



RANCANG BANGUN RANGKA PEMBANGKIT LISTRIK PORTABLE DENGAN MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU DAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Yudi Siswanto¹, Amiruddin², Ika Nurjannah³, Miftahul Khair⁴

^{1,2,4}Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Indutri Logam Morowali

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

yudi@pilm.ac.id

Amiruddinteru86@gmail.com

ikajannah@unesa.ac.id

miftahulkhair370@gmail.com

Abstrak— Sumber energi listrik telah berkembang pesat saat ini guna meminimalisir penggunaan bahan bakar minyak yang saat ini semakin sedikit jumlahnya dan pembagian listrik dari PLN ke masyarakat yang belum merata. Penggunaan energi terbarukan dan ramah lingkungan akan memberikan solusi apabila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara yang sebentar lagi akan habis, diketahui juga Indonesia merupakan Negara pesisir dengan potensi kecepatan angin dan sinar matahari yang melimpah. Ini merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan membuat alat pembangkit listrik dengan memanfaatkan potensi sumber energi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan menambahkan sistem portabel. Pembangkit listrik portabel ini didesain menggunakan solidwork. Pada proses pembuatan alat ini dilakukan perencanaan pembuatan desain, perancangan menentukan alat dan bahan yang digunakan, proses pengerjaan, pemotongan besi hollow sesuai ukuran yang telah ditentukan, pengelasan, dan pemasangan kincir angin. Ukuran pembangkit listrik ini memiliki panjang 1330 mm lebar 600 mm dan tinggi 700 mm. Hasil dari pengujian pembangkit listrik portabel dengan menggunakan lampu kapasitas 15W didapatkan hasil tertinggi pada PLTS 11.05 VDC dan tegangan tertinggi pada PLTB 2.45 VDC. Selain itu juga dalam penelitian ini dilakukan simulasi safety factor pada rangka alat pembangkit listrik dari hasil simulasi diperoleh sebagai berikut pada bagian satu nilai stress (*vonmises*) $9,873e-08\text{N/m}^2$, perubahan bentuk (*displacement*) $3,930e-04\text{ mm}$, regangan (*strain*) $4,637e+04\text{ N/m}^2$, dan factor keamanan (*factor of safety*) 1,741, Pada bagian rangka dua stress (*vonmises*) $5,554e-04\text{ N/m}^2$, perubahan bentuk (*displacement*) $3,098e-00\text{ mm}$, regangan (*strain*) $9,488e-08\text{ N/m}^2$, dan factor keamanan (*factor of safety*) 3,6.

Kata Kunci— Rancang Bangun; Pembangkit Listrik Portable; Energi Terbarukan; PLTS; PLTB.

Abstract— *Electrical energy sources have developed rapidly today in order to minimize the use of fuel oil which is currently decreasing in number and the distribution of electricity from PLN to the community which is not evenly distributed. The use of renewable and environmentally friendly energy will provide a solution when compared to the use of fossil fuels such as coal which will soon run out, it is also known that Indonesia is a coastal country with abundant wind speed and sunlight potential. This is a renewable energy source that can be utilized as electrical energy. Therefore, this study aims to create a power generator by utilizing the potential of solar power plant (PLTS) and wind power plant (PLTB) energy sources by adding a portable system. This portable power plant is designed using solidworks. In the process of making this tool, planning is carried out to make a design, design determines the tools and materials used, the work process, cutting hollow iron according to the specified size, welding, and installation of windmills. The size of this power plant is 1330 mm long, 600 mm wide and 700 mm high. The results of the portable power plant test using a 15W capacity lamp obtained the highest results at 11.05 VDC PLTS and the highest voltage at 2.45 VDC PLTB. In addition, this study also carried out a safety factor simulation on the power plant frame from the simulation results obtained as follows in part one stress value (*vonmises*) $9.873e-08\text{N/m}^2$, displacement $3.930e-04\text{ mm}$, strain $4.637e+04\text{ N/m}^2$, and safety factor 1.741, In the frame section two stress (*vonmises*) $5.554e-04\text{ N/m}^2$, displacement $3.098e-00\text{ mm}$, strain $9.488e-08\text{ N/m}^2$, and safety factor 3.6.*

Keywords—*Design; Construction; Portable Power Plant; Renewable Energy; PLTS; PLTB*

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi. Dalam menghadapi tantangan ini, penting untuk mencari sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pemanfaatan energi terbarukan, seperti energi angin dan matahari menjadi salah satu solusi yang dianggap menjanjikan [1]. Energi angin dan energi matahari memiliki potensi yang besar di Indonesia. Energi angin dapat dijumpai di daerah pesisir, pegunungan, dan dataran tinggi. Sedangkan energi matahari tersedia sepanjang tahun di hampir seluruh wilayah Indonesia [2]. Pemanfaatan energi angin dan energi matahari secara terpadu dalam satu sistem pembangkit listrik portable menawarkan beberapa keuntungan. Pertama, sistem ini dapat menghasilkan energi listrik secara terus menerus, baik siang maupun malam hari [3]. Kedua, sistem ini tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga ramah lingkungan [4]. Ketiga, sistem ini dapat digunakan di daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN [5].

Dalam beberapa tahun terakhir, energi terbarukan menjadi fokus utama dalam pengembangan pembangkit Listrik [6]. Energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang dapat terus-menerus diperbaharui, seperti energi matahari, energi angin, dan energi hidro. Berbeda dari energi fosil yang terbatas dan dapat berdampak buruk bagi lingkungan, energi terbarukan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia secara berkelanjutan. Misalnya, energi matahari diperoleh dari sinar matahari dan diubah menjadi listrik menggunakan panel surya, sementara energi angin dihasilkan dari putaran turbin yang digerakkan oleh angin. Energi hidro dihasilkan dari aliran air yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Memanfaatkan sumber energi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca, tetapi juga mendukung keberlanjutan energi untuk jangka panjang. [7]. Penelitian ini akan membahas tentang rancang bangun rangka pembangkit listrik portable dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya. Pembangkit listrik tenaga bayu adalah teknologi yang menggunakan energi angin untuk menghasilkan Listrik [8]. Prinsip kerjanya adalah dengan menangkap energi kinetik angin menggunakan turbin angin, yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator [9] [10] [11]. Keunggulan dari pembangkit listrik tenaga angin adalah bahwa sumber energinya bersifat tak terbatas dan tidak memproduksi emisi gas rumah kaca. Energi angin dihasilkan dari pergerakan udara yang tidak akan habis selama ada angin, menjadikannya sumber daya yang berkelanjutan. Selain itu, penggunaan tenaga angin mengurangi dampak lingkungan yang biasanya terkait dengan pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil, seperti pencemaran udara dan perubahan iklim. Penggunaan teknologi ini mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang merusak lingkungan [12]. Namun, kekurangan utama dari teknologi ini adalah ketergantungan pada kecepatan dan arah angin, yang membuatnya tidak dapat diandalkan secara konstan.

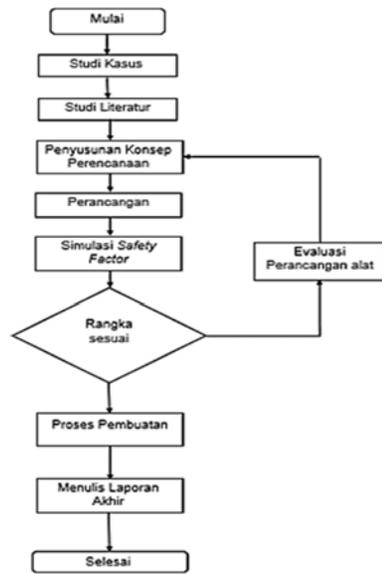
Sementara itu, pembangkit listrik tenaga surya adalah sistem yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik [13]. Prinsip kerjanya adalah dengan menangkap sinar matahari menggunakan panel surya, yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui inverter [14]. Penggunaan energi surya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil. Namun, kekurangan utama dari teknologi ini adalah ketergantungan pada intensitas sinar matahari, yang membuatnya tidak efisien di daerah dengan cuaca yang buruk atau cenderung berawan. Rancang bangun rangka pembangkit listrik portable dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya menjadi solusi yang menarik. Rangka pembangkit listrik portable ini dirancang untuk memberikan akses listrik yang mudah dan cepat di daerah terpencil atau dalam situasi darurat. Dengan menggabungkan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya, sistem ini dapat memanfaatkan sumber daya alam yang ada secara maksimal dan menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan [15].

Penelitian ini bertujuan untuk rancang bangun rangka pembangkit listrik *portable* dengan sumber pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya. Rangka ini akan dilengkapi Faktor Keamanan dan panel surya yang terintegrasi dalam satu sistem. Faktor Keamanan dirancang untuk pembebanan pada putaran dengan kecepatan rendah dan menghasilkan energi listrik yang cukup untuk mengisi baterai. Panel surya akan dirancang untuk menangkap sinar matahari seoptimal mungkin dan menghasilkan energi listrik yang cukup untuk mengisi baterai.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Politeknik Industri Logam Morowali dari bulan Maret hingga Juli 2023. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun pembangkit listrik portable yang memanfaatkan tenaga surya dan angin sebagai sumber energi. Proses penelitian dimulai dengan tahap perencanaan yang mencakup desain perancangan menggunakan aplikasi SolidWorks. Selanjutnya, dilakukan pemilihan alat dan bahan, termasuk panel surya, turbin angin, baterai, dan berbagai komponen mekanis dan elektronik lainnya.

Proses pembuatan meliputi pemotongan besi hollow sesuai ukuran, pengelasan untuk membentuk rangka, pemasangan komponen seperti panel surya dan turbin angin, serta instalasi sistem kontrol menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk optimasi transfer daya.

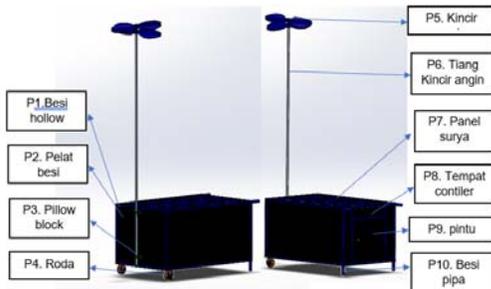


Gbr 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Perancangan Desain Mekanikal

Jenis penelitian ini adalah membuat rancang bangun pembangkit listrik portabel menggunakan dua sumber panas matahari dan angin. Dalam proses pelaksanaan penelitian ini, dilakukan beberapa tahap pra-kerja, bagian terpenting ialah tahap perencanaan sebagai berikut. Desain mesin terbagi menjadi beberapa bagian yaitu:



Gbr 2. Desain alat

Keterangan gambar:

- | | |
|-----|---|
| No. | Nama komponen |
| P1. | Besi <i>hollow</i> sebagai rangka utama alat |
| P2. | Plat besi sebagai <i>cover body</i> alat |
| P3. | Pillow block sebagai bantalan poros tiang kincir |
| P4. | Roda untuk memindahkan alat dari satu tempat ketempat lain |
| P5. | Kincir sebagai pemutar <i>generator</i> |
| P6. | Tiang kincir sebagai poros |
| P7. | Surya panel berfungsi sebagai pembangkit |
| P8. | Tempat <i>controller</i> sebagai penyimpanan saklar dan stop kontak listrik |

- P9. Pintu sebagai akses tempat komponen kelistrikan
- P10. Besi pipa sebagai penyangga alat

Simulasi Safety Factor



Gbr 3. Area pembebanan

Tabel 1. Spesifikasi material aluminium *alloy 6061*

Properties	Value	Units
Elastic Modulus	2E+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	2.6e+10	N/m ²
Mass Density	7870	kg/m ³
Tensile Strength	3569000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	551.485	N/mm ² (MPa)
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K
Thermal Conductivity	170	W/(m·K)
Specific Heat	1300	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A
Elastic Modulus	6.9e+10	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.6e+10	N/m ²

Detail pemberian beban Area 1

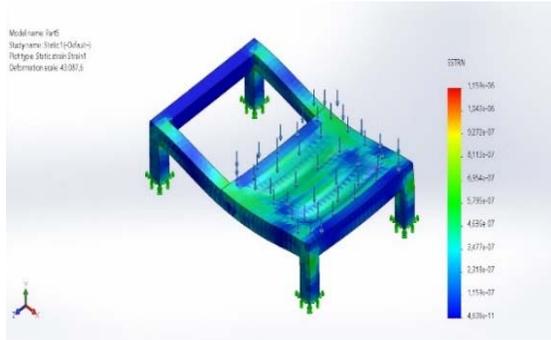
Pembebanan pada bagian plat diberikan sebesar 8 kg, yang setara dengan 80N. Beban ini diterapkan untuk menguji kekuatan dan ketahanan plat dalam kondisi tertentu. Penting untuk mengkonversi beban dari satuan massa (kg) ke satuan gaya (N) untuk memastikan analisis struktural yang akurat, mengingat gaya yang bekerja pada plat dapat mempengaruhi stabilitas dan integritasnya. Dengan menerapkan beban ini, kita dapat mengevaluasi sejauh mana plat dapat menahan tekanan tanpa mengalami deformasi atau kerusakan.

Hasil simulasi safety factor

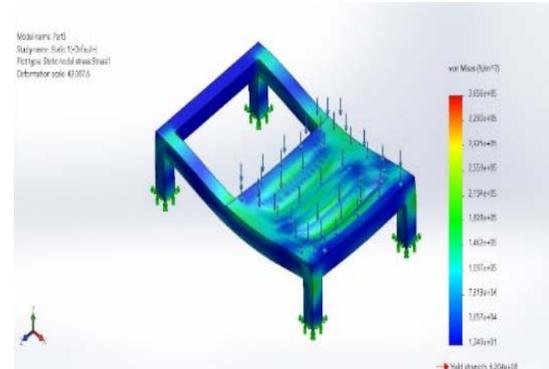
1. Strain

Analisis simulasi awal mengungkapkan nilai regangan. Beban awal yang diterapkan pada rangka adalah 66N, dan regangan maksimum yang diamati adalah 1,020e-04 mm, ditunjukkan oleh area berwarna merah dalam diagram. Regangan minimum yang terjadi pada rangka adalah 1,243e-07 mm. Analisis simulasi pertama juga menunjukkan bahwa beban awal pada rangka di area 1 adalah 8N, dan regangan maksimum adalah 11,59MPa, diwakili oleh area berwarna merah pada diagram.

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	4,636e-11	1,159e-06
		Element: 2709	Element: 388



Gbr 4. Hasil simulasi *strain*



Gbr 6. Hasil simulasi *safety factor*

Untuk menentukan apakah pembebanan pada rangka di area 1 aman untuk digunakan, faktor keamanan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Sf = \sigma \text{ kekuatan leleh} / \sigma \text{ maks von mises}$$

dimana:

Sf = Faktor Keamanan

σ kekuatan luluh = kekuatan luluh material

σ max von mises = tegangan kerja maksimum

$$Sf = 6.20 \times 10^8 \text{ N/m}^2 : 3.656 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

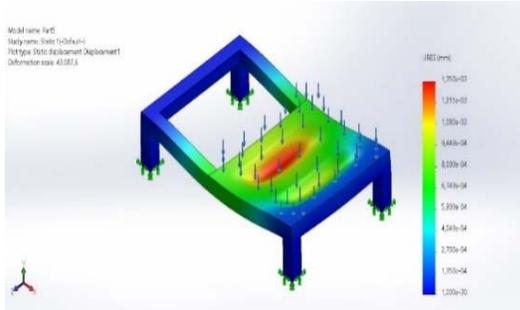
$$= 620,000,000 : 356,000$$

$$= 1,741 \text{MPa}$$

a. *Displacement*

Analisis perpindahan simulasi menunjukkan bahwa nilai perpindahan maksimum untuk pembebanan pada rangka area 1 ditunjukkan dengan diagram berwarna merah, dengan nilai 13,50MPa. Hal ini menunjukkan bahwa struktur rangka mampu menahan beban yang terjadi selama proses pembebanan.

Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0,000e+00mm	1,350e-03mm
		Node: 570	Node: 7478



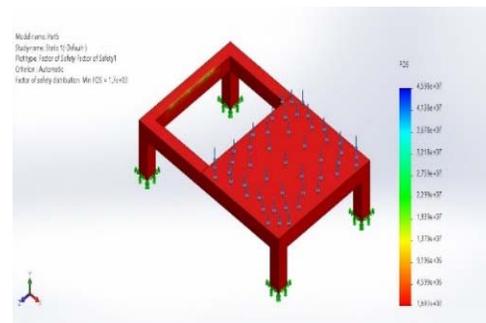
Gbr 5. Hasil simulasi *displacement*

Berdasarkan faktor keamanan yang dihitung, pembebanan rangka di area 1 melebihi nilai yang disyaratkan, yang mengindikasikan bahwa rangka yang didesain untuk beban 80 N di area 1 aman untuk digunakan. Keamanan pembebanan rangka juga dapat diamati pada gambar di bawah ini, yang menunjukkan faktor keamanan minimum 1,7.

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	1,697e+03	4,598e+07
		Node: 15028	Node: 2332

b. *Safety factor*

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar, menunjukkan bahwa nilai tegangan atau tension maksimum yang diperoleh sebesar 36,56, yang menandakan bahwa tegangan maksimum yang diterima oleh rangka masih berada di bawah kekuatan luluh material pada rangka mesin.



Gbr 7. *factor of safety*

Detail pemberian beban area 2

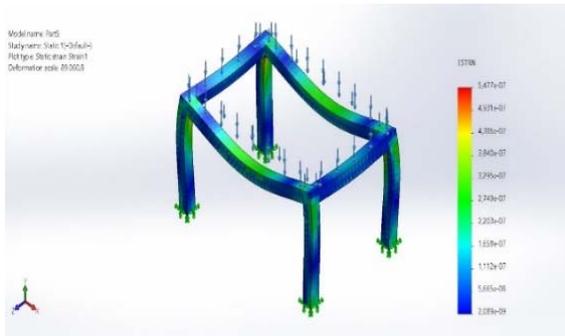
Pembebanan dilakukan pada area jaring kawat Seperti yang terlihat, area bagian jaring kawat diberikan pembebanan yaitu sebesar 7 Kg atau 7 N.

Hasil simulasi safety factor

a. Strain

Analisis simulasi awal mengungkapkan regangan, di mana beban mula-mula yang diterapkan untuk rangka di area 2 adalah 8 N, dan regangan maksimum yang terjadi adalah 9,488e-08 N/m², seperti yang ditunjukkan oleh area berwarna merah pada diagram. Besarnya regangan ini masih dalam kisaran aman, jauh di bawah kemampuan material.

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	2,089e-09 Element: 627	5,477e-07 Element: 3407

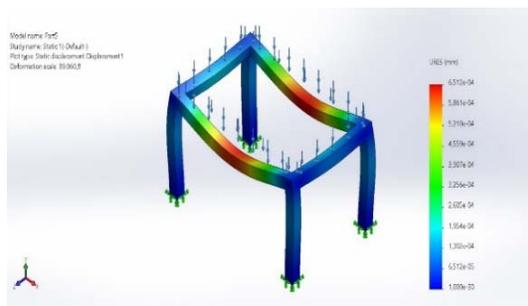


Gbr 8. Hasil simulasi strain

b. Displacement

Analisis simulasi perpindahan menunjukkan bahwa nilai perpindahan terbesar pada beban frame di area 1 ditunjukkan dengan diagram berwarna merah, dengan nilai sebesar 3.098e-00 mm.

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0,000e+00mm Node: 300	6,512e-04mm Node: 1534



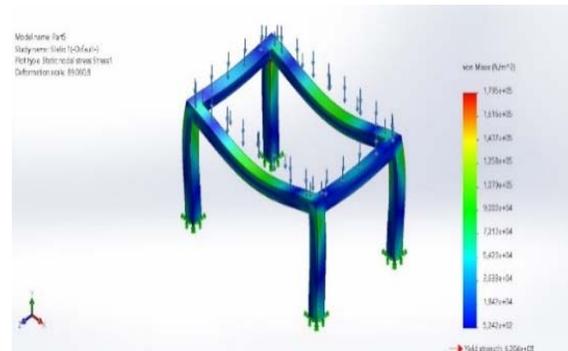
Gbr 9. Hasil simulasi displacement

c. Safety factor

Berdasarkan diagram warna dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar, terungkap bahwa nilai tegangan maksimum yang terukur adalah $5,554 \times 10^4$ N/m². Ini berarti bahwa tegangan maksimum yang dialami oleh material masih berada di bawah batas kekuatan tarik (yield strength) material rangka mesin. Dengan kata lain, struktur rangka mesin masih

berada dalam batas aman dan belum mendekati titik di mana deformasi permanen atau kegagalan material dapat terjadi. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa desain rangka mesin cukup kuat untuk menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami kerusakan atau penurunan performa.

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	5,242e+02N/m ² Node: 539	1,795e+05N/m ² Node: 12360



Gbr 10. Hasil simulasi safety factor

Untuk memastikan keamanan pembebanan rangka di area 2, faktor keamanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Sf = \sigma \text{ yield strength} / \sigma \text{ maks von mises}$$

dimana:

Sf = Faktor Keamanan

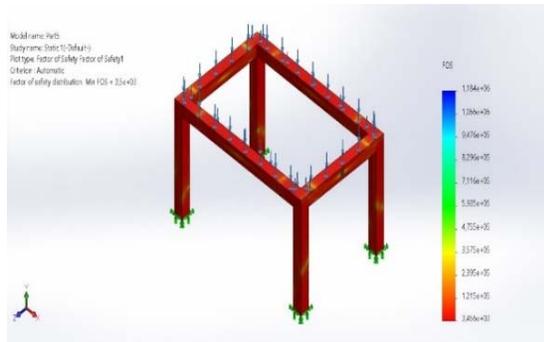
σ kekuatan luluh = kekuatan luluh material

σ max von mises = tegangan kerja maksimum

Faktor keamanan yang dihitung adalah 3,454, yang melebihi nilai yang disyaratkan, yang menunjukkan bahwa desain rangka di area 2 aman untuk menahan beban sebesar 7 N. Untuk menilai keamanan pembebanan rangka di area 1, faktor distribusi keamanan dapat diamati, di mana FOS minimum adalah 3,5. Selama FOS lebih besar dari 1, maka desain tersebut memenuhi persyaratan faktor keamanan.

Berdasarkan hasil simulasi tegangan dan deformasi, maka desain rangka generator listrik portabel disimpulkan aman untuk digunakan, karena telah melebihi faktor keamanan yang disyaratkan.

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	3,456e+03 Node: 12360	1,184e+06 Node: 539



Gbr 11. Safety factor

Hasil pengujian

Dalam pengujian pada alat ini dilakukan terhadap beban lampu pada kapasitas 15W. Adapun terdapat 5 sampel yang dilakukan dalam kurun waktu selisih 10 menit. Berikut hasil pengujian alat yang dilakukan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian

SAMPSEL	PUKUL	PLTS		BEBAN			
		VDC	VDC	V (VOLT)	A (AMPERE)	DAYA (WATT)	F (FREKUENSI)
A	11:00	10.44	2.46	217.10	0.12	25.85	50.0
B	11:10	10.83	2.72	215.70	0.12	26.71	50.0
C	11:20	12.59	2.35	227.40	0.12	27.53	50.0
D	11:30	10.66	2.25	212.20	0.12	26.74	50.0
E	11:40	10.76	2.50	214.40	0.12	26.80	50.0
RATA-RATA		11.05	2.45				

Dapat dilihat pada pengujian pada lampu dengan kapasitas 15W didapatkan dengan rata-rata tegangan PLTS 11.05 VDC dan tegangan rata-rata PLTB 2.45 VDC. Tegangan VDC tertinggi di sampel B pada PLTS dan PLTB. Adapun pada sampel B tegangan VDC PLTS mendapatkan 10.83 VDC kemudian tegangan PLTB pada sampel B mendapatkan 2.72 VDC. Hasil itu didapatkan karna terik cahaya sinar matahari dan kecepatan angin berada pada puncak yang bagus.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun pembangkit listrik portable yang memanfaatkan energi surya dan angin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu menghasilkan tegangan yang cukup untuk menyalakan lampu berkapasitas 15W dengan tegangan tertinggi dari panel surya sebesar 11.05 VDC dan dari turbin angin sebesar 2.45 VDC. Simulasi faktor keamanan menunjukkan bahwa rangka alat memiliki faktor keamanan yang tinggi, yang menandakan alat ini cukup kuat dan stabil untuk digunakan. Dengan sistem hybrid, alat ini mampu menyediakan sumber energi yang konsisten dari dua sumber energi yang berbeda, yang dapat saling mendukung saat salah satu sumber energi berkurang intensitasnya. Penggunaan pembangkit listrik portabel dapat menawarkan solusi alternatif untuk menyediakan energi listrik di wilayah yang belum terhubung dengan jaringan listrik PLN, serta untuk memenuhi kebutuhan darurat seperti di lokasi

pengungsian bencana alam.

REFERENSI

- [1] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, p. 43, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [2] Y. I. Siregar, "Ranking of energy sources for sustainable electricity generation in Indonesia: A participatory multi-criteria analysis," *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.*, vol. 35, pp. 45–64, 2022, doi: 10.54337/ijsep.m.7241.
- [3] B. S. Nalina *et al.*, "Design and Implementation of Embedded Controller-Based Energy Storage and Management System for Remote Telecom," *Electron.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/electronics12020341.
- [4] S. K. Tummala, G. Rakesh, I. H. Al-Kharsan, and P. K. Shah, "Integration of solar and wind energy systems with PI and PID controller," *E3S Web Conf.*, vol. 391, pp. 1–13, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202339101002.
- [5] H. O. Idakwo, P. I. Adamu, V. Stephen, and I. Bello, "Modelling and Implementation of a Hybrid Renewable Energy System for a Stand-Alone Application," *Saudi J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 8, pp. 399–413, 2022, doi: 10.36348/sjet.2022.v07i08.001.
- [6] A. T. -, "Renewable Energy and Physics: Harnessing Solar and Wind Power," *Int. J. Multidiscip. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–13, 2024, doi: 10.36948/ijfmr.2024.v06i03.15371.
- [7] V. Kumar, *Vijay Kumar - 101 Design Methods*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- [8] F. Trisnawati and B. Sudiarto, "Techno-Economic Analysis of the Use of Wind Power Plants and Battery Energy Storage Systems as an Alternative to Lower the Cost of Diesel Power Plants," vol. 3, no. 7, pp. 1377–1389, 2024.
- [9] A. Bensalah, G. Barakat, and Y. Amara, "Electrical Generators for Large Wind Turbine: Trends and Challenges," *Energies*, vol. 15, no. 18, 2022, doi: 10.3390/en15186700.
- [10] M. Gwóźdz, M. Krystkowiak, Ł. Ciepliński, and R. Strzelecki, "A wind energy conversion system based on a generator with modulated magnetic flux," *Energies*, vol. 13, no. 12, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/en13123285.
- [11] T. Rameshkumar, P. Chandrasekar, R. Kannadasan, V. Thiagarajan, M. H. Alsharif, and J. H. Kim, "Electrical and Mechanical Characteristics Assessment of Wind Turbine System Employing Acoustic Sensors and Matrix Converter," *Sustain.*, vol. 14, no. 8, 2022, doi: 10.3390/su14084404.
- [12] D. Arkka, G. Andre, and S. Rudy, "Efektivitas Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Wilayah Pesisir Pantai Sebagai Pendukung Kebutuhan Energi dalam Pertahanan Negara," vol. 3, no. 1, pp. 121–

128, 2024.

- [13] S. B. - and S. B. -, "Financial Feasibility of Solar Energy for Household Consumption and Its Impact," *Int. J. Multidiscip. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2023, doi: 10.36948/ijfmr.2023.v05i01.1651.
- [14] L. B. Pratomo and N. Sinaga, "Tinjauan Singkat Optimalisasi Pemanfaatan Energi Surya Pada Sektor Rumah Tangga," *J. Miner. Energi, dan Lingkung.*, vol. 6, no. 2, p. 1, 2023, doi: 10.31315/jmel.v6i2.4777.
- [15] C. N. Wang, Y. C. Chung, F. D. Wibowo, T. T. Dang, and N. A. T. Nguyen, "Site Selection of Solar Power Plants Using Hybrid MCDM Models: A Case Study in Indonesia," *Energies*, vol. 16, no. 10, 2023, doi: 10.3390/en16104042.