

Desain *Catamaran Trash Skimmer Boat* dengan Sistem Propulsi Elektrik untuk Mengatasi Pencemaran di Sungai Musi Sumatera Selatan

Bella Rosanti Kusumawardani dan Hesty Anita Kurniawati
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: tita@na.its.ac.id

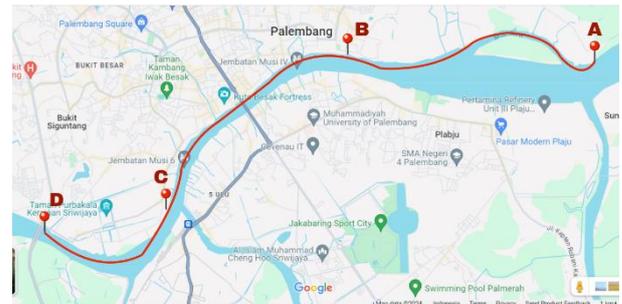
Abstrak—Sungai Musi, sebagai aset penting dan sumber kehidupan masyarakat Palembang, Sumatera Selatan, mengalami ancaman serius akibat pencemaran yang disebabkan oleh sampah plastik dan limbah padat. Keadaan ini tidak hanya merugikan ekosistem sungai, tetapi juga mengancam kesehatan masyarakat yang bergantung pada Sungai Musi sebagai sumber air. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis teknis mengenai desain *trash skimmer boat* sebagai solusi dalam menangani masalah pencemaran di Sungai Musi. *Skimmer boat* ini diharapkan dapat secara efektif membersihkan sungai dari sampah plastik dan mikroplastik yang merugikan ekosistem sungai dan kesehatan masyarakat. Dengan memanfaatkan propulsi elektrik, *skimmer boat* ini diharapkan dapat beroperasi secara efisien dengan dampak lingkungan yang minimal. Selain itu, pemilihan lambung katamaran menjadi pertimbangan penting karena memberikan stabilitas lebih tinggi dan geladak yang lebih luas, sehingga meningkatkan stabilitas, kemudahan pengendalian, dan efektivitas operasional. Kapal ini dilengkapi *conveyor* untuk mengumpulkan sampah yang berada di sungai serta filter untuk mengumpulkan mikroplastik. *Payload* dari desain kapal ini sebesar 12.25 ton. Berdasarkan perhitungan analisis teknis dari *trash skimmer boat* ini, diperoleh ukuran utama: Panjang (Lpp) = 11 m; Lebar (B) = 5 m; Tinggi (H) = 1.75 m; Sarat (T) = 1,2 m; dan Kecepatan (Vs) = 3.85 knot. Setelah ukuran utama ditentukan, dibuat Gambar Rencana Garis, Gambar Rencana Umum, Model 3D, dan *wiring diagram* untuk propulsi elektrik. Estimasi biaya pembangunan kapal ini adalah Rp1,298,595,936, dengan estimasi biaya operasional tahunan sebesar Rp298,307,377.

Kata Kunci—*Conveyor*, *Katamaran*, *Paddle Wheel*, *Propulsi Elektrik*, *Sungai Musi Palembang*, *Trash Skimmer*.

I. PENDAHULUAN

SUNGAI Musi di Kota Palembang, Sumatera Selatan, merupakan salah satu aset berharga dan sumber kehidupan yang krusial bagi masyarakat setempat. Kondisi Sungai Musi di Kota Palembang, Sumatera Selatan, menjadi perhatian serius karena terus mengalami pencemaran yang mengancam keberlangsungan lingkungan dan kesehatan masyarakat setempat. Salah satu penyebab utama masalah ini adalah akumulasi sampah plastik yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan perkotaan dan aktivitas industri yang pesat di sekitar Sungai Musi.

Dampak dari pencemaran Sungai Musi tidak hanya terbatas pada kerusakan ekosistem sungai itu sendiri, tetapi juga merugikan kesehatan masyarakat yang bergantung pada air sungai sebagai sumber air sehari-hari. Meskipun telah ada upaya-upaya pemulihan sungai, seperti program pembersihan rutin yang dilakukan, tetapi tantangan utama tetap ada pada kurangnya teknologi yang efektif untuk membersihkan sampah secara menyeluruh di Sungai Musi.



Gambar 1. Rute daerah pelayaran.

Skimmer boat yang akan dirancang diharapkan dapat menjadi solusi efektif untuk membersihkan Sungai Musi dari berbagai jenis pencemaran. Dengan memilih propulsi elektrik, *skimmer boat* tidak hanya dapat beroperasi secara lebih bersih dan ramah lingkungan, tetapi juga mengurangi dampak pencemaran udara yang sering terkait dengan mesin konvensional. Dengan demikian, *skimmer boat* ini tidak hanya menjadi solusi yang efektif dalam menanggulangi pencemaran sungai, tetapi juga mencerminkan komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan dan memberikan kontribusi positif terhadap kehidupan masyarakat lokal.

II. STUDI LITERATUR

A. Proses Desain

Dalam merancang kapal, kita harus melewati proses yang berulang-ulang. Pertama, kita harus memahami apa yang diminta, batasan-batasannya, dan menganalisis semua data yang ada berulang-ulang agar hasilnya dapat maksimal. Proses ini dikenal sebagai desain spiral, yang terbagi menjadi empat tahap, yaitu *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* [1].

B. Daerah Pelayaran

Adapun daerah operasional dari *skimmer boat* ini akan difokuskan di aliran Sungai Musi yang melintasi Kota Palembang. Rute pelayaran dari *skimmer boat* ditunjukkan pada Gambar 1 dengan rute Titik A Dermaga Sei Lais – Titik B Dermaga Boom Baru – Titik C Dermaga Tangga Buntung – Titik D Jembatan Musi II. Jarak rute pelayaran untuk *skimmer boat* ini adalah sejauh 15.54 km. Pemilihan titik operasional ini ditentukan dengan pertimbangan kapal dapat melakukan akses *loading* dan *unloading* hasil operasional pada titik-titik tersebut.

C. *Skimmer Boat*

Skimmer boat merupakan kapal kerja yang digunakan untuk mengumpulkan dan membuang material limbah padat

Tabel 1.
Agenda Operasi Harian

No.	Agenda	Durasi	Waktu	
1	Rute 1 (Titik A - Titik B)			
	Berangkat + <i>Skimming</i>	56 Menit	08.30-09.26	WIB
	Unloading	10 Menit	09.26-09.36	WIB
	Rute 2 (Titik B - Titik C)			
	Berangkat + <i>Skimming</i>	44 Menit	09.36-10.20	WIB
	Unloading	10 Menit	10.20-10.30	WIB
	Rute 3 (Titik C - Titik D)			
	<i>Skimming</i> (PP)	62 Menit	10.30-11.32	WIB
	Unloading	10 Menit	11.32-11.42	WIB
	Istirahat	78 Menit	11.42-13.00	WIB
	Rute 3 (Titik D - Titik C)			
	<i>Skimming</i> (PP)	62 Menit	13.00-14.02	WIB
Unloading	10 Menit	14.02-14.12	WIB	
Rute 2 (Titik C - Titik B)				
2	Berangkat + <i>Skimming</i>	44 Menit	14.12-14.56	WIB
	Unloading	10 Menit	14.56-15.06	WIB
	Rute 1 (Titik B - Titik A)			
	Berangkat + <i>Skimming</i>	56 Menit	15.06-16.02	WIB
Unloading	10 Menit	16.02-16.12	WIB	

Tabel 2.
Data Jumlah Sampah Harian

Data Jumlah Sampah Harian Kota Palembang	Massa	Satuan
Total Jumlah Sampah Kota Palembang	1180	Ton
Jumlah Sampah yang Terkelola	900	Ton
Jumlah Sampah yang Masuk ke Sungai Musi	90	Ton

Tabel 3.
Dimensi *Paddle Wheel*

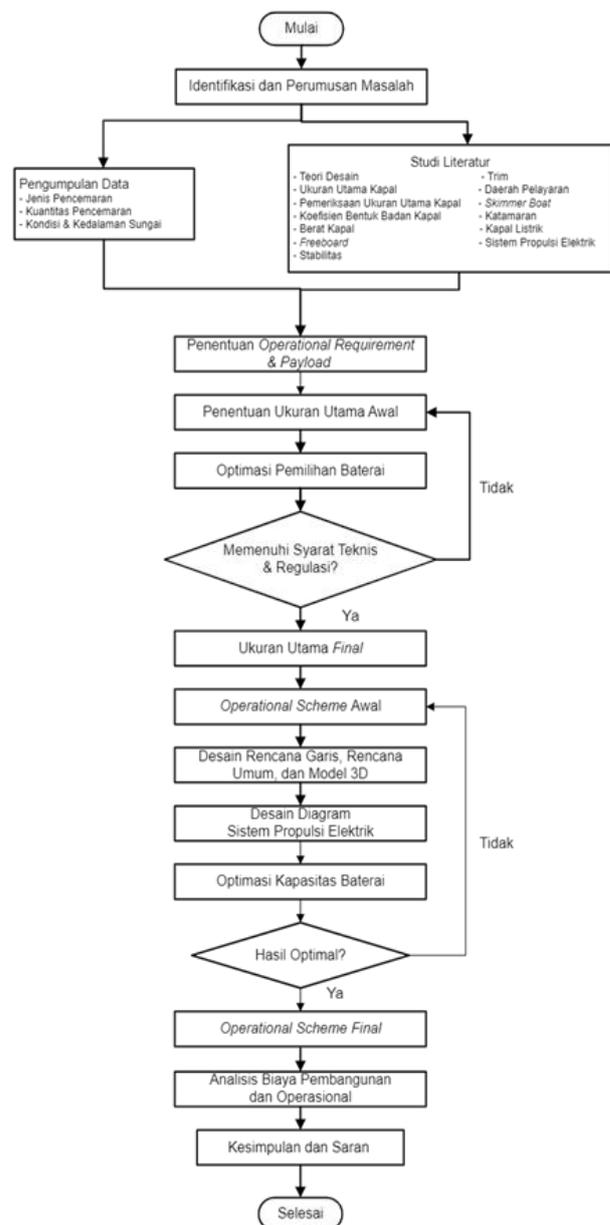
Bagian	Notasi	Ukuran	Satuan
Diameter	D	1.5	m
Jari-Jari	r	0.75	m
Lebar Blade		0.35	m
Jumlah Blade		8	
Sudut <i>Blade</i>		45°	
Kecepatan Rotasi	N	50	rpm

yang mengapung di pelabuhan dan jalur air. *Skimmer boat* dirancang untuk mudah ber-manuver, dilengkapi dengan sarana untuk mengambil sampah yang mengapung, sarana untuk menyimpan sampah di kapal, dan sarana untuk membuang sampah dari kapal ke area penyimpanan, yang dapat berada di darat atau mungkin kapal lain seperti tongkang [2]. Desain *skimmer boat* konvensional umumnya mengandalkan sistem konveyor hidrolik yang dipasang di antara ponton kapal katamaran untuk memindahkan sampah dari permukaan air ke dalam bak penampungan. Alternatif lain adalah desain *skimmer boat* tanpa konveyor yang memanfaatkan aliran air untuk mendorong sampah masuk ke dalam bak penampungan secara pasif. Desain ini menawarkan konstruksi yang lebih sederhana namun memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas pengumpulan sampah [3].

D. Katamaran

Katamaran adalah kapal dengan dua lambung yang terhubung oleh sebuah dek di tengahnya. Dibandingkan dengan kapal *monohull*, katamaran biasanya menghasilkan hambatan yang lebih kecil pada kecepatan yang sama. Semakin lebar jarak antara kedua lambungnya, semakin rendah hambatan yang dihasilkan oleh katamaran.

Dibandingkan dengan kapal *monohull*, katamaran memiliki keunggulan dalam hal efisiensi, ruang, stabilitas, dan kenyamanan berlayar. Akan tetapi, katamaran juga memiliki beberapa tantangan, seperti keterbatasan dalam hal



Gambar 2. Diagram alir metodologi penelitian.

teknologi, kompleksitas konstruksi, dan kemampuan manuver yang relatif lebih terbatas [4].

E. Propulsi Elektrik

Sistem propulsi elektrik adalah sistem di kapal yang dapat menggunakan genset atau baterai sebagai sumber tenaga, menggantikan fungsi mesin utama. Cara kerjanya melibatkan penghubungan generator ke *switchboard*, lalu energi listrik disalurkan ke *transformator* untuk diubah oleh konverter menjadi motor listrik yang memutar baling-baling kapal. Saat menggunakan genset, generator menghasilkan listrik yang melalui proses transformasi dan konversi sebelum menggerakkan motor listrik. Alternatifnya, dengan menggunakan baterai, prinsip kerjanya melibatkan penyusunan baterai dalam konfigurasi paralel atau seri, yang kemudian dihubungkan ke pengendali daya. Baterai menyimpan energi listrik yang disalurkan langsung ke motor DC melalui pengendali daya, yang akan menggerakkan baling-baling kapal. Sistem ini memungkinkan kapal beroperasi dengan efisien tanpa bergantung pada mesin utama berbahan bakar konvensional, menawarkan

Tabel 4.
Alternatif Baterai

Alternatif		Kapasitas Energi (kWh)	Berat (kg)	Biaya (USD)	Life Cycle
SUPER B	NOMIA 12V340AH ECH-	4.08	33	\$4,573.80	4000
Nilar	576V-11.5kWh	11.5	352	\$9,000.00	2000
US Battery	US 48V 105	5.38	42	\$4,500.00	3000
Maris Energi	LIT/24-200	4.8	62	\$3,000.00	2000
Power Brick+	PowerBrick 48V-105Ah	5.38	37.5	\$2,805.60	3000
Weize	WEIZE 51.2V 100Ah 5120Wh	5.12	37.9	\$1,499.99	2000
SLBATT	51.2v 202ah	10.34	220	\$1,660.00	3500

Tabel 5.
Bobot untuk setiap Kriteria

Kriteria	Bobot Rata-rata	Bobot Akhir
Kapasitas energi (K1)	1.416	0.4644
Berat (K2)	0.943	0.3094
Biaya (K3)	0.515	0.1688
Umur pakai (K4)	0.175	0.0574
Total		1

fleksibilitas dalam pemilihan sumber daya dan solusi yang lebih ramah lingkungan.

F. Paddle Wheel

Paddle wheel merupakan salah satu bentuk kincir air dengan sejumlah dayung di sepanjang pinggiran roda, memiliki berbagai aplikasi seperti pompa air dengan daya rendah, propulsi pada perahu atau kapal, dan sebagai aerator. Dalam hal ini, paddle wheel adalah sistem propulsi yang menghasilkan dorongan sehingga kapal dapat bergerak melalui gerakan dayungnya. Setiap permukaan dayung mendorong air saat terendam dan memberikan dorongan saat paddle wheel berputar. Sistem paddle wheel ini sangat cocok untuk kapal yang beroperasi di sungai karena kemampuannya mengatasi tanaman air yang dapat tersangkut pada propulsi tipe baling-baling [5].

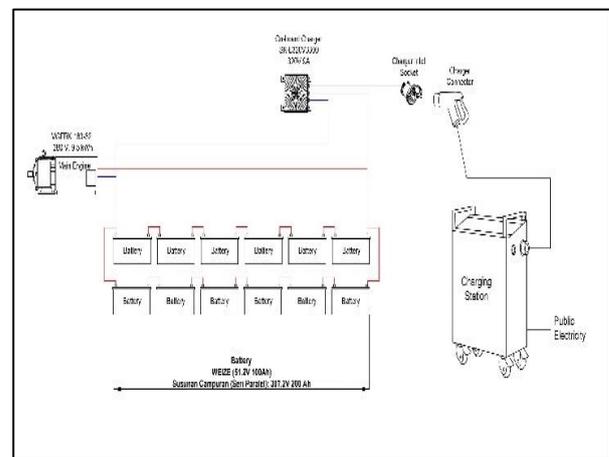
Ada dua jenis aplikasi paddle wheel, yaitu ditempatkan di samping atau di belakang kapal. Paddle wheel di samping (side wheelers) memiliki keunggulan dalam manuver kapal, sangat cocok untuk sungai sempit yang berkelok-kelok. Namun, disamping kelebihanannya, penggunaan paddle wheel pada kapal memiliki beberapa konsekuensi negatif. Pertama, lebar kapal meningkat secara signifikan akibat penempatan paddle wheel di kedua sisi lambung kapal. Kedua, bobot sistem penggerak menjadi lebih besar karena paddle wheel memiliki bobot yang lebih berat dibandingkan baling-baling. Selain itu, gerakan rolling kapal yang umum terjadi dapat menyebabkan gaya dorong yang dihasilkan oleh paddle wheel kiri dan kanan menjadi tidak seimbang, sehingga mengakibatkan kapal bergerak dengan lintasan yang tidak stabil atau zig-zag.

G. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah metode terstruktur yang sering digunakan dalam sistem pengambilan keputusan. AHP membantu mengidentifikasi alternatif

Tabel 6.
Skor Alternatif Baterai

Alternatif		Kapasitas Energi	Berat (kg)	Biaya (USD)	Life Cycle	Skor Total
SUPER B	NOMIA 12V3 40A ECH-576V	0.165	0.352	0.061	0.057	0.635
Nilar	US 48V 105	0.464	0.033	0.031	0.029	0.558
US Battery	US 48V 105	0.217	0.276	0.062	0.043	0.599
Maris Energi	LIT/2 4-200	0.194	0.187	0.093	0.029	0.503
Power Brick+	Power Brick 48V-105Ah	0.217	0.309	0.099	0.043	0.670
Weize	WEIZE 51.2V 100Ah	0.207	0.306	0.187	0.029	0.728
SLBATT	51.2v 202ah	0.418	0.053	0.169	0.050	0.689



Gambar 3. Wiring diagram sistem propulsi elektrik.

terbaik dari beberapa pilihan berdasarkan berbagai kriteria. Dalam proses ini, pengambil keputusan melakukan penilaian melalui perbandingan sederhana, yang kemudian digunakan untuk menentukan prioritas dan peringkat dari alternatif yang ada [6]. Adapun prinsip dasar dari metode ini, yaitu:

1. Dekomposisi: Permasalahan dipecah menjadi bagian-bagian kecil hingga tidak bisa dipecah lagi, membentuk hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria, dan alternatif. Proses ini memastikan bahwa semua faktor penting diperhitungkan.
2. Penentuan Komparasi: Penilaian dilakukan terhadap kepentingan relatif antara dua entitas pada tingkat yang sama, dengan skala penilaian dari 1 hingga 9. Hasilnya disajikan dalam matriks perbandingan berpasangan, yang mempermudah pemahaman terhadap prioritas unsur-unsur dalam kriteria tersebut.
3. Sintesis Prioritas: Berdasarkan matriks perbandingan berpasangan, diperoleh nilai eigen vector yang menunjukkan nilai prioritas lokal. Prioritas global dihitung melalui sintesis semua prioritas lokal, menghasilkan peringkat keseluruhan dari alternatif keputusan.

AHP adalah alat yang efektif dalam pengambilan keputusan karena kemampuannya mengelola berbagai

Tabel 7.
Perhitungan Berat Kapal dan Koreksi *Displacement*

No.	Komponen Berat	Berat	Satuan
1	Berat DWT	12.43	ton
2	Berat LWT	12.59	ton
Total Berat DWT + LWT Kapal		25.02	ton
Koreksi Displasemen			
DWT + LWT	Displasemen	Hasil koreksi	Status
25.02	25.57	2.17%	OK

Tabel 8.
Rekapitulasi Perhitungan Trim

Load Case	Payload	Consumables	Trim	Constraint	Status
1	0%	100%	0.130	0.30	Pass
2	50%	100%	0.007	0.30	Pass
3	100%	100%	-0.085	0.30	Pass

kriteria dan alternatif secara terstruktur. AHP memfasilitasi proses pengambilan keputusan yang rasional dan konsisten. Implementasi AHP yang luas menunjukkan kehandalan metode ini dalam berbagai konteks, termasuk dalam pengukuran fisik dan psikologis.

III. METODOLOGI

A. Diagram Alir

Secara umum, metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Tahap Pengerjaan

Terdapat beberapa langkah dalam pengerjaan penelitian ini sesuai dengan bagan alir pada Gambar 2. Tahapan dari pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk membangun landasan teoretis yang kuat bagi penelitian tugas akhir. Studi literatur akan mencakup berbagai aspek desain kapal, mulai dari penentuan ukuran utama kapal, analisis bentuk *hull*, perhitungan berat kapal, *freeboard*, hingga evaluasi stabilitas dan trim. Selain itu, penelitian juga akan menelaah teknologi kapal yang lebih spesifik seperti *skimmer boat*, katamaran, dan sistem propulsi elektrik.

2) Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian ini adalah dengan pengumpulan data secara tidak langsung (sekunder). Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan penelitian ini yaitu, jenis pencemaran, kuantitas pencemaran, serta kondisi dan kedalaman sungai.

3) Penentuan Operational Requirement dan Analisis Teknis

Pada tahap ini, akan dilakukan pengolahan dari data-data yang telah diperoleh, yaitu:

1. Penentuan kapasitas muat atau *payload*
2. Penentuan ukuran utama kapal
3. Perhitungan yang sesuai dengan aspek teknis desain kapal, seperti:
 - a. Rasio-rasio dari ukuran utama kapal
 - b. Koefisien utama kapal
 - c. Perhitungan komponen-komponen DWT dan LWT beserta titik beratnya

Tabel 9.
Rekapitulasi Stabilitas pada setiap *Load Case*

Load Case	3.1.2.	3.1.2.	3.1.2.	3.1.2.2	3.1.2.
Pay-load	Consumable	1 (m. rad)	1 (m. rad)	1 (m. rad)	3.1.2.2 (m) 4 (m)
Criteria	0.055	0.090	0.030	0.2	0.15
0%	100%	0.342	0.500	0.159	1.002 2.766
50%	100%	0.556	0.824	0.268	1.620 4.481
100%	100%	0.517	0.770	0.254	1.532 4.117

Tabel 10.
Perbandingan Ukuran Utama Kapal

Perbandingan Ukuran Utama	8.63	Insel & Molland (1992)	5.9 < L/B ₁ < 11.1	Accepted
L/B ₁	8.63	Insel & Molland (1992)	6 < L/H < 11	Accepted
L/H	6.29	Insel & Molland (1992)	0.7 < B/H < 4.1	Accepted
B/H	2.86	Insel & Molland (1992)	0.19 < S/L < 0.51	Accepted
S/L	0.22	Insel & Molland (1992)	0.9 < S/B ₁ < 4.1	Accepted
S/B ₁	1.92	Insel & Molland (1992)	0.9 < B ₁ /T < 3.1	Accepted
B ₁ /T	1.06	Multi Hull Ships, hal. 61	0.15 < B ₁ /B < 0.3	Accepted
B ₁ /B	0.26			

- d. Pemeriksaan *displacement*
- e. Pemeriksaan sarat dan *trim*
- f. Pemeriksaan stabilitas
- g. Pemeriksaan *freeboard*
- h. Pemeriksaan kesesuaian volume yang dibutuhkan

4) Penentuan Operational Scheme

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan *operational scheme skimmer boat* itu sendiri. Adapun penentuan *operational scheme skimmer boat* ini dilakukan setelah meninjau lokasi yang telah ditentukan. Setelah itu dilakukan penentuan titik-titik operasi dengan pertimbangan jarak pelayaran, akses sandar, dan fasilitas bongkar muat kapal.

5) Perencanaan

Pada tahap ini, akan dilakukan desain Rencana Garis (*Lines Plan*) dengan bantuan *software Maxsurf Modeler*. Dari Rencana Garis tersebut, akan dibuat desain Rencana Umum (*General Arrangement*) dengan bantuan *software Autocad*. Selanjutnya, akan dibuat desain model 3D.

1. Desain Diagram Propulsi Elektrik dan Pemilihan Baterai

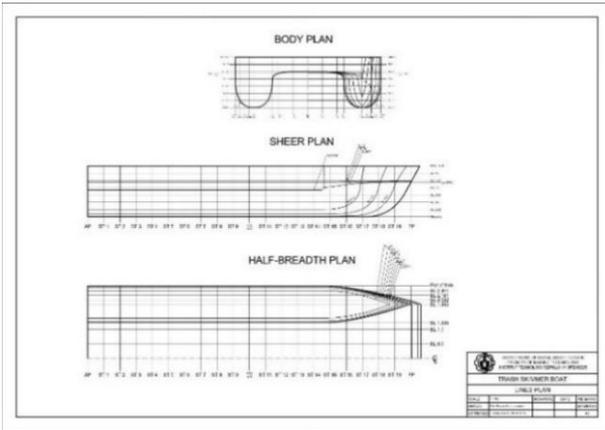
Pada tahap ini akan dibuat desain diagram sistem propulsi elektrik. Kemudian dilakukan pemilihan baterai untuk kebutuhan bahan bakar kapal. Pemilihan baterai dilakukan dengan mempertimbangkan ukuran utama kapal dan harus memenuhi syarat teknis & regulasi terkait.

2. Perhitungan Biaya Pembangunan dan Operasional

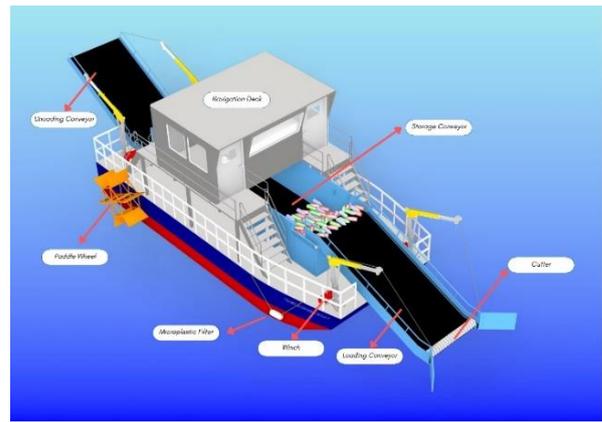
Pada tahap ini, akan dilakukan perhitungan biaya pembangunan yang dibutuhkan untuk *skimmer boat*. Selain itu, dilakukan juga perhitungan untuk biaya operasional yang dibutuhkan kapal untuk beroperasi.

3. Kesimpulan dan Saran

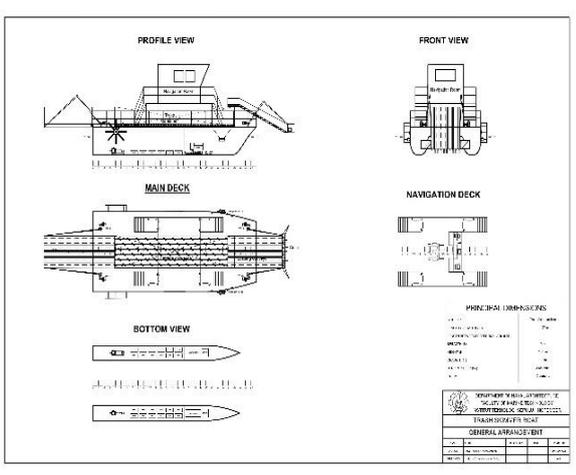
Pada tahap yang terakhir, akan dirangkum hasil analisis dan evaluasi yang didapat, serta saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.



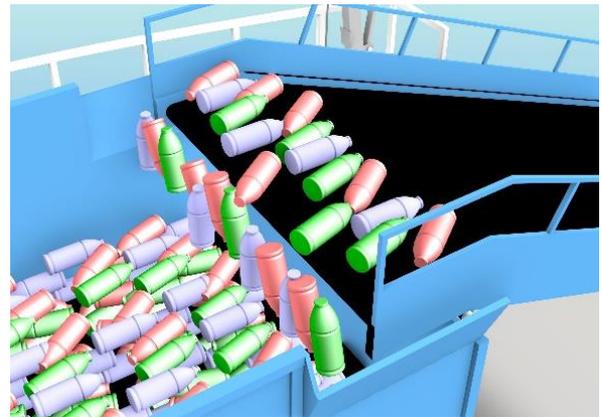
Gambar 4. Lines plan.



Gambar 6. Tampak depan model 3D.



Gambar 5. Desain rencana garis (general arrangement).



Gambar 7. Ilustrasi distribusi sampah dari loading conveyor ke trash container.

IV. ANALISIS TEKNIS

A. Operational Scheme

Pemilihan pola operasional kapal dilakukan berdasarkan hasil penentuan titik operasi dan pemilihan daerah operasional. Dari daerah yang telah ditentukan, operasional kapal dimulai dari titik awal operasi. Saat kapal berangkat, kapal melakukan proses *skimming* mulai dari titik awal operasi yaitu Dermaga Sei Lais hingga mencapai ujung titik operasi yaitu Jembatan Musi 2 dengan kecepatan 3.85 knot dan estimasi waktu 192 menit untuk satu kali operasional. Untuk agenda harian operasi dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Penentuan Payload

Penentuan *payload* pada kapal ini dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah sampah yang harus diangkut oleh kapal. Hal pertama yang dilakukan ialah mendapatkan data volume sampah serta jenis sampah yang terdapat pada daerah operasional. Pada Tabel 2 merupakan data jumlah sampah harian yang berada di Kota Palembang serta data sampah yang masuk ke Sungai Musi.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk jumlah sampah harian yang harus di angkut oleh kapal. Didapatkan bobot sampah yang harus diangkut per hari sebesar 73.5 ton dengan perencanaan kapal beroperasi selama 6 hari dalam satu minggu.

Jumlah sampah harian yang harus diangkut kapal relatif cukup besar untuk diangkut sehingga kapal ditentukan melakukan 2 kali operasional dalam satu hari dengan 3 kali

unloading untuk setiap satu kali operasi. Sehingga didapatkan volume sampah yang diangkut untuk setiap rute operasi kapal sebesar 20.53 m³ dengan bobot 12.25 ton.

C. Ukuran Utama Awal

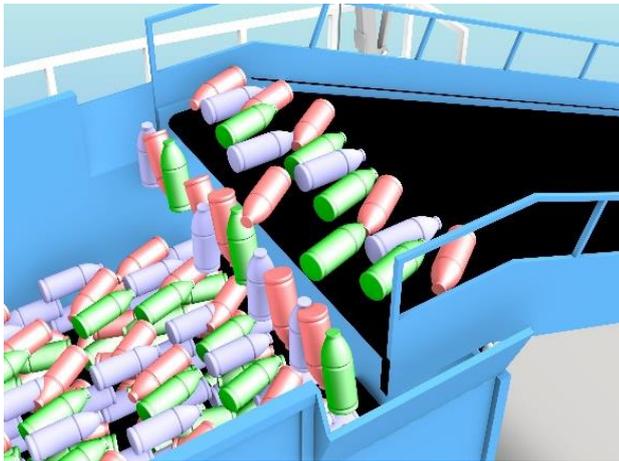
Penentuan ukuran utama kapal didasarkan pada perhitungan *payload* yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah itu, dilakukan perbandingan dengan kapal-kapal serupa. Dari perbandingan tersebut, diperoleh ukuran utama kapal: panjang (L) 11 m, tinggi (H) 1,75 m, lebar (B) 5 m, dan sarat (T) 1,2 m.

D. Penentuan Propulsi

Pemilihan sistem propulsi menjadi langkah krusial untuk memastikan efisiensi operasional serta performa kapal. Sistem propulsi elektrik dengan penggerak *paddle wheel* dipilih karena sesuai dengan kebutuhan operasi pengumpulan sampah yang memerlukan kecepatan rendah tetapi stabil. Sistem elektrik mengurangi emisi gas buang, menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sistem berbahan bakar fosil. *Paddle wheel* memberikan daya dorong besar pada kecepatan rendah dan tidak mudah tersangkut sampah atau tanaman air, serta cocok untuk perairan dangkal. Pemilihan ini tidak hanya mendukung operasi yang efektif tetapi juga mendukung pelestarian lingkungan, memastikan kapal beroperasi efisien tanpa dampak negatif bagi lingkungan sekitar.

E. Koefisien Bentuk Badan Kapal

Koefisien bentuk badan kapal yang dihasilkan dari perhitungan dengan *Maxsurf Modeler Advanced* meliputi



Gambar 8. Ilustrasi distribusi sampah dari *storage conveyor* ke *offloading conveyor*.

Tabel 11.
Rekapitulasi Biaya Pembangunan Awal

No	Item	Value
1	Biaya Baja Kapal dan Elektroda	Rp116,571,231
2	Biaya Permesinan	Rp672,829,777
3	Biaya <i>Equipment & Outfitting</i>	Rp151,610,540
4	Labor Cost (20%)	Rp188,202,310
Total Biaya		Rp1,129,213,857

Block Coefficient (Cb), *Midship Coefficient* (Cm), *Waterplane Coefficient* (Cwp), *Prismatic Coefficient* (Cp), serta *Volume Displacement* dan *Displacement* kapal. Adapun nilainya adalah Cb 0.645, Cm 0.728, Cp 0.882, Cwp 0.924, *Volume Displacement* 25.567 m³, dan *Displacement* 25.57 ton.

F. Hambatan

Perhitungan hambatan yang dilakukan didapatkan dengan memakai formula dari Insel & Molland. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai *friction coefficient* (Cf) sebesar 0.001718535, nilai (1+βk) sebesar 1.500, nilai *catamaran wave resistance interference* (τ) sebesar 1.272, nilai koefisien hambatan total (Ctot) sebesar 0.0064, dan WSA 106.763 m². Sehingga didapatkan hambatan total sebesar 2300 N.

G. Daya Mesin Induk

Perhitungan daya mesin berfungsi sebagai pertimbangan dalam memilih mesin utama yang sesuai dengan kebutuhan kapal. Dalam proses perhitungan daya mesin kapal, terdapat dua macam konstanta yang harus dihitung yaitu *Effective Horse Power* (EHP) dan Faktor Efisiensi. Faktor efisiensi yang diambil yaitu sebesar 35%. Sehingga didapatkan daya mesin yang dibutuhkan oleh kapal yang didesain sebesar 16.90 kW. Kapal yang didesain menggunakan dua *paddle wheel*, sehingga kebutuhan daya untuk satu mesin yaitu sebesar 8.45 kW.

H. Penentuan Paddle Wheel

Perhitungan *paddle wheel* mengacu pada buku “*a Manual of Marine Engineering*” oleh A. E. Seaton. Pertama ditentukan diameter untuk *paddle wheel* dengan acuan empiris dari kapal-kapal dengan ukuran dan kecepatan sebanding, yaitu pada range 10% -15% dari Lpp. Sehingga, diambil diameter *paddle wheel* 1.5 m. Adapun rekapitulasi spesifikasi *paddle wheel* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 12.
Total Biaya Pembangunan Kapal

No	Item	Nilai
1	Keuntungan Galangan 10% dari biaya pembangunan awal	Rp112,921,386
2	Biaya Untuk Inflasi 5% dari biaya pembangunan awal	Rp56,460,693
Total Biaya Keuntungan Galangan dan Inflasi		Rp169,382,079
Biaya Total setelah dikoreksi		Rp1,298,595,936

Tabel 13.
Total Biaya Operasional Tahunan

Biaya	Nilai	Masa
<i>Maintenance Cost</i>	Rp25,971,919	per tahun
Gaji Crew	Rp82,964,976	per tahun
Pembelian <i>Charging Station</i>	Rp32,756,713	satu kali pembelian
Pengisian Daya untuk <i>Main Engine</i>	Rp75,181,769	per tahun
Bahan Bakar <i>Diesel Oil</i>	Rp81,432,000	per tahun
Total	Rp298,307,377	per tahun

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan daya untuk *paddle wheel* yang dilakukan dengan rumus:

$$P = \frac{(2\pi \cdot NPW \cdot TPW)}{60}$$

dimana:

P = daya yang dibutuhkan oleh *paddle wheel*

Npw = kecepatan rotasi *paddle wheel*

Tpw = torsi untuk menggerakkan *paddle wheel*

Sehingga didapatkan total daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan *paddle wheel* adalah sebesar 0.499 kW. Karena *paddle wheel* yang digunakan dua maka total kebutuhan daya *paddle wheel* sebesar 0.998 kW.

I. Pemilihan Baterai

Pertama-tama dilakukan pencarian alternatif baterai yang diperlukan oleh kapal sesuai dengan perhitungan kebutuhan daya kapal yang telah dilakukan. Alternatif baterai yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Kemudian, dilakukan pemilihan baterai yang paling optimal. Pemilihan baterai dilakukan dengan Metode AHP. Kriteria yang dipakai untuk pemilihan baterai ada 4, yaitu Kapasitas energi, berat, biaya, dan umur pakai, dengan asumsi:

1. Kapasitas energi lebih penting daripada Berat, Biaya, dan Umur pakai.
2. Berat kurang penting daripada Kapasitas energi, tetapi lebih penting daripada Biaya dan Umur pakai.
3. Biaya kurang penting daripada Kapasitas energi dan Berat, tetapi lebih penting daripada Umur pakai.
4. Umur pakai paling kurang penting dibandingkan dengan yang lain.

Setelah itu, dilakukan pembobotan untuk setiap kriteria dengan matriks perbandingan berpasangan, sehingga didapatkan bobot untuk setiap kriteria seperti yang terlihat pada Tabel 5.

Selanjutnya dilakukan perhitungan skor untuk setiap alternatif baterai dengan melakukan normalisasi matriks keputusan. Normalisasi matriks perlu dilakukan karena terdapat 4 kriteria yang berbeda dalam pemilihan baterai ini. Setelah melalui rangkaian matriks keputusan dengan metode

AHP, didapatkan skor akhir untuk masing-masing alternatif seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Berdasarkan skor akhir untuk setiap alternatif, didapatkan bahwa baterai WEIZE 51.2V 100Ah 5120Wh memiliki skor paling tinggi yaitu 0.811. Sehingga baterai WEIZE 51.2V 100Ah 5120Wh dipilih untuk kebutuhan *trash skimmer boat*.

Jumlah kebutuhan daya untuk propulsi kapal ini adalah 107 kWh per hari operasional. Mesin yang dipilih membutuhkan tegangan 280V, sehingga diperlukan enam baterai yang disusun seri untuk meningkatkan tegangan *output*. Untuk mencapai kapasitas energi yang diperlukan, dua rangkaian seri dihubungkan secara paralel. Dengan demikian, diperlukan 12 baterai dalam rangkaian campuran (seri-paralel) untuk satu mesin. Karena kapal ini menggunakan dua mesin, total baterai yang dibutuhkan adalah 24 buah.

J. Wiring Diagram Sistem Propulsi Elektrik

Kapal ini dirancang dengan sistem propulsi elektrik yang dayanya bersumber dari baterai. Baterai disusun dengan rangkaian campuran seri-paralel untuk meningkatkan tegangan *output*. Baterai yang dipilih memiliki tegangan output 51.2 V, sedangkan mesin utama membutuhkan 280 V. Oleh karena itu, enam baterai disusun seri untuk mencapai tegangan yang diinginkan, dan dua rangkaian seri ini dihubungkan paralel untuk meningkatkan kapasitas baterai tanpa mengubah tegangan. Baterai yang digunakan sudah dilengkapi dengan built-in Battery Management System (BMS), sehingga tidak diperlukan tambahan BMS. Gambar *wiring diagram* dapat dilihat pada Gambar 3.

Untuk pengisian daya, baterai dihubungkan dengan *on-board charger* merek Senku tipe SK-L320V3300, yang dilengkapi dengan *charger inlet socket* untuk menghubungkan dengan *charging station* di darat. Pengisian daya dilakukan di *charging station* saat kapal tidak beroperasi. Kapal ini menggunakan dua mesin serupa, sehingga satu *wiring diagram* cukup untuk mewakili kedua mesin karena konfigurasinya sama.

K. Perhitungan Berat Kapal

Secara garis besar, berat kapal dibagi menjadi *deadweight* (DWT) dan *lightweight* (LWT). Komponen DWT pada kapal yang didesain ini meliputi berat muatan, berat *crew* kapal, dan berat *diesel oil* untuk *generator*. Sementara untuk komponen LWT, meliputi berat lambung kapal, berat geladak kapal, berat konstruksi lambung dan geladak kapal, berat ruang navigasi, berat *railing*, berat *equipment and outfitting*, dan berat permesinan. Pada Tabel 7 dapat dilihat rekapitulasi perhitungan komponen berat DWT dan LWT.

Setelah itu dilakukan pemeriksaan *displacement*. Koreksi *displacement* merupakan selisih antara penjumlahan dari DWT dan LWT dengan *displacement* kapal yang didesain dengan margin 2-10%. Rekapitulasi perhitungan koreksi *displacement* ditunjukkan pada Tabel 7.

L. Freeboard

Perhitungan *freeboard* untuk kapal *trash skimmer boat* ini tidak dapat mengikuti ketentuan dari *International Convention on Load Lines* (ICLL) 1966. Sebagai gantinya, digunakan standar *Non-Convention Vessel Standard* (NCVS). Ketentuan nilai *freeboard* sebenarnya harus lebih besar dari *freeboard* yang disyaratkan. Berdasarkan perhitungan nilai *freeboard* minimal adalah 0.227 m

sedangkan nilai *actual freeboard* nya adalah 0.55 m. Karena nilai *freeboard* sebenarnya dari kapal ini lebih besar dari *freeboard* yang disyaratkan, maka kondisi *freeboard* kapal ini dapat diterima.

M. Trim

Perhitungan trim dilakukan pada 3 kondisi *load case*. Perhitungan trim dilakukan dengan mengacu pada *Non-Conventional Vessel Standards* (NCVS) *Chapter 2*, yang menetapkan bahwa untuk kapal dengan *LBP* kurang dari 45 meter, trim maksimal adalah ± 0.3 meter. Perhitungan trim dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Stability*. Rekapitulasi perhitungan trim dapat dilihat pada Tabel 8.

N. Stabilitas

Perhitungan stabilitas pada pengerjaan penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Stability*. Kriteria yang digunakan dalam perhitungan stabilitas berdasarkan pada *Non-Conventional Vessel Standards* (NCVS) *Chapter 2* yang mengacu pada *IMO Code on intact stability*. Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas untuk setiap *load case* dapat dilihat pada Tabel 9.

O. Ukuran Utama Final

Setelah pengecekan regulasi dan teknis berdasarkan ukuran utama awal yang telah diperoleh, dan dipastikan kondisinya memenuhi regulasi teknis, selanjutnya dilakukan pemeriksaan rasio ukuran utama kapal seperti yang ditampilkan pada Tabel 10.

Berdasarkan perbandingan ukuran utama kapal yang dilakukan, ukuran utama kapal yang dirancang telah memenuhi syarat teknis. Oleh karena itu, ukuran utama awal dijadikan sebagai ukuran utama final.

P. Rencana Garis

Untuk membuat Rencana Garis ini, digunakan *software Maxsurf Modeler Advanced*. Gambar Rencana Garis dapat dilihat pada Gambar 4.

Q. Rencana Umum

Gambar desain Rencana Umum (*General Arrangement*) menunjukkan susunan atau tata letak seluruh komponen dan ruangan kapal dari berbagai pandangan, yaitu *profile view*, *front view*, *main deck*, dan *navigation deck*, seperti yang terlihat pada Gambar 5.

R. Model 3D Kapal

Setelah gambar Rencana Garis dan Rencana Umum selesai didesain, maka selanjutnya dilakukan pemodelan kapal tiga dimensi. Desain model 3D kapal dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk ilustrasi pendistribusian sampah pada kapal ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

V. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN DAN OPERASIONAL

A. Biaya Pembangunan

Perhitungan biaya pembangunan kapal yang dilakukan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu biaya baja kapal dan elektroda, biaya permesinan, serta biaya *equipment* dan *outfitting*. Rincian untuk biaya dari pembangunan awal kapal *trash skimmer boat* ini dapat dilihat pada Tabel 11. Setelah didapatkan biaya pembangunan awal sebesar

Rp1,129,213,857 biaya tersebut ditambahkan dengan keuntungan galangan serta inflasi. Biaya pembangunan total dapat dilihat pada Tabel 12.

B. Biaya Operasional

Biaya operasional yang dihitung adalah biaya tahunan yang dibutuhkan kapal untuk melakukan operasional. Hal ini tidak termasuk pada biaya operasional untuk pembuangan hasil pengumpulan sampah ke tempat pembuangan akhir. Biaya operasional yang dihitung yaitu, biaya perawatan, gaji *crew*, pembelian *charging station*, biaya pengisian daya untuk baterai, dan biaya bahan bakar untuk generator. Rincian biaya operasional dapat dilihat pada Tabel 13.

VI. KESIMPULAN

Setelah melalui berbagai tahapan desain, analisis teknis, serta perhitungan biaya pembangunan dan operasional, beberapa kesimpulan dapat diambil. *Skimmer boat* ini direncanakan untuk beroperasi di Sungai Musi, Palembang. Operasional kapal dimulai dari Dermaga Sei Lais hingga Jembatan Musi 2 dengan kecepatan 3,85 knot dan estimasi waktu 192 menit untuk satu kali operasional. Kapal ini beroperasi selama enam hari dalam satu minggu, dengan jumlah operasional harian sebanyak dua kali.

Berdasarkan analisis data jumlah sampah yang masuk ke Sungai Musi, ditentukan bahwa volume sampah yang diangkut untuk setiap rute operasi kapal adalah 20,53 m³ dengan berat 12,25 ton. Ukuran utama akhir yang diperoleh

untuk *trash skimmer boat* ini adalah LOA 11,57 m, Lpp 11 m, B 5 m, H 1,75 m, T 1,2 m, dan kecepatan 3,85 knot.

Berdasarkan analisis teknis yang telah dilakukan, kapal yang didesain telah memenuhi syarat teknis serta regulasi yang berlaku. Berdasarkan analisis pemilihan baterai, didapatkan bahwa baterai yang paling optimal adalah merek Weize dengan tipe WEIZE 51.2V 100Ah 5120Wh. Desain diagram sistem propulsi elektrik dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan perhitungan biaya, pembangunan kapal ini memerlukan biaya sebesar Rp1,298,595,936 dengan biaya operasional tahunan sebesar Rp298,307,377.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Evans, J Harvey, "Basic design concepts," *J. Am. Soc. Nav. Eng.*, vol. 71, no. 4, pp. 671–678, doi: 10.1111/j.1559-3584.1959.tb01836.x, 1959.
- [2] Walczyk, Stephen L, "Trash Collection Skimmer Boat," U.S. Patent No. 7045058B2, Patent Application Publication, Washington, D.C., 2006.
- [3] Wulandari, Amalia Ika and Setiawan, Wira and Hidayat, Taufik and Fauzi, Arman, "Desain skimmer boat (kapal pengambil sampah) daerah perairan sungai di Kalimantan Timur," *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 14, no. 1, doi: 10.29122/jurnalwave.v14i1.4087, 2020.
- [4] Suputra, I Wayan and Nasirudin, Ahmad and Ahadyanti, Gita Marina "Desain konsep solar energy assisted water bus sebagai sarana transportasi rute marunda-muara baru, Jakarta," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 1, doi: 10.12962/j23373539.v8i1.42077, 2019.
- [5] Supomo, Hari and Djatmiko, Eko Budi and Nugroho, Setyo and Supomo, Wikaranosa Scotiandharu "Design, construction and operational plans of an electric paddle wheel for a laminated bamboo slats river cruise boat," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 20, no. 2, pp. 214–223, doi: 10.14710/kapal.v20i2.50503, 2023.
- [6] Sudipa, I Gede Iwan *et al.*, "Sistem Pendukung Keputusan," ISBN:978-623-09-1478-2, PT. Mifandi Mandiri Digital, Deli Serdang, 2023.