Daya Mesin antara *Pusher* dan *Tugboat*. Hasil akhir dari perhitungan biaya transportasi laut adalah mengetahui *Unit Cost* dari setiap ton angkutan batu bara yang diangkut di setiap skenario. Perbandingan *Unit Cost* di setiap skenario dimuat dalam Gambar 16.

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai *Unit Cost* tertingi adalah *Pusher* dengan kombinasi Tongkang 180ft sebesar Rp 226,866/ton. Dan *Unit Cost* terendah didapatkan dengan pengoperasian *Tugboat* dengan kombinasi tongkang 270ft sebesar Rp 68,591/ton. Nilai *Unit Cost* dipengaruhi oleh total biaya yang dibutuhkan dan volume batubara yang diangkut. Salah satu unsur pembeda dari keseluruhan skenario adalah penggunaan jumlah tongkang dikarenakan kebutuhan pengangkutan yang tidak dapat diangkut hanya dengan satu tongkang.

F. Analisis Kelayakan Investasi

Hasil perhitungan biaya dilakukan proyeksi hingga umur ekonomis kapal di tahun ke 30. Berikut merupakan Grafik proyeksi kelayakan skenario penggunaan *Pusher*, *Tongkang*, *Self Unloading Barge*, dan *Mississippi Barge*. Gambar 17 merupakan grafik hasil analisis kelayakan menggunakan metode *Benefit Cost Ratio (BCR)*.

Berdasarkan Gambar Diatas didapatkan bahwa penggunaan *Tugboat* memiliki nilai yang lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan *Pusher*. Untuk tongkang

dengan ukuran 270ft *Tugboat* memiliki nilai BCR sebesar 1.79 dan *Pusher* memiliki nilai sebesar 1.77. Sehingga penggunaan *Tugboat* dikatakan lebih layak dibandingkan dengan penggunaan *Pusher*.

Alternatif lain yang ditawarkan adalah penggunaan *Self Unloading Barge* dan *Mississippi Barge*. Untuk pengangkutan demand yang sama didapatkan nilai BCR dari *Self Unloading Barge* adalah 1.795 dan untuk *Mississippi Barge* adalah 1.796. Penggunaan *Mississippi Barge* lebih efisien karena dalam sekali berlayar *Mississippi Barge* dapat membawa hingga 2 tongkang berukuran 270ft sekaligus. Sehingga dengan tidak efisiensinya *Pusher* dalam pengoperasian di Sungai Mahakam dapat ditawarkan alternatif lain yaitu penggunaan *Mississippi Barge*.

#### G. Analisis Sensitivitas

Hasil analisis sensitivitas yang dilakukan dalam mengetahui akibat dari perubahan parameter-parameter pengangkutan batubara terhadap perubahan nilai dari *Unit Cost* ditunjukkan oleh Gambar 18.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas *Pusher* dengan parameter nilai satuan Rp122,658/ton didapatkan hasil bahwa, semakin besar batubara yang diangkut maka, semakin murah dari nilai *unit Cost* yang diberikan. Berdasarkan Hasil analisis Sensitivitas kapal tunda dengan parameter nilai satuan Rp68,591/ton didapatkan hasil bahwa, semakin besar batubara yang diangkut maka, semakin murah dari nilai *unit Cost* yang diberikan. *Unit Cost* Tertinggi didapat dari Penggunaan *Pusher* 180ft dan *Unit Cost* terendah didapatkan dari penggunaan *Tugboat* dengan kombinasi tongkang 230 ft.

#### H. Desain Konseptual

Berikut merupakan *General Arrangement* berdasarkan hasil perhitungan dengan ukuran utam, yaitu: (a) LOA = 41.22 m, (b) LPP = 38.89 m, (c) B = 8.78 m, (d) H = 4.22 m, (d) T = 3.65 m. Visualisasi dari *General Arrangement* ditunjukkan oleh Gambar 19.

#### I. Penjadwalan

Penjadwalan yang dipilih yaitu Penjadwalan Kapal *Pusher* dengan Kombinasi *Mississippi Barge* 540ft. Kombinasi *Mississippi Barge* dipilih karena memiliki nilai *Benefit Cost Ratio* tertinggi sebesar 1.796. Penjadwalan didasarkan pada pengangkutan batubara tertinggi di tahun ke-30 sebesar 1,935,223 ton. Tabel 1 merupakan contoh penjadwalan yang dilakukan.

Penjadwalan kapal didasarkan pada RTD *Pusher* dengan kombinasi tongkang. Berdasarkan penjadwalan tersebut maka, didapatkan arus stok sebagai berikut yang ditunjukkan Gambar 20.

### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Saat ini *Push Barge* belum pernah diterapkan di Sungai Mahakam dan masih menggunakan Kapal Tunda dan Tongkang. Berdasarkan Hasil perhitungan dengan kebutuhan pengangkutan Batubara 1,346,219 ton/tahun didapatkan *Unit Cost* dari kapal tunda dan Tongkang 270ft adalah Rp70,992.56/ton. (2) Berikut

merupakan Ukuran Utama *Pusher* yang telah di Desain berdasarkan kondisi Alur Pelayaran Sungai Mahakam: (a) LOA = 41.22 m, (b) LPP = 38.89 m, (c) B = 8.78 m, (d) H = 4.22 m, (e) T = 3.65 m. (3) Pola Operasi Push Barge dari Hulu Sungai mahakam menuju Muara Berau di Hilir Sungai Mahakam dengan kebutuhan pengangkutan Batubara 1,346,219 ton/tahun didapatkan nilai *unit Cost* untuk tongkang 270ft senilai Rp141,251.44/ton. Berdasarkan Analisis kelayakan didapatkan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) dari *Pusher* adalah 1.78 dan Kapal Tunda sebesar 1.79. Sehingga Dapat disimpulkan Penggunaan *Pusher* untuk angkutan Batubara di Sungai Mahakam tidak lebih efektif dari penggunaan Kapal Tunda yang saat ini dioperasikan di Sungai Mahakam. Terdapat alternatif lain pengangkutan batubara dengan menggunakan metode pengangkutan *Mississippi Barge* dengan pendorong *Pusher* didapatkan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 1.8 dengan *Unit Cost* Rp101,282.72/ton.

### VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak KSOP Samarinda atas bantuan dan masukan yang membangun selama penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur, "Produksi Batubara (Ton)," Kalimantan Timur: *Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur*, 2021.
- [2] K. Diwakarra, "Desain Konseptual Advanced Tug Barge untuk Angkutan Batubara," Departemen Teknik Transportasi Laut, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [3] R. P. Hill, "The ATB – A viable transportation solution," *J. Ocean Tug Barge Eng.*, pp. 188–199, 2018.
- [4] Y. Andrianto, A. Wicaksono, and M. R. Anwar, "Analisis Kinerja Pelayanan Pemanduan Kapal terhadap Waktu Tunggu (Waiting Time) di Pelabuhan Tanjung Perak," in *Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia*, Malang, 2016, pp. 50–59.
- [5] J. Banks, J. S. C. II, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*, 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall, ISBN: 0-13-215582-6, 1984.
- [6] International Group of Authorities, *Ship Design and Construction*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, ISBN: 0-939773-40-6, 2003.
- [7] D. G. M. Watson, *Practical Ship Design*, 1st ed. London: Elsevier Science, ISBN: 9780080440545, 1998.
- [8] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, ISBN: . 0-939773-02-3, 1989.
- [9] M. G. Parsons, "Parametric Design," in *Ship Design and Construction*, T. Lamb, Ed. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, ISBN: 0-939773-40-6, 2003.
- [10] S. Anggrian, "Proses Pengolongan Kapal pada Pelayaran Tugboat di Alur Sungai Mahakam," Program Studi D-IV Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Semarang, 2020.
- [11] Z. Miftach and P. Pasek, "Analisis biaya pelabuhan dan biaya bongkar muat terhadap pendapatan PT. Abdi Nusantara Indonesia Line cabang Gresik," *J. Apl. Pelayaran dan Kepelabuhanan*, vol. 9, no. 1, pp. 53–62, Sep. 2018, doi: 10.30649/japk.v9i1.42.
- [12] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 175 Tahun 2022 Tentang Penetapan Alur Pelayaran, Sistem Rute, Tata Cara Berlalu Lintas Dan Daerah Labuh Kapal Sesuai dengan Kepentingannya di Alurpelayaran Masuk Pelabuhan Makassar Provinsi Sulawesi Selatan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2022.