



Desain Sistem Solar Panel sebagai *Back-up Power* untuk Dermaga *Island Berth* PT. X

Levin Halim*, Mikail Vadim Sena¹, Samuel Borgias Noya¹

¹ Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit No. 94, Bandung, 40141, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
Received: July 21, 2023 Revised: July 02, 2024 Available online: July 03, 2024	
CORRESPONDENCE	
E-mail: halimlevin@unpar.ac.id ¹	<p>Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja Dermaga Island Berth dengan mengimplementasikan energi terbarukan dan sistem perlindungan yang efektif. Upaya dilakukan untuk meminimalkan potensi-potensi yang dapat menghambat atau menghentikan operasional dermaga. Langkah-langkah yang diambil meliputi pemasangan perlindungan katoda pada pipa dan struktur dermaga serta perancangan kebutuhan energi cadangan. Berdasarkan hasil perhitungan dermaga Island Berth membutuhkan 24 modul panel surya dengan spesifikasi 410wp. Energi yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan dalam 20 unit baterai tipe HVM 75 dan 30 unit baterai tipe HVM 510. Beban total yang harus disuplai oleh sistem ini adalah 1315,9 Watt, yang mencakup kebutuhan operasional dermaga selama 36 jam. Pengontrol yang digunakan memiliki spesifikasi 60A dengan tegangan 48V. Sistem ini juga menggunakan inverter yang mengubah tegangan dari 48 VDC menjadi 220 VAC. Keamanan sistem dijaga dengan 6 MCB (Miniature Circuit Breaker) dengan arus masing-masing 6A dan 2 poles. Hubungan antara baterai dan panel surya diatur oleh solar charge controller yang memastikan efisiensi pengisian daya. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam upaya meningkatkan keandalan dan ketersediaan Dermaga Island Berth. Penggunaan energi terbarukan dan sistem perlindungan yang efektif diharapkan dapat menjaga kinerja dermaga secara optimal. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pengembangan lebih lanjut dalam memperbaiki sistem operasional dermaga yang serupa.</p> <p>Kata kunci— Solar Panel, Baterai, Inverter</p>
	ABSTRACT
	<p><i>This research aims to improve the performance of Island Berth Dock by implementing renewable energy and effective protection systems. Efforts are made to minimize potential factors that can hinder or halt the dock's operations. The steps taken include installing cathodic protection on pipes and dock structures, as well as designing backup energy requirements. Based on the calculations, Island Berth Dock requires 24 solar panel modules with a specification of 410 watts peak. The energy generated by the solar panels will be stored in 20 units of HVM 75 batteries and 30 units of HVM 510 batteries. The controller used has a specification of 60 amps with a voltage of 48 volts. The total load to be supplied by this system is 1315.9 Watts, which covers the operational needs of the dock for 36 hours. Additionally, the system also utilizes an inverter that converts the voltage from 48 volts DC to 220 volts AC. The system's safety is maintained with 6 MCBs (Miniature Circuit Breakers), each with a current of 6 amps and 2 poles. The connection between the battery and the solar panel is regulated by a solar charge controller that ensures charging efficiency. This research provides a significant contribution to improving the reliability and availability of Island Berth Dock. The use of renewable energy and effective protection systems is expected to optimize the dock's performance. The findings of this study can serve as a reference for further development in improving the operational systems of similar docks.</i></p> <p>Keywords— Solar Panel, Battery, Inverter</p>

I. PENDAHULUAN

Dermaga *Island Berth* PT. X adalah proyek penting yang berperan pada pergerakan, penyimpanan, dan pengiriman minyak bumi dan gas alam cair (LPG) serta produk gas alam lainnya. Keandalan sistem kerja elektrikal menjadi kunci utama dalam menjaga kelancaran operasi [1]. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan berbagai tantangan dalam desain dan pengembangan sistem energi surya. Penelitian [2] melakukan tinjauan sistematis mengenai desain, pemodelan, algoritma, dan perangkat lunak sistem energi

surya fotovoltaik, yang menunjukkan bahwa implementasi sistem ini sering menghadapi masalah efisiensi dan keandalan dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Selain itu, [3] juga mengidentifikasi bahwa alat dan metode saat ini seringkali tidak memadai untuk pengembangan sistem PV surya terdistribusi, khususnya dalam lingkungan perkotaan yang kompleks. Penelitian [4] membahas optimisasi tata letak spasial untuk instalasi panel surya, yang menyoroti pentingnya desain yang tepat untuk memaksimalkan efisiensi. Penelitian [5] mengatasi kondisi bayangan yang cepat berubah dan parsial yang sering mengurangi efisiensi

sistem PV surya. Masalah ini relevan dengan Dermaga Island Berth, yang lokasinya terisolasi dan rentan terhadap gangguan lingkungan, sehingga membutuhkan solusi yang dapat diandalkan untuk penyediaan energi.

Namun, sifat dan jenis material yang diolah memerlukan pasokan daya yang tak terputus, terutama dalam situasi darurat. Oleh karena itu, penting untuk meneliti dan merancang suatu solusi yang dapat menyediakan pasokan listrik mandiri dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *back-up power* berbasis *solar panel* yang dapat memenuhi kebutuhan listrik di Dermaga Island Berth PT. X.

Perancangan dilakukan untuk meningkatkan keandalan operasional dermaga dengan menyediakan sistem *back-up power* yang andal berbasis *solar panel*. Dengan adanya sistem ini, diharapkan Dermaga Island Berth dapat terus beroperasi tanpa henti, bahkan ketika pasokan listrik dari PLN mengalami gangguan. Selain itu, dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama daya cadangan, dermaga dapat mengurangi ketergantungannya pada pasokan listrik konvensional, seperti listrik dari PLN yang disalurkan melalui *submarine pipeline*. Pemanfaatan energi terbarukan, seperti *solar panel*, akan menjadi langkah penting dalam mendukung keberlanjutan operasional dan mengurangi dampak lingkungan negatif dari konsumsi energi yang berlebihan [6].

Dermaga Island Berth PT. X berlokasi sekitar 7 km dari garis Pantai dan merupakan tempat krusial untuk distribusi minyak bumi dan gas alam. Karena lokasinya yang jauh dari daratan dan terhubung melalui *submarine pipe line*, Dermaga Island Berth sangat bergantung pada pasokan listrik yang dapat diandalkan. Keandalan pasokan listrik menjadi sangat penting karena sifat dan material yang diolah memerlukan sistem kerja elektronika yang tetap aktif dalam segala kondisi [7]. Gangguan listrik yang terjadi dapat menyebabkan penundaan atau bahkan kerusakan pada proses distribusi dan penyimpanan [8]. Hal ini akan mengakibatkan kerugian besar bagi PT. X.

Sehingga, dalam penelitian ini, penggunaan solar panel sebagai sistem *back-up power* menjadi solusi yang menjanjikan. Dermaga Island Berth menerima jumlah radiasi matahari yang cukup besar karena lokasinya yang berada di kawasan pantai. Dengan memanfaatkan sinar matahari yang melimpah, solar panel dapat menghasilkan energi listrik yang dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan pasokan daya cadangan [9], [10]. Dengan merancang dan mengimplementasikan sistem *back-up power* berbasis *solar panel* yang efisien dan handal, perancangan yang dilakukan pada penelitian ini akan menjadi langkah maju dalam mendukung kelancaran operasional Dermaga Island Berth PT. X dan memperkenalkan solusi berkelanjutan yang dapat diadopsi di proyek serupa dalam industri migas.

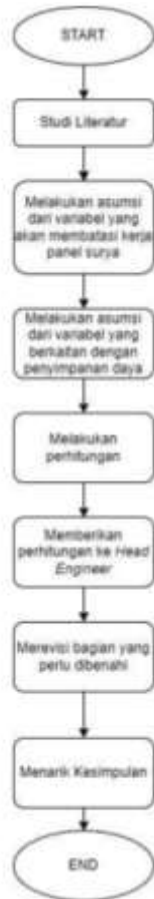
II. METODOLOGI DAN LANDASAN TEORI

Dalam melakukan penelitian ini, sistem cadangan solar panel yang dirancang memiliki daya tahan selama 36 jam dengan luas area $60m^2$. Penelitian ini didasarkan pada berbagai studi sebelumnya yang telah menunjukkan pentingnya desain dan integrasi sistem energi terbarukan dalam sistem yang terisolasi. Penelitian [11] menekankan

pentingnya desain *hybrid* sistem terbarukan yang terisolasi untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi energi. Pada [12], metode pengendalian keseimbangan energi untuk aplikasi daya PV-baterai, yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam pengelolaan energi dikembangkan. Selain itu, [13] juga menyoroti pentingnya penjadwalan dan pengukuran yang terintegrasi untuk sistem yang menggabungkan angin, PV, diesel, dan baterai.

Dalam memenuhi kebutuhan solar panel tersebut, dilakukan beberapa alur yang telah dilakukan dalam penelitian ini seperti yang dijabarkan Gambar 1.

- Melakukan tinjauan literatur mengenai teori yang mendukung penelitian dan implementasi *solar panel* yang dibahas pada pembahasan selanjutnya.
- Menimbang lokasi dari dermaga Island Berth yang memudahkan instalasi sistem pendukung yang tepat adalah *solar panel*. Pemilihan lokasi berdasarkan penelitian oleh [14] yang menekankan pentingnya simulasi dan desain sistem.
- Melakukan asumsi terhadap rencana penyimpanan daya energi yang diserap oleh solar panel dan melihat ketersediaan pada lokasi dermaga berupa kebutuhan baterai untuk menyimpan energi dengan durasi waktu 36 jam. Evaluasi kinerja sistem PV yang dirancang untuk bangunan terisolasi, memberikan panduan tentang efisiensi penyimpanan energi [15].
- Melakukan perhitungan berdasarkan data yang ada pada dermaga Island Berth dan kebutuhan energi berupa perhitungan beban pada dermaga, kebutuhan baterai, dan daya yang mampu dihasilkan *solar panel* untuk memenuhi kebutuhan. Metode ini didukung oleh penelitian [16] yang menunjukkan pentingnya desain berbasis biaya minimum dengan mempertimbangkan sudut kemiringan PV.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

A. Panel Surya

Solar Panel (Panel Surya) merupakan suatu komponen yang menerima energi cahaya terutama cahaya matahari, mengkonversikannya ke dalam bentuk energi listrik dan menyimpannya. Panel surya menggunakan *photovoltaic (PV) cell* yang dirangkai dalam bentuk modul untuk menangkap energi cahaya. *Photovoltaic cell* ini terdiri dari silicon, *phosphorous* (untuk menangkap muatan negatif) dan boron (untuk menangkap muatan positif) [17]. Sistem kerja *photovoltaic cell*, adalah dengan menggunakan sistem *p-type silicon* dan *n-type silicon*, dimana diantara kedua itu terdapat *junction*. Ketika tidak ada cahaya matahari yang mengenai solar panel, maka *junction* akan menebal sehingga tidak terjadinya arus listrik. Ketika cahaya matahari mengenai *solar panel*, *junction* akan menipis sehingga terjadinya aliran arus listrik. Seluruh proses tersebut disebut *photovoltaic effect* [18].



Gambar 2. Solar Panel 410wp [19]

B. Hukum Ohm

Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan V pada resistor berbanding lurus dengan arus I yang mengalir melalui resistor, sehingga didapatkan persamaan 1 [20].

$$V = I \cdot R \tag{1}$$

Dimana;

I = Kuat arus (*Ampere*)

R = hambatan (*ohm*)

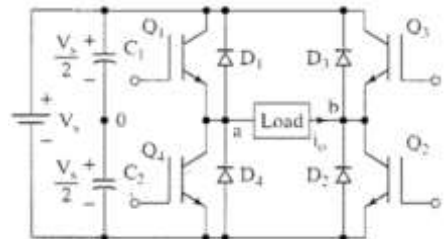
V = Tegangan (*V*)

Ketika arus mengalir melalui resistor, energi listrik diubah menjadi panas. Panas kemudian terdisipasi dari resistor. Tingkat panas yang hilang disebut daya. Daya diukur dalam satuan *joule* per detik (J/s), yang didefinisikan dalam satuan yang disebut *watt* (W). Daya yang terdisipasi oleh resistor diberikan oleh persamaan hukum daya (P) [21].

$$P = V \cdot I \tag{2}$$

C. Inverter

Merupakan rangkaian elektronik untuk mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi terangan bolak balik (AC). Pada perancangan solar panel, output dari solar panel dan baterai merupakan tegangan sebesar 48 VDC . Sementara itu, komponen-komponen elektrik yang terdapat pada dermaga *Island Berth* menggunakan tegangan AC sebagai *input* yang tegangannya sebesar 220 VAC . Maka dari itu, digunakan inverter tegangan dari baterai dan *solar panel* dapat digunakan untuk memenuhi pasokan listrik untuk komponen-komponen tersebut.



Gambar 3. Ilustrasi Rangkaian Full Bridge Inverter

Pada Gambar 3 rangkaian ketika ingin mendapatkan *output* yang tinggi maka $Q1$ dan $Q2$ akan ada dalam posisi *on*, dan untuk $Q3$ dan $Q4$ akan berapa dalam posisi *off*. Sebaliknya, untuk mendapatkan *output* yang negatif maka $Q3$ dan $Q4$ akan ada dalam posisi *on* dan $Q1$ serta $Q2$ dalam kondisi yang sebaliknya.



Gambar 4. Inverter Victron Energy Phoenix Pure Sine Wave Inverter 48VDC to 220VAC [22]

Beban total yang dihasilkan pada sistem adalah 1315,9 Watt. Sehingga digunakan Inverter pada Gambar 4 berjenis Victron Energy Phoenix Pure Sine Wave Inverter 48VDC to 220VAC.

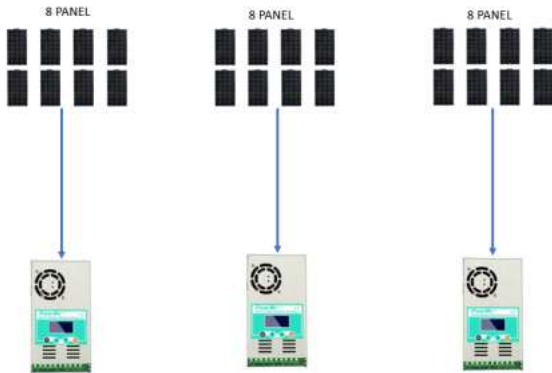
D. Solar Charger Controller (SCC)

Controller yang digunakan berjenis maximum power point tracking (MPPT). Solar Charger Controller (SCC) berjenis MPPT memiliki keunggulan yang mana arus yang dihasilkan oleh MPPT tidak akan terbuang sehingga efisiensinya akan lebih tinggi. MPPT yang diajukan untuk solar panel memiliki tegangan 48V dan arus sebesar 60A.



Gambar 5. Komponen Powmr Mppt 60A Solar Charge and Discharge Controller 48V [22]

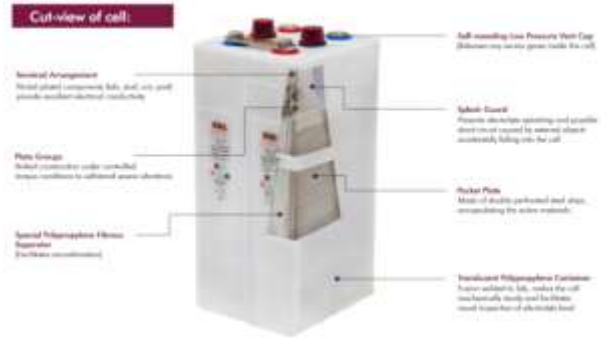
Pada Gambar 5 merupakan controller yang memiliki kapasitas pengisian daya 3200Watt dengan jumlah sebanyak 8unit controller, karena setiap solar panel memiliki daya 410wp. Pada Gambar 8 merupakan rancangan skematik controller dengan solar panel.



Gambar 6. Ilustrasi Skematik Controller Dengan Solar Panel

E. Baterai

Pada penelitian ini digunakan baterai yang memiliki system charging efficient agar pengisian daya dapat dilakukan dengan cepat sehingga baterai jenis nikel cadmium merupakan jenis baterai yang tepat. Pemilihan baterai ini memiliki kelebihan lebih ringan, tahan lama, serta pengisian yang cepat dengan inefficient charging factor sebesar 1,1 yang membuat baterai ini perlu pasokan daya 1,1 kali dari kapasitas aslinya hingga terisi penuh.

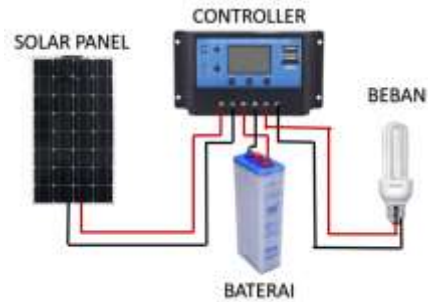


Gambar 7. VentPro Next Generation Ni-Cd Valve Regulated Pocket Plate Batteries [23]

Produk baterai yang digunakan merupakan VentPro Next Generation Ni-Cd Valve Regulated Pocket Plate Batteries seperti Gambar 7 yang memiliki kapasitas sebesar 4,8V dengan arus 785Ah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui kondisi dari Island Berth, rancangan solar panel yang akan digunakan adalah system off-grid. Cara kerja sistem ini adalah dengan mengambil energi listrik dari solar panel dan menyimpan energi tersebut dibaterai. Apabila energi tersebut ingin digunakan, maka energi yang keluar merupakan energi yang tersimpan pada baterai bukan berasal dari solar module.



Gambar 8. Ilustrasi rangkaian Off-Grid Solar Panel

Gambar 8 merupakan contoh ilustrasi dari rangkaian off-grid yang akan diimplementasikan pada Island Berth. Pada gambar ilustrasi, rangkaian akan terdiri dari solar panel yang terhubung dengan baterai untuk menyimpan daya yang diatur oleh controller.

A. Total Kebutuhan Daya Internal

Dalam menghitung kebutuhan modul PV, dilakukan penghitungan beban yang akan dikirim ke system utama. Berdasarkan data yang diperoleh PT. X, beban yang akan ditanggung sebesar 661,06Ah/Hari seperti yang ditampilkan pada Tabel I, II, dan III dibawah ini.

TABEL I. TABEL SPESIFIKASI BEBAN

Item	[VA]	W	[V]	[V]	[A]
Operator Workstation	523,53	445	48VAC±10%	48	9,27
Color Printer	65,88	56	48VAC±10%	48	1,17
RTU Panel & Acc	530	424	48VAC±10%	48	8,83

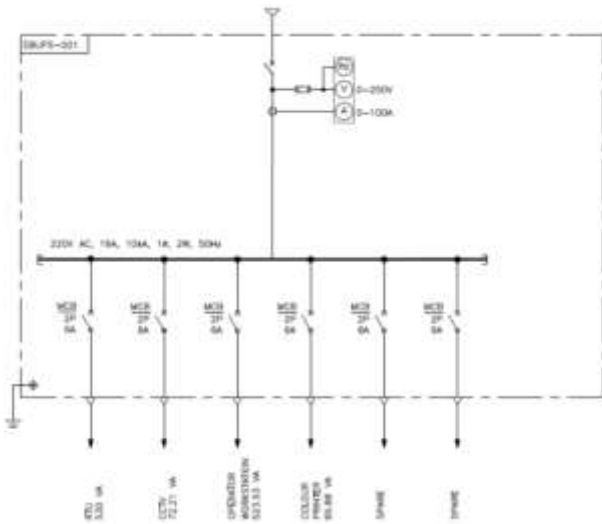
CCTV PTZ	72,71	62	48VAC±10%	48	1,29
Spare	408	326	48VAC±10%	48	6,80

TABEL II. TABEL SPESIFIKASI BEBAN

Item	Eff. %	Consume[A]	[Hrs/day]	[Ah]
Operator Workstation	100%	9,27	24	222,50
Color Printer	100%	1,17	24	28,00
RTU Panel & Acc	100%	8,83	24	212,00
CCTV PTZ	100%	1,29	24	30,90
Spare	100%	6,80	24	163,20

TABEL III. TABEL SPESIFIKASI BEBAN

	[VA]	W	Consume[A]	[Ah]
Subtotal load	1600,1	1313,2	20,6	656,6
Energy consumption of solar panel				4,5
System design		1445,5	23,3	661,1



Gambar 9. Skematik Komponen

Setelah mengetahui besar muatan listrik yang dikonsumsi, tahapan selanjutnya membuat rancangan rangkain listrik terhadap komponen-komponen yang akan terhubung dengan solar panel seperti pada Gambar 9.

Berdasarkan Tabel IV menampilkan data dari komponen internal yang berjalan selama 24 jam dengan jumlah energi konsumsi sebanyak 4,1Ah dengan total 4,455Ah yang mana mendapat tambahan waktu sebanyak 10%.

TABELE IV. CONSUMPTION INTERNAL L COMPONENTS

Item	[W]	[W]	Load voltage	[V]	[A]
Charge control	3	2,7	48VAC±10%	48	0,17
Total		8,1			4,455

Untuk mengetahui total muatan arus pada SCC dapat menggunakan persamaan (3).

$$E_{total} = E_{internal} + E_{eksternal} \tag{3}$$

Sehingga perhitungan total muatan dalam waktu 1 jam berdasarkan Tabel I, II, dan III adalah:

$$656,3Ah + 4,455Ah = 661,06Ah \tag{4}$$

Setelah menghitung muatan listrik, selanjutnya dengan menghitung daya yang berasal dari controller. Daya yang berasal dari controller terbagi menjadi dua, yaitu internal power dan external power. Untuk memperoleh hasil daya, dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Power_{total} = P_{internal} + P_{external} \tag{5}$$

Dengan menerapkan persamaan (5), maka besaran daya (P) adalah:

$$1312,2W + 2,7W = 1315,9W \tag{6}$$

Melalui persamaan (6), total daya yang dikonsumsi adalah 1315,9W. Dengan nilai daya total yang diketahui selanjutnya kebutuhan daya selama 36 jam dapat menggunakan perhitungan dibawah ini:

$$E_{total} = P \times t$$

$$E_{total} = 1315,9W \times 36Hrs$$

$$E_{total} = 47372,4Wh \tag{7}$$

Melalui persamaan (7) diatas dipeorleh total daya selama 36 jam adalah sebesar 47372,4Wh.



Gambar 10. Area Solar Panel

Adapun luas cakupan area solar panel yang akan digunakan di area Island Berth adalah sebesar 60,707m² seperti ilustrasi pada Gambar 10.

Pada sistem pendukung berupa baterai yang digunakan adalah sistem Uninterruptible Power Supply UPS. Sistem UPS ini dapat menyediakan energi listrik meskipun sumber listrik utama mati. Energi listrik akan disimpan dan dapat digunakan dalam keadaan darurat. Dalam pengisian baterai solar panel diperlukan waktu yang optimal agar daya isi baterai maksimal, sehingga diperlukan saat yang paling

tepat dalam pengisian baterai seperti ilustrasi pada Gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. Daya pada Global Atlas [24]

Berdasarkan data daya tersebut, waktu pengisian baterai solar panel disimpulkan bahwa photovoltaic power output terkecil pada bulan Januari, sementara terbesar terjadi pada bulan September yang mampu memberikan waktu paling optimal. Untuk mengetahui kapasitas pengisian baterai agar mampu bertahan 36 jam, dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$E = \frac{E_{total} \times 36 \text{ Hrs}}{24} = 991,6 \text{ Ah} \tag{8}$$

Melalui persamaan (8), dapat diketahui pengisian muatan listrik dalam sehari adalah 991,6Ah.

B. Kebutuhan Panel Surya

Dalam penelitian ini, diperlukan perhitungan dalam kebutuhan solar panel karena energi yang keluar tidak 100% sempurna. Hal ini disebabkan oleh loss yang terjadi dari beberapa parameter. Parameter tersebut diantaranya berupa debu (dust) dan usia (age) dari solar panel. Loss yang disebabkan oleh debu dapat berpengaruh terhadap energi yang dikeluarkan. Energi yang dikeluarkan akibat loss debu biasanya 2,5% [25]. Berdasarkan modul solar panel yang digunakan, dapat diketahui total losses melalui persamaan (09) dibawah ini.

$$Loss = Loss_{dust} + Loss_{ageing} \tag{9}$$

$$Loss = 4,4\% + 0,6\% = 5\%$$

Pada jumlah unit solar panel yang akan digunakan, dapat menerapkan persamaan (10).

$$Unit = \frac{P_{total}}{(W_p \times t) - loss} \tag{10}$$

Dimana:

Unit = jumlah solar panel.

t = asumsi waktu pengisian sistem solar panel.

Wp = Daya yang dihasilkan module solar panel.

$loss =$ Jumlah losses pada masing-masing module solar panel

Melalui persamaan (10), diperoleh unit solar panel sebanyak 24 buah.

Untuk cakupan luas area solar panel masing-masing memiliki luas 2,01m² sehingga dengan total unit berupa 24 buah, maka total luas area solar panel adalah 48,24m². Kebutuhan muatan solar panel per harinya dari 24 unit adalah 720.

Pada komponen baterai yang digunakan, memiliki ageing factor sebesar 1,25 [26], sehingga total muatan energi listrik harus dikalikan dengan faktor umur dari baterai tersebut seperti pada perhitungan dibawah ini

$$E = 991,6Ah \times 1,25 = 1239,5Ah \tag{11}$$

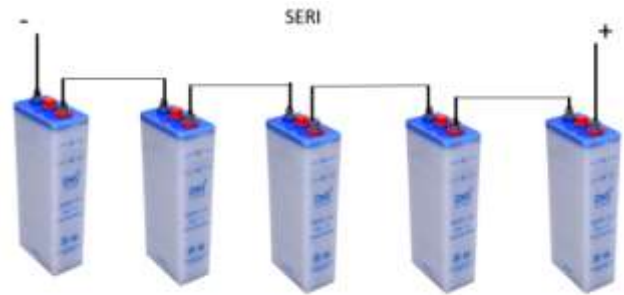
Setelah mengetahui total muatan energi listrik berdasarkan factor umur baterai, melalui persamaan (12) dapat mengetahui total kebutuhan kapasitas baterai minimal karena kapasitas baterai hanya mencakup 80%.

$$E_{min} = \frac{E}{capacity \times temp_factor} \tag{12}$$

$$E_{min} = \frac{1239,5Ah}{80\% \times 1,04} = 1489,8Ah$$

Pada persamaan (12), nilai dari temp_factor adalah sebesar 1,04 [27].

Dengan menggunakan produk baterai VentPro Next Generation Ni-Cd Valve Regulated Pocket Plate Batteries sebesar 4,8V dengan arus 785Ah, maka pemasangan rangkaian dibuat seri agar tegangannya sama seperti pada Ilustrasi Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian Baterai

Melalui rangkaian seri ini mampu mendapatkan persamaan V_{total} dengan persamaan (13).

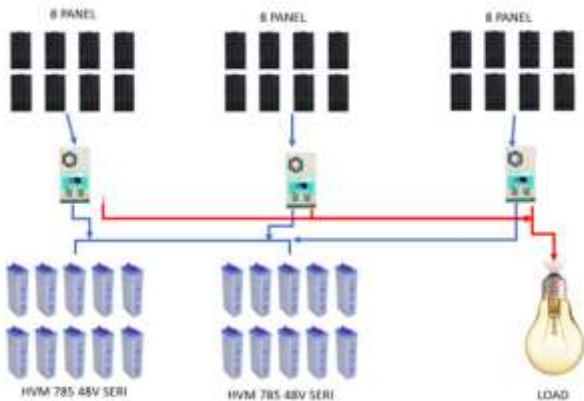
$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N = V_{total} \tag{13}$$

Untuk rangkaian baterai terdapat 2 opsi untuk instalasinya yaitu dengan disatukan menjadi 1 sistem atau dibagi berdasarkan jumlah controller yang digunakan. Untuk menghitung jumlah baterai apabila disatukan menjadi 1 sistem penyimpanan maka, baterai yang digunakan berjenis HVM 785. Sesuai dengan namanya, HVM memiliki kapasitas penyimpanan muatan listrik sebesar 785Ah dengan tegangan 4,8V.

Agar $V_{load} = V_{baterai}$ maka dibutuhkan $48V/4, 8 = 10 \text{ unit}$ baterai pada masing masing group. Sehingga banyaknya jumlah baterai yang digunakan ada pada persamaan (14).

$$Total_{battery} = \frac{1489,8}{785} = 18,9 \tag{14}$$

Untuk mencapai tegangan 48Volt maka jumlah baterai harus dibulatkan menjadi 20Unit . Rangkaian dibagi menjadi 2 group rangkaian paralel, dimana masing-masing rangkaian terdapat 10unit baterai. Ilustrasi skematik rangkaian terdapat pada Gambar 13.

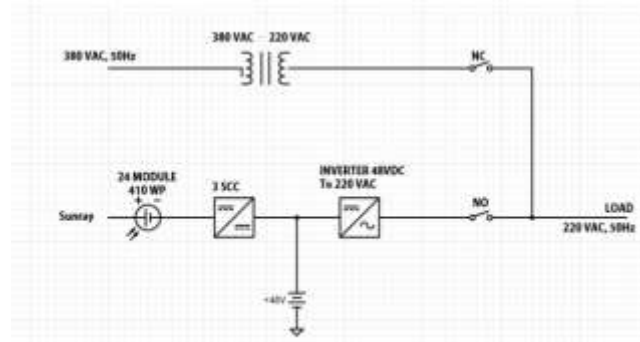


Gambar 13. Ilustrasi Rangkaian HVM 785 sebanyak 20 unit

Dengan mengetahui kapasitas energi baterai pada persamaan 8 dan *inefficient charging factor* sebesar 1,1 maka dapat mengetahui durasi untuk pengisian dengan asumsi tanpa penggunaan beban melalui persamaan (15) adalah 1 hari.

$$time = \frac{E \times 1,1}{E/day} = \frac{991,6Ah \times 1,1}{720Ah/day} = 1 \text{ day} \tag{15}$$

Sistem kelistrikan dermaga *Island Berth* terdiri dari 2 sumber listrik. Dimana sumber listrik tersebut terdiri dari listrik utama dan sistem *solar panel*. Kedua sumber listrik tersebut dihubungkan secara paralel. Sumber listrik utama dihubungkan dengan *switch normally close*. Sementara untuk sistem *solar panel* terhubung pada *switch normally open*. Apabila terjadi keadaan darurat maka secara otomatis *switch* pada sumber listrik utama akan menjadi *open* dan sumber listrik *solar panel* akan menjadi *close*. Skematik sistem *solar panel* terdapat pada pada Gambar 14.



Gambar 14. Single Line Diagram Sistem Panel Surya

Dermaga *Island Berth* membutuhkan aliran *system* cadangan yang mampu bertahan selama 36 jam dengan total daya $47372,4\text{Wh}$ sehingga dengan meninjau lokasi dermaga yang memiliki keunggulan dengan akses radiasi matahari yang besar, maka *system* pendukung yang dirancang adalah *solar panel*. *Solar panel* yang dirancang memiliki kapasitas sebanyak 410wp dengan jumlah sebanyak 24 buah yang ditempatkan pada luas area $60,707\text{m}^2$. Rancangan solar panel ini mampu melakukan pengisian baterai dengan muatan listrik 720Ah/day . Selain itu, rancangan *solar panel* ini berupa paralel dengan masing-masing 3unit controller yang terhubung dengan 24 buah *solar panel* ditambah dukungan berjumlah 20 buah baterai dengan jenis *HVM 785* dan 30 buah jenis *HVM 510*. Sehingga melalui racangan ini hanya dibutuhkan waktu pengisian tanpa menggunakan beban selama 1 hari untuk mempersiapkan *system* cadangan *power* di dermaga *Island Berth*.

REFERENSI

- [1] G. A. P. Yoga, "ANALISA KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI WILAYAH LAMPUNG BERDASARKAN KETERSEDIAAN DAYA PADA TAHUN 2016," Skripsi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2017.
- [2] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. A. Al-Waeli, and A. Gholami, "A systematic review of solar photovoltaic energy systems design modelling, algorithms, and software," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 44, no. 3, pp. 6709–6736, Sep. 2022, doi: 10.1080/15567036.2022.2100517.
- [3] W. M. P. U. Wijeratne, R. J. Yang, E. Too, and R. Wakefield, "Design and development of distributed solar PV systems: Do the current tools work?," *Sustain Cities Soc*, vol. 45, pp. 553–578, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.11.035.
- [4] Q. Zhong and D. Tong, "Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation," *Renew Energy*, vol. 150, pp. 1–11, May 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.12.099.
- [5] Lijun Gao, R. A. Dougal, Shengyi Liu, and A. P. Iotova, "Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 5, pp. 1548–1556, May 2009, doi: 10.1109/TIE.2008.2011296.
- [6] F. Mayasari *et al.*, "Pengenalan Panel Surya sebagai Salah Satu Sumber Energi Terbarukan untuk Pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar," 2022.
- [7] M. Arifai and M. H. Satria, "ANALISIS KESTABILAN FREKUENSI DAN TEGANGAN SISTEM TENAGA LISTRIK PT. ANEKA TAMBANG (PERSERO) TBK UBPN SULAWESI TENGGARA," Tugas Akhir, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2017.
- [8] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis di PT. PLN (PERSERO) Rayon Daya Makassar," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, Aug. 2020.
- [9] M. Junaidi, "Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Gedung C Fakultas Teknik Universitas Islam Riau," Tugas Akhir, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 2020.
- [10] A. S. Anwar, "Analisis Kelayakan Pembangkit Energi Listrik Tenaga Surya Rooftop di Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi," Tugas Akhir, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, 2021.
- [11] E. S. Sreeraj, K. Chatterjee, and S. Bandyopadhyay, "Design of isolated renewable hybrid power systems," *Solar Energy*, vol. 84, no. 7, pp. 1124–1136, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.solener.2010.03.017.
- [12] H. Zhu, D. Zhang, H. Athab, B. Wu, and Y. Gu, "PV Isolated Three-Port Converter and Energy Balancing Control Method for PV-Battery Power Supply Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, doi: 10.1109/TIE.2014.2378752.
- [13] A. Malheiro, P. M. Castro, R. M. Lima, and A. Estanqueiro, "Integrated sizing and scheduling of wind/PV/diesel/battery isolated systems," *Renew Energy*, vol. 83, pp. 646–657, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2015.04.066.
- [14] Th. F. El-Shatter, M. N. Eskandar, and M. T. El-Hagry, "Hybrid PV/fuel cell system design and simulation," *Renew Energy*, vol. 27,

IV. KESIMPULAN

- no. 3, pp. 479–485, Nov. 2002, doi: 10.1016/S0960-1481(01)00062-3.
- [15] A. Sasitharanuwat, W. Rakwichian, N. Ketjoy, and S. Yammen, “Performance evaluation of a 10kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand,” *Renew Energy*, vol. 32, no. 8, pp. 1288–1300, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.renene.2006.05.002.
- [16] K. H. Ibrahim, E. Mohamed Ahmed, and S. M. Saleh, “Minimum cost-based design of isolated PV-wind hybrid system considering the PV tilt angle and wind turbine hub height as design parameters using genetic algorithm,” *Int J Energy Res*, vol. 45, no. 9, pp. 13149–13162, Jul. 2021, doi: 10.1002/er.6640.
- [17] “Solar Photovoltaic Technology Basics.” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- [18] “Solar Cells.” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <http://www.chemistryexplained.com/Ru-Sp/Solar-Cells.html>
- [19] Adha and Hariyadi, “Analisis Kemampuan Panel Surya 410WP pada Lemari Pembeku,” *Doctoral Dissertation*, 2021.
- [20] M. N. O. Sadiku and C. K. Alexander, *Fundamentals of electric circuits*. McGraw-Hill Higher Education, 2007.
- [21] T. L. Floyd and D. M. Buchla, *Electric circuits fundamentals*. Pearson/Prentice Hall, 2004.
- [22] “Victron Phoenix Inverter Smart 48/1600.” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.solartopstore.com/collections/victron-phoenix-smart/products/victron-phoenix-inverter-smart-48-1600>
- [23] “PowMr 60A 12V 24V 36V 48V MPPT Solar Charge Controller.” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.ysolartech.com/product/powmr-60a-12v-24v-36v-48v-mppt-solar-charge-controller.html>
- [24] “Global Solar Atlas.” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.173828,3>
- [25] J. Zorrilla-Casanova *et al.*, “Analysis of dust losses in photovoltaic modules,” in *World renewable energy congress*, Linköping University Electronic Press Linköping, Sweden, 2011, pp. 2985–2992.
- [26] Access Power Link, “Why Aging Factor for Battery Sizing calculation is necessary?” Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/why-aging-factor-battery-sizing-calculation-necessary-link/>
- [27] N. Sato and K. Yagi, “Thermal behavior analysis of nickel metal hydride batteries for electric vehicles,” *JSAE review*, vol. 21, no. 2, pp. 205–211, 2000.