

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Katamaran

Kapal katamaran adalah salah satu jenis kapal multihull, yaitu kapal yang memiliki lebih dari satu lambung. Pada katamaran, terdapat dua lambung simetris yang dihubungkan oleh struktur atas (deck structure) yang menyatu membentuk satu kesatuan kapal. Konfigurasi ini berbeda dengan kapal monohull yang hanya memiliki satu lambung utama[8]. Desain katamaran saat ini telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti, kapal wisata, kapal patroli, dan bahkan kapal riset oseanografi, terutama karena keunggulannya dalam stabilitas dan efisiensi.

Salah satu keunggulan utama kapal katamaran adalah stabilitasnya yang superior. Dengan dua lambung yang terpisah, momen penegak kapal meningkat, mengurangi risiko oleng dan meningkatkan kenyamanan penumpang. Stabilitas ini sangat penting dalam operasi di perairan terbuka, di mana kondisi gelombang dapat berubah-ubah[10]. Selain itu, stabilitas lateral yang tinggi memungkinkan katamaran untuk mempertahankan posisi dengan lebih baik, yang bermanfaat dalam kegiatan seperti penyelaman atau penelitian laut.

Selain stabilitas, katamaran juga dikenal memiliki hambatan hidrodinamik yang lebih rendah dibandingkan dengan monohull. Bentuk

lambung yang ramping dan panjang mengurangi hambatan gelombang, memungkinkan katamaran mencapai kecepatan yang lebih tinggi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih efisien[11]. Efisiensi ini membuat katamaran menjadi pilihan yang ekonomis untuk operasi jarak jauh dan transportasi cepat. Selain itu, desain lambung ganda memungkinkan distribusi beban yang lebih merata, mengurangi tekanan pada setiap lambung dan memperpanjang umur struktural kapal.

2.1.1 Karakteristik Umum Katamaran

Beberapa karakteristik teknis yang membedakan katamaran dari jenis kapal lainnya antara lain[12]:

1. Stabilitas Lateral Tinggi: Jarak antar dua lambung (beam) yang lebar memberikan stabilitas transversal yang sangat baik. Ini sangat mengurangi gerakan roll, yang membuat kapal lebih nyaman bagi penumpang—suatu keunggulan penting dalam aplikasi wisata.
2. Draft Rendah: Karena distribusi beban tersebar pada dua lambung, katamaran memiliki draft yang lebih dangkal dibanding kapal monohull dengan berat yang sama. Hal ini memungkinkan kapal beroperasi di perairan dangkal seperti laguna, danau, atau pesisir seperti di Marina Ancol.
3. Ruang Dek Lebar: Struktur dua lambung menciptakan ruang dek yang lebih luas, sehingga memberikan fleksibilitas desain bagi area penumpang, sistem panel surya, serta utilitas tambahan seperti tempat duduk terbuka, toilet, atau kabin kecil.

4. Efisiensi Hidrodinamik: Lambung katamaran biasanya dirancang lebih ramping (*slender hull*), yang mengurangi hambatan gelombang (*wave resistance*). Ini meningkatkan efisiensi propulsi, terutama pada kecepatan jelajah rendah hingga menengah.
5. Manuver Lebih Baik dalam Kecepatan Rendah: Katamaran dapat memiliki dua sistem propulsi terpisah (di tiap lambung), sehingga memungkinkan kontrol manuver lateral yang lebih baik, seperti *pivot turn* atau *docking* presisi—keunggulan dalam area pelabuhan kecil seperti Marina Ancol.

2.1.2 Klasifikasi Katamaran Berdasarkan Fungsi

Katamaran diklasifikasikan dalam beberapa jenis berdasarkan fungsi dan penggunaan[13]:

1. Katamaran Wisata (*Tourism Catamaran*): Digunakan untuk pelayaran rekreasi, biasanya dilengkapi dengan fasilitas kenyamanan penumpang dan area dek terbuka untuk menikmati pemandangan. SoelCat 12 termasuk dalam kategori ini.
2. Katamaran Feri (*Ferry Catamaran*): Digunakan untuk transportasi penumpang atau kendaraan antar pulau, seringkali beroperasi pada rute tetap dengan kapasitas besar.
3. Katamaran Listrik/Solar: Versi modern dari kapal wisata atau konservasi, yang menggunakan sistem propulsi listrik dengan sumber energi surya atau hibrida.
4. Katamaran Layar (*Sailing Catamaran*): Digerakkan oleh layar, banyak digunakan untuk pelayaran pribadi atau wisata bahari.

2.1.3 Kelebihan Katamaran untuk Aplikasi Eco Wisata

Penggunaan katamaran dalam sektor wisata berkelanjutan menawarkan sejumlah keuntungan[8]:

1. Ramah Lingkungan: Struktur lambung yang efisien memerlukan lebih sedikit energi untuk bergerak, sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar atau beban sistem listrik.
2. Platform Ideal untuk Panel Surya: Atap yang lebar dan rata memungkinkan pemasangan panel surya secara optimal, menjadikannya cocok untuk kapal tenaga surya.
3. Kenyamanan Tinggi: Minimnya gerakan *roll dan vibrasi* menghasilkan pengalaman pelayaran yang lebih tenang, sangat penting untuk wisatawan lansia, anak-anak, atau mereka yang sensitif terhadap mabuk laut.
4. Operasi Aman di Perairan Tenang: Katamaran sangat ideal untuk digunakan di perairan seperti teluk, danau, laguna, dan kawasan konservasi laut yang cenderung memiliki gelombang kecil.

2.1.4 Tantangan Desain Katamaran

Meskipun memiliki banyak kelebihan, kapal katamaran juga memiliki tantangan desain yang perlu diperhatikan, seperti:

1. Struktur Jembatan (*Bridgedeck Slamming*): Jarak antara permukaan air dan bagian bawah struktur jembatan harus diperhatikan agar tidak menimbulkan hentakan ketika terkena gelombang.

2. Lebar Total (*Beam*) yang Besar: Meskipun bermanfaat untuk stabilitas, beam yang besar kadang menyulitkan saat sandar di dermaga konvensional.
3. Distribusi Beban Asimetris: Harus dipastikan bahwa beban (termasuk sistem baterai, penumpang, dan komponen surya) terdistribusi merata pada kedua lambung untuk mencegah trim atau kemiringan.

Dengan mempertimbangkan karakteristik dan keunggulan katamaran, terutama dalam aspek efisiensi energi, kenyamanan, dan luasnya permukaan dek untuk panel surya, maka kapal jenis ini sangat sesuai untuk diadopsi dalam konsep eco wisata berbasis energi terbarukan, khususnya di kawasan seperti Marina Ancol.

2.2 Energi Surya sebagai Sumber Tenaga Kapal

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling potensial dan berkelanjutan. Sumber energi ini berasal dari radiasi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui teknologi fotovoltaik (*photovoltaic/PV*)[14]. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber tenaga untuk kapal adalah langkah strategis dalam mendukung transisi menuju transportasi laut beremisi rendah dan ramah lingkungan.

2.2.1 Prinsip Dasar Energi Surya

Energi surya bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaik, di mana material semikonduktor seperti silikon menyerap foton dari sinar matahari dan melepaskan elektron bebas. Pergerakan elektron inilah yang menciptakan arus listrik searah (DC). Secara umum, sistem tenaga surya pada kapal terdiri dari:

1. Panel surya (*PV modules*): Mengonversi energi cahaya matahari menjadi listrik.
2. Regulator pengisian (*charge controller*): Mengatur tegangan dan arus listrik untuk pengisian baterai secara efisien dan aman.
3. Baterai: Menyimpan energi listrik untuk digunakan saat malam hari atau saat intensitas matahari rendah.
4. Inverter: Mengubah arus DC menjadi AC (jika diperlukan untuk sistem tertentu).
5. Motor listrik: Menggunakan energi listrik untuk menggerakkan baling-baling kapal.

2.2.2 Keunggulan Energi Surya untuk Aplikasi Kelautan

Pemanfaatan energi surya untuk kapal, khususnya pada kapal kecil hingga menengah, memiliki beberapa keunggulan utama[15]:

1. Sumber Energi Bersih dan Terbarukan

Energi surya tidak menghasilkan emisi karbon, tidak menimbulkan kebisingan mesin, dan tidak mencemari lingkungan laut, sehingga ideal untuk kawasan wisata dan konservasi.

2. Kemandirian Energi (*Energy Independence*)

Kapal tenaga surya tidak bergantung pada pengisian bahan bakar konvensional atau listrik dari darat (*off-grid*). Hal ini sangat berguna di area terpencil atau wilayah wisata seperti Marina Ancol yang padat aktivitas.

3. Biaya Operasional Rendah

Setelah investasi awal, energi dari matahari bersifat gratis. Panel surya juga memiliki umur pakai panjang (>20 tahun) dan membutuhkan sedikit perawatan.

4. Fleksibilitas Pemasangan

Permukaan datar seperti atap dek katamaran sangat cocok untuk pemasangan modul PV. Semakin besar permukaan atap yang tersedia, semakin besar pula kapasitas panel yang bisa dipasang.

2.2.3 Potensi Radiasi Surya di Indonesia

Indonesia, sebagai negara tropis, memiliki intensitas radiasi surya rata-rata sebesar 4,5–5,5 kWh/m²/hari, tergantung lokasi dan musim. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)[16], daerah pesisir seperti Jakarta Utara dan Marina Ancol memiliki potensi radiasi harian yang cukup tinggi, dengan cuaca cerah selama 8–10 bulan dalam setahun.

Dengan potensi ini, kapal tenaga surya seperti SoelCat 12 dapat mengandalkan energi matahari sebagai sumber daya utama, bahkan untuk operasi harian sepanjang tahun, terutama dalam mode pelayaran siang hari.

2.2.4 Efisiensi Sistem Surya di Kapal

Efisiensi sistem tenaga surya pada kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis:

1. Jenis Modul PV:

Modul monocrystalline umumnya memiliki efisiensi konversi lebih tinggi (18–22%) dibandingkan dengan polycrystalline (15–17%).

2. Sudut dan Orientasi Pemasangan

Untuk perairan tropis, modul dipasang dengan sudut kecil atau mendatar agar optimal menangkap sinar matahari sepanjang hari.

3. Suhu Lingkungan dan Ventilasi

Panel yang terlalu panas akan mengalami penurunan efisiensi. Oleh karena itu, sirkulasi udara [17] di bawah panel perlu diperhatikan.

4. Kebersihan Panel

Penumpukan debu atau kotoran laut (seperti garam) pada panel dapat mengurangi penyerapan sinar matahari. Pemeliharaan rutin perlu dilakukan.

2.2.5 Tantangan Energi Surya di Aplikasi Kapal

Meskipun memiliki banyak keunggulan, sistem tenaga surya pada kapal juga menghadapi sejumlah tantangan:

1. Keterbatasan Ruang dan Daya

Luas permukaan kapal membatasi jumlah panel yang dapat dipasang, sehingga total daya yang dihasilkan juga terbatas. Oleh karena itu, desain kapal harus mempertimbangkan efisiensi ruang dan beban.

3. Ketergantungan pada Cuaca

Produksi energi menurun pada hari berawan atau hujan. Oleh karena itu, sistem penyimpanan energi (baterai) harus mampu menyeimbangkan fluktuasi ini.

4. Biaya Awal Relatif Tinggi

Investasi awal pada panel surya, inverter, dan sistem baterai masih lebih mahal dibanding sistem konvensional, meskipun biaya operasional jangka panjang jauh lebih rendah.

2.2.6 Perkembangan Teknologi PV untuk Kapal

Teknologi PV terus mengalami kemajuan, terutama untuk aplikasi kelautan:

1. Modul Fleksibel (Flexible Solar Panels)

Ringan dan mudah dipasang pada permukaan melengkung, cocok untuk kapal kecil atau struktur atap yang kompleks.

2. Panel Surya Bifacial

Dapat menangkap cahaya dari dua sisi (atas dan bawah), sehingga lebih efisien terutama di lingkungan laut yang memantulkan cahaya.

3. Sistem MPPT (Maximum Power Point Tracking)

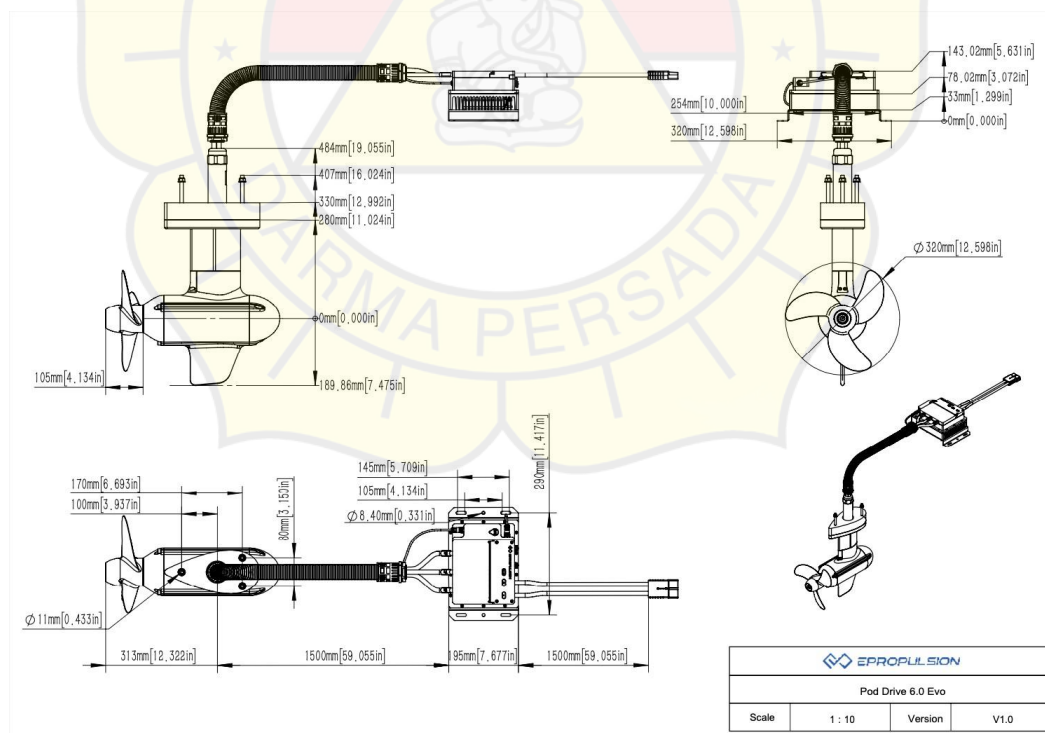
Teknologi pengatur daya yang mengoptimalkan output panel surya meskipun dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal.

Dengan mempertimbangkan potensi radiasi [18] tinggi di Indonesia, serta keunggulan struktur katamaran yang mendukung pemasangan PV, maka penggunaan energi surya sebagai sumber tenaga utama untuk kapal wisata di kawasan Marina Ancol [10] sangat layak secara teknis dan ekonomis. Pemilihan sistem pengelolaan energi yang tepat akan menentukan performa operasional kapal secara keseluruhan.

2.3 Sistem Propulsi Listrik pada Kapal

Sistem propulsi listrik merupakan salah satu alternatif modern untuk menggantikan sistem propulsi konvensional berbasis mesin diesel atau bensin. Dalam konteks kapal tenaga surya, sistem propulsi ini memanfaatkan energi listrik—yang bersumber dari panel surya dan/atau baterai—untuk menggerakkan motor listrik sebagai penggerak baling-baling (propeller).

Pemanfaatan sistem propulsi listrik sangat relevan dengan konsep eco wisata karena tidak menghasilkan emisi, tingkat kebisingannya rendah, dan perawatannya lebih sederhana. Oleh karena itu, teknologi ini semakin banyak diadopsi pada kapal wisata kecil hingga menengah, terutama di kawasan konservasi dan pariwisata seperti Marina Ancol.



Gambar 2. 1 Baling-baling SoelCat 12 (<https://epropulsion.com>)

2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Propulsi Listrik

Sistem propulsi listrik bekerja berdasarkan prinsip bahwa energi listrik disalurkan ke motor listrik, yang kemudian mengubah energi listrik menjadi energi mekanik rotasi untuk menggerakkan poros dan baling-baling kapal[19]. Secara umum, komponen utama dari sistem ini meliputi:

1. Panel Surya (Solar PV)

Menghasilkan listrik dari sinar matahari.

2. Baterai

Menyimpan energi listrik untuk memastikan kapal tetap dapat beroperasi saat tidak ada sinar matahari langsung (misalnya saat berawan atau malam hari).

3. Motor Listrik

Komponen utama penggerak kapal. Motor ini dapat berupa motor DC atau AC, tergantung desain sistem.

4. Inverter (bila menggunakan motor AC)

Mengubah arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) untuk motor AC.

5. Kontroler Motor / Sistem Manajemen Energi (EMS)

Mengatur distribusi tenaga dan efisiensi kerja sistem, seperti kecepatan motor, arus beban, dan pengisian baterai.

2.3.2 Jenis-Jenis Motor Listrik untuk Kapal

Beberapa jenis motor yang umum digunakan pada sistem propulsi listrik kapal meliputi:

1. Motor DC Brushless (BLDC)

Efisiensi tinggi, tidak menghasilkan gesekan internal akibat tidak adanya sikat (brush). Cocok untuk sistem surya karena hemat daya.

2. Motor Induksi AC

Tangguh dan andal, namun memerlukan inverter. Banyak digunakan pada kapal komersial listrik skala menengah hingga besar.

3. Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM)

Efisiensinya lebih tinggi dari motor induksi AC [20] dan cocok untuk kapal berukuran kecil-menengah yang membutuhkan daya cukup besar [21].

Pemilihan jenis [22] tergantung pada daya yang dibutuhkan, voltase sistem, efisiensi, dan ketersediaan komponen di pasaran.

2.3.3 Keunggulan Sistem Propulsi Listrik

Beberapa keuntungan utama sistem propulsi listrik dibandingkan mesin diesel konvensional:

1. Ramah Lingkungan

Tidak menghasilkan emisi CO₂, NO_x, atau SO_x, sehingga cocok untuk wilayah konservasi dan ekowisata.

2. Tingkat Kebisingan Rendah

Suara motor listrik sangat minim, meningkatkan kenyamanan wisatawan dan tidak mengganggu fauna laut.

3. Responsif dan Presisi Tinggi

Motor listrik dapat memberikan torsi maksimum sejak kecepatan nol, memudahkan manuver di perairan sempit atau dermaga.

4. Efisiensi Tinggi

Motor listrik umumnya memiliki efisiensi di atas 85–90%, jauh lebih tinggi dibandingkan mesin pembakaran dalam.

5. Perawatan Lebih Mudah dan Murah

Motor listrik tidak memerlukan sistem pelumasan, pendingin mesin kompleks, atau penggantian oli rutin.

2.3.4 Tantangan Sistem Propulsi Listrik

Namun, sistem ini juga menghadapi beberapa tantangan, antara lain:

1. Kapasitas Baterai Terbatas

Daya jelajah dan waktu operasi sangat tergantung pada kapasitas penyimpanan baterai. Jika tidak dikelola dengan baik, kapal bisa kehabisan daya saat berlayar.

2. Harga Awal Relatif Tinggi

Sistem baterai dan motor listrik berkualitas masih memiliki biaya investasi awal yang cukup tinggi.

3. Pengaruh Lingkungan Maritim

Kelembapan tinggi dan air asin dapat merusak komponen kelistrikan jika tidak dilindungi secara memadai.

4. Pengelolaan Energi yang Kompleks

Dibutuhkan sistem kontrol cerdas untuk mengatur konsumsi energi dan pemanfaatan sumber daya secara efisien.

2.3.5 Aplikasi pada Kapal SoelCat 12

Kapal SoelCat 12[12] adalah contoh nyata implementasi sistem propulsi listrik berbasis energi surya. Kapal ini menggunakan dua buah motor listrik masing-masing berdaya 30 kW, dikombinasikan dengan bank baterai Li-ion dan sistem panel surya seluas $\pm 40 \text{ m}^2$ yang dapat menghasilkan hingga 9 kWp.

Motor listrik SoelCat 12 mampu mendorong kapal hingga kecepatan 10 knot dengan operasi tanpa emisi hingga sebulan penuh dalam cuaca cerah, menjadikannya sangat cocok untuk aktivitas wisata sehari penuh di perairan seperti Marina Ancol.

2.3.6 Integrasi dengan Sistem Kontrol dan Monitoring

Untuk memastikan efisiensi dan keamanan sistem, kapal listrik tenaga surya biasanya dilengkapi dengan[14]:

1. Monitoring Konsumsi Daya Real-Time

Menampilkan sisa kapasitas baterai, output panel surya, dan konsumsi motor dalam bentuk digital.

2. Sistem Pendingin untuk Baterai dan Motor

Beberapa kapal menerapkan sistem pendinginan pasif atau aktif agar suhu komponen tetap stabil.

3. Sistem Keamanan Otomatis

Seperti proteksi overcharge, overdischarge, dan isolasi tegangan tinggi untuk keselamatan pengguna.

2.3.7 Potensi Pengembangan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan kapal dengan sistem propulsi listrik tenaga surya karena:

1. Kondisi geografis maritim dengan banyak pulau kecil.
2. Tingginya potensi radiasi matahari.
3. Meningkatnya kesadaran lingkungan di sektor pariwisata.
4. Adanya inisiatif pemerintah menuju dekarbonisasi sektor transportasi laut.

Dengan dukungan kebijakan, inovasi teknologi, dan perencanaan sistem yang matang, sistem propulsi listrik akan menjadi bagian integral dari transportasi wisata ramah lingkungan masa depan[13].

2.4 Tinjauan Kapal SoelCat 12

2.4.1 Latar Belakang dan Konsep

SoelCat 12 adalah kapal katamaran bertenaga surya yang dirancang dan dikembangkan oleh perusahaan Belanda, Soel Yachts, bekerja sama dengan Naval DC, sebuah perusahaan spesialis sistem propulsi listrik. Kapal ini diluncurkan sebagai solusi untuk transportasi laut yang berkelanjutan, efisien, dan bebas emisi, terutama untuk aplikasi di sektor pariwisata, konservasi, dan transportasi pulau kecil.

Nama SoelCat 12 berasal dari gabungan "Soel" (akronim dari *Solar Electric*) dan "Cat 12" yang menunjukkan tipe lambung katamaran dengan panjang 12 meter. Kapal ini dirancang untuk mengandalkan 100% energi matahari dalam

operasinya, tanpa ketergantungan pada sumber energi fosil atau pengisian daya dari darat (*off-grid*).

2.4.2 Spesifikasi Teknis Utama

Berikut adalah spesifikasi umum SoelCat 12[23]:

Parameter	Spesifikasi
Panjang total (LOA)	11.80 meter
Lebar total (BOA)	5.50 meter
Draft	±0.6 meter
Tipe lambung	Katamaran (double hull)
Kapasitas penumpang	Maksimal 12 orang
Motor listrik	2 × 30 kW motor listrik (brushless)
Sumber energi	Panel surya + Baterai lithium
Kapasitas panel surya	±9 kWp (sekitar 40 m ² panel PV)
Kapasitas baterai	±120 kWh
Kecepatan jelajah	8–10 knot
Durasi operasi	±6–10 jam (tanpa matahari tambahan)
Struktur lambung	Material komposit (FRP)
Sistem kontrol	Full digital + monitoring energi

Tabel 2. 1 Spesifikasi Teknik Kapal SoelCat 12

2.4.3 Desain Lambung dan Stabilitas

Desain lambung katamaran dipilih karena memberikan keuntungan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan monohull, khususnya pada kondisi laut tenang hingga sedang. Selain itu, desain katamaran menyediakan dek atas yang luas dan datar, sangat cocok untuk pemasangan panel surya dalam jumlah besar.

Dengan draft yang dangkal ($\pm 0,6$ m), kapal ini sangat cocok untuk perairan dangkal seperti teluk, sungai, dan kawasan pesisir seperti Marina Ancol. Desain lambung kembar juga mengurangi hambatan gelombang (*wave-making resistance*) sehingga meningkatkan efisiensi pelayaran.

2.4.4 Sistem Tenaga Surya dan Baterai

SoelCat 12 dilengkapi dengan sistem tenaga surya yang terdiri dari sekitar 40 m² modul PV monocrystalline, mampu menghasilkan daya puncak hingga 9 kWp. Energi ini digunakan secara langsung untuk menjalankan motor listrik dan juga disimpan ke dalam baterai lithium-ion berkapasitas ± 120 kWh.

Sistem manajemen energi pada kapal ini dirancang untuk:

1. Menyediakan tenaga langsung ke motor listrik saat matahari bersinar.
2. Mengisi ulang baterai secara otomatis saat surplus energi tersedia.
3. Mengalihkan beban sepenuhnya ke baterai saat malam hari atau cuaca buruk.

Dengan sistem ini, SoelCat 12 dapat beroperasi penuh tanpa bantuan sumber daya eksternal hingga $\pm 6-10$ jam, tergantung kondisi cuaca dan beban operasi.

2.4.5 Sistem Propulsi dan Kinerja

Kapal ini menggunakan dua motor listrik brushless berdaya 30 kW masing-masing, yang ditempatkan di belakang tiap lambung (*twin drive system*).

Konfigurasi ini memberikan:

1. Redundansi sistem (jika satu motor rusak, kapal tetap bisa bergerak).
2. Kemampuan manuver tinggi.
3. Distribusi daya simetris, mendukung kestabilan.

Kecepatan jelajah ideal berkisar antara 8–10 knot, cukup untuk wisata bahari pendek hingga menengah. Kecepatan maksimum bisa mencapai lebih dari 12 knot, namun dengan konsumsi energi yang lebih tinggi.

2.4.6 Performa dan Aplikasi

SoelCat 12 telah dioperasikan di berbagai kawasan wisata dan resort, termasuk di Pasifik Selatan dan Asia Tenggara. Performanya menunjukkan bahwa kapal ini:

1. Sangat cocok untuk ekowisata dan tur pulau.
2. Tidak menimbulkan polusi suara atau udara.
3. Dapat dioperasikan tanpa infrastruktur charging darat.

Dalam konteks Marina Ancol, SoelCat 12 memiliki potensi besar sebagai solusi transportasi wisata ramah lingkungan untuk mengelilingi kawasan teluk Jakarta, Pulau Seribu, dan area wisata terpadu.

2.4.7 Kelebihan dan Potensi Implementasi di Indonesia

Kelebihan utama SoelCat 12 yang mendukung adopsinya di Indonesia, antara lain:

1. Zero emission – sesuai dengan agenda pemerintah dalam dekarbonisasi sektor transportasi laut.
2. Operasi sun-based – cocok untuk wilayah tropis Indonesia dengan paparan sinar matahari tinggi sepanjang tahun.
3. Sistem mandiri energi – tidak tergantung jaringan listrik pelabuhan atau bahan bakar.

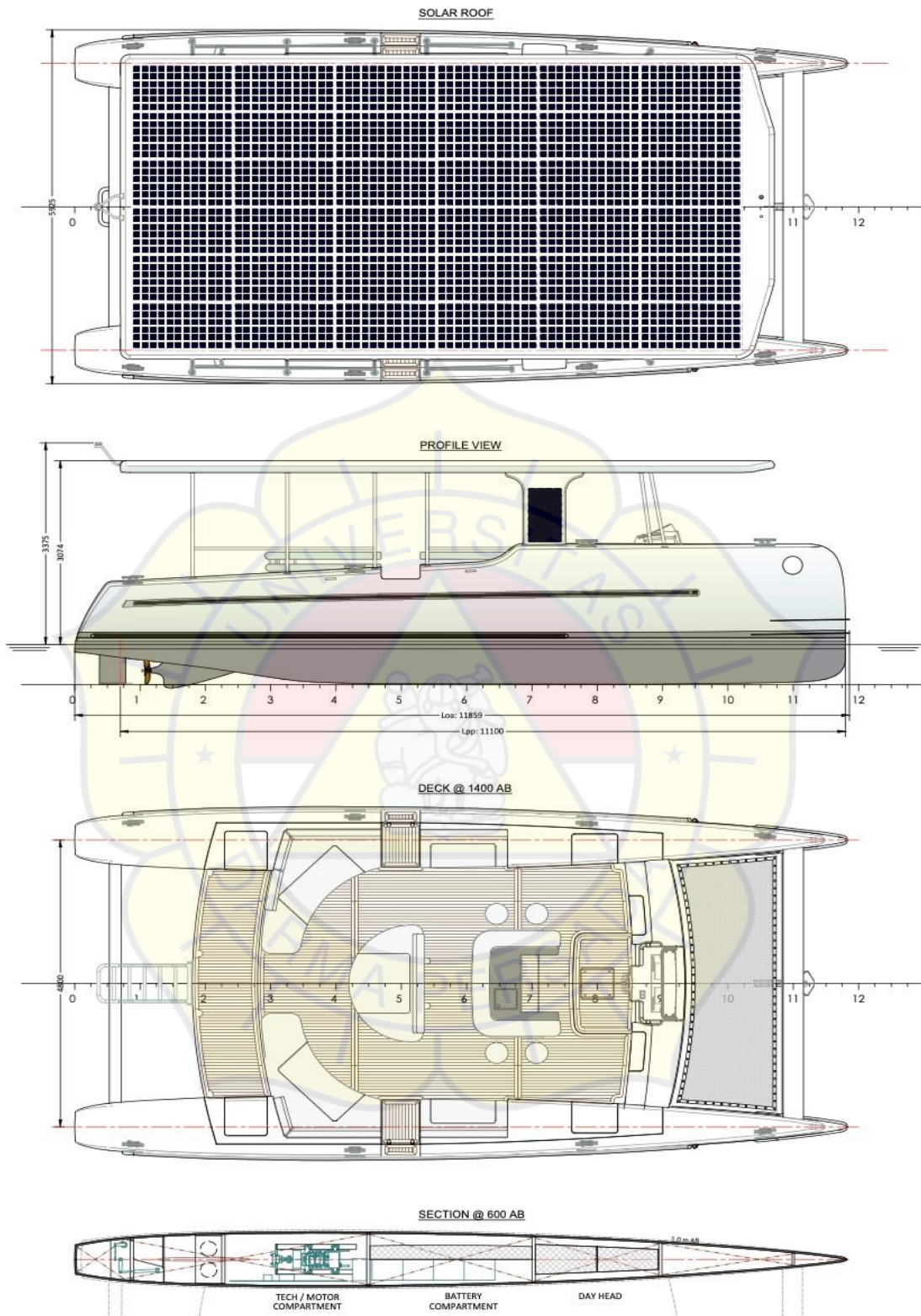
Potensi pemanfaatan kapal ini sangat besar di wilayah pesisir, danau wisata, kawasan konservasi laut, serta kawasan pariwisata seperti Marina Ancol, Labuan Bajo, Raja Ampat, dan Danau Toba[24].

2.5 Kapal SoelCat 12

SoelCat 12 adalah kapal katamaran bertenaga surya yang dikembangkan oleh Soel Yachts. Kapal ini dirancang untuk aplikasi wisata, transportasi ringan, dan keperluan konservasi lingkungan laut. Spesifikasi teknis utama SoelCat 12 antara lain:

1. Panjang keseluruhan (LOA): 11,8 meter
2. Lebar: 5,5 meter
3. Kedalaman: ± 1 meter
4. Daya motor listrik: 2×30 kW
5. Kapasitas baterai: 120 kWh
6. Panel surya: $\pm 8,6$ kWp

7. Kecepatan jelajah: 6–8 knot
8. Kecepatan maksimum 14 knot
9. Kapasitas penumpang: 12–16 orang
10. Light weight integrated design with E-glass composite with solid reinforced keel laminate for beaching
11. Osmosis-resistant construction with vacuum infused epoxy sandwich construction
12. Gelcoat finish on exterior with boot top line and anti-fouling underwater
13. Interior painted in off-white or light color
14. Lounge layout
15. Helm chair
16. Duplex stainless steel balanced shafts 1.5” or 40mm
17. Duplex stainless steel rudder stock with sandwich rudders
18. Hydraulic twin steering system
19. Self draining wing deck
20. Drained wet storage compartments next to the bathing platform
21. Storage lockers either in the hulls or under the deck furniture
22. Lighting system with courtesy and marine grade IP68 Led-strips
23. Navigation equipment with marine VHF/AIS system
24. Touch screen operating system
25. Safety equipment

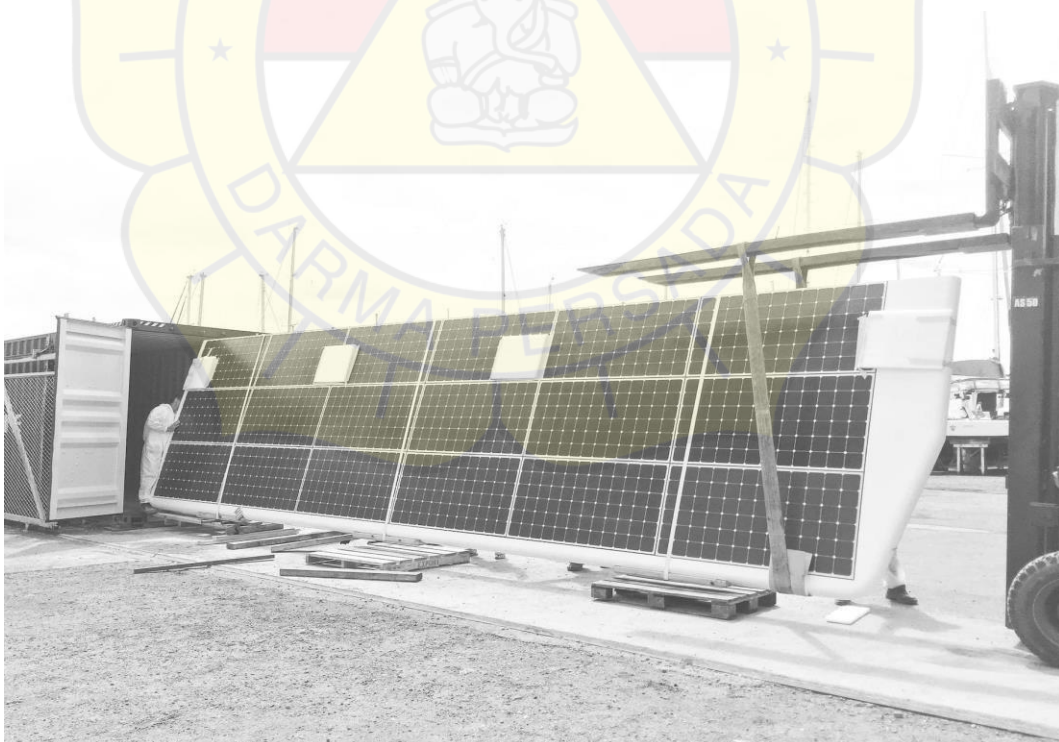


Gambar 2. 2 Rancang Bangun SoelCat 12 (<https://soelyachts.com>)

Kapal ini dirancang untuk operasi off-grid, yaitu tanpa perlu charging darat selama pelayaran harian, dengan memanfaatkan energi dari panel surya untuk mengisi ulang baterai secara langsung. Keunggulan SoelCat 12 adalah kombinasi efisiensi energi, stabilitas tinggi, dan desain ramah lingkungan yang cocok untuk kegiatan eco wisata.

2.6 Konsep Eco Wisata dan Transportasi Laut Berkelanjutan

Eco wisata (ecotourism) adalah bentuk wisata yang mengedepankan prinsip keberlanjutan, pelestarian lingkungan, serta penghormatan terhadap budaya dan komunitas lokal. Dalam konteks maritim, eco wisata mencakup penggunaan moda transportasi ramah lingkungan, pengurangan emisi, edukasi lingkungan, dan minimnya jejak ekologi dari aktivitas wisata.



Gambar 2. 3 Pemasangan panel surya (<https://soelyachts.com>)

Transportasi laut berkelanjutan merupakan bagian dari target global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, sebagaimana dinyatakan dalam IMO Initial Strategy (2018), yang menargetkan penurunan emisi karbon sektor pelayaran sebesar 50% pada tahun 2050[25] dibanding tahun 2008. Penggunaan kapal listrik tenaga surya merupakan langkah nyata menuju pencapaian target tersebut, terutama untuk kapal kecil dan menengah yang beroperasi di area pesisir atau perairan dalam negeri.



Gambar 2. 4 Proses penurunan ke air (<https://soelyachts.com>)

Penelitian-penelitian ini memberikan dasar bahwa penerapan kapal tenaga surya bukan hanya memungkinkan secara teknis, tetapi juga sangat sesuai dengan karakteristik operasional dan iklim tropis di Indonesia.

2.7 Studi Terkait dan Referensi (2020–2025)

No	Judul Penelitian / Artikel	Tahun	Fokus Utama
1	<i>Determination of PV Power and Battery Capacity Size for a Leisure Solar Powered Boat at Kalimas River, Surabaya, Indonesia</i> – Nasirudin et al.	2020	Optimasi daya PV dan kapasitas baterai untuk kapal wisata surya lokal Open Journal Systems+5Undip E-Journal System+5ITS Repository+5
2	<i>Desain Solar Powered Assisted Sightseeing Catamaran Boat untuk Wisata Pantai Teleng Ria... (Pacitan)</i> – Kurnia (Skripsi ITS)	2020	Desain kapal katamaran wisata tenaga surya lokal ITS Repository
3	<i>Analysis of Solar Panel Energy Consumption on Tourist Boats in Labuan Bajo</i> – Pratama & Arifin	2023	Kapasitas panel dan baterai untuk kapal wisata surya di Labuan Bajo Open Journal Systems
4	<i>New Concept of Solar-Powered Catamaran Fishing Vessel</i> – ITS, APAC 2013 (publikasi 2020)	2020	Integrasi diesel dan solar pada kapal nelayan katamaran scholar.its.ac.id

5	<i>Design of Catamaran Ship Using Solar Power</i> – Ramadhan et al., Universitas Negeri Padang	2020	Analisis desain katamaran tenaga surya untuk wisata di danau teknomekanik.ppj.unp.ac.id
6	<i>Green Innovation on the Water: The Solar-Powered Tourist Catamaran</i> – Interreg Europe (kasus Burgas, Bulgaria)	2025	Implementasi catamaran wisata hybrid solar-diesel, emisi rendah interregeurope.eu
7	<i>Solar Energy: Revolutionizing Shipping Industry Towards Sustainability...</i> (Preprint 2024)	2024	Tren retrofit solar kapal besar, termasuk solar-catamaran preprints.org
8	<i>BRIN develops electric boat for fishermen...</i> Indonesia – ANTARA News	2022	Program kapal listrik dan surya untuk nelayan dan wisata lokal en.antaranews.com
9	<i>Sailing Through Indonesia's Komodo National Park</i> – CN Traveler	2023	Ekowisata berkelanjutan, tren kapal hemat fosil termasuk solar cntraveler.com
10	<i>Bright Ideas in Travel 2023</i> – CN Traveler	2023	Tren ferry listrik dan solar city-ferries di dunia, termasuk Norwegia cntraveler.com

11	<i>Energy Observer</i> – Wikipedia (update 2024)	2024	Kapal eksperimen energi mandiri gabungan solar, baterai, hydrogen en.wikipedia.org
12	<i>Fusion of Indirect Methods and Iterative Learning for Persistent Velocity... ASV</i> – Govindarajan et al.	2025	Kontrol optimasi kecepatan kapal tenaga surya otonom
13	<i>Identifying Optimal Photovoltaic Technologies for Underwater Applications</i> – Röhr et al.	2021	Efisiensi teknologi PV di lingkungan maritim
14	<i>Design, Simulation and Feasibility Analysis of Bifacial Solar PV System... Cox's Bazar</i> – Mehadi et al.	2021	Studi panel bifacial pada lingkungan maritim/coastal
15	<i>Green Energy Trends in Indonesia Cruises... Sustainable Travel Options</i> – Elaleph Cruising	2025	Tren kapal wisata Indonesia menggunakan solar dan energi hijau elalephcruising.com
16	<i>SoelCat 12: No More Fuel!</i> – NauticExpo e-Magazine	2018 (update dikutip terus 2021–2025)	Profil teknis dan operasional SoelCat 12 emag.nauticexpo.com

17	Studi adapasi kapal listrik di Belitung, konferensi EGCCC 2023	2023	Potensi e-boat mengurangi emisi CO ₂ untuk nelayan/wisata di Indonesia magnusconferences.com
18	Studi kapal wisata listrik berbasis solar di Indonesia (General)	2021–2023	Beragam studi teknis lokal serupa aplikasi eco wisata surya Open Journal Systems
19	Research kapal solar catamaran di ITS dan UNP	2020–2023	Desain dan analisis lokal kapal surya katamaran untuk wisata dan nelayan scholar.its.ac.idteknomekanik.ppj.unp.ac.idITS Repository
20	<i>Nasirudin et al.</i> optimasi sistem PV & baterai di Surabaya	2020	Model optimasi biaya dan teknis untuk wisata kapal surya Undip E-Journal System

Tabel 2. 2 Studi Terkait dan Referensi (2020–2025)

2.7.1 Rangkuman Hasil Penelitian

1. Studi oleh *Nasirudin et al. (2020)* menunjukkan bahwa optimasi jumlah panel PV dan kapasitas baterai dapat menurunkan biaya hingga 24 % tanpa kehilangan performa energi untuk kapal wisata di Surabaya [ITS Repository](http://ITSRepository)+[Undip E-Journal System](http://UndipE-JournalSystem)+[Open Journal Systems](http://OpenJournalSystems)+[9](http://OpenJournalSystems).

2. Penelitian di Pacitan dan Labuan Bajo (Pratama dkk., 2022–2023) membuktikan potensi tinggi kapal surya lokal untuk wisata pulau dengan daya jelajah yang mencukupi dan desain yang efisien [ITS RepositoryOpen Journal Systems](#).
3. Kasus Burgas (Bulgaria) tahun 2025 menunjukkan bahwa hybrid solar-diesel dapat menghemat emisi → solar memenuhi 20–25 % kebutuhan energi kapal wisata kota pesisir [interregeurope.eu](#).
4. Publikasi global seperti *Energy Observer* dan inovator ASV otonom (2024–2025) mencerminkan tren teknologi lanjutan untuk kapal berenergi bersih dan mandiri [en.wikipedia.org](#).
5. Teknologi PV bifacial dan flexible panel telah diuji di lingkungan pantai/coastal dan terbukti efisien, relevan untuk pemasangan di geladak kapal.
6. Inisiatif lokal dari BRIN dan studi nelayan di Belitung memperlihatkan relevansi sosial-ekonomi dan potensi adopsi teknologi kapal listrik tenaga surya di Indonesia [en.antaranews.com](#).
7. Solar Electricity Handbook 2021, Michael Boxwell[19].

2.7.2 Relevansi terhadap SoelCat 12 dan Eco Wisata Marina Ancol

1. Studi-struktur lokal memberikan data praktis tentang penentuan ukuran panel dan baterai untuk kapal wisata lokal, yang dapat dibandingkan dengan spesifikasi SoelCat 12 (8–9 kWp dan 120 kWh).

2. Model *hybrid* seperti di Burgas memberi alternatif jika perlu backup cadangan daya atau memasukkan shore charging sebagai opsi adaptasi lokal.
3. Evolusi teknologi baterai dan panel (*bifacial, flexible*) relevan untuk optimasi desain dek katamaran ala SoelCat 12 di iklim tropis Indonesia.
4. Penelitian tentang kontrol kecepatan kapal otonom berbasis surya (Govindarajan et al., 2025) memberikan dasar model efisiensi operasional otomatis yang bisa diadaptasi untuk *itinerary* wisata harian di Marina Ancol.

2.8 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini berangkat dari kebutuhan akan moda transportasi wisata ramah lingkungan di kawasan pesisir urban seperti Marina Ancol. SoelCat 12 dipilih sebagai studi kasus karena mewakili teknologi kapal katamaran tenaga surya yang telah terbukti secara operasional. Analisis dilakukan terhadap aspek:

1. Desain kapal dan sistem tenaga surya
2. Kebutuhan dan ketersediaan energi harian
3. Kinerja sistem propulsi listrik
4. Stabilitas dan kenyamanan pelayaran
5. Kelayakan adopsi di Marina Ancol

Dari analisis tersebut, diharapkan muncul rekomendasi untuk pengembangan kapal wisata bertenaga surya yang sesuai untuk digunakan secara lokal di Indonesia.

2.9 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan landasan teori dan studi kasus, hipotesis yang diajukan adalah:

- H1: Sistem tenaga surya SoelCat 12 mampu memenuhi kebutuhan energi operasional harian untuk kegiatan eco wisata di Marina Ancol.
- H2: Desain katamaran pada SoelCat 12 memberikan stabilitas dan kenyamanan yang memadai bagi wisatawan di perairan tenang seperti Ancol.
- H3: Penerapan kapal tenaga surya seperti SoelCat 12 di kawasan Marina Ancol secara teknis dan operasional adalah layak dan berkelanjutan.

