



Research article

Analisis Pengaruh Rasio Geometris Sudu Turbin terhadap Kinerja Struktural pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Menggunakan Simulasi *SolidWorks*

Anisah Nurul Izzah^{1}, Tria Puspa Sari¹, Rizqa Ruviana¹, Fatkhurrohman¹, Ferdi Kurniawan¹*

^{1} Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Rungkut, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.*

**Corresponding author: anisahni.fi@upnjatim.ac.id*

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 03 June 2025

Revised : 28 August 2025

Accepted : 12 September 2025

Available online: 12 September 2025

Keywords: *Wind Turbine; Savonius Wind Turbine; Static Loading; Simulation.*

ABSTRACT

Wind Power Plant (PLTA) is a system that converts wind kinetic energy into electrical energy. One type of wind turbine used is the Savonius vertical axis wind turbine, which has a rotation axis perpendicular to the wind's direction and the earth's surface. This type of turbine has the advantage of having a high initial torque to rotate even at relatively low wind speeds. This characteristic makes it ideal for application in Indonesia's urban environments with low to medium wind speeds. This study analyzed the pressure acting on the wind turbine blades (propellers) by varying the ratio between the blades' height and width. Each turbine model was subjected to the same load. The turbine used is included in the vertical-axis wind turbine category. The analysis was carried out numerically using SolidWorks software. The simulation results showed that the maximum load on the frame reached 62.7 MPa in the second design, while the minimum load occurred in the first design with a value of 36.68 MPa. In addition, the loading also affected the deformation of the turbine blades, especially in the middle of the blade. The maximum shift occurred in the third design with a value of 8.709×10^{-4} mm, while the minimum shift was recorded in the first design with a value of 3.046×10^{-4} mm.

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) merupakan sistem yang memanfaatkan energi kinetik angin untuk dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu jenis turbin angin yang digunakan adalah turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius,

Kata Kunci: Turbin Angin;
Turbin Angin Savonius;
Pembebanan Statis; Simulasi.

yang memiliki sumbu rotasi tegak lurus terhadap arah hembusan angin maupun terhadap permukaan bumi. Jenis turbin ini memiliki keunggulan berupa torsi awal yang tinggi, sehingga tetap mampu berputar meskipun pada kecepatan angin yang relatif rendah. Karakteristik ini menjadikannya sangat ideal untuk diaplikasikan di lingkungan perkotaan di Indonesia yang umumnya memiliki kecepatan angin rendah hingga sedang. Dalam studi ini, dilakukan analisis terhadap tekanan yang bekerja pada bilah (baling-baling) turbin angin, dengan memvariasikan rasio antara tinggi dan lebar bilah. Setiap model turbin dikenai pembebanan yang sama. Turbin yang digunakan termasuk ke dalam kategori turbin angin sumbu vertikal. Analisis dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada rancangan kedua, beban maksimum pada rangka mencapai 62,7 MPa, sedangkan beban minimum terjadi pada rancangan pertama dengan nilai 36,68 MPa. Selain itu, pembebanan tersebut juga memengaruhi deformasi pada bilah turbin, khususnya pada bagian tengah bilah. Pergeseran maksimum terjadi pada rancangan ketiga dengan nilai sebesar $8,709 \times 10^{-4}$ mm, sementara pergeseran minimum tercatat pada rancangan pertama dengan nilai $3,046 \times 10^{-4}$ mm.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan populasi lebih dari 278 juta jiwa, sehingga menjadi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi khususnya energi listrik [1]. Meningkatnya kebutuhan energi listrik ini disebabkan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi. Saat ini, pemenuhan kebutuhan energi listrik Indonesia masih didominasi energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbasis batu-bara. Disisi lain, pembangkit listrik berbasis batu-bara merupakan energi yang bersumber dari fosil dimana termasuk dalam sumber energi yang tidak terbarukan dan berdampak negatif terhadap lingkungan.

Pengembangan sumber energi terbarukan saat ini menjadi prioritas nasional untuk mencapai ketahanan energi dan keberlanjutan lingkungan. Hal ini sejalan dengan delapan misi Presiden “Asta Cita” tentang kemandirian swasembada pangan dan energi. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah energi angin. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik melalui turbin angin.

Turbin angin dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal. Turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang tepat untuk daerah rata-rata kecepatan angin rendah hingga sedang, banyak wilayah di Indonesia memiliki rata-rata kecepatan angin tersebut khususnya daerah perkotaan. Keunggulan lain turbin angin Savonius terletak pada desainnya yang sederhana, kemampuan beroperasi pada kecepatan angin rendah, dan insensitivitas terhadap arah angin [2][3].

Secara fundamental, perancangan geometri sudu turbin Savonius memegang peran krusial dalam optimasi performa kinerja aerodinamis dan ketahanan struktural turbin. Perancangan geometri ini dapat berupa desain rancangan rasio antara tinggi dan lebar sudu turbin. Penelitian oleh Puspitasari dan Sahim (2019) menunjukkan bahwa variasi tinggi sudu mempengaruhi koefisien daya dan torsi pada turbin hibrida Darrieus-Savonius, dengan rasio tinggi sudu tertentu menghasilkan kinerja optimal [4]. Selain itu, Anggoro et al. (2024) menggunakan simulasi SolidWorks untuk menganalisis pengaruh ketebalan sudu dan sudut lengkung terhadap koefisien daya dan menunjukkan bahwa konfigurasi tertentu dapat meningkatkan

efisiensi turbin hingga 0,45 [5].

Di sisi lain, studi oleh Venkata Sai dan Rao (2016) menekankan pentingnya desain struktur sudu yang mampu menahan beban angin dan meminimalkan deformasi [6]. Hal ini sejalan dengan studi Chandran et al. (2025) yang mengombinasikan evaluasi performa aerodinamis dan struktural dengan profil aerofoil pada turbin Savonius [7]. Penelitian-penelitian ini memperlihatkan bahwa desain struktur sudu sangat menentukan integritas dan umur pakai turbin, terlebih ketika diterapkan di lingkungan dengan fluktuasi kecepatan angin yang tinggi.

Namun demikian, sebagian besar studi terdahulu lebih fokus pada aspek aerodinamika dan efisiensi daya, sementara analisis struktural secara mendalam terhadap beban mekanis yang bekerja pada sudu turbin masih kurang diteliti [7][8]. Padahal, pemahaman tentang respons struktural seperti tegangan maksimum, deformasi, dan potensi kegagalan material sangat penting untuk menjamin keamanan dan keberlangsungan operasi turbin [9][10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio geometris sudu terhadap kinerja struktural turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius menggunakan simulasi SolidWorks. Dengan memvariasikan rasio tinggi dan lebar sudu serta menerapkan beban angin yang sama pada setiap model, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai bagaimana desain memengaruhi integritas struktural turbin. Penelitian ini menutup celah penelitian sebelumnya dengan memberikan evaluasi struktural detail melalui simulasi numerik berbasis SolidWorks, sehingga memperkuat perspektif desain turbin Savonius tidak hanya dari sisi aerodinamika, tetapi juga dari sisi ketahanan mekanik untuk aplikasi nyata. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan turbin angin yang efisien, andal, dan sesuai untuk kondisi angin di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa berbasis simulasi numerik untuk menelaah bagaimana variasi bentuk geometri pada turbin angin tipe Savonius memengaruhi respons struktur terhadap beban yang diterima. Prosedur yang ditempuh meliputi tahap perancangan konseptual, pembuatan model CAD, simulasi pembebanan statis, serta analisis dan interpretasi terhadap kinerja mekanis dari masing-masing konfigurasi desain.

2.1 Rancangan dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan studi rekayasa berbasis simulasi numerik yang difokuskan pada analisis dampak perbandingan antara tinggi dan lebar sudu turbin angin tipe Savonius terhadap respons struktural, khususnya dalam hal tegangan dan deformasi. Proses analisis dilakukan secara komputasional dengan memanfaatkan perangkat lunak berbasis CAD (Computer-Aided Design) dan CAE (Computer-Aided Engineering), guna menilai kelayakan mekanis dari tiap rancangan dalam kondisi beban statis.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini bersifat komparatif, dengan menguji sejumlah model turbin yang memiliki variasi parameter geometrik namun dikenai kondisi pembebanan yang sama. Tujuan akhirnya adalah mengidentifikasi desain dengan stabilitas struktural terbaik yang memiliki potensi tinggi untuk direalisasikan ke dalam bentuk prototipe fungsional. Rancangan ini menggunakan pendekatan top-down sebagai berikut :

1. Perumusan Masalah dan Studi Literatur

Penelitian ini difokuskan pada permasalahan ketergantungan energi fosil dan potensi penerapan turbin angin skala kecil sebagai solusi alternatif. Kajian pustaka dilakukan untuk menggali parameter desain yang umum dijadikan acuan serta mengkaji batasan mekanik dari material yang digunakan dalam perancangannya.

2. Pemodelan Geometri CAD

Tiga model turbin angin jenis Savonius dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2020 dengan variasi rasio tinggi terhadap lebar baling-baling, yaitu 1:1, 2:1, dan 3:1. Untuk memastikan perbandingan antar model tetap valid, parameter lain seperti ketebalan bilah, bentuk sudu, dan diameter dasar dipertahankan secara konstan.

3. Penerapan Simulasi Pembebanan

Simulasi gaya akibat hembusan angin dilakukan dengan memberikan tekanan merata pada permukaan baling-baling. Pada kondisi batas, poros bagian atas dan bawah dikunci sebagai titik tumpu. Seluruh simulasi dijalankan menggunakan skenario pembebanan yang identik.

4. Analisis Tegangan dan Deformasi

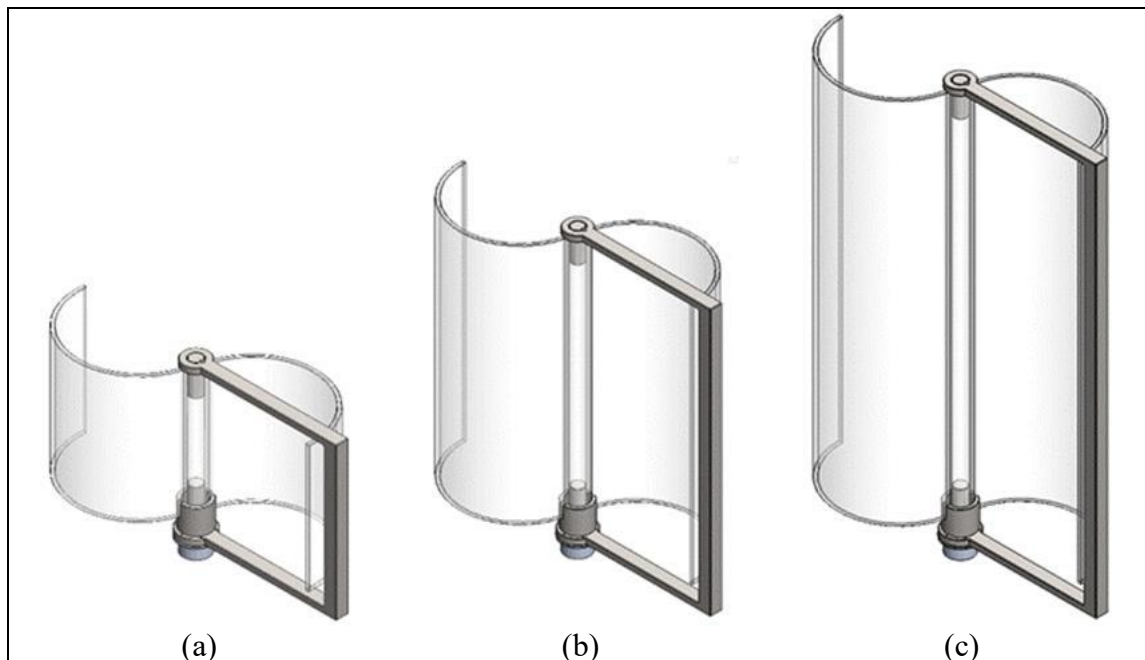
Data hasil simulasi dimanfaatkan untuk mengevaluasi sebaran tegangan von Mises dan perpindahan maksimum pada struktur. Analisis dilakukan dengan mengacu pada batas kekuatan material akrilik serta mempertimbangkan kriteria kestabilan bentuk geometris.

5. Interpretasi dan Rekomendasi

Melakukan evaluasi terhadap kinerja struktural dari berbagai desain, serta merumuskan rekomendasi teknis mengenai pilihan desain yang paling optimal untuk diterapkan di lapangan, dengan mempertimbangkan efisiensi struktur dan kelayakan ekonomis implementasinya.

2.2 Desain dan Pemodelan Geometri Turbin

Desain turbin dilakukan dalam bentuk model 3D parametrik menggunakan SolidWorks seperti pada Gambar 1. Ketiga model memiliki konfigurasi baling-baling dua sudu simetris dengan ketebalan 3 mm, menggunakan material akrilik. Untuk rancangan turbin dan baling-baling turbin dapat dilihat pada gambar di atas.



Gambar 1. Rancangan geometris sudu Turbin dengan rasio tinggi dan lebar: (a) 1:1, (b) 2:1, dan (c) 3:1

2.3 Simulasi Pembebanan Statis

Simulasi pembebanan pada model dilakukan menggunakan fitur *Static Simulation* dalam perangkat lunak SolidWorks. Dalam pengaturannya, bagian atas dan bawah poros diberikan kondisi batas berupa *Fixed Geometry* untuk merepresentasikan tumpuan statis yang terjadi saat turbin terpasang pada posisinya. Beban yang diterapkan berupa tekanan merata pada permukaan luar bilah turbin, yang dimaksudkan untuk mensimulasikan pengaruh gaya dari aliran angin. Nilai tekanan ini digunakan secara konsisten pada seluruh model yang dianalisis. Untuk menjaga keamanan desain, digunakan faktor keamanan sebesar 2, yang sesuai dengan standar perancangan struktur ringan terutama dalam tahap awal simulasi. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengamati distribusi tegangan von Mises serta deformasi maksimum yang terjadi akibat beban tersebut.

2.4 Parameter Hasil dan Kriteria Evaluasi

Dalam evaluasi kinerja desain, terdapat dua parameter utama yang menjadi fokus penilaian, yaitu:

- a. **Tegangan maksimum (σ_{maks})** yang terjadi pada struktur rangka dan poros turbin. Parameter ini krusial untuk memastikan bahwa struktur mampu menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan akibat melebihi kekuatan material.
- b. **Deformasi maksimum (δ_{maks})** yang dialami oleh bilah turbin. Jika deformasi terlalu besar, hal ini dapat menimbulkan gangguan dalam proses operasi, menyebabkan ketidakseimbangan rotasi, bahkan potensi kerusakan dalam jangka panjang.

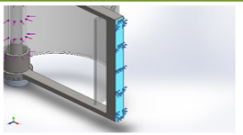
Desain dianggap berhasil apabila memenuhi kriteria, yaitu tegangan maksimum yang timbul tidak melampaui batas kekuatan luluh material (yield strength) dan deformasi tetap berada dalam rentang aman, yakni kurang dari 1 mm, guna menjaga stabilitas aerodinamis sistem.

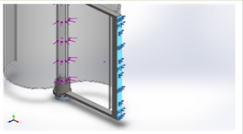
2.5 Validasi dan Keterbatasan

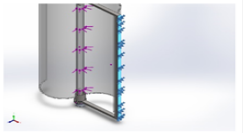
Meskipun simulasi numerik sangat membantu dalam mengevaluasi potensi awal terjadinya kegagalan serta memahami pengaruh desain terhadap kinerja struktural, pendekatan ini tetap memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, simulasi yang dilakukan bersifat statis dan belum mewakili kondisi nyata seperti beban dinamis, getaran, maupun gaya sentrifugal yang muncul akibat rotasi. Kedua, penelitian ini belum dilengkapi dengan validasi melalui pengujian eksperimental, sehingga hasil simulasi yang diperoleh hanya bersifat indikatif dan masih memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui uji fisik. Selain itu, interaksi dengan fluida tidak dianalisis secara langsung karena tidak dilakukan pemodelan menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics), sehingga distribusi tekanan pada baling-baling yang ditampilkan dalam hasil simulasi merupakan hasil pendekatan asertif dan belum sepenuhnya mencerminkan kondisi riil.

3. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak perbedaan rasio antara tinggi dan lebar baling-baling pada turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius terhadap tegangan maksimum pada struktur rangka serta deformasi yang terjadi pada baling-baling. Tiga desain turbin dengan rasio tinggi terhadap lebar sebesar 1:1, 2:1, dan 3:1 dibuat menggunakan material akrilik.

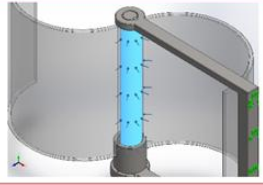
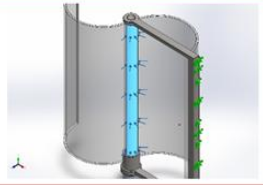
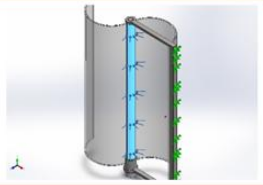
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	68.7182	-0.00318539	27.078	73.8607
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	70.5018	0.00656259	22.6742	74.0582
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	71.242	-0.00104438	20.7838	74.2118
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Gambar 2. Titik Penguncian Rancangan

Masing-masing desain kemudian dianalisis melalui simulasi statis menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2020. Tujuan utama dari simulasi ini adalah untuk menilai kinerja mekanik tiap konfigurasi dalam kondisi beban yang seragam. Geometri untuk titik penguncian rancangan dapat dilihat di gambar 2 dan untuk titik pembebanan rancangan dapat dilihat pada gambar 3.

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 100 N
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 100 N
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 100 N

Gambar 3. Titik Pembenan Rancangan

3.1. Tegangan pada Rangka

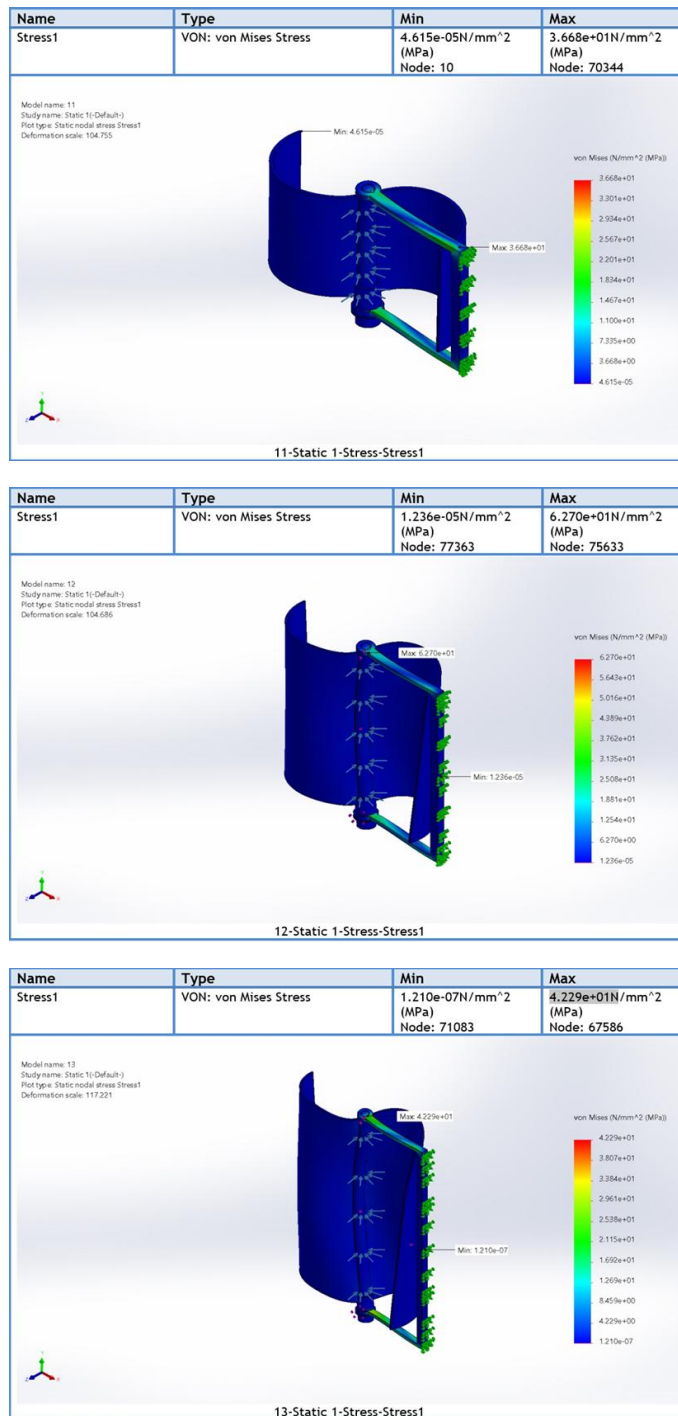
Berdasarkan hasil simulasi, nilai pembebanan yang bekerja pada rangka ditampilkan dalam Tabel 1, sementara rincian distribusi beban dapat dilihat pada Gambar 4. Simulasi desain ini menggunakan factor of safety sebesar 2. Beban yang diterapkan pada rangka dinyatakan dalam bentuk tekanan.

Tabel 1. Tegangan Maksimum pada Rangka Turbin

No.	Rasio Tinggi : Lebar	Tegangan Maksimum (MPa)
1	1 : 1	36,68
2	2 : 1	62,70
3	3 : 1	42,29

Konfigurasi dengan rasio tinggi terhadap lebar sebesar 2:1 menunjukkan tegangan yang lebih tinggi sebesar 62,7 MPa, yang mengindikasikan bahwa peningkatan dimensi vertikal relatif terhadap horizontal menyebabkan bertambahnya momen torsi yang diterima oleh struktur rangka. Secara teoritis, konfigurasi ini mampu menghasilkan daya putar yang lebih besar karena area tangkapan angin yang lebih luas pada arah vertikal. Namun, kondisi ini juga memperbesar beban mekanis yang harus ditanggung oleh rangka. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi dalam konversi energi perlu diimbangi dengan perancangan struktur yang lebih kuat guna mencegah potensi kegagalan akibat pembebanan berlebih dan menuntut material

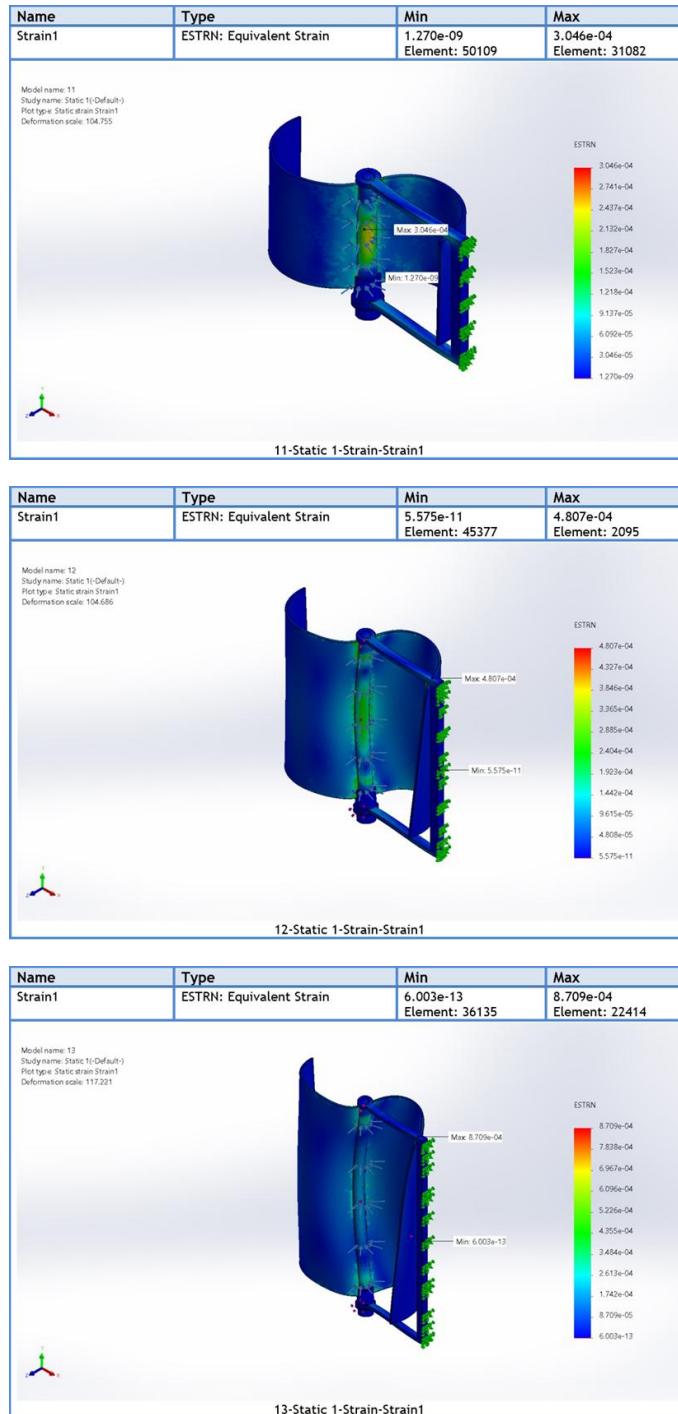
dengan ketahanan struktural yang lebih kuat, seperti paduan aluminium atau komposit serat, agar mampu menahan beban kerja jangka panjang.



Gambar 4. Hasil Pembebanan pada Rangka

3.2. Deformasi pada Baling-Baling

Berdasarkan hasil simulasi, distribusi beban yang bekerja pada baling-baling dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan visualisasi detail pembebanan ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam rancangan ini, model poros baling-baling hanya diterapkan pada bagian atas dan bawah sebagai upaya efisiensi biaya produksi jika komponen tersebut diproduksi secara massal. Pada simulasi ini digunakan faktor keamanan sebesar 2. Nilai pembebanan yang dihasilkan menunjukkan besarnya regangan yang terjadi pada baling-baling.



Gambar 5. Hasil Pembebanan pada Baling-Baling

Tabel 1. Hasil Pembebanan pada Baling-Baling

No.	Rancangan	Min (mm)	Max (mm)
1	1	$1,270 \times 10^{-9}$	$3,046 \times 10^{-4}$
2	2	$5,575 \times 10^{-11}$	$4,807 \times 10^{-4}$
3	3	$6,003 \times 10^{-13}$	$8,709 \times 10^{-4}$

Rasio 3:1 menghasilkan deformasi maksimum yang terukur sebesar $8,709 \times 10^{-4}$ mm pada titik tengah bilah. Kondisi ini berpotensi mengurangi kestabilan rotasi, mengingat bilah yang panjang cenderung mengalami lenturan ketika hanya disokong di bagian ujung atas dan bawah. Dalam praktik di lapangan, defleksi yang berlebihan dapat mengakibatkan ketidakseimbangan aerodinamis, getaran, serta meningkatkan potensi kelelahan material. Oleh karena itu, desain ini tidak sepenuhnya sesuai untuk aplikasi skala kecil dengan anggaran terbatas, kecuali jika disertai dengan dukungan tambahan.

3.3. Interpretasi Komprehensif

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi geometri baling-baling memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja mekanis dari struktur turbin. Rasio desain yang lebih besar, seperti 2:1 dan 3:1, menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menangkap energi angin. Namun, peningkatan ini disertai dengan risiko berupa naiknya tegangan serta deformasi pada struktur, yang berpotensi mengganggu keandalan sistem apabila tidak disertai dengan pemilihan material serta pendekatan desain struktural yang memadai. Di sisi lain, rasio 1:1 menawarkan stabilitas mekanis yang lebih unggul dan risiko kegagalan yang lebih rendah, sehingga lebih cocok untuk dijadikan pilihan utama pada tahap awal penerapan turbin berskala kecil.

Turbin angin tipe Savonius sangat cocok diterapkan di Indonesia karena karakteristik angin di wilayah ini umumnya berada pada kisaran kecepatan rendah hingga sedang. Keunggulan dari desainnya yang kompak serta kemampuannya untuk beroperasi secara optimal pada angin berkecepatan rendah menjadikannya ideal untuk digunakan di kawasan urban maupun pedesaan yang memiliki keterbatasan ruang. Penerapan desain dengan skala 1:1 memberikan keuntungan dari sisi kestabilan struktur serta efisiensi biaya, karena tidak memerlukan banyak penambahan pada sistem penyangga atau rangka pendukung.

Meskipun telah memberikan gambaran awal yang bermanfaat, studi ini masih memiliki sejumlah keterbatasan. Simulasi yang digunakan bersifat statis dan belum mengakomodasi pengaruh beban dinamis yang timbul akibat perputaran turbin, variasi kecepatan angin, serta fenomena aerodinamika yang lebih kompleks seperti turbulensi dan getaran. Di samping itu, pemilihan material akrilik dalam simulasi hanya merepresentasikan kondisi permulaan tanpa mempertimbangkan degradasi atau kelelahan material dalam jangka waktu penggunaan yang lebih panjang. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan relevan secara praktis, penelitian lanjutan direkomendasikan dengan memanfaatkan pendekatan simulasi dinamis melalui integrasi CFD dan FEA, eksplorasi material alternatif seperti komposit atau paduan aluminium ringan, serta pelaksanaan uji validasi eksperimental menggunakan prototipe berskala nyata di lingkungan lapangan.

Melalui pengembangan lebih lanjut serta penyempurnaan desain struktur, turbin Savonius dengan berbagai variasi bentuk geometris berpotensi menjadi alternatif yang menjanjikan untuk mendukung peralihan menuju energi bersih dan berkelanjutan di Indonesia, terutama di wilayah terpencil atau yang belum terakses oleh jaringan listrik nasional.

Sebagai tahapan lanjutan, disarankan untuk melaksanakan simulasi dinamis terintegrasi antara CFD dan FEA guna memperoleh pemahaman mendalam mengenai interaksi fluida dan struktur. Selain itu, pengujian eksperimental terhadap prototipe juga diperlukan untuk memverifikasi keakuratan hasil simulasi numerik.

3.4. Perbandingan dengan Studi Terdahulu

Studi ini mendukung temuan Puspitasari dan Sahim (2019), yang menunjukkan bahwa koefisien daya dan torsi turbin hibrida Darrieus–Savonius secara signifikan dipengaruhi oleh variasi tinggi sudu. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini berfokus pada ketahanan struktural melalui analisis tegangan dan deformasi.

Menurut Anggoro et al. (2023), variasi ketebalan sudu dan sudut lengkung dapat meningkatkan efisiensi aerodinamis hingga 0,45. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi dalam desain geometris meningkatkan performa turbin. Selain itu, penelitian ini memasukkan topik ketahanan mekanik yang jarang dibahas ke dalam penelitian ini.

Studi yang dilakukan oleh Venkata Sai dan Rao (2016) menunjukkan bahwa desain struktur sudu yang mampu mengurangi defleksi berlebihan sangat penting. Penemuan ini sejalan dengan deformasi signifikan pada rasio 3:1. Karena itu, penelitian ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang keuntungan antara keandalan struktural dan efisiensi aerodinamika, sehingga dapat dianggap sebagai validasi sekaligus pengembangan terhadap literatur yang ada.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja struktural turbin angin sumbu vertikal jenis Savonius melalui simulasi statis menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dengan fokus pada variasi rasio antara tinggi dan lebar baling-baling (1:1, 2:1, dan 3:1). Berdasarkan hasil simulasi serta analisis data, diperoleh sejumlah kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi geometri baling-baling secara nyata mempengaruhi tegangan serta deformasi yang terjadi pada struktur turbin. Rasio 2:1 menghasilkan tegangan maksimum tertinggi, yakni sebesar 62,7 MPa, sedangkan rasio 1:1 menunjukkan tegangan paling rendah sebesar 36,68 MPa.
2. Deformasi yang terjadi pada baling-baling meningkat seiring bertambahnya rasio tinggi terhadap lebar. Nilai deformasi tertinggi ditemukan pada rasio 3:1, yaitu sebesar $8,709 \times 10^{-4}$ mm, yang mengindikasikan kecenderungan baling-baling tinggi mengalami lenturan yang lebih besar.
3. Desain dengan rasio 1:1 memberikan performa struktural paling stabil, dengan nilai tegangan dan deformasi yang paling kecil. Oleh karena itu, konfigurasi ini dianggap paling aman dan efisien untuk digunakan di lingkungan perkotaan atau pada daerah dengan kecepatan angin yang rendah.
4. Meskipun peningkatan rasio tinggi dapat memperbesar potensi penangkapan energi angin, aspek keseimbangan antara efisiensi energi dan kekuatan struktur harus diperhatikan secara cermat, khususnya dalam konteks produksi dalam skala besar.
5. Dalam penerapannya di Indonesia, turbin Savonius berpotensi menjadi alternatif sumber energi terbarukan berskala kecil yang menjanjikan. Namun, pengembangan desain lebih lanjut melalui pengujian eksperimental dan simulasi dinamis masih diperlukan guna menjamin keandalan serta kinerja optimal dalam jangka panjang..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Statistik Indonesia 2023,” 2023.
- [2] X. Wang, J. S.-Y. Foo, A. Fazlizan, W. T. Chong, and K. H. Wong, “Effects of endplate designs on the performance of Savonius vertical axis wind turbines,” *Energy*, 2024, doi:

- 10.1016/j.energy.2024.133205.
- [3] K. Shirbavikar, D. Umbrajkar, S. Deshmukh, A. Devadkar, P. Chavan, and S. Dalvi, "Study of Variation of Aspect Ratio of Savonius Rotor," vol. 21, no. 12, pp. 202271–202290, [Online]. Available: <http://ymerdigital.com>
- [4] D. Puspitasari and K. Sahim, "Effect of Savonius blade height on the performance of a hybrid Darrieus-Savonius wind turbine," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 13, no. 4, pp. 5832–5847, 2019, doi: 10.15282/jmes.13.4.2019.09.0465.
- [5] R. B. Anggoro, R. Setyobudi, A. Sadrina, S. Chalimah, and M. H. Budi Satria, "Design and Development of a Vertical Axis Wind Turbine with PVC Blades Using Solidworks Simulation," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 150–158, 2024, doi: 10.29103/jreec.v4i2.16561.
- [6] S. Jagadish Venkata Sai and T. Venkateswara Rao, "Design and analysis of vertical axis savonius wind turbine," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 1069–1076, 2016.
- [7] S. Chandran *et al.*, "Design, aerodynamic performance and structural integrity investigations of aerofoil profiled Savonius vertical axis wind turbine," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 47, 2025, doi: 10.1007/s40430-025-05413-3.
- [8] M. H. M. Yazik *et al.*, "Optimizing structural performance of Savonius turbine blades through comparative analysis of mechanical properties," *Phys. Fluids*, no. 36, 2024, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0225390>.
- [9] L. Wang, A. Kolios, T. Nishino, P. L. Delafin, and T. Bird, "Structural optimisation of vertical-axis wind turbine composite blades based on finite element analysis and genetic algorithm," *Compos. Struct.*, vol. 153, no. 0, pp. 123–138, 2016, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.06.003.
- [10] J. Lin, Y. lin Xu, and Y. Xia, "Structural analysis of large-scale vertical axis wind turbines Part II: Fatigue and ultimate strength analyses," *Energies*, vol. 12, no. 13, 2019, doi: 10.3390/en12132584.