



Green Vessel Concept : Solar Panel Integration for Sustainable Onboard Energy Solutions

Dhimas Ardiansyah Surya Atmadja¹, Diana Alia^{2*}, Rizqi Aini Rakhman³, Agus Dwi Santoso⁴, Kuntoro Bayu Ajie⁵

¹⁻⁵ Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Email: diana.alia@polteknikpel-sby.ac.id^{2*}

Alamat: Jalan Gunung Anyar Boulevard No.1, Gunung Anyar, Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur

*Penulis Korespondensi

Abstract. *This study analyzes the potential use of solar cells as a renewable energy source on the MV SARI INDAH. With the increasing demand for energy and the negative environmental impacts of fossil fuels, solar cells provide a promising eco-friendly alternative. The research focuses on developing a prototype system to charge batteries using solar power, converting DC power into AC for ship operations. The methodology includes measuring sunlight intensity, current, and output voltage, while also calculating the battery capacity and the ship's electrical load. Tests were conducted at various tilt angles, with data recorded hourly over two days to assess performance. The results show that a 75° tilt angle yields the highest voltage, current, and power output when compared to other angles. Based on these findings, the study recommends installing solar panels at a 75° angle on the compass deck. The system design utilizes two panels positioned opposite each other, forming a 150° angle to optimize energy capture. This setup is capable of supplying power to key areas on the ship, such as seven lamps in the E/R 2nd Deck, Control Room, Emergency Generator Room, and CO₂ Room. The system is designed to meet the total daily energy demand of approximately 1,400 Wh, which can be efficiently fulfilled by eight solar cells rated at 50 Wp each, providing a sustainable and efficient energy solution for the vessel.*

Keywords: *Battery; Renewable Energy; Ship Operations; Solar Cell; Tilt Angle.*

Abstrak. Studi ini menganalisis potensi penggunaan sel surya sebagai sumber energi terbarukan pada MV SARI INDAH. Dengan meningkatnya permintaan energi dan dampak negatif bahan bakar fosil terhadap lingkungan, sel surya menyediakan alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem prototipe untuk mengisi daya baterai menggunakan tenaga surya, mengubah daya DC menjadi AC untuk operasional kapal. Metodologi yang digunakan meliputi pengukuran intensitas sinar matahari, arus, dan tegangan keluaran, sekaligus menghitung kapasitas baterai dan beban listrik kapal. Pengujian dilakukan pada berbagai sudut kemiringan, dengan data direkam setiap jam selama dua hari untuk menilai kinerja. Hasilnya menunjukkan bahwa sudut kemiringan 75° menghasilkan tegangan, arus, dan daya keluaran tertinggi dibandingkan dengan sudut lainnya. Berdasarkan temuan ini, studi ini merekomendasikan pemasangan panel surya pada sudut 75° di dek kompas. Desain sistem memanfaatkan dua panel yang diposisikan saling berhadapan, membentuk sudut 150° untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Sistem ini mampu memasok daya ke area-area penting di kapal, seperti tujuh lampu di Dek 2 E/R, Ruang Kontrol, Ruang Generator Darurat, dan Ruang CO₂. Sistem ini dirancang untuk memenuhi total kebutuhan energi harian sekitar 1.400 Wh, yang dapat dipenuhi secara efisien oleh delapan sel surya berdaya masing-masing 50 Wp, sehingga memberikan solusi energi yang berkelanjutan dan efisien bagi kapal.

Kata kunci: Baterai; Energi Terbarukan; Operasi Kapal; Sel Surya; Sudut Kemiringan.

1. LATAR BELAKANG

Sumber daya *renewable energy* adalah sumber energi yang outputnya akan konstan dalam rentang waktu jutaan tahun. Sumber energi yang termasuk dalam kategori terbarukan adalah sinar matahari, aliran air sungai, gelombang laut, angin, panas bumi, dan biomassa. Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan energi terbarukan semakin mendapatkan

perhatian karena beberapa alasan penting seperti perubahan iklim, keterbatasan sumber daya fosil, dan teknologi yang harus berkembang. juga dalam kondisi akhir-akhir ini dimana harga semua komoditas fosil fuel melonjak imbas adanya perang di Eropa antara Rusia dengan Ukraina menjadikan diperlukan solusi lain untuk kebutuhan energi masyarakat di level mikro baik rumah tangga maupun dunia usaha . Energi terbarukan semakin relevan bagi lingkungan dan masa depan ekonomi berkelanjutan. Berbagai penelitian dilakukan untuk menjawab meningkatnya kebutuhan energi, dengan memanfaatkan sumber seperti mikrohidro, fotovoltaik, energi gelombang, footstep, dan lainnya .

Sollar Cell atau panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung . Teknologi ini semakin berkembang seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan suatu teknologi terbarukan. Keunggulan *Sollar Cell* antara lain adalah sumber energinya yang melimpah dan terbarukan, sehingga biaya operasional dan kemampuannya yang dapat di aplikasikan di berbagai lokasi .

Penerapan *Sollar Cell* pada kapal sebagai *renewable energy* sudah banyak di aplikasikan. Contoh penerapan pada kapal pengangkut mobil Auriga Leader yang dikembangkan di Jepang, mampu mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 13 ton per tahun dan emisi CO₂ sekitar 40 ton per tahun berkat penggunaan panel surya . Selain itu, uji coba *Aquarius Marine Solar Power System* oleh Eco Marine Power pada kapal kargo *MV Panamana* juga membuktikan bahwa panel surya fleksibel tahan korosi dapat dipasang secara efektif di dek kapal, sehingga mendukung suplai energi hotel load kapal . Bahkan, perusahaan Wattlab dari Belanda telah meluncurkan inovasi SolarDeck, yakni panel surya modular plug-and-play yang dapat dipasang dengan cepat di kapal kargo laut lepas, serta mampu memberikan return on investment (ROI) dalam 3–5 tahun . Selain itu juga penggunaan *Sollar Cell* pada kapal minyak lepas pantai yang berlayar dari Dalian China menuju Hurgada Mesir Penggunaan *Sollar Cell* terutama yang berbasis teknologi terkini menarik dan sangat direkomendasikan pada kapal minyak lepas pantai. Hal ini mengarah pada konsumsi bahan bakar dan pengurangan biaya .

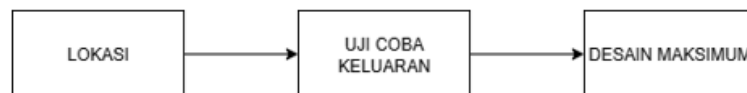
Namun demikian, implementasi *Solar Cell* di dunia maritim masih menghadapi sejumlah tantangan teknis yang perlu diperhatikan, seperti keterbatasan ruang pemasangan pada dek kapal, variabilitas cuaca dan kondisi iklim laut, serta risiko kerusakan material akibat korosi air laut . Oleh karena itu, inovasi dalam desain panel surya berbasis material tahan korosi, sistem penyimpanan energi yang efisien, serta integrasi dengan teknologi hybrid (solar

diesel) menjadi solusi potensial untuk meningkatkan efektivitas implementasi solar cell di dunia maritim.

2. METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah perancangan dan pemodelan *Sollar Cell* yang memanfaatkan energi matahari. Proses perencanaan berdasarkan pada skema yang ditunjukkan pada Gambar 1.

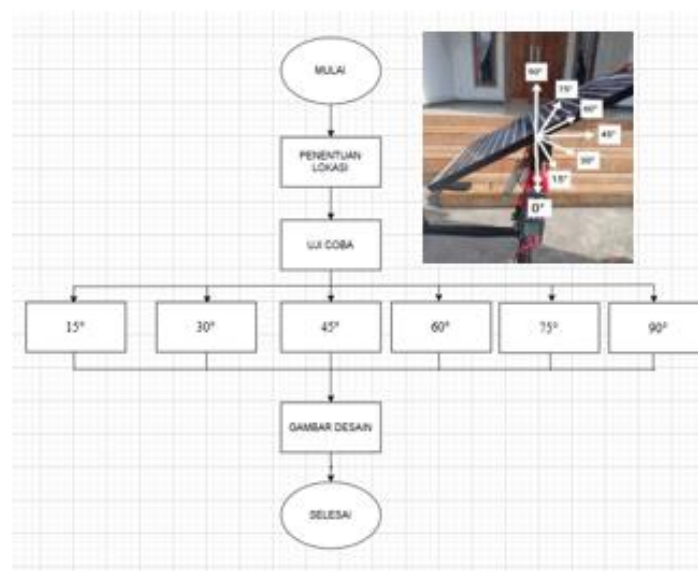


Gambar 1. Perancangan Sistem.

Sumber : Dokumen Penelitian

Blok diagram tersebut menjelaskan tiga tahapan utama. Pertama, studi literatur untuk menentukan lokasi strategis pengujian *Sollar Cell* guna mengetahui kinerja, keandalan, dan batasannya. Kedua, penentuan ukuran dimulai dari kebutuhan beban, perhitungan panel surya, baterai, hingga pengendali dan inverter, dengan mempertimbangkan kondisi lokasi agar optimal. Ketiga, desain maksimum memerlukan pemahaman spesifikasi komponen dan kondisi lingkungan, yang menjadi kunci keberhasilan sistem fotovoltaik.

Model/Perancangan Alat *Software*/Desain



Gambar 2. Model/Perancangan Alat/*Software*/Desain.

Sumber : Dokumen Penelitian

Berdasarkan *flowchart* di atas, alur pengaplikasian *Sollar Cell* dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama, menentukan lokasi atau tempat pemasangan, karena pemilihan lokasi sangat berpengaruh terhadap efektivitas kinerja *Sollar Cell*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terkait beban, daya yang dihasilkan oleh *Sollar Cell*, serta kapasitas baterai yang digunakan [13, 14, 15]. Setelah itu, dilakukan uji coba dengan memvariasikan sudut kemiringan *Sollar Cell* untuk mengetahui pada derajat berapa diperoleh tegangan yang paling optimal dan stabil. Tahap terakhir yaitu menentukan desain *Sollar Cell* yang sesuai dan dapat diaplikasikan pada kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Dinamis

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui semua system dan komponen berfungsi dengan baik dan tidak terjadi masalah apapun agar mendapatkan hasil analisis data yang *perfect*.



Gambar 3. Pengujian Setelah Semua Komponen Dirakit Menjadi Satu.

Sumber : Dokumen Pribadi

Pengujian alat dilakukan dengan cara menempatkan alat tersebut pada ruang terbuka agar mendapatkan sinar matahari yang cukup maksimal . Dengan memasang sudut kemiringan *Sollar Cell* pada sudut 15° 30° 45° 60° 75° 90° dan membandingkan hasil tegangan arus dan daya dari setiap sudut kemiringan . Setiap sudut dilakukan pengujian selama 2 hari.

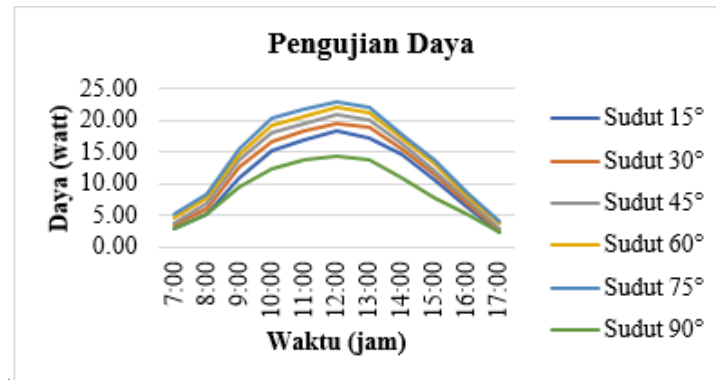


Gambar 4. *Sollar Cell* Dengan Sudut Kemiringan.

Sumber : Data Analisis

Analisis Data

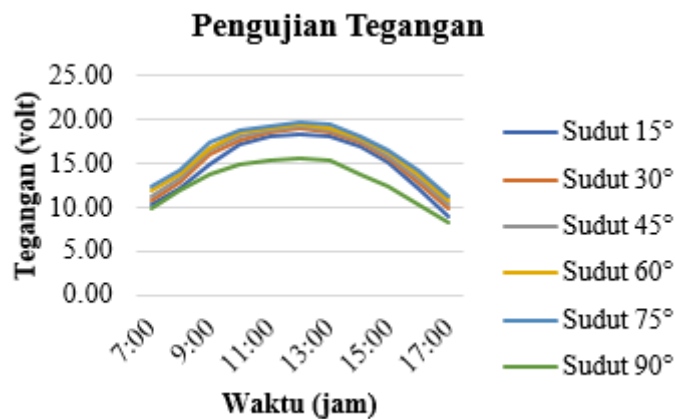
Pengambilan data dilakukan di area terbuka di Surabaya selama 2 hari untuk setiap sudut kemiringan panel, mulai pukul 07.00 hingga 17.00. Sudut yang diuji meliputi 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° , dengan tujuan menentukan sudut paling optimal dalam menghasilkan energi listrik [18, 19]. Data diukur menggunakan multimeter agar hasil lebih efektif dan akurat. Parameter yang dicatat adalah tegangan (V) dan arus listrik (I) pada setiap interval waktu, sehingga dapat diketahui performa panel surya pada tiap sudut kemiringan.



Gambar 5. Grafik Daya Sollar Cell Semua Sudut.

Sumber : Data Analisis

Berdasarkan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa sudut kemiringan 75° menghasilkan daya yang lebih optimal dibandingkan sudut 15° 30° 45° 60° 90° dalam rentan waktu dari jam 07.00 sampai 17.00.



Gambar 6. Grafik Tegangan Sollar Cell Semua Sudut.

Sumber : Data Analisis

Berdasarkan grafik, tegangan tertinggi diperoleh pada sudut kemiringan 75° dibandingkan sudut lainnya (15° , 30° , 45° , 60° , dan 90°) dalam rentang waktu 07.00–17.00. Pengujian pengisian baterai 12V 7Ah dilakukan menggunakan panel surya dengan tegangan DC yang kemudian dikonversi menjadi AC melalui inverter untuk menyalakan lampu 9W

220V. Pada malam hari, *Sollar Cell* tidak menghasilkan daya sehingga pengujian berlanjut pada pemakaian baterai dengan beban lampu. Perhitungan mencakup kapasitas baterai (Wh), waktu pemakaian (jam), efisiensi baterai, serta arus beban setelah melalui proses konversi DC ke AC.

Rumus menghitung kapasitas baterai dalam Watt-jam, Kapasitas Baterai (Wh) = Tegangan Baterai (V) x Kapasitas baterai (W), Jadi dengan rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa $12V \times 7,5Ah$ maka ditemukan kapasitas baterai 90 (Wh).

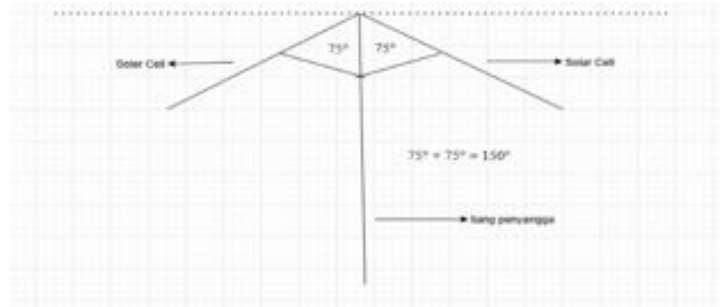
Rumus menghitung waktu pemakaian, Waktu pemakaian (jam) = Kapasitas baterai (Wh) : Daya beban (W), Jadi dapat disimpulkan dengan rumus tersebut dijelaskan bahwa $90 \text{ (Wh)} : 9 \text{ (W)}$ ditemukan waktu pemakaian adalah 10 jam menggunakan lampu DC dikarenakan belum dihitung menggunakan rumus untuk efisiensi *Inverter*. Efisiensi *inverter* dapat mempengaruhi waktu dalam pemakaian baterai . Efisiensi *inverter* adalah 80% jadi waktu pemakaian menggunakan lampu dengan arus AC hasil pengkonversian dari arus DC ke arus AC menggunakan Inverter adalah $10 \text{ jam} \times 0.8$ maka ditemukan waktu pemakaian menjadi 8 jam.

Arus beban AC dihitung menggunakan rumus, Arus beban (A) = Daya beban (W) : Tegangan AC (V), Jadi dengan beban lampu AC 9Watt dan tegangan AC 220V maka ditemukan arus beban sebesar 0.04 A, lampu DC dapat menyala selama 10 jam dan untuk lampu dengan arus AC dapat menyala selama 8 jam dikarenakan efisiensi *Inverter* mempengaruhi durasi lampu menyala.

Pembahasan

Sebelum merancang desain pengaplikasian *Sollar Cell* di kapal, perlu dikaji orientasi panel surya. Pada PLTS darat atau atap gedung, panel biasanya dipasang menghadap satu arah, seperti ke utara di Indonesia, untuk memaksimalkan paparan sinar matahari tahunan. Namun, kondisi kapal berbeda karena arah kapal selalu berubah di laut . Untuk mengatasi hal ini, panel surya di kapal dirancang saling berlawanan arah dengan sudut tertentu agar tetap memperoleh cahaya matahari secara optimal dan menghasilkan tegangan maksimal.

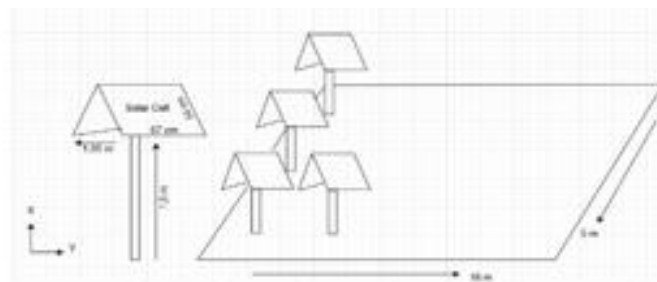
Berdasarkan pengujian *Sollar Cell* dengan sudut 15° 30° 45° 60° 75° 90° dapat diambil kesimpulan sudut 75° menghasilkan tegangan yang lebih stabil dan optimal dibandingkan sudut-sudut yang lain. Sehingga dalam pengaplikasiannya sudut 75° dapat di aplikasikan di atas kapal.



Gambar 7. Desain Sudut *Sollar Cell*.

Sumber : Desain Peneliti

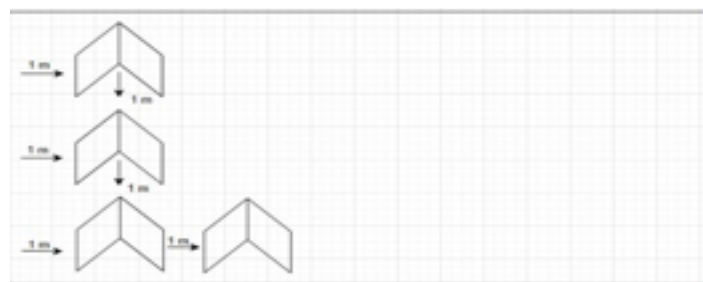
Penggunaan dua *Sollar Cell* yang dipasang saling bertolak belakang dengan sudut kemiringan masing-masing 75° satu menghadap ke kiri kapal dan satu ke kanan kapal membentuk sudut total 150° . Desain ini bertujuan agar panel tetap dapat menangkap cahaya matahari secara optimal saat kapal bermanuver atau berlayar di laut, mengingat arah kapal selalu berubah. Dengan demikian, proses pengisian baterai dapat berlangsung maksimal tanpa bergantung pada posisi kapal terhadap matahari.



Gambar 8. Desain Untuk Pengaplikasian Dikapal.

Sumber : Desain Peneliti

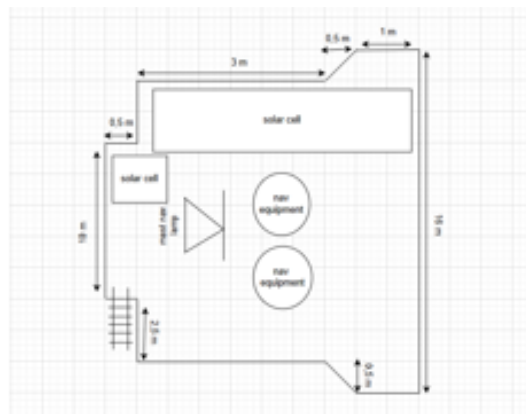
Desain *Sollar Cell* di kapal direncanakan pada area *monkey island* atau *compass deck* di atas anjungan, karena lokasi ini strategis dan memiliki ruang yang cukup. Panel dipasang dengan sudut 75° , sudut yang terbukti menghasilkan tegangan dan arus paling optimal untuk mendukung kebutuhan beban listrik kapal. Posisinya ditempatkan di sisi samping, mengingat bagian tengah compass deck sudah dipenuhi peralatan navigasi.



Gambar 9. Desain *Sollar Cell* Dari Atas.

Sumber : Desain Peneliti

Tampak *Sollar Cell* dari atas dengan jarak 1 meter persetiap *Sollar Cell* beserta tiangnya dan *Sollar Cell* yang dibutuhkan adalah 8 buah *Sollar Cell* dengan ukuran per *Sollar Cell*nya adalah 50 Wp. Pengambilan jarak 1 meter dari sisi samping agar memudahkan dalam melakukan perawatan untuk *Sollar Cell*, dan setiap 1 set tiang dengan 2 *Sollar Cell* per setiap tiangnya diberi jarak 1 meter disesuaikan dengan lebar lokasi 5 meter. Berdasarkan gambar 4.10 *Sollar Cell* dengan ukuran 50wp memiliki panjang 67 cm dan lebar 54 cm dapat waktu pengaplikasiannya dapat memakan tempat 1 meter persegi. Sehingga dalam pengaplikasiannya tidak memakan tempat yang cukup luas. Alasan dalam pengaplikasiannya tidak berada disisi bagian depan adalah agar tidak mengganggu jika terjadi pelaksanaan perawatan equipment di sisi bagian depan dari compass deck. Di sisi bagian depan *compass deck* atau *monkey island* biasanya dilakukan perawatan pada *wiper* anjungan yang berada pada sisi depan anjungan bagian atas. Sehingga dapat disimpulkan dipilihnya sisi bagian samping agar tidak mengganggu perawatan pada equipment lain di anjungan.



Gambar 10. Compass Deck.

Sumber : Data Kapal

Berdasarkan uji coba satu *Sollar Cell* dengan ukuran 20wp untuk pengisian baterai maka pada pengaplikasiannya dikapal dibutuhkan tegangan yang tinggi cukup dirangkai secara seri dengan rumus

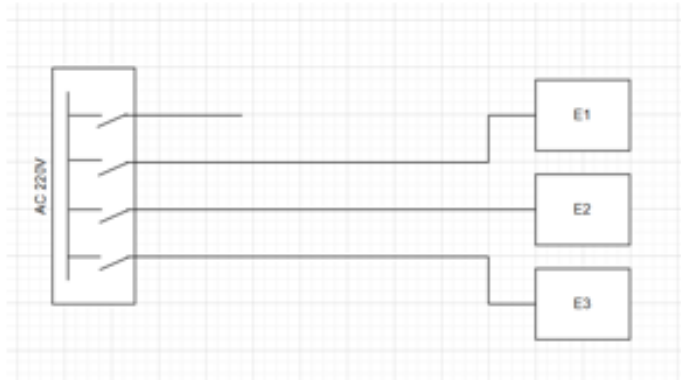
$$V_{total} = V_{satu\ sel} + V_{satu\ sel}$$

Jika pada pengaplikasiannya diperlukan arus yang tinggi *Sollar Cell* dirangkai secara parallel untuk menaikkan arus.

$$I_{total} = I_{satu\ sel} + I_{satu\ sel}$$

Jika sudah ditemukan tegangan dan arus *Sollar Cell* dalam pengaplikasiannya untuk mengisi baterai dikapal maka perlu juga ditentukan beban yang bisa dicover oleh baterai tetapi tetap memperhitungkan jumlah *Sollar Cell* agar tidak memakan tempat yang luas dikarenakan semakin banyak beban yang ditanggung oleh baterai maka semakin besar ukuran *Sollar Cell*

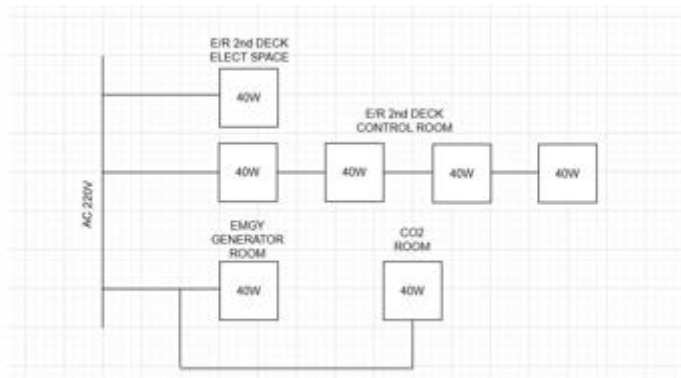
yang akan di aplikasikan. Maka dapat dijabarkan gambar wiring distribusi beban 4.12 dan 4.13 yang sumber listriknya berasal dari generator menuju beban sebagai berikut:



Gambar 11. Wiring Distribusi Beban.

Sumber : Data Kapal

Berdasarkan wiring distribusi beban generator maka dapat dijelaskan beban yang dapat di cover bisa pada panel E-1, E-2, E-3. Tetapi panel yang akan di cover dalam pembahasan kali ini adalah panel E-3. Di panel E-3 beban yang dapat di cover oleh baterai akan di jelaskan pada gambar wiring 4.13.



Gambar 12. Wiring Distribusi Beban Panel E3.

Sumber : Data Kapal

Berdasarkan wiring pada gambar 14, maka kapasitas baterai yang diperlukan untuk menghidupkan 7 lampu di *E/R 2nd DECK ELECT SPACE*, *E/R 2nd DECK CONTROL ROOM*, *EMERGENCY GENERATOR ROOM*, dan *CO2 ROOM* dengan daya masing-masing 40W dapat ditentukan dengan beberapa langkah:

- a. Menghitung arus

$$I \text{ Total} = \frac{P \text{ Total}}{V \text{ Baterai}}$$

Sehingga ditemukan $280W : 12V = 23,33A$

b. Menghitung kapasitas baterai

Jika waktu lama pemakaian adalah 5 jam maka rumus mencari $Ah = I \times t$

$Ah = 23,33A \times 5Jam = 116,65 Ah$ dapat diambil kapasitas baterai yang aman adalah 150 Ah.

Jadi jika mau menyalakan 7 lampu 40W selama 5 jam maka baterai yang diperlukan adalah dengan spesifikasi 12V 150Ah.

Untuk menghitung luas *Sollar Cell* yang dibutuhkan dikapal, perlu untuk mempertimbangkan beberapa faktor: (1) Total daya yang dibutuhkan untuk penerangan biasanya memiliki daya bervariasi, mulai dari 3 watt hingga 40 watt atau lebih per lampu. Kita asumsikan kapal membutuhkan 7 lampu emergency dengan daya 40 watt per lampu untuk penerangan selama 5 jam. Maka total daya yang dibutuhkan: 7 lampu x 40 watt per lampu = 280 watt, Total energi yang dibutuhkan per hari (untuk mengisi 5 jam operasi), $tt \times 5 jam = 1400 Wh = 1,4 kWh$. (2) Kapasitas baterai yang dibutuhkan: Kapasitas baterai harus mencukupi untuk menyimpan energi yang dibutuhkan selama 5 jam, Menggunakan baterai 12V, kapasitas yang dibutuhkan 1400Wh: $12V = 116 Ah$ dan kapasitas baterai paling aman adalah 150 Ah. (3) Intensitas sinar matahari (Iradiasi) di laut: Rata-rata iradiasi radiasi harian di Indonesia (termasuk wilayah laut) bisa mencapai rata-rata konservatif 4,5 kWh/m²/hari untuk perhitungan, Namun, perlu diingat bahwa puncak intensitas matahari biasanya terjadi sekitar pukul 11.00-13.00 WIB. Efektivitas panel surya juga dipengaruhi oleh cuaca (berawan, hujan), dan sudut penempatan. (4) Efisiensi panel surya, Efisiensi panel surya saat ini umumnya berkisar antara 15% hingga 22%. Maka kita gunakan efisiensi rata-rata 18%. (5) Perhitungan luas panel surya, Rumus umum untuk menghitung daya output panel surya adalah: $P_{output} = Iradiasi \times Luas \times Efisiensi$. Kita membutuhkan daya untuk mengisi ulang baterai sebesar 1.4 kWh dalam sehari. Anggap saja kita memiliki 5 jam puncak sinar matahari efektif dalam sehari di laut (ini bisa bervariasi). Daya rata-rata yang harus dihasilkan panel per jam selama 5 jam puncak: $Prata-rata = 1400 Wh/5 jam = 280 Watt$. Jika *Iradiasi* rata-rata selama jam puncak adalah sekitar 750 W/ m² (Ini adalah perkiraan, nilai riil bervariasi). Maka luas yang dibutuhkan:

$$Luas = Prata-rata : (Iradiasi \times Efisiensi)$$

$$Luas = 280 Watt : (750 Watt/ m^2 \times 0,18)$$

$$Luas = 280 Watt : 135 Watt/ m^2$$

$$Luas = 2,07 m^2$$

Namun ada pendekatan yang lebih praktis: Jika kita ingin menghasilkan 1,4kWh per hari dengan iradiasi 4,5kWh/ m²/hari dan efisiensi 18%:

$$\text{Energi panel} = \text{Radiasi harian} \times \text{Luas} \times \text{Efisiensi}$$

Tabel 1. Rumus.

1,4 kWh =	4,5 kWh/ m ² /hari x Luas x 0,18
1,4 kWh =	0,81kWh/ m ² /hari x Luas
Luas =	1,4kWh : 0.81kWh/ m ²
Luas =	1,7 m ²

Jadi berdasarkan asumsi diatas (7 lampu LED dengan 40W per lampu selama 5 jam, iradiasi 4,5 kWh/ m²/hari, efisiensi panel 18%), luas panel surya yang dibutuhkan di atas kapal (di *monkey island* atau *compass deck*) adalah sekitar 1,7 hingga 2,07 meter persegi.

Berdasarkan gambar 12 dan gambar wiring 14 dapat dijelaskan bahwa total kebutuhan daya harian adalah 1400 Wh/hari sehingga membutuhkan *Sollar Cell* dengan ukuran 400 Wp. Sesuai gambar desain 13 yang digambar disebutkan ada 4 tiang yang mana per tiangnya terdapat 2 *Sollar Cell* maka dapat disimpulkan *Sollar Cell* yang dibutuhkan adalah 50Wp dikali jumlah yang dibutuhkan adalah 8 soal cell.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem *Sollar Cell* berhasil dirancang dan diimplementasikan pada kapal MV SARI INDAH dalam bentuk prototipe yang mampu menghasilkan daya listrik untuk kebutuhan penerangan sesuai kapasitas baterai. Pengujian sudut kemiringan menunjukkan bahwa sudut 75° memberikan output paling optimal sehingga direkomendasikan untuk pemasangan di *monkey island* atau *compass deck*. Pemanfaatan *Sollar Cell* terbukti dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, khususnya untuk penerangan darurat di beberapa ruang mesin dan kontrol kapal. Sebagai saran, diperlukan perawatan rutin dan pembersihan panel agar kinerjanya tetap optimal. Penelitian lanjutan dapat menggunakan teknologi panel dengan efisiensi lebih tinggi serta sistem monitoring otomatis untuk evaluasi real-time. Selain itu, kapasitas prototipe dapat ditingkatkan, baik pada jumlah panel maupun baterai, agar mampu menopang beban listrik kapal secara lebih signifikan.

DAFTAR REFERENSI

- Akmal, A., et al. (2023). Perancangan Sollar Cell untuk sumber. *Jurnal Energi Terbarukan*, 15, 48-56.
- Alexander, C. K., Sadiku, M. N., & Sadiku, M. (2007). *Fundamentals of electric circuits* (pp. 34-39). Boston, MA, USA: McGraw-Hill Higher Education.
- Alia, D., et al. (2021). Kinetic generator from footstep using piezoelectric. *Prosiding Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar*, 1(4), 240-245. <https://doi.org/10.48192/prc.v1i4.345>. Retrieved November 25, 2024, from <https://doi.org/10.48192/prc.v1i4.345>
- Almadhor, A., Mallikarjuna, K., Rahul, R., Chandra Shekara, G., Bhatia, R., Shishah, W., ... & Timothy, S. P. (2022). Solar power generation in smart cities using an integrated machine learning and statistical analysis methods. *International Journal of Photoenergy*, 2022(1), 5442304. <https://doi.org/10.1155/2022/5442304>
- Anggara, M., & Saputra, W. (2023). Analisis kinerja sel surya monocrystalline dan polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB. *Jurnal Flywheel*, 14(1), 7-12. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i1.6521>
- Balamurugan, P., et al. (2023). State-flow control based multistage constant-current battery charger for electric two-wheeler. *Journal of Advanced Transportation*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4554582>
- Coblong, K., & Bandung, K. (2022). Penerapan teknologi panel surya untuk penerangan dalam mendukung green environment dalam implementasi ekonomi sirkular COVID-19. *Jurnal Green Growth*, 12(1), 22-39. <https://doi.org/10.21009/10.21009/jgg.v12i1.02>
- Dalimunthe, A. F., Rahmaniari, S. T., & Anisah, S. (2021). Perancangan solar charge controller (SCC) pada pembangkit listrik tenaga surya 600 Wp untuk rumah tinggal. *Jurnal Teknologi Energi*, 5, 5-6.
- Dawoud, S. M., et al. (2023). Investigasi tekno-ekonomi dan sensitivitas sel surya perovskite baru berbasis sumber listrik hibrida efisiensi tinggi untuk pembangkit listrik tenaga surya kapal minyak lepas pantai. *IEEE Access*, April. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267971>
- Dilla, B., et al. (2022). Implementasi solar charge controller untuk pengisian baterai dengan menggunakan sumber energi hybrid pada sepeda motor listrik. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 128-135. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.53327>
- DNV. (2021). Maritime forecast to 2050: Energy transition in shipping. Det Norske Veritas. Retrieved from <https://www.dnv.com>
- Eco Marine Power. (2023). Aquarius marine solar power trial on MV Panamana. EMP. Retrieved September 5, 2025, from <https://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-marine-solar-power>
- Ghadami, N., Gheibi, M., Kian, Z., Faramarz, M. G., Naghedi, R., Eftekhari, M., ... & Tian, G. (2021). Implementation of solar energy in smart cities using an integration of artificial neural network, photovoltaic system and classical Delphi methods. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103149. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103149>
- Irsan, M., Radhiansyah, R., Yurika, Y., Noor, N. C., Taryana, E., Abidin, A., & Qadri, U. L. (2025). *Sistem Energi: Konsep, Teknologi, dan Implementasi Berkelanjutan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.

- Khalid, A., et al. (2022). Hybrid solar-diesel systems for maritime applications: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111836.
- Khusyairi, M. K. (2022). Analisis pengaruh variasi sudut kemiringan terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya di Desa Bungku Kecamatan Bajubang (Doctoral dissertation, Teknik Elektro).
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118361146>
- Muslim, S., Khotimah, K., & Azhiimah, A. N. (2020). Analisis kritis terhadap perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tipe photovoltaic (PV) sebagai energi alternatif masa depan. *Rang Teknik Journal*, 3(1), 119-130.
- NYK Line. (2010). Auriga Leader: The world's first solar-assisted car carrier. Nippon Yusen Kabushiki Kaisha. Retrieved September 5, 2025, from <https://www.nyk.com/english/news/2010>
- Offshore Energy. (2025). Dutch firm launches solar power solution for oceangoing vessels. *Offshore Energy*, May. Retrieved September 5, 2025, from <https://www.offshore-energy.biz/dutch-firm-launches-solar-power-solution-for-oceangoing-vessels>
- Petrychenko, O., Levinskyi, M., Goolak, S., & Lukoševičius, V. (2025). Prospects of solar energy in the context of greening maritime transport. *Sustainability*, 17(5), 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>
- Priska Restu Utami, Widyastuti, & Marliza. (2022). Analisa perhitungan pembangkit listrik tenaga surya untuk taman markisa di wilayah RT 01/RW 08 Kelurahan Mampang, Pancoran Mas, Kota Depok. *Jurnal Abdi Masyarakat Multidisiplin*, 1(2), 42-49. <https://doi.org/10.56127/jammu.v1i2.198>
- Rozak, O. A., Mulyadi, R. T., & Nurfadilah, H. (2023). Analysis the effect of solar radiation on the efficiency of PV plant 50 kWp rooftop UNPAM Viktor. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 6(02), 63-76. <https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6.no02.12181>
- Universitas, G. I., & Panca, P. (2023). Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora e-ISSN: 2775 - 4049, 89-99.