

REVIEW DAN ANALISIS PERKEMBANGAN PLTS PADA SARANA TRANSPORTASI LAUT

M. P. Dwicaksana¹, I N. S. Kumara², I N. Setiawan³, and I M. A. Nugraha⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Jl Kampus Unud, Bukit Jimbaran, Bali Indonesia 80361

⁴Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang
Jl Kampung Baru Pelabuhan Ferry, Bolok, Kupang Bar, Kupang, Nusa Tenggara Tim 85351

e-mail: pujildwicaksana@gmail.com, satya.kumara@unud.ac.id, setiawan@unud.ac.id,
made.nugraha@kpk.go.id

Received: December, 2020

Accepted: March, 2021

Published: October, 2021

Abstract

This paper aims to review the current development of vessels with solar power to reference the research and development of solar power vessels in Indonesia. The research method is a systematic literature review on the development of solar-powered vessels and includes an online survey of vessels using solar PV. This study found 86 solar-powered vessels consisting of boats, utility boats, ferries, houseboats, research, vehicle carriers, dive boats, and yachts developed from 1988 to 2020. These solar-powered vessels were built for various functions such as competitions, cleaning the environment, passenger transportation, and water tourism. Production of solar-powered vessels is increasing in terms of production volume, PV capacity, and battery capacity. In terms of PV configuration, the solar array is dominated by a fixed array structure. However, there have been innovations using sun-tracking, wind tracking airfoils, and expandable channels to increase PV capacity.

Keywords: Renewable energy, vehicle integrated PV, solar PV, solar boat, solar yacht

Abstrak

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengetahui status terkini perkembangan vessel dengan PLTS di dunia sebagai rujukan untuk penelitian dan pengembangan PLTS pada vessel di Indonesia. Metode penelitian adalah studi pustaka sistematis terhadap perkembangan PLTS vesel dan termasuk survei online terhadap produk vessel yang menggunakan PLTS. Dari studi ini diperoleh sebanyak 86 vesel ber-PLTS yang terdiri dari boat, utility boat, ferry, houseboat, research, vehicle carrier, dive boat dan yacht yang dikembangkan mulai tahun 1988 sd 2020. Vessel ber-PLTS ini dibangun untuk berbagai fungsi seperti perlombaan, pembersih lingkungan, transportasi penumpang, dan wisata air. Produksi kapal ber-PLTS makin meningkat baik dari sisi jumlah produksi, kapasitas PLTS, serta kapasitas baterai. Dari sisi konfigurasi arai surya didominasi oleh fixed array structure, namun sudah ada inovasi menggunakan sun tracking, wind tracking airfoils, serta arai expandable untuk meningkatkan kapasitas PLTS.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, PV Pada Kendaraan, PLTS, solar PV, solar boat, solar yacht

1. PENDAHULUAN

Setiap negara di dunia telah dan sedang berupaya untuk meningkatkan peran energi hijau dan terbarukan dalam membangkitkan energi listrik. Energi matahari adalah sumber

energi terbarukan terbaik karena merupakan energi bersih yang tidak terbatas. Radiasi matahari dapat dimanfaatkan dan tidak mencemari lingkungan (Kim, 2019). radiasi bergantung lokasi geografis, waktu, musim,

ruang lingkup, dan cuaca. Karena bumi itu bulat, sinar matahari menerpa permukaan bumi dengan sudut yang berbeda-beda mulai dari 0° hingga 90°. Ketika sinar matahari vertikal, permukaan bumi mendapatkan energi yang paling maksimal (Rajput, 2017). Energi dari matahari dimanfaatkan dengan teknologi fotovoltaik (PV). Fotovoltaik merupakan perangkat kokoh dan sederhana dalam desainnya, sehingga memerlukan sedikit perawatan dan bisa memberikan output dari mikrowatt ke megawatt. Karakteristik tersebut membuat PV digunakan untuk sumber listrik, pompa air, daerah terpencil, sistem surya atap, komunikasi, satelit dan kendaraan ruang angkasa, pembangkit osmosis balik, dan bahkan untuk pembangkit listrik skala megawatt (Parida et al., 2011).

Pada akhir 2018, kapasitas terpasang PV dunia mencapai 512,3 GW yang sebagian besar adalah grid-connected system. Negara IEA PVPS menghasilkan 432,7 GW dan negara PVPS IEA sebesar 79,6 GW. India mewakili 32,9 GW hampir setengah dari 79,6 GW ini, sisanya sebagian besar berlokasi di Eropa. Negara-negara besar lainnya yang menyumbang instalasi kumulatif tertinggi pada akhir 2018 yang bukan bagian dari program PVPS IEA adalah: Pakistan dengan perkiraan 2,1 GW, Taiwan dengan 2,7 GW, Brasil dengan 2,3 GW dan Filipina 0,9 GW (Masson et al, 2019).

VIPV (Vehicle Integrated PV) atau PV pada kendaraan merupakan bidang PV terbaru yang akan dikembangkan dengan potensi tinggi seperti mobil, truk, kapal, dan lainnya. Dekarbonisasi mendorong penurunan emisi GRK di sektor transportasi khususnya PV yang terintegrasi. Kapal laut memiliki peranan yang sangat besar untuk dapat sebagai sarana transportasi air di sungai, danau, dan laut bahkan samudera. Sumber energi penggerak kapal merupakan salah satu faktor yang menjadi perhatian. Kapal diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu, kapal kontainer, kapal pengangkut massal, kapal tanker, kapal penumpang, kapal angkatan laut, kapal lepas pantai, dan kapal tujuan khusus (Kantharia, 2020). Kapal jenis kontainer, pengangkut massal, tanker, dan lepas pantai merupakan kapal berukuran yang besar dan berat yang dirancang untuk mengangkut minyak. Kapal angkatan laut memiliki ukuran yang besar dengan tempat peluncuran pesawat hingga

yang kecil untuk keperluan patroli. Begitu pula kapal penumpang yaitu feri dan pesiar yang memiliki beragam ukuran mulai dari yang paling besar yaitu megayacht untuk mengangkut banyak penumpang, ukuran sedang keluarga dan ukuran kecil sport yacht. Kapal tujuan khusus seperti kapal penelitian dan penyelamat juga memiliki ukuran yang bervariasi sesuai kebutuhan.

Pada akhir tahun 2019, terdapat sekitar 61.100 armada kapal niaga dunia, dengan total tonase bobot mati 1.966 juta DWT. Berdasarkan tonase bobot mati, armada dunia telah meningkat hampir dua kali lipat sejak tahun 2005 dan masih meningkat sebesar 4% sejak 2018 (UK Department for Transport, 2019). Melihat besarnya armada kapal laut maka di samping sebagai sarana transportasi dapat juga dimanfaatkan sebagai tempat pemasangan PLTS. Penelitian ini mencoba menelaah perkembangan kapal ber-PLTS di dunia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan cepat dalam melakukan penelitian dan pengembangan aplikasi PLTS.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya memanfaatkan radiasi sinar matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik.

A. Solar PV System

Komponen utama dari sistem tenaga PV adalah sel fotovoltaik yang saling berhubungan dan dikemas untuk membentuk modul fotovoltaik, struktur pemasangan untuk modul, inverter, baterai penyimpanan dan pengontrol pengisian daya (Masson & Kaizuka, 2019). Panel surya adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Panel surya fotovoltaik dapat dibuat sedemikian rupa sehingga energi matahari menarik atom-atom dalam lapisan silikon di antara dua panel pelindung. Elektron ini membentuk arus listrik, yang dapat digunakan oleh perangkat eksternal (Jingcheng, 2010). Charge Controller adalah peralatan elektronik untuk mengontrol pengisian dan pengosongan baterai. Solar charge controller mengatur agar tidak terjadi overcharging dan overvoltage karena dapat mengurangi umur baterai. Baterai adalah alat penyimpan tenaga listrik. Baterai merupakan komponen untuk memberikan daya kepada beban ketika modul surya tidak dapat menyediakan daya keseluruhan pada beban, dan menyimpan

kelebihan daya yang dihasilkan oleh modul surya.

B. Aplikasi PLTS di Dunia

Berdasarkan IEA PVPS Trend in Photovoltaic Applications 2019, pengaplikasian PLTS telah dilakukan diberbagai bidang yang diantaranya, BAPV (*building applied photovoltaics*), BIPV (*buildings integrated photovoltaics*), PV bifacial, PVT (*PV thermal hybrid solar installations*), PV terapung, PV pertanian, dan pico PV. Sistem BAPV merupakan fotovoltaiik terapan pada bangunan. Sistem BIPV merupakan fotovoltaiik terintegrasi pada bangunan. PV bifacial dapat menghasilkan energi melalui kedua sisi panel dan ketika dipasang pada permukaan yang memantulkan cahaya menyebabkan produksi energi meningkat. PVT menggabungkan modul surya dengan pengumpul panas matahari, sehingga mengubah sinar matahari menjadi listrik dan panas untuk menghasilkan air panas. Sistem PV terapung merupakan PV yang mengapung di permukaan air. PV pertanian menggabungkan tanaman dan produksi energi di lokasi yang sama. Sistem pico PV menggabungkan penggunaan lampu yang sangat efisien dengan pengontrol canggih dan baterai yang efisien (Masson & Kaizuka, 2019).

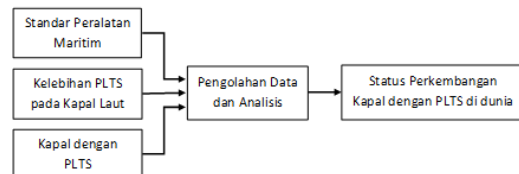
C. Kelebihan PLTS pada Kapal Laut

Beberapa kelebihan dari PLTS pada kapal laut: 1) Energi surya merupakan energi terbarukan. PLTS mejadi salah satu sumber energi pada kapal untuk menurunkan, pemakaian BBM 2) Pemakaian energi surya mengurangi emisi udara 3) PLTS pada kapal juga menghemat biaya bahan bakar kapal, 4) Berat tambahan dari PLTS sangat kecil dibandingkan dengan jumlah perbekalan, bahan bakar dan ketentuan perlengkapan yang diberlakukan pada kapal (Kirkpatrick, 2013), 5) Menjaga kelestarian ekosistem laut. Dengan menggunakan PLTS maka dapat mengurangi pemanasan global yang mengakibatkan suhu laut menghangat yang dapat merusak ekosistem laut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini meninjau perkembangan aplikasi PLTS pada kapal laut. Aspek tinjauan mencakup standarisasi, kapal laut ber-PLTS, dan manfaat PLTS pada kapal laut. Juga dilakukan tinjauan terhadap standar kapal, spesifikasi teknis, dan fungsi PLTS. PLTS adalah tekonologi konversi energi yang tergantung dari luasan fotovoltaiik yang bisa dimanfaatkan. Untuk mendapatkan

gambaran tentang konfigurasi panel fotovoltaiik pada kapal maka akan ditampilkan gambar untuk mengetahui bagaimana teknik, lokasi, serta konfigurasi pemasangan arai surya.



Gambar 1. Skematik penelitian

Pada skematik penelitian (Gambar 1), langkah pertama penelitian ini adalah mengkaji standar perkapalan mengingat pemasangan peralatan untuk lingkungan di laut memiliki persyaratan material yang tinggi. Langkah kedua yaitu memaparkan tentang keunggulan PLTS pada kapal laut. Langkah ketiga adalah review kapal ber-PLTS di seluruh dunia. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dan analisis untuk mendapatkan status perkembangan kapal ber-PLTS di dunia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Data

Data didapatkan dari publikasi ilmiah, badan standarisasi, publikasi vendor, pabrikan, dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan kapal dengan energi surya.

3.2 Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan database 86 kapal ber-PLTS. Bagian ini membahas tentang standar kapal laut, serta produk kapal laut ber-PLTS.

A. Standar Perkapalan

Perbedaan dari sistem PV darat dan kapal mengacu pada sistem tenaga kelistrikan kapal, kondisi lingkungan laut, kebutuhan kapal yang berbeda serta sifat beban kapal meningkatkan kompleksitas dalam penerapan PV di lingkungan laut. Panel PV yang dipasang di aplikasi kelautan harus toleran terhadap kondisi laut seperti kelembapan tinggi, kondisi lingkungan asin, dan korosi. Hubung singkat dan kerusakan pada bagian mekanis konverter disebabkan oleh kelembapan dan garam. Permukaan logam dapat digalvanis atau dilapisi anti karat. Untuk mencegah degradasi sel surya karena penetrasi kelembapan, bahan enkapsulasi seperti lembaran kaca tambahan atau kaca pengaman yang diperkuat dapat digunakan. Pada kapal biasanya PV menerima radiasi matahari yang

terus berubah-ubah terutama jika kapal memiliki rute pelayaran yang berbeda. Perkiraan profil iradiasi merupakan tantangan di kapal dibandingkan dengan sistem PV darat. Akibatnya pengkajian pembangkit energi listrik tahunan juga sulit. Karakteristik keluaran sel PV juga dipengaruhi oleh getaran frekuensi rendah kapal. Pengaruh air hujan, air laut, lapisan partikel garam dari burung laut, gulma dan alga juga dapat menyebabkan degradasi PV kapal. Jenis PV pada kapal laut harus toleran terhadap kelembapan tinggi, kondisi lingkungan asin, dan korosi. Eksterior utama dapat digalvanis atau dapat ditutup dengan anti karat untuk mencegah degradasi sel surya. Dengan kriteria tersebut, penggunaan jenis panel fotovoltaik tipe thin film menjadi yang terdominan dipakai para pengembang kapal laut dengan PLTS (Paulson & Chacko, 2019).

ISO (International Organization for Standardization) Merupakan organisasi standar internasional di dunia. ISO menetapkan standar industrial dan komersial dunia.

Tabel 1: Standar ISO *shipbuilding and marine structures* [Sumber: www.iso.org]

No	ICS	Field
1	47.020	Shipbuilding and marine structures in general
2	47.020.01	General standards related to shipbuilding and marine structures
3	47.020.05	Materials and components for shipbuilding
4	47.020.10	Hulls and their structure elements
5	47.020.20	Marine engines and propulsion systems
		Standards for internal combustion engines for general use
6	47.020.30	Piping systems
7	47.020.40	Lifting and cargo handling equipment
8	47.020.50	Deck equipment and installations
9	47.020.60	Electrical equipment of ships and of marine structures
10	47.020.70	Navigation and control equipment
		Radiocommunications equipment
11	47.020.80	Accommodation spaces
12	47.020.85	Cargo spaces
		Including tanks and tankers

IEC (International Electrotechnical Commission) adalah organisasi yang menerbitkan Standar Internasional untuk teknologi kelistrikan, elektronik dan yang terkait.

Tabel 2: Standar IEC *shipbuilding and marine structures* [Sumber: www.iec.ch]

No	ICS	Field
1	47.020.60	Electrical equipment of ships and of marine structures
2	47.020.70	Navigation and control equipment
3	47.080	Small craft

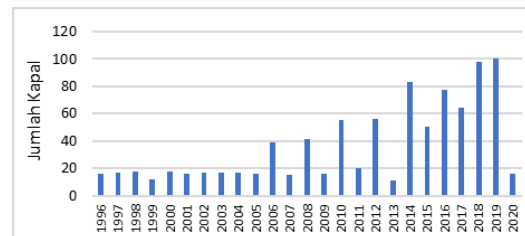
Dari standar-standar di atas belum ada dijabarkan secara spesifik tentang penerapan PLTS pada kapal laut, namun komponen-komponen PLTS harus dipasang mengikuti standar kualitas bahan/metode pemasangan untuk aplikasi di laut.

B. Perlombaan Kapal PLTS

Lomba kapal PLTS adalah perlombaan kapal dengan PLTS dengan penilaian seperti solar slalon, ketahanan, sprint, dan lain-lain. Perlombaan ini menjadi ajang strategis dalam pengembangan PLTS kapal, karena partisipan terus melakukan inovasi dan berusaha memecahkan rekor *solar boat* tercepat. Salah satunya solarboat race adalah *Solar Sport One*. Ajang ini paling banyak peserta dimana dibagi 3 kelas kapal yaitu *A Class*, *V20 Class*, dan *Top Class*. Perkembangan jumlah *solar race boat* di dunia dari awal adanya perlombaan hingga 2020 disajikan pada Gambar 2.

Tabel 3: Perlombaan balap kapal ber-PLTS di dunia

No	Solar Boat Race	Tahun Mulai	Status
1	<i>Solar Sport One</i>	2006	Aktif
2	<i>Solar Splash</i>	1996	Aktif
3	<i>Monaco Solar & Energy Challenge</i>	2014	Aktif
4	<i>Young Solar Challenge</i>	2014	Aktif



Gambar 2. Perkembangan kapal PLTS untuk lomba

Gambar 2 memperlihatkan perkembangan kapal ber-PLTS untuk perlombaan menunjukkan tren meningkat. *Solar Sport One* awal mulanya bernama *Frisian Solar Challenge* yang diadakan setiap 2 tahun sekali sejak 2006 di Friesland, Belanda. Tahun 2017 namanya dirubah menjadi *Solar Sport One* dan dilaksanakan setahun sekali. Perlombaan lain seperti *Young Solar Challenge* yang bekerjasama dengan *Solar Sport One*, *Solar Splash* yang diadakan di Amerika Serikat, dan *Monaco Solar & Energy Challenge* yang diadakan di Monaco, dilaksanakan setiap tahun.

C. Review Kapal Laut dengan PLTS

Kapal bertenaga surya pertama adalah *Solar Craft 1* yang diluncurkan tahun 1975. Lalu tahun 1988, diluncurkan kapal publik pertama yaitu

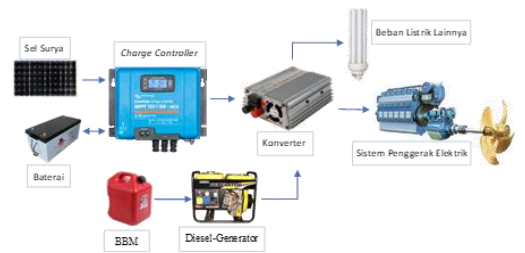
Solar Shuttle Boats yang mampu menampung 120 penumpang. Tahun 2001 *Solar Sailor Company* Australia meluncurkan *ferry* bertenaga *hybrid* (angin dan matahari). Hingga saat ini, kapal bertenaga surya terbesar adalah *Tûranor Planet Solar* dengan panjang 31 dan lebar 15 meter (GÛRSU, 2014). Menggunakan 127 modul surya dengan luas 512 m². Memiliki kapasitas PLTS 93 kWp dengan kapasitas baterai 2910 Ah yang untuk menyuplai dua motor listrik total 120 kW. Secara lengkap hasil survei kapal ber-PLTS disajikan pada Tabel 4.

Terdapat 2 jenis sistem pembangkit listrik kapal bertenaga surya, yaitu: 1) Sistem pembangkit listrik tenaga surya. Merupakan sistem pembangkit listrik dengan tenaga surya sebagai sumber energi utama yang ditunjukkan Gambar 3. *Charger controller* memiliki peran penting dalam menentukan penggunaan daya apakah dari baterai atau dari sel surya. Baterai diisi jika penggunaan listrik pada kapal lebih rendah dibanding daya yang dibangkitkan sel surya. 2) Sistem pembangkit listrik *hybrid* menggunakan

matahari dan sumber energi lain. Sistem pembangkit listrik hybrid terdapat *back-up* daya apabila PLTS tidak dapat memasok kebutuhan. Terlihat pada gambar 4 bahan bakar minyak akan diubah menjadi listrik via generator untuk menghasilkan listrik.



Gambar 3. Skematik sistem PLTS pada kapal laut



Gambar 4. Skematik sistem *hybrid* pada kapal laut

Tabel 4: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS



Gambar 5. *Aquabus 1050 Aquarel* [Groove Boats SA]

Aquabus 1050 adalah *ferry* buatan *Groove Boats SA* Swiss yang ditunjukkan pada Gambar 5. Kapasitas PLTS adalah 1,5 kW. Produk lain *Groove Boats SA* yaitu, *Aquabus C60*, *Aquabus 850T*, dan *Solar SeaCleaner 400* (0,6 kW). PLTS digunakan untuk menyuplai mesin penggerak, sistem navigasi, pencahayaan, dan sistem suara (grove-boats.com).



Gambar 6. *RA 66* [Kopf Solar design]





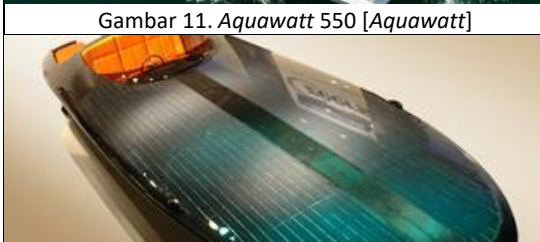


RA 66 adalah *ferry* buatan *Kopf Solar design* Jerman yang ditunjukkan pada Gambar 6. Panel fleksibel dipasang melengkung dengan kapasitas 3,8 kWp dan baterai 560 Ah. Produk lain *Kopf Solar design* yaitu, *RA 29* (2,1 kW 360 Ah), *RA 33* (2,1 kW 360 Ah), *RA 46* (2 kW 1 kAh), *RA 72* (4,2 kW 720 Ah), *RA 88* (9,6 kW 1,8 Ah), *SOL 10* (0,4 180 Ah), *SOL 12* (0,2 180 Ah), dan *SOL 20* (0,55 260 Ah). PLTS untuk mesin penggerak dan navigasi (kopf-solardesign.com).



Gambar 7. *Solar Sailor* [change-climate.com]

Solar Sailor adalah *ferry* asal Australia. Foto *Solar Sailor* ditunjukkan pada Gambar 7. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan dan sayap yang bisa diatur posisinya secara vertikal atau horisontal. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, sistem navigasi, sistem kontrol dan pencahayaan (GÛRSU,2014).


Tabel 5: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 1)

	<p>Arcadia A85 adalah <i>yacht</i> buatan Arcadia Yacht Italia. Kapasitas PLTS adalah 5 kW. Produk lain Arcadia Yacht yaitu, A85S (2,5 kW), A105 (4,5 kW), A115 (5 kW), Sherpa, dan Sherpa XL. PLTS digunakan untuk menyuplai mesin penggerak, pencahayaan, navigasi, sistem kontrol, tata udara, dan hiburan (arcadiayachts.it).</p>
	<p>Chassali Solar merupakan <i>ferry</i> asal Jerman. Foto Chassali Solar ditunjukkan pada Gambar 9. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 0,75 kW dengan baterai 180 Ah. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (solarmobil.net).</p>
	<p>Sun21 merupakan <i>boat</i> buatan transatlantic21 Association Swiss. Foto Sun21 ditunjukkan pada Gambar 10. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>boat</i>. Kapasitas PLTS adalah 10 kW dengan baterai 520 Ah. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak dan sistem navigasi (transatlantic21.org).</p>
	<p>Aquawatt 550 merupakan <i>boat</i> asal Jerman. Foto Aquawatt 550 ditunjukkan pada Gambar 11. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan dan atap <i>boat</i>. Kapasitas PLTS adalah 0,4 kWp dengan baterai 70 Ah. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak dan sistem navigasi (aquawatt.at).</p>
	<p>Czeers Mk1 merupakan <i>boat</i> buatan Czeers Solarboats Belanda. Czeers Mk1 ditunjukkan pada Gambar 12. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan kapal. Czeers Mk1 memiliki luas 10 x 2,7 m, yang berkapasitas 5 penumpang. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (diseno-art.com).</p>
	<p>Soleman merupakan <i>ferry</i> asal Spanyol. Soleman ditunjukkan pada Gambar 13. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 4,6 kW dengan baterai 23,5 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, sistem navigasi dan pencahayaan (seacleaner.com).</p>
	<p>Navettes Paris merupakan <i>ferry</i> asal Perancis. Navettes Paris ditunjukkan pada Gambar 14. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 2,7 kW dengan baterai 110 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (alternativesenergies.com).</p>








Tabel 6: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 2)

	<p>Bus De Mer La Rochelle merupakan <i>ferry</i> asal Perancis. Bus De Mer La Rochelle ditunjukkan pada Gambar 15. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 4 kW dengan baterai berkapasitas 120 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (alternativesenergies.com).</p>
	<p>ASV Roboat merupakan <i>researche boat</i> asal Austria. ASV Roboat ditunjukkan pada Gambar 16. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan kapal. Kapasitas PLTS adalah 0,285 kW. Beban kelistrikan dari ASV Roboat antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (newatlas.com).</p>
	<p>Auriga <i>Leader</i> merupakan <i>vehicle carrier</i> buatan Nippon Yusen Kabushiki Kaisha Jepang. Foto Auriga <i>Leader</i> ditunjukkan pada Gambar 17. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 40 kW. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, sistem kontrol, pencahayaan, dan tata udara (nyk.com).</p>
	<p><i>Greenline 33</i> (1,8 kW 40 kWh) adalah <i>yacht</i> buatan <i>Greenline Yacht</i> Italia. Produk lain <i>Greenline Yacht</i> yaitu, <i>Greenline 39</i> (1,2 kW 80kWh), <i>Greenline 40</i> (1,8 kW 80 kWh), <i>48 fly</i> (0,6 kW 80 kWh), <i>45 fly</i> (0,6 kW 80 kWh), dan <i>48 C</i> (2,4 kW 80 kWh). PLTS digunakan untuk menyuplai mesin penggerak, pencahayaan, sistem navigasi, tata udara dan hiburan (greenlinehybrid.com).</p>
	<p><i>Blue Star Delos</i> merupakan <i>ferry</i> buatan <i>Blue Star Ferry</i> Yunani. Foto <i>Blue Star Delos</i> ditunjukkan pada Gambar 19. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>feery</i>. Kapasitas PLTS adalah 2,32 kW dengan baterai 5,4 kWh. Beban kelistrikan antara lain sistem pencahayaan (Atkinson, 2016)</p>
	<p><i>Emerald Ace</i> merupakan <i>vehicle carrier</i> buatan Mitsui O.S.K. Lines Jepang. Foto <i>Emerald Ace</i> ditunjukkan pada Gambar 20. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 160 kW dengan baterai 2,2 MWh. Beban kelistrikan antara lain sistem navigasi dan pencahayaan (mol.co.jp).</p>
	<p><i>ECO Slim</i> merupakan <i>ferry</i> asal Spanyol. <i>ECO Slim</i> ditunjukkan pada Gambar 21. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. <i>ECO Slim</i> memiliki luas 24 x 2,7 m, yang berkapasitas 150 penumpang. Beban kelistrikan dari <i>ECO Slim</i> antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (dalmaushipyard.com).</p>

Tabel 7: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 3)

	<p>Solarwave 46 adalah <i>yacht</i> buatan Silent Yacht Austria. Kapasitas PLTS adalah 8,5 kWp. Produk lain Silent Yacht yaitu, <i>Silent 44</i> (9 kW), <i>Silent 55</i> (10 kW 140 kWh), <i>Silent 60</i> (17 kW 210 kWh), <i>Silent 64</i> (15 kW 120 kWh), dan <i>Silent 80</i> (26 kW 240 kWh). PLTS untuk mesin penggerak, navigasi, sistem kontrol, dan pencahayaan (silent-yachts.com.au)</p>
	<p>C-Enduro merupakan <i>research boat</i> buatan L3 ASV Australia. C-Enduro ditunjukkan pada Gambar 23. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan kapal. Kapasitas PLTS adalah 1,1 kW. Beban kelistrikan dari C-Enduro antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (asvglobal.com).</p>
	<p>SunCat 23 adalah <i>dive boat</i> buatan Horizon Group Taiwan. Foto SunCat 23 ditunjukkan pada Gambar 24. Kapasitas PLTS adalah 0,8 kW. Produk lain Horizon Group yaitu <i>SunCat 46</i> (3,2 kW). PLTS digunakan untuk menyuplai beban kelistrikan kapal berupa, mesin penggerak, pencahayaan, navigasi, dan sistem kontrol (nauticareport.it).</p>
	<p>Heliotrope 60 merupakan <i>yacht</i> buatan Heliotrope Thailand. Heliotrope 60 ditunjukkan pada Gambar 25. Panel fotovoltaik dipasang pada atap. Kapasitas PLTS adalah 7 kW dengan baterai 5000 Ah. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, sistem navigasi, pencahayaan, tata udara, logistik, dan hiburan (yacht-heliotrope.com).</p>
	<p>COSCO Tengfei merupakan <i>vehicle carrier</i> asal China. Foto COSCO Tengfei ditunjukkan pada Gambar 26. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 143,1 kW dengan baterai berkapasitas 307,2 kWh. Beban kelistrikan dari COSCO Tengfei antara lain pencahayaan, tata udara, dan logistik (Qiu dkk, 2019).</p>
	<p>Arkup 75 merupakan <i>houseboat</i> asal Amerika Serikat. Foto Arkup 75 ditunjukkan pada Gambar 27. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 36 kW dengan baterai 182 kWh. PLTS digunakan untuk menyuplai tata udara, mesin penggerak, sistem navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, pembuat air, hiburan (arkup.com).</p>
	<p>Solliner adalah <i>boat</i> asal Belanda. Foto Solliner ditunjukkan pada Gambar 28. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 1 kWp dengan baterai berkapasitas 254 Ah. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, pencahayaan, navigasi, dan sistem kontrol (greendreamboats.com).</p>


Tabel 8: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 4)

	<p><i>Champer 1500</i> merupakan <i>yacht</i> buatan Technus Jerman. Foto <i>Water Champer 1500 VIP</i> ditunjukkan pada Gambar 29. Kapasitas PLTS adalah 4,5 kWp dengan baterai berkapasitas 880 Ah. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, tata udara, sistem navigasi, pencahayaan, dan hiburan (water-camper.de).</p>
	<p>SSR19 merupakan <i>dive boat</i> buatan SeaZen Perancis. Foto kapal SSR19 ditunjukkan pada Gambar 30. Panel fotovoltaik fleksibel dipasang melengkung pada atap kapal dengan baterai berkapasitas 11 kWh. Beban kelistrikan dari SSR19 antara lain, mesin penggerak dan sistem navigasi kapal (seazen.fr).</p>
	<p>Solaris merupakan <i>boat</i> buatan Solar Sal Amerika. Solaris ditunjukkan pada Gambar 31. Kapasitas PLTS adalah 6 kW. Kapal lain produksi Solar Sal yaitu Solar Sal 27 (1,44 kW). Modul surya dari kapal buatan Solar Sal dipasang pada atap kapal. Beban kelistrikan kapal berupa, mesin penggerak dan navigasi (solarsal.solar).</p>
	<p><i>Solar Voyager</i> merupakan <i>research boat</i> tanpa penumpang buatan Solar Voyager Amerika. <i>Solar Voyager</i> ditunjukkan pada Gambar 32. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 0,24 kW. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan navigasi (solar-voyager.com)</p>
	<p><i>Ruby Luxury Houseboat</i> merupakan <i>houseboat</i> asal Australia. <i>Ruby Luxury Houseboat</i> ditunjukkan pada Gambar 33. Panel fotovoltaik dipasang pada atap. Kapasitas PLTS adalah 7 kW dengan baterai 1000 Ah. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara, logistik, dan hiburan (allseasonshouseboats.com).</p>
	<p><i>Secret 33</i> merupakan <i>ferry</i> buatan Derek Ellard yang beroperasi di Australia. Foto Secret 33 ditunjukkan pada Gambar 34. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 1,6 kW. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, sistem navigasi dan sistem kontrol (electricferry.com.au).</p>
	<p><i>BabyCat</i> adalah <i>ferry</i> asal Kroasia yang diluncurkan tahun 2020. Foto <i>BabyCat</i> ditunjukkan pada Gambar 35. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 7,5 kW dan baterai 50 kWh. Beban kelistrikan dari antara lain, mesin penggerak serta navigasi (icat.hr)</p>

Tabel 9: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 5)

	<p><i>Solarwind 52</i> adalah <i>ferry</i> buatan A.R.C Yacht & Composites Turki. Foto <i>Solarwind 52</i> ditunjukkan pada Gambar 36. Panel fotovoltaik seluas 40 m² dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 14 kW dengan baterai 80 kWh. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak dan sistem navigasi (arcsolaryachts.com).</p>
	<p><i>Aditya</i> adalah <i>ferry</i> asal India. Foto <i>Aditya</i> ditunjukkan pada Gambar 37. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 20 kWp dengan baterai 60 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, navigasi, dan pencahayaan <i>ferry</i> (Thandasherry, 2018).</p>
	<p><i>Energy Observer</i> adalah <i>research boat</i> asal Perancis. Foto <i>Energy Observer</i> ditunjukkan pada Gambar 38. Panel fotovoltaik dipasang pada permukaan kapal. Kapasitas PLTS adalah 21 kWp dengan baterai 130 kWh. Beban antara lain mesin penggerak, sistem navigasi, pencahayaan, dan sistem kontrol (energy-observer.org).</p>
	<p><i>The SunFlower</i> merupakan <i>yacht</i> asal Inggris. <i>The SunFlower</i> ditunjukkan pada Gambar 39. Panel fotovoltaik dipasang pada atap. Kapasitas PLTS adalah 6 kW dengan baterai 96 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, pencahayaan, navigasi, dan hiburan (thamessolarelectric.co.uk).</p>
	<p><i>Soelcat 12</i> merupakan <i>tour & dive boat</i> buatan Soel Yacht Belanda. Foto <i>Soelcat 12</i> ditunjukkan pada Gambar 40. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 8,6 kWp dengan baterai 120 kWh. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, pencahayaan, sistem navigasi, dan sistem kontrol (soelyachts.com).</p>
	<p><i>Heliodive</i> adalah <i>dive boat</i> buatan Alexis Synodios di Vendée, Perancis pada tahun 2015. Foto <i>Heliodive</i> ditunjukkan pada Gambar 41. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 5,6 kW dengan baterai 50 kWh. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak dan sistem navigasi (heliodive.com).</p>
	<p><i>EMS Mobicat</i> merupakan <i>ferry</i> buatan Bielerssee Shipping Company Swiss. <i>EMS Mobicat</i> ditunjukkan pada Gambar 42. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 34 kW dengan baterai 480 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, sistem navigasi dan pencahayaan (lithiumsystem.ch).</p>

Tabel 10: Konfigurasi/layout modul surya pada kapal yang menggunakan PLTS (lanjutan 6)

	<p>Bateau de Tourisme merupakan <i>ferry</i> asal Perancis. Bateau de Tourisme ditunjukkan pada Gambar 43. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas baterai adalah 170 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan sistem navigasi (alternativesenergies.com).</p>
	<p>Cat 12 adalah <i>ferry</i> asal Portugal. Foto Cat 12 ditunjukkan pada Gambar 44. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>ferry</i>. Kapasitas PLTS adalah 6 kW dengan baterai berkapasitas 160 kWh. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, pencahayaan, navigasi, sistem kontrol, tata udara, dan hiburan (sunconcept.pt).</p>
	<p>Elite 44 merupakan <i>yacht</i> buatan Nova Luxe Yachts Amerika Serikat. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>yacht</i>. Kapasitas PLTS adalah 7 kW dengan baterai 90 kWh. Beban kelistrikan dari Elite 44 antara lain, mesin penggerak, navigasi, pencahayaan, sistem kontrol, dan hiburan (novaluxeyachts.com).</p>
	<p>Squid merupakan <i>tour & dive boat</i> buatan Honest Eco Amerika Serikat. Foto Squid ditunjukkan pada Gambar 46. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 2 kW dengan baterai berkapasitas 64 kWh. Beban kelistrikan antara lain, mesin penggerak, dan sistem navigasi kapal (honesteco.org).</p>
	<p>Passeur La Rochelle merupakan <i>ferry</i> asal Perancis. Passeur La Rochelle ditunjukkan pada Gambar 47. Panel fotovoltaik dipasang pada atap kapal. Kapasitas PLTS adalah 3 kW dengan baterai 60 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak dan navigasi (alternativesenergies.com).</p>
	<p>Aquanima 40 adalah <i>yacht</i> buatan Azura Marine Singapura. Foto Aquanima 40 ditunjukkan Gambar 48. Panel fotovoltaik dipasang pada atap <i>yacht</i>. Kapasitas PLTS adalah 10 kWp dengan baterai 60 kWh. Beban kelistrikan antara lain mesin penggerak, navigasi, pencahayaan, sistem kontrol, tata udara, dan sistem suara (azura-marine.com).</p>
	<p>Overblue 44 merupakan <i>yacht</i> buatan Overblue Italia. Produk lain Overblue yaitu Overblue 48, dan Overblue 58. Modul surya dipasang pada atap yang digunakan untuk menyuplai beban kelistrikan berupa mesin penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara, logistik, dan hiburan (yachtworld.com).</p>

Perkembangan kapal ber-PLTS sudah dilakukan bahkan sebelum tahun 2000. Kapal ber-PLTS

yang sudah dikembakan sebelum tahun 2000 diantaranya yaitu Solar Craft 1, Korona (1 kW),

Solist, Solar Ganjer (0,4 kW), RA 11(0,98 kW), Solifleur (0,8 kW), Sunboar II, Malt's Mermaid

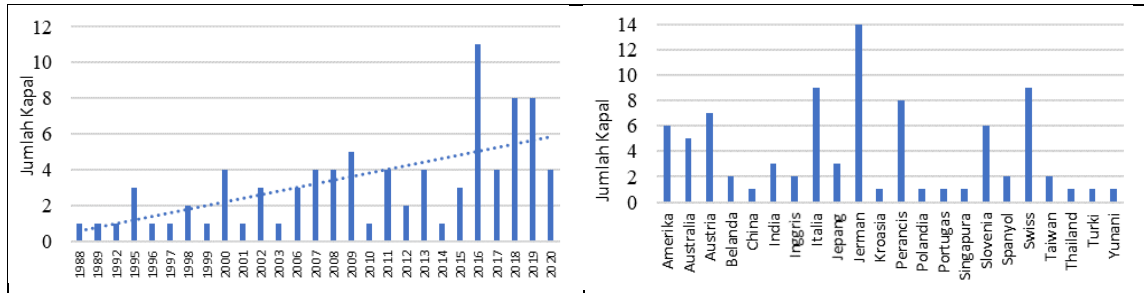
(1,5 kW), SB Colinda (1,4 kW), Sonnenschein (5 kW), dan La Rochelle (1,2 kW)

Tabel 11: Kapal dengan PLTS

No	Nama Kapal	Berat (ton)	Jenis Kapal	Orang	PLTS (kWp)	Pemanfaatan/beban PLTS di kapal	Negara	Tahun	Mesin
1	Korona		Boat	6	1	penggerak, navigasi	Swiss	1988	-
2	Solist		Yacht	6		penggerak, navigasi	Jerman	1989	-
3	Solar Ganjer		Boat		0,4	penggerak, navigasi	India	1992	Electric
4	RA11		Boat	12	0,98	penggerak, navigasi	India	1995	Electric
5	Solifleur		Ferry	12	0,824	penggerak, navigasi	Swiss	1995	-
6	sunboat II		Boat	6		penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara	Australia	1995	-
7	Malt's Mermaid		Boat	1	1,5	logistik, hiburan	Jepang	1996	-
8	SB Colinda		Boat	10	1,4	penggerak, navigasi	Inggris	1997	-
9	Sonnenschein		Ferry	58	5	penggerak, navigasi	Austria	1998	Electric
10	La Rochelle		Ferry	30	1,2	penggerak, navigasi	Perancis	1998	-
11	Aquabus 1050	3	Ferry	24	1,5	penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara, sistem suara	Swiss	1999	-
12	RA 66	12	Ferry	50	3,8	penggerak, navigasi	Jerman	2000	Electric
13	RA 72	29	Ferry	70	4,2	penggerak, navigasi, sistem suara	Jerman	2000	Electric
14	RA 82	34	Ferry	100	9,6	penggerak, navigasi	Jerman	2000	Electric
15	SOL 10	0,42	Boat	4	0,4	penggerak, navigasi	Jerman	2000	Electric
16	Solar Sailor		Ferry	100		penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Australia	2001	Hybrid
17	RA 29	2,4	Dive boat	10	2,1	penggerak, navigasi	Jerman	2002	Electric
18	RA 33	4,3	Ferry	20	2,1	penggerak, navigasi	Jerman	2002	Electric
19	Aquabus C60	10	Ferry	75		penggerak, navigasi	Swiss	2002	-
20	Chassali Solar		Ferry boat	23	0,75	penggerak, navigasi	Jerman	2003	-
21	RA 46	14	Dive boat	40	2	penggerak, navigasi, sistem suara	Jerman	2006	Electric
22	Sun21		Boat		10	penggerak, navigasi	Swiss	2006	Electric
23	Aquabus 850T	2	Ferry	12		penggerak, navigasi	Swiss	2006	-
24	Aquawatt 550	0,55	Boat	4	0,4	penggerak, navigasi	Jerman	2007	-
25	SOL 20	0,57	Boat	8	0,55	penggerak, navigasi	Jerman	2007	Electric
26	Czeers Mk1	0,9	Boat	5		penggerak, navigasi	Belanda	2007	-
27	Soleman	8	Ferry	60	4,625	penggerak, navigasi, pencahayaan	Spanyol	2007	Electric
28	Navettes Paris	12	Ferry	75	2,7	penggerak, navigasi	Perancis	2008	Electric
29	Bus De Mer	12	Ferry	75	4	penggerak, navigasi	Perancis	2008	Hybrid
30	ASV Roboat		Research		0,285	penggerak, navigasi	Austria	2008	Electric
31	Auriga Leader		Carrier		40	penggerak, pencahayaan, sistem kontrol, tata udara	Jepang	2008	Hybrid
32	Arcadia A85		Yacht	12	5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2009	Hybrid
33	Greenline 33	4,8	Yacht	7	1,8	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2009	Hybrid
34	Solarwave 46	10	Yacht	8	8,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, logistik	Jerman	2009	Electric
35	SunCat 23		Dive boat	12	0,8	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Taiwan	2009	Electric
36	SunCat 46		Yacht	12	3,2	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Taiwan	2009	Electric
37	Planet Solar	85	Research	4	93	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Swiss	2010	Electric
38	Greenline 40	8	Yacht	6	1,8	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2011	Hybrid
39	Blue Star Delos		Ferry	2400	2,32	penerangan	Yunani	2011	Hybrid
40	SeaCleaner 400	0,4	Utility		0,6	penggerak, navigasi	Swiss	2011	Electric
41	ECO Slim		Ferry	150		penggerak, navigasi	Spanyol	2011	-
42	Arcadia A115		Yacht	20	5	penggerak, navigasi, sistem kontrol digital, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2012	Hybrid
43	Emerald Ace		Carrier	6400	160	navigasi, pencahayaan	Jepang	2012	Hybrid
44	Greenline 48 fly	13,8	Yacht	9	0,6	penggerak, navigasi, sistem kontrol digital, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2013	Hybrid
45	SOL 12	0,22	Boat	5	0,2	penggerak, navigasi	Jerman	2013	Electric
46	C-Enduro	0,9	Research		1,1	penggerak, navigasi	Australia	2013	Hybrid
47	Heliotrope 60	25	Yacht	8	7	penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara, logistik, hiburan	Thailand	2013	Hybrid
48	COSCO Tengfei		Carrier		143,1	pencahayaan, tata udara, logistik	China	2014	Hybrid
49	Heliolive	5,5	Dive boat	30	5,6	penggerak, navigasi	Perancis	2015	Electric
50	Solliner	0,9	Boat	10	1	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Polandia	2015	Electric
51	Camper 1500	14	Yacht		4,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Jerman	2015	Electric
52	Arcadia A85s		Yacht	12	2,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2016	Hybrid
53	Greenline 39	7	Yacht	6	1,2	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2016	Hybrid
54	Secret 33	3	Ferry	18	1,6	penggerak, navigasi	Australia	2016	Electric
55	Sherpa		Yacht		1,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2016	Hybrid
56	Silent 64	25	Yacht		15	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, sistem suara, hiburan	Austria	2016	Hybrid
57	Solarwind 52	11	Ferry		14	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Turki	2016	Electric
58	SSR19	0,7	Dive boat	8		penggerak, navigasi	Perancis	2016	Electric
59	Solaris	6,2	Boat		6	penggerak, navigasi	Amerika	2016	Electric
60	Solar Voyager		Research		0,24	penggerak, navigasi	Amerika	2016	Electric
61	Ruby Houseboat		Houseboat	12	8	penggerak, navigasi, pencahayaan, tata udara, logistik, hiburan	Australia	2016	Hybrid
62	Overblue 44		Yacht			penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, hiburan	Italia	2016	Hybrid
63	Aditya	23	Ferry	78	20	penggerak, navigasi, sistem kontrol	India	2017	Electric
64	Energy Observer	28	Research		21	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Perancis	2017	Hybrid
65	The SunFlower		Yacht		6	penggerak, navigasi, pencahayaan, hiburan	Inggris	2017	Electric
66	Overblue 58		Yacht			penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, hiburan	Italia	2017	Hybrid
67	Arcadia A105		Yacht	13	4,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2018	Hybrid
68	Cat 12	8	Ferry	42	6	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Portugal	2018	Electric
69	Silent 55	19	Yacht		10	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, sistem suara, hiburan	Austria	2018	Hybrid
70	Soelcat 12	6	Dive boat	24	8,6	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Belanda	2018	Electric
71	Arkup 75		Houseboat	8	36	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, pembuat air, hiburan	Amerika	2018	Electric
72	EMS Mobicat		Ferry	150	34	penggerak, navigasi, pencahayaan	Swiss	2018	Electric
73	de Tourisme	29	Ferry	149		penggerak, navigasi	Perancis	2018	Electric
74	Overblue 48		Yacht			penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, hiburan	Italia	2018	Hybrid
75	Elite 44	10	Yacht		7	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Amerika	2019	Hybrid
76	Greenline 45 Fly	13,5	Yacht	8	0,6	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2019	Hybrid
77	Greenline 48 C	13,8	Yacht	9	2,4	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, hiburan	Slovenia	2019	Hybrid
78	Sherpa XL		Yacht	11	2,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, hiburan	Italia	2019	Hybrid
79	Silent 44	11	Yacht		9	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, sistem suara, hiburan	Austria	2019	Hybrid
80	Squid		Dive boat	22	2	penggerak, navigasi	Amerika	2019	Electric
81	La Rochelle	6	Ferry	35	3	penggerak, navigasi	Perancis	2019	Electric
82	Solar Sal 27		Boat	8	1,44	penggerak, navigasi	Amerika	2019	Electric
83	Aquanima 40	7	Yacht	5	10	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, sistem suara, hiburan	Singapura	2020	Electric
84	BabyCat	15,45	Ferry	56	7,5	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan	Kroasia	2020	Electric
85	Silent 60	25	Yacht		17	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, sistem suara, hiburan	Austria	2020	Hybrid
86	Silent 80	55	Yacht		26	penggerak, navigasi, sistem kontrol, pencahayaan, tata udara, logistik, sistem suara, hiburan	Austria	2020	Hybrid

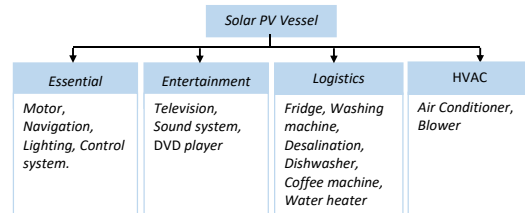
Berdasarkan data pada Tabel 4 dan Tabel 5 maka dilakukan berbagai analisis untuk melihat

bagaimana perkembangan vesel yang menggunakan PLTS.



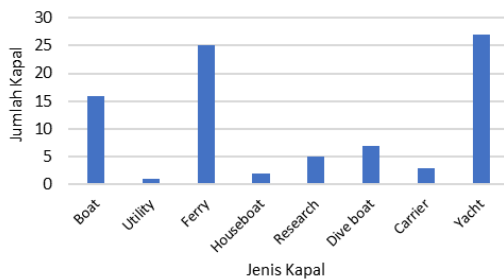
Gambar 50. Perkembangan kapal ber-PLTS dan Negara-Negara Pembuatan Kapal dengan PLTS

Berdasarkan Gambar 50, perkembangan kapal ber-PLTS dari tahun ke tahun berfluktuatif. Jumlah produksi kapal PLTS terbanyak adalah pada tahun 2016 dengan total 11 buah. Mulai tahun 2006, setiap tahunnya selalu ada kapal PLTS yang dibuat, yang menunjukkan antusias masyarakat tentang kapal dengan PLTS semakin meningkat. Perkembangan jumlah kapal ber-PLTS dari tahun 1988 hingga 2020 menunjukkan tren yang meningkat.



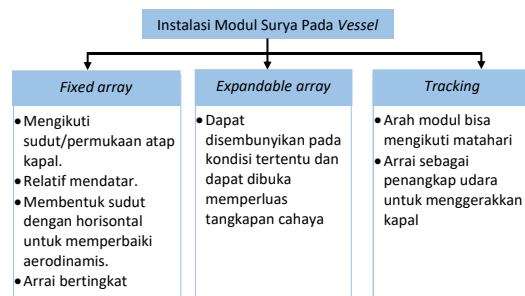
Gambar 52. Penggunaan PLTS Pada Kapal

Konfigurasi atau tata letak arai PV pada vessel ditunjukkan pada Gambar 53.



Gambar 51. Kapal ber-PLTS berdasarkan Jenis

Kapal PLTS yang paling banyak adalah yacht. Kapal ber-PLTS juga banyak digunakan sebagai ferry dan sisanya adalah kapal kecil atau boat. Statistik armada kapal niaga menunjukkan terdapat sekitar 61.100 armada kapal niaga dunia (UK Department for Transport, 2019). Perbandingan jumlah kapal ber-PLTS dengan kapal niaga ini masih sangat kecil sekitar 0,001%.



Gambar 53. Tata letak arai PV pada vessel

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan Tabel 5 maka dilakukan berbagai analisis untuk melihat bagaimana perkembangan vesel yang menggunakan PLTS. Secara skematik pemanfaatan PLTS pada vessel ditunjukkan pada Gambar 52.

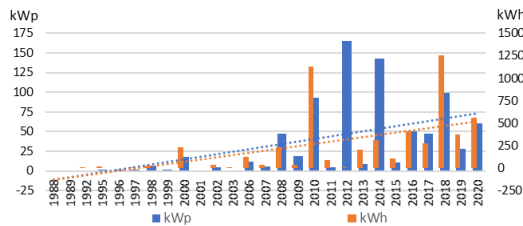
Dari sisi desain, konfigurasi dan penempatan panel fotovoltaik pada kapal dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: modul terpasang tetap, bisa di-expand, dan sun tracking seperti ditunjukkan pada Gambar 53. Sebagian besar modul PV adalah mendatar dan fixed pada atap dan permukaan kapal. Di samping itu, ada PV yang melengkung menggunakan modul fleksibel. Juga, ada yang bertingkat sesuai desain kapal.

Kapal yang sudah mengoptimalkan luasan permukaan kapal bahkan menambahkan retractable structure, memiliki kapasitas PLTS besar sehingga bisa memenuhi kebutuhan energi kapal. Seperti Turanor Planet Solar yang memiliki array PV yang dapat dikembangkan dan disembunyikan. Gambar kiri adalah ketika

array PV dikembangkan untuk memperluas tangkapan matahari, dan gambar kanan adalah kondisi array yang disembunyikan.



Gambar 54. Turanor Planet Solar [Planet Solar]



Gambar 55. Perkembangan kapasitas PLTS dan baterai kapal

Tahun 2012 merupakan tahun dengan perkembangan kapasitas PLTS yang terbesar karena diluncurkannya kapal *Emerald Ace* yang memiliki PLTS 160 kWp. Perkembangan kapasitas PLTS dan baterai pada vessel dari tahun 1999 hingga 2020 menunjukkan tren yang meningkat.

Di samping kapal dalam Tabel 4, ada kapal-kapal yang akan dibangun seperti Aquanima 45, Aquanima e-dive 40, Aquanima e-ferry 35, Elite 50, Soel Cruiser 11, dan Soel Shuttle 14. Di samping itu, masih terdapat prototipe *solar boat* modifikasi tapi tidak tersedia data teknis sehingga tidak dimasukkan di penelitian ini.

4. KESIMPULAN

Paper ini telah meninjau perkembangan aplikasi PLTS pada kapal/ transportasi laut. Secara statistik, diperoleh bahwa kapal ber-PLTS masih sedikit. Kapal ber-PLTS sudah berkembang pada berbagai jenis kapal seperti *boat, cleaning boat, ferry, houseboat, research, tour & dive boat, vehicle carrier* dan *yacht*. Tren kapal ber-PLTS menunjukkan kenaikan. Di samping itu, kapasitas daya *output* PLTS dan baterai makin besar hal ini sejalan dengan perkembangan teknologi panel surya dan baterai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hee-Ji Kim. *Solar Power and Energy Storage System*. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2019

[2] Saurabh Kumar Rajput. "SOLAR ENERGY-Fundamentals", *Economic and Energy Analysis First Edition: 2017*. ISBN: 978-93—81125-23—6. 2017

[3] Parida, B., Iniyan, S., Goic, R. (2011). *A review of solar photovoltaic technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.15, pp.1625-1636.

[4] G. Masson and I. Kaizuka. *Trend in Photovoltaic applications 2019*. International Journal of Scientific & Technology Research Volume 8, Issue 09, September 2019 ISSN 2277-8616. 2019.

[5] Raunek Kantharia. "A Guide to Types of Ships". <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-types-of-ships/>, 9 Juli 2020 [27 Oktober 2020]

[6] UK Department for Transport. *Shipping Fleet Statistics: 2019*. 2019

[7] Li jingcheng. *Application of Solar Energy*. Saimaa University of Applied Sciences Lappeenranta. 2010

[8] J.P. Kirkpatrick. *An investigation of the effectiveness of solar power on Navy surface combatants*. Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 2013

[9] Midhu Paulson, Dr.Mariamamma Chacko. "Marine Photovoltaics": *A review Of Research and Developments, Challenges and Future Trends*. IJSTR©2019. 2019

[10] Hakan GÜRSU. "Solar and Wind Powered Concept Boats": *The Example of Volitan*. METU.JFA. 2014

[11] Gregory Mark Atkinson. *Analysis of marine solar power trials on Blue Star Delos*. Journal of Marine Engineering & Technology, VOL. 15, NO. 3, 115–123. 2016.

[12] Yuanchao Qiu, Chengqing Yuan, Yuwei Sun & Xujing Tang. *Power Quality Analysis for Ship-Photovoltaic Power System: A Case Study*. Electric Power Components and Systems, 0(0): 1–12, 2019. 2019

[13] Sandith Thandasherry. *Economics of ADITYA – India's First Solar Ferry*. IEEE India Info. Vol. 13 No. 3. 2018