

Analisa Kekuatan Rangka Penyangga Turbin Angin Dan Panel Surya Pada Sistem Pembangkit Listrik Hibrida

^{1*}Arya Dony Kusuma, ²Ali Akbar, ³Yasinta Sindy Pramesti

^{1,2,3} Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹aryadony59@gmail.com, ²aliakbar@umsida.ac.id, ³yasintasindy@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Arya Dony Kusuma

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan rangka penyangga pada sistem pembangkit listrik hibrida turbin angin dan panel surya menggunakan metode simulasi elemen hingga (Finite Element Analysis) dengan perangkat lunak *autodesk inventor*. Material yang digunakan adalah *mild steel* ST 37 dengan pembebanan sebesar 700 N. Hasil simulasi menunjukkan nilai tegangan maksimum (Von Mises Stress) sebesar 23,45 MPa, deformasi maksimum sebesar 2,787 mm, serta faktor keamanan minimum sebesar 8,83. Distribusi tegangan terpusat pada bagian atas rangka, namun masih berada di bawah batas luluh material sehingga tidak terjadi kegagalan plastis. Nilai deformasi yang relatif kecil menunjukkan struktur memiliki kekakuan yang baik, sedangkan faktor keamanan yang tinggi menandakan bahwa desain rangka berada dalam kondisi sangat aman. Berdasarkan hasil tersebut, rangka penyangga dinyatakan layak digunakan untuk menopang komponen sistem pembangkit listrik hibrida dan mampu bekerja secara stabil serta aman dalam kondisi pembebanan yang diberikan.

Kata Kunci— *autodesk inventor*, FEA, pembangkit hibrida, rangka penyangga

Abstract— *This study aims to analyze the strength of a supporting frame for a hybrid power generation system combining wind turbines and solar panels using the Finite Element Analysis (FEA) method in Autodesk Inventor software. The material used is ST 37 mild steel with an applied load of 700 N. The simulation results show a maximum Von Mises stress of 23.45 MPa, a maximum displacement of 2.787 mm, and a minimum safety factor of 8.83. The stress distribution is concentrated at the upper part of the frame, but it remains below the yield strength of the material, indicating that no plastic deformation occurs. The relatively small displacement value indicates good structural stiffness, while the high safety factor confirms that the design is in a very safe condition. Based on these results, the supporting frame is considered feasible, stable, and safe to be used in a hybrid wind and solar power generation system under the given loading conditions.*

Keywords— *autodesk inventor*, FEA, hybrid generator, support frame

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, serta meningkatnya aktivitas industri dan rumah tangga [1]. Selama ini, pemenuhan kebutuhan energi listrik masih banyak bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam [2]. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain keterbatasan cadangan energi, peningkatan emisi gas rumah kaca, serta dampak negatif terhadap lingkungan [3]. Oleh karena

itu, pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung penyediaan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan [4].

Salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan adalah sistem pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi, seperti energi angin dan energi matahari. turbin angin memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik, sedangkan panel surya mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik [5] [6]. Kombinasi kedua sumber energi ini memiliki potensi yang besar karena dapat saling melengkapi, terutama pada kondisi cuaca yang berubah-ubah [7]. Ketika intensitas cahaya matahari rendah, energi angin masih dapat dimanfaatkan, begitu pula sebaliknya ketika kecepatan angin rendah, panel surya tetap dapat menghasilkan energi listrik selama tersedia radiasi matahari [8].

Dalam sistem pembangkit listrik hibrida, rangka penyangga memiliki peran yang sangat penting karena berfungsi sebagai struktur utama untuk menopang turbin angin dan panel surya [9]. Rangka tersebut harus mampu menerima berbagai beban kerja, baik beban statis maupun beban dinamis [10]. Beban statis dapat berasal dari berat turbin, panel surya, dan komponen pendukung lainnya, sedangkan beban dinamis dapat berasal dari tekanan angin, getaran turbin, serta perubahan kondisi lingkungan. Apabila rangka penyangga tidak dirancang dengan baik, maka dapat terjadi deformasi, kerusakan struktur, bahkan kegagalan sistem yang dapat mengganggu kinerja pembangkit listrik hibrida. Analisa kekuatan rangka penyangga perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan beban yang bekerja selama sistem beroperasi. Analisa ini bertujuan untuk mengevaluasi tegangan, regangan, deformasi, serta faktor keamanan dari rangka penyangga [11].

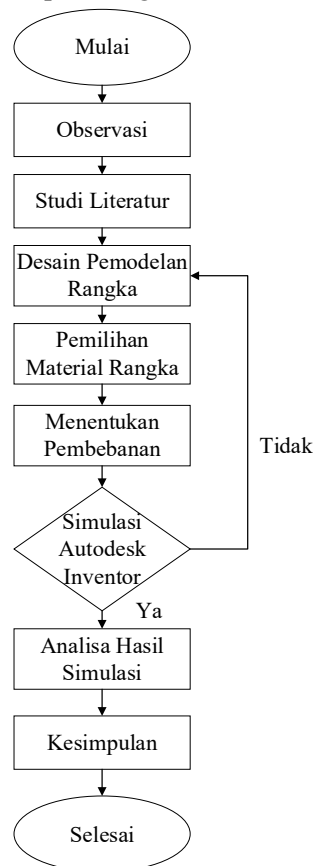
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian mengenai “Analisa Kekuatan Rangka Penyangga Turbin Angin dan Panel Surya pada Sistem Pembangkit Listrik Hibrida” menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kelayakan desain rangka penyangga dalam menopang komponen turbin angin dan panel surya. Hasil analisa kekuatan rangka dapat digunakan sebagai dasar dalam pengembangan desain struktur pembangkit listrik hibrida yang lebih kuat, stabil, aman, dan sesuai dengan kebutuhan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan yang efisien serta berkelanjutan.

II. METODE

A. Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis struktur untuk mengevaluasi kekuatan rangka penyangga turbin angin dan panel surya pada sistem pembangkit listrik hibrida. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori terkait pembangkit listrik hibrida, karakteristik beban pada turbin angin dan panel surya, serta konsep kekuatan material dan analisis struktur. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis yang meliputi spesifikasi komponen, jenis material rangka, serta beban kerja yang terdiri dari beban statis dan dinamis. Data tersebut kemudian digunakan dalam proses pemodelan rangka penyangga yang selanjutnya dianalisis menggunakan metode perhitungan mekanika teknik dan/atau simulasi berbasis elemen hingga (Finite Element Analysis) untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, deformasi, serta faktor keamanan struktur. Hasil analisis tersebut kemudian

dievaluasi untuk menilai kelayakan desain rangka penyangga, sehingga dapat ditentukan apakah struktur sudah memenuhi standar keamanan atau perlu dilakukan perbaikan desain guna meningkatkan kinerja dan keandalan sistem pembangkit listrik hibrida.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Keterangan:

1. Observasi

Tahap pertama penelitian dilakukan dengan observasi untuk mengidentifikasi kebutuhan, permasalahan, dan kondisi kerja mesin yang menjadi objek penelitian. Observasi bertujuan memperoleh data awal yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan dan analisis rangka.

2. Studi Literatur

Setelah observasi, dilakukan studi literatur dengan mengumpulkan referensi dari jurnal ilmiah, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan perancangan rangka, sifat material, pembebanan struktur, serta metode simulasi menggunakan *autodesk inventor*.

3. Desain Pemodelan Rangka

Berdasarkan hasil observasi dan studi literatur, dilakukan pemodelan rangka menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor*. Tahap ini bertujuan menghasilkan model tiga dimensi yang sesuai dengan kebutuhan desain dan fungsi mesin.

4. Pemilihan Material Rangka

Setelah model rangka selesai dibuat, dilakukan pemilihan material yang akan digunakan. Material dipilih berdasarkan karakteristik mekanik, seperti kekuatan, kekakuan, kemudahan fabrikasi, serta kemampuan menahan beban kerja yang diterima rangka.

5. Menentukan Pembebanan

Tahap berikutnya adalah menentukan besarnya pembebanan yang bekerja pada rangka. Pembebanan meliputi berat komponen mesin, seperti tiang utama, turbin, panel surya, dan beban operasional lainnya yang akan diterima selama proses kerja.

6. Simulasi *Autodesk Inventor*

Model rangka yang telah diberikan material dan pembebanan kemudian dianalisis menggunakan fitur simulasi statik pada *autodesk inventor*. Simulasi dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur rangka. Apabila hasil simulasi belum memenuhi kriteria yang ditetapkan, maka dilakukan perbaikan desain dan simulasi diulang hingga diperoleh hasil yang sesuai.

7. Analisa Hasil Simulasi

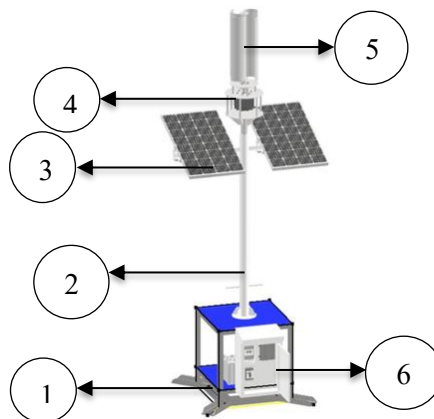
Setelah hasil simulasi memenuhi persyaratan desain, dilakukan analisis terhadap nilai tegangan maksimum, perpindahan (deformasi), dan faktor keamanan untuk mengevaluasi kelayakan serta kekuatan rangka yang dirancang.

8. Kesimpulan

Tahap terakhir adalah menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis simulasi yang telah dilakukan. Kesimpulan digunakan untuk menjelaskan tingkat keamanan dan kinerja rangka serta memberikan gambaran mengenai keberhasilan desain yang telah dirancang.

B. Desain Penelitian

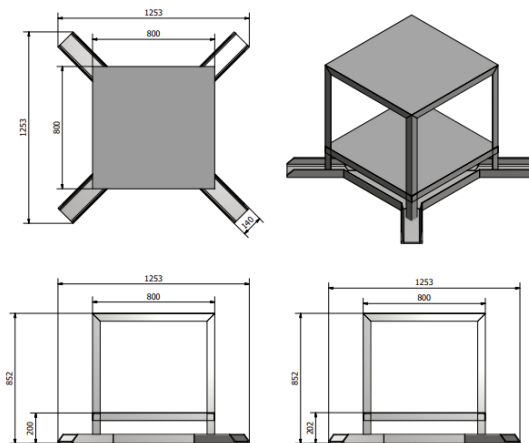
Desain penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan dan pengembangan (design and development) yang bertujuan untuk menghasilkan rancangan pembangkit listrik hibrida yang memanfaatkan dua sumber energi terbarukan, yaitu energi angin dan energi surya. Konsep sistem dirancang dengan mengintegrasikan turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VAWT) dan panel surya dalam satu kesatuan struktur sehingga mampu menghasilkan energi listrik secara lebih optimal dan berkelanjutan.



Gambar 2. Desain Pembangkit listrik Hibrida

Keterangan:

1. Rangka
2. Tiang Utama
3. Panel Surya
4. Generator
5. Turbin Angin
6. Kontrol Panel



Gambar 3. Dimensi Rangka listrik Hibrida

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

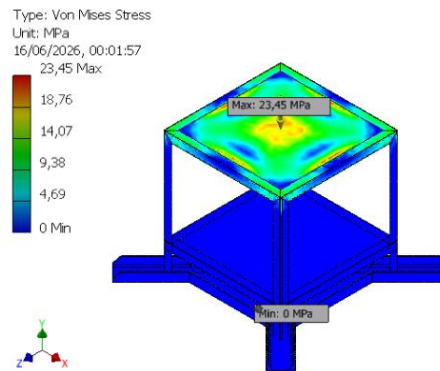
A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini berupa analisis kekuatan rangka pada desain pembangkit listrik hibrida turbin angin dan panel surya menggunakan metode simulasi elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA) pada perangkat lunak *autodesk inventor*. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan rangka dalam menahan beban statis yang berasal dari komponen-komponen utama sistem, seperti turbin angin, panel surya, baterai, serta beban pendukung lainnya. Melalui simulasi tersebut diperoleh informasi mengenai distribusi tegangan (stress), perpindahan atau deformasi (displacement), dan faktor keamanan (safety factor) yang terjadi pada struktur rangka. Hasil simulasi digunakan untuk menentukan tingkat kekuatan dan kestabilan rangka serta mengidentifikasi bagian-bagian yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dilakukan evaluasi terhadap kelayakan desain sehingga rangka yang dirancang mampu menopang seluruh komponen. Material yang digunakan pada simulasi adalah *mild steel* ST 37 dengan pembebanan 700 Newton.

Tabel 1. Material Propertis ST37

No	Material Propertis ST37	
	<i>Material ST36</i>	<i>Keterangan</i>
1	Mass Density	7,85 g/cm ³
2	Yield Strength	207 MPa
3	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
4	Young's Modulus	220 GPa
5	Poisson's Ratio	0,27 ul
6	Shear Modulus	86,2745 GPa

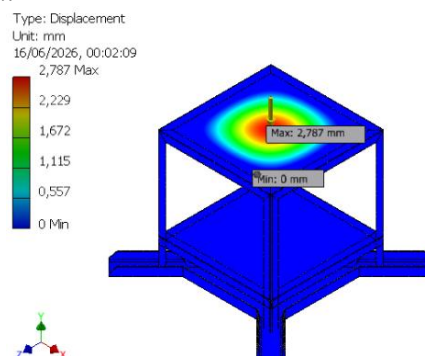
1. Hasil simulasi *Von Misses*



Gambar 4. Hasil Simulasi *Von Misses*

Gambar tersebut menunjukkan hasil simulasi kekuatan rangka penyangga menggunakan analisis *von mises stress* dengan satuan MPa. Simulasi ini digunakan untuk melihat distribusi tegangan yang terjadi pada rangka ketika diberi pembebanan. Berdasarkan kontur warna, area berwarna biru menunjukkan tegangan rendah, sedangkan warna hijau, kuning, hingga merah menunjukkan tegangan yang semakin tinggi. Tegangan maksimum terlihat terjadi pada bagian permukaan atas rangka, tepatnya di area tengah pelat bagian atas, dengan nilai maksimum sebesar 23,45 MPa. Sementara itu, tegangan minimum sebesar 0 MPa terdapat pada bagian tertentu yang tidak mengalami pengaruh tegangan signifikan.

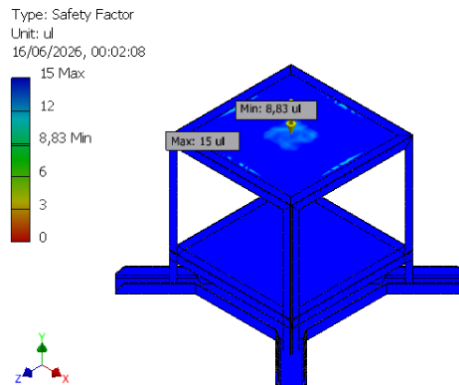
2. Hasil Simulasi *Displesment*



Gambar 5. Hasil Simulasi *Displesment*

Hasil simulasi *displacement* (perpindahan) pada rangka penyangga menggunakan satuan mm. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar deformasi atau pergeseran yang terjadi pada struktur akibat beban yang diberikan. Berdasarkan kontur warna, area berwarna biru menunjukkan perpindahan sangat kecil, sedangkan warna hijau, kuning, hingga merah menunjukkan perpindahan yang semakin besar. Deformasi terbesar terjadi pada bagian permukaan atas rangka, tepatnya di area tengah pelat, dengan nilai maksimum sebesar 2,787 mm. Sementara itu, nilai minimum perpindahan sebesar 0 mm terjadi pada bagian yang terjepit atau tumpuan struktur.

3. Hasil simulasi *Safety Factor*



Gambar 5. Hasil Simulasi *Displesment*

Hasil simulasi *safety factor* (Faktor Keamanan) pada rangka penyangga turbin angin dan panel surya dengan satuan unitless (ul). Analisis ini digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan struktur terhadap beban kerja yang diberikan. Berdasarkan kontur warna, area berwarna biru tua menunjukkan nilai faktor keamanan yang tinggi (lebih aman), sedangkan warna yang lebih terang menunjukkan nilai yang lebih rendah. Dari hasil simulasi terlihat bahwa sebagian besar struktur berada pada kondisi aman dengan dominasi warna biru. Nilai faktor keamanan maksimum tercatat sebesar 15 ul, sedangkan nilai minimum sebesar 8,83 ul yang berada pada area tertentu di bagian atas struktur yang menerima beban lebih besar.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi analisis struktur pada rangka penyangga turbin angin dan panel surya dengan material ST 37 serta pembebanan sebesar 700 N, diperoleh hasil bahwa tegangan maksimum (Von Mises Stress) terjadi sebesar 23,45 MPa pada area tengah permukaan atas rangka yang menerima beban langsung, sedangkan deformasi maksimum (displacement) mencapai 2,787 mm pada lokasi yang sama, sementara faktor keamanan minimum berada pada nilai 8,83. Distribusi tegangan menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan terpusat pada bagian atas struktur, namun secara keseluruhan masih berada di bawah batas kekuatan luluh material ST 37 sehingga tidak terjadi kegagalan plastis. Nilai displacement yang relatif kecil menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang cukup baik dalam menahan beban kerja, sedangkan nilai faktor keamanan yang tinggi mengindikasikan bahwa desain rangka berada dalam kondisi sangat aman. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangka penyangga yang dirancang mampu menahan beban 700 N dengan baik dan layak digunakan pada sistem pembangkit listrik hibrida tanpa mengalami kegagalan struktur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kekuatan rangka penyangga pada sistem pembangkit listrik hibrida turbin angin dan panel surya menggunakan metode simulasi elemen hingga (Finite Element Analysis) dengan material mild steel ST 37 dan pembebanan sebesar 700 N, dapat disimpulkan bahwa rangka yang dirancang mampu bekerja dengan baik dalam menahan beban yang diberikan. Hasil simulasi menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 23,45 MPa, deformasi maksimum sebesar 2,787 mm, serta faktor keamanan minimum sebesar 8,83. Nilai tegangan tersebut masih berada di bawah batas tegangan luluh material ST 37

sebesar 207 MPa, sehingga tidak terjadi kegagalan plastis pada struktur. Selain itu, nilai displacement yang relatif kecil menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang baik, sedangkan nilai faktor keamanan yang tinggi mengindikasikan bahwa struktur berada dalam kondisi sangat aman. Dengan demikian, desain rangka penyangga dinyatakan layak dan aman digunakan untuk mendukung sistem pembangkit listrik hibrida turbin angin dan panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rahayu, A. A. R. Hanum, and S. Purwanto, "Analisa Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik di Pulau Nias Menggunakan Model Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP)," *J. Tek. Elektro UNIBA*, vol. 10, no. 2, pp. 840–847, 2026, doi: <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v10i2.1370>.
- [2] A. A. Solikah and Bramastia, "Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia," *JEBT J. Energi Baru Terbarukan*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- [3] S. Allifah, Y. Syaikat, and P. Wijayanti, "Dampak Tenaga Air dan Bahan Bakar Fosil terhadap Implementasi Ekonomi Hijau di Indonesia," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 9, pp. 102–112, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2022.009.03.3>.
- [4] I. Alhamzani and L. I. Burhan, "Pengembangan Energi Terbarukan melalui Panel Surya di Desa Tertinggal," *Dharma Bakti J. Pengabd. Masy. dan Inov. Teknol. Tepat Guna*, vol. 1, no. 2, pp. 14–26, 2025, doi: <https://doi.org/10.63982/ryx0kd84>.
- [5] M. B. Yusuf, M. A. Baihaqi, E. K. Yulyawan, H. Abdillah, and Haryono, "Energi Terbarukan Optimal: Sistem Hibrid Solar Panel dengan Picohidro Kincir Vertikal sebagai Solusi Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan," *J. INTRO (Informatika dan Tek. Elektro)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2023, doi: <https://doi.org/10.51747/intro.v2i1.211>.
- [6] A. Mulkan and M. Abd, "Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik," *JITU (Jurnal Ilm. Tek. UNIDA)*, vol. 3, no. 1, pp. 74–83, 2022, doi: <https://doi.org/10.55616/jitu.v3i1.308>.
- [7] D. Wahyudi, B. Rollastin, N. Pranandita, P. Manufaktur, and N. Bangka, "Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Surya dengan Turbin Angin Sumbu Vertikal Savonius Menggunakan Bentuk Sudu L dengan Kapasitas Daya Sebesar 746 , 5 Wh," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 01, no. 2, 2023, doi: <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i2.57>.
- [8] D. I. Patya, K. C. Lestari, A. Suhara, A. Amallia, and A. Supriyanto, "Hybrid Matahari-Angin Skala Laboratorium : Analisis Performa dan Korelasi Linier dengan Variabel Cuaca," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 23, no. 2, pp. 183–190, 2025, doi: <https://doi.org/10.31963/sinergi.v23i2.5921>.
- [9] A. Husen, B. Setiadi, and M. Fikri, "Rancang Bangun Small Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Dengan Metode Matriks," *J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 33, no. 3, pp. 121–131, 2023, doi: <https://doi.org/10.37277/stch.v33i3.1735>.
- [10] B. Andriansah and Y. S. Pramesti, "Desain Dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Uji Tarik Kapasitas 5 Ton Menggunakan Aplikasi Solidworks," *Pros. SEMNAS INOTEK (Seminar Nas. Inov. Teknol.*, vol. 9, pp. 914–920, 2025, doi: <https://doi.org/10.29407/q74egz18>.
- [11] K. Widodo, "Analisa Statik Struktur Rangka Turbin Angin Savonius Menggunakan Software Solidwork," *Pros. Semin. Nas. Teknol. DAN SAINS TAHUN 2025*, vol. 4, pp. 395–402, 2025, doi: <https://doi.org/10.29407/jqx9m696>.