



## Analisa Distribusi *Stress* dan *Displacement* pada Sudu Turbin Angin Savonius dengan Material Baja Menggunakan *Simscale*

Ferdian Sutanto<sup>1</sup>, Adimas Wicaksana<sup>1</sup>, dan Anggito Pringgo Tetuko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Pamulang 15417, Tangerang Selatan, Indonesia.

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Serpong 15314, Tangerang Selatan, Indonesia.

E-mail : ferdiansutanto27@gmail.com

Masuk :28 Oktober 2020

Direvisi :15 November 2020

Disetujui :2 Januari 2021

**Abstrak:** Hasil penelitian analisa sudu menggunakan aplikasi Simscale dengan metode Finite Element Analysis (FEA), hasil output berupa *Von Mises Stress* dan *Displacement*. Material sudu baja AISI 1018 Mild, dengan variasi dimensi desain sudu, kecepatan angin 50 m/s. Variabel terikatnya adalah daya, torsi, rpm dan gaya. Simulasi yang dipilih adalah *dynamic* dengan *boundary condition* yaitu *force* dan *fixed support*. Nilai maksimum *von mises stress* tertinggi terjadi pada desain sudu F sebesar 943204 Pa dan terendah pada desain sudu A sebesar 235260 Pa. Nilai maksimum *displacement* tertinggi terjadi pada desain sudu F sebesar 4,93E-06 m terendah pada desain sudu A sebesar 8,87E-07 m. Desain sudu F merupakan desain terbaik dengan distribusi *stress* dan *displacement* terendah. Simulasi yang dilakukan masih dalam batas aman mechanical properties baja AISI 1018 Mild. Angin memiliki pengaruh terhadap besar daya yang dihasilkan masing – masing desain sudu.

**Kata kunci:** Energi Angin, Turbin Angin Savonius, Simulasi Simscale, *Finite Element Analysis* (FEA) Distribusi *Stress* dan *Displacement*, Baja AISI 1018 Mild.

**Abstract:** The results of the blade analysis research using the Simscale application with the Finite Element Analysis (FEA) method, The output results are in the form of *Von Mises Stress* and *Displacement*. AISI 1018 Mild steel blade material, with variations in blade design dimensions, wind speed of 50 m / s. The dependent variables are power, torque, rpm and force. The simulation chosen is *dynamic* with boundary conditions, namely *force* and *fixed support*. The maximum value of *von mises stress* occurs at the design of blade F of 943204 Pa and the lowest is at the design of blade A of 235260 Pa. The highest maximum *displacement* value occurred at the F blade design of 4.93E – 06 m, the lowest was at the A blade design of 8.87E – 07 m. The F blade design is the best design with the lowest *stress* distribution and *displacement*. The simulations carried out are still within safe limits of AISI 1018 Mild steel mechanical properties. Wind has an influence on the amount of power generated by each blade design.

**Keywords:** Wind Energy, Savonius Wind Turbine, Simscale Simulation, *Finite Element Analysis* (FEA), *Stress* Distribution and *Displacement*, AISI 1018 Mild Steel.

### PENDAHULUAN

Angin merupakan udara yang bergerak akibat terdapatnya perbedaan tekanan udara antara tempat yang mempunyai tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah ataupun dari wilayah dengan suhu atau temperatur rendah ke tinggi. Perbedaan tekanan udara juga dipengaruhi oleh sinar matahari. Angin mempunyai energi kinetik sebab udara mempunyai massa  $m$  serta bergerak dengan kecepatan  $v$  [1].

Turbin angin merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada poros turbin angin tersebut. Energi angin dikonversi sebagian menjadi tenaga putar oleh rotor.

Dengan ataupun tanpa roda gigi, putaran rotor tersebut umumnya digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan energi listrik [2].

Berdasarkan dari bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi 2 jenis, ialah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) serta Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) [3].

Turbin angin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang ditemukan sebagai pemanfaatan untuk energi yang lebih efisien, dapat menerima potensi angin dari segala arah dan dapat bekerja pada kecepatan rendah. Prinsip kerja turbin Savonius yaitu bersumber pada differential drag windmill [4].

Dalam pengoperasian di lapangan sudu merupakan salah satu bagian paling penting dan utama pada turbin angin yang harus memiliki desain terbaiknya agar optimal untuk menerima angin berkecepatan rendah maupun tinggi dan pemilihan material yang kuat untuk menahan kecepatan angin yang tinggi dan juga harus mampu bergerak pada angin kecepatan rendah sekalipun.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh desain sudu terhadap distribusi stress dan displacement, mengetahui distribusi stress dan displacement pada desain sudu yang menggunakan material baja apakah masih dalam batasan aman untuk digunakan dan mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap sudu yang digunakan.

## METODOLOGI

Sudu turbin angin savonius yang digunakan adalah sudu tipe U dengan beberapa variasi ukuran desain, aplikasi yang digunakan untuk simulasi adalah *Simscale*. *Simscale* merupakan aplikasi simulasi rekayasa online berbasis browser yang menyediakan pemodelan serta simulasi. Dengan visualisasi 3D dalam browser, kapasitas untuk komputasi sesuai permintaan dapat diskalakan. *Simscale* dapat melakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *Finite Element Analysis* (FEA) dan *Thermal Simulation* [5][6]. Dalam hal ini simulasi yang digunakan adalah *Finite Element Analysis* dengan jenis pembebanan yaitu *dynamic*, *boundary condition* yaitu *force* dan *fixed support*.

*Finite Element Analysis* (FEA) ialah pendekatan numerik untuk mendapatkan nilai tegangan dari perpindahan suatu struktur. Struktur dipecah menjadi elemen – elemen kecil yang mempunyai titik *nodal* di setiap elemen. Titik *nodal* tersebut digunakan untuk menyambung elemen kecil dengan elemen kecil yang lain sehingga menjadi suatu struktur. Apabila dicoba pemberian beban pada struktur maka *nodal* akan merespon tegangan dengan perpindahan. Nilai perpindahan tiap *nodal* dikonversi menjadi sebuah nilai tegangan. Apabila digunakan adalah elemen yang kecil maka jumlah *nodal* akan menjadi semakin banyak, sehingga perhitungan suatu elemen akan semakin akurat [7].

Untuk mencari nilai yang di gunakan pada *force* yaitu nilai gaya pada simulasi, digunakan rumus sebagai berikut:

### Tenaga Kincir Angin [8]

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times C_p \times v^3 \times \eta_e \times \eta_m \quad (1)$$

Dimana:

P	= Tenaga dalam (W)
$\rho$	= Density udara (1,225 kg/m <sup>3</sup> )
A	= Luas (m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	= Koefisien kerja
v	= Kecepatan angin dalam m/s
$\eta_e$	= Efisiensi listrik
$\eta_m$	= Efisiensi mekanik

### Luas Rotor [8]

$$A = D \times H \quad (2)$$

Dimana :

D	= Diameter turbin (m)
H	= Tinggi turbin (m)

### Torsi [8]

$$T = F \times R \quad (3)$$

Dimana :

T	= Torsi benda berputar (N.m)
F	= Gaya (N)
R	= Jari – jari (m)

$$T = \frac{P}{\omega} \tag{4}$$

Dimana, P adalah daya keluaran dan  $\omega$  kecepatan sudut diberikan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{5}$$

Dimana n adalah kecepatan rotasi dalam rpm. Dengan mengganti nilai – nilai ini, kita mendapatkan

$$T = 9,55 \frac{P}{n} \tag{6}$$

Dimana P berada dalam kilowatt (kW)

$$T = 9,55 \times 10^6 \frac{P}{n} \tag{7}$$

**Perhitungan Kecepatan Rotasi [8]**

$$v = R\omega \text{ and } \omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{8}$$

Dari sini didapat

$$n = \frac{60 v}{\pi 2R} \tag{9}$$

Dimana v adalah kecepatan.

**Nilai Asumsi [9]**

Nilai asumsi yang akan digunakan untuk pemodelan dan analisis dinyatakan dibawah ini:

1. Kecepatan angin yang akan digunakan adalah 50 m/s.
2. Koefisien kerja (Cp) 0,3.
3. Efisiensi listrik dan mekanik diambil masing 0,95 dan 0,90.
4. Untuk luas (A) akan mengikuti desain sudu.
5. Density udara yang digunakan adalah 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

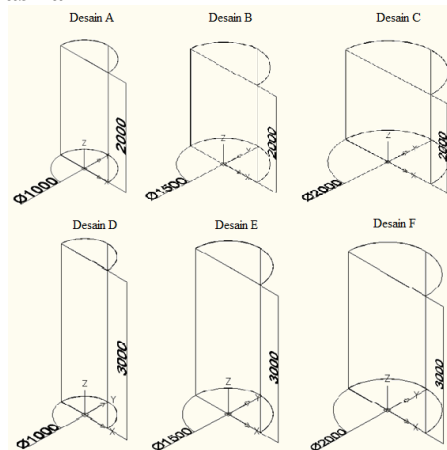
**Material Yang Digunakan**

Simulasi desain sudu turbin angin savonius yang digunakan adalah material baja dengan asumsi baja *AISI 1018 Mild*, berikut ini adalah tabel dari *mechanical properties* baja *AISI 1018 Mild*:

**Tabel 1.** Mechanical Properties Baja AISI 1018 Mild / Low Carbon Steel [9]

Mechanical Properties	Metric	Imperial
Hardness, Brinell	126	126
Hardness, Knoop (Converted from Brinell hardness)	145	145
Hardness, Rockwell B (Converted from Brinell hardness)	71	71
Hardness, Vickers (Converted from Brinell hardness)	131	131
Tensile Strength, Ultimate	440 MPa	63800 psi
Tensile Strength, Yield	370 MPa	53700 psi
Elongation at Break (In 50 mm)	15.0 %	15.0 %
Reduction of Area	40.0 %	40.0 %
Modulus of Elasticity (Typical for steel)	205 GPa	29700 ksi
Bulk Modulus (Typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio (Typical For Steel)	0.290	0.290
Machinability (Based on AISI 1212 steel, as 100% machinability)	70 %	70 %
Shear Modulus (Typical for steel)	80.0 GPa	11600 ksi

**Desain Sudu Yang Akan Disimulasikan**



**Gambar 1.** Desain sudu yang akan disimulasikan

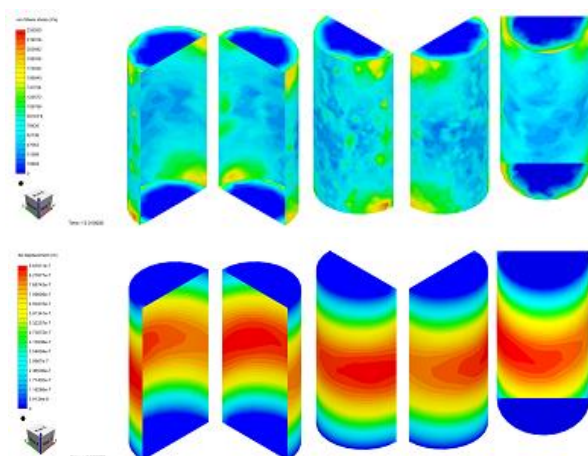
## HASIL DAN DISKUSI

Data di bawah ini adalah hasil perhitungan dari rumus dan nilai asumsi sehingga diperoleh data dengan nilai yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Untuk Mendapatkan Gaya

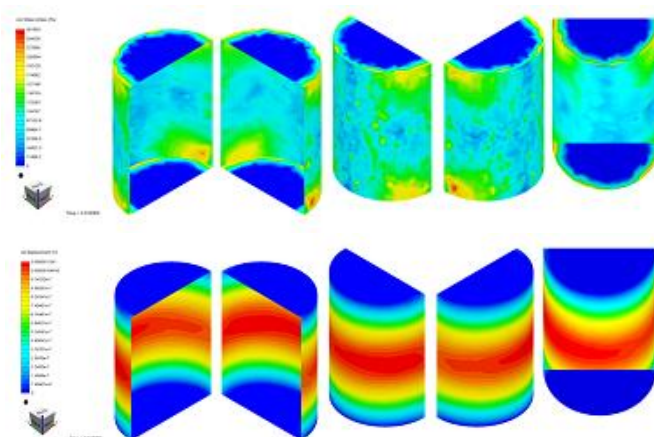
Desain	Kecepatan Angin (M/S)	Daya (W)	Daya (Kw)	Rpm	Torsi (N.Mm)	Gaya (N)
A	50	39276,56	39,3	955	393000	786
B	50	58914,84	58,9	637	883038	1177
C	50	78553,13	78,6	478	1570356	1570
D	50	58914,84	58,9	955	589000	1178
E	50	88372,27	88,4	637	1325306	1767
F	50	117829,69	117,8	478	2353536	2354

Di dapat nilai gaya untuk mensimulasikan desain sudu turbin, nilai gaya di masukkan pada *boundary condition* yaitu untuk *force* dan *fixed support* untuk memilih tumpuan pada sudu, pada gambar 2 – 7 adalah hasil dari simulasi *Simscale*.



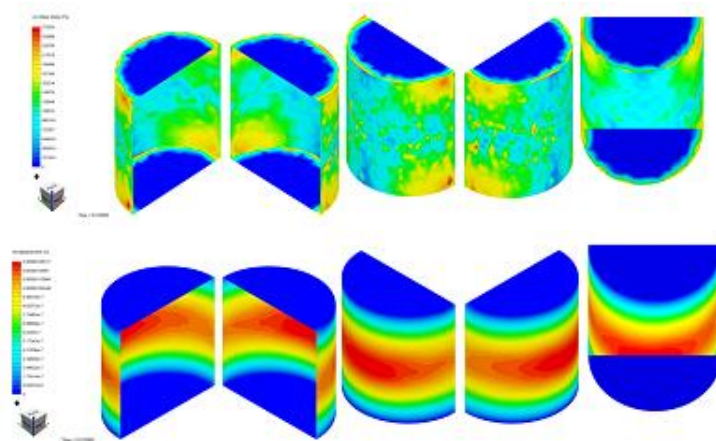
**Gambar 2.** Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain A

Desain sudu A dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tinggi dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 235260 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar 8,87E-07 m.



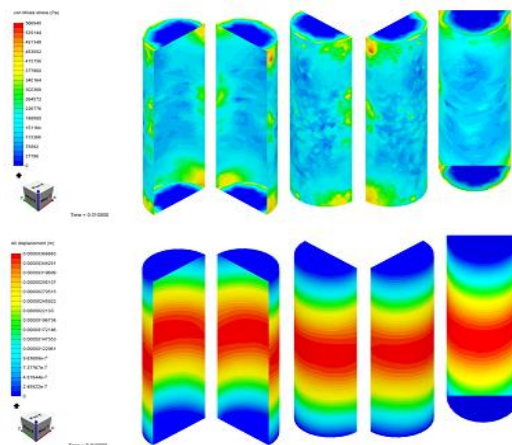
**Gambar 3.** Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain B

Desain sudu B dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tinggi. Dibandingkan desain sudu A, desain sudu B terjadi distribusi *stress* lebih tinggi dan luas yang di tunjukkan oleh warna hijau, kuning dan merah dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 261993 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar  $1,12\text{E}-06$  m.



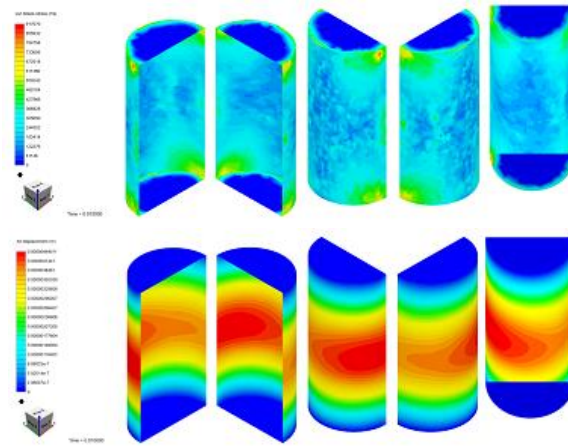
**Gambar 4.** Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain C

Desain sudu C dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tinggi. Dibandingkan desain sudu B, desain sudu C terjadi distribusi *stress* lebih tinggi dan luas yang di tunjukkan oleh warna hijau, kuning dan merah dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 272024 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar  $1,29\text{E}-06$  m.



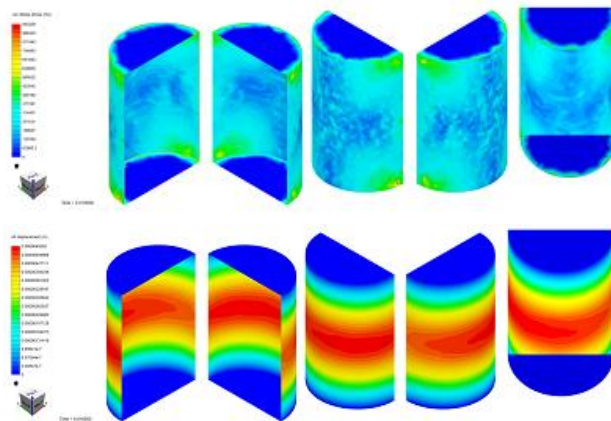
**Gambar 5.** Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain D

Desain sudu D dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tertinggi. Dibandingkan desain sudu A, B dan C, desain sudu D distribusi terpusat mengalami pengurangan yang di tunjukkan warna hijau, kuning dan merah dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 566940 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar  $3,69\text{E}-06$  m.



Gambar 6. Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain E

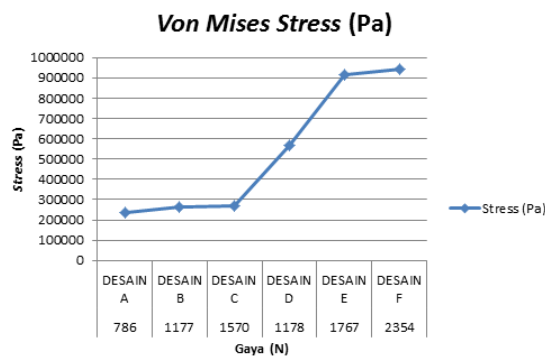
Desain sudu E dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tinggi. Dibandingkan desain sudu A, B, C, dan D, desain sudu E distribusi terpusat mengalami pengurangan yang di tunjukkan warna hijau, kuning dan merah dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 917070 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar 4,44E-06 m.



Gambar 7. Distribusi *stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain F

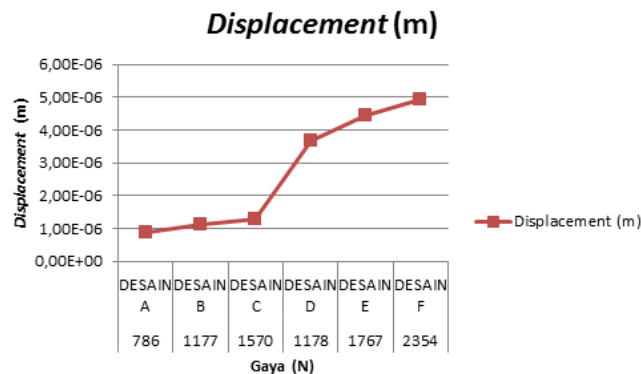
Desain sudu F dapat diamati pada bagian lekukan antara tumpuan sudu dengan sudu turbin, meluas pada area sudut sudu dan sisi sudu, bagian tersebut terjadi distribusi *stress* tinggi. Dibandingkan desain sudu A, B, C, D, dan E, desain sudu F distribusi terpusat mengalami pengurangan yang di tunjukkan warna hijau, kuning dan merah dengan nilai maksimum *stress* pada sudu sebesar 943204 Pa dan *displacement* tertinggi terjadi pada tengah sudu dengan nilai maksimum *displacement* sebesar 4,93E-06 m.

Hasil simulasi dapat disimpulkan dengan variasi ukuran desain sudu di dapatkan ukuran yang tepat akan menghasilkan distribusi yang optimal terutama pada desain sudu F. Pada jurnal penelitian sebelumnya dengan variasi desain sudu di dapat bahwa ukuran memiliki pengaruh terhadap distribusi *stress* dan *displacement*. [5]



Gambar 8. Grafik hubungan besar gaya sudu terhadap maksimum *von mises stress*

Grafik di atas menunjukkan *von mises stress* cenderung menaik sesuai dengan penambahan luas dan gaya pada sudu. *Von mises stress* tertinggi terjadi pada desain sudu F sebesar 943204 Pa dengan luas sudu 6 m dan gaya 2354 N. Sedangkan *von mises stress* terendah terjadi pada desain sudu A sebesar 235260 Pa dengan luas sudu 2 m dan gaya 786 N.



**Gambar 9.** Grafik hubungan besar gaya sudu terhadap maksimum *displacement*

Grafik di atas menunjukkan *displacement* cenderung menaik sesuai dengan penambahan luas dan gaya pada sudu. *Displacement* tertinggi terjadi pada desain sudu F sebesar 4,93E-06 m dengan luas sudu 6 m dan gaya 2354 N. Sedangkan *displacement* terendah terjadi pada desain sudu A sebesar 8,87E-07 m dengan luas sudu 2 m dan gaya 786 N.

Dari hasil simulasi *Simscale* didapat nilai maksimum *von mises stress* dan *displacement*. Dengan hasil tersebut dapat di analisa semua desain sudu yang di simulasikan dengan asumsi baja *AISI 1018 Mild* yaitu dapat kuat menahan beban maksimal pada simulasi. Dalam hal ini analisa yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil maksimum *von mises stress* dan *displacement* untuk mengetahui apakah hasil simulasi dalam batas aman pada properties baja *AISI 1018 Mild*. Dan kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap sudu yang digunakan, dimana semakin luas sudu yang digunakan maka semakin besar daya yang dihasilkan.

## KESIMPULAN

Ukuran desain sudu memiliki pengaruh terhadap distribusi stress dan displacement, dengan variasi ukuran desain sudu yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa sudu harus memiliki ukuran yang terbaik agar distribusi stress dan displacement dapat merata pada semua bagian sudu. Distribusi stress dan displacement pada semua desain sudu yang menggunakan material baja aman untuk digunakan dan dilihat dari nilai maksimum stress dan displacement di semua sudu dibandingkan dengan mechanical properties baja *AISI 1018 Mild* sudu dapat kuat menahan beban maksimal pada simulasi. Kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap sudu yang digunakan, semakin luas sudu yang digunakan maka semakin besar daya dan gaya, nilai gaya ini yang akan berpengaruh pada hasil simulasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin-Universitas Pamulang dan Pusat Penelitian Fisika-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas dukungan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. A. F. Soelaiman, N. P. Tandian, and N. Rosidin, "Perancangan , Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol," Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin, SNTTM-VI, pp. 246–251, 2007.
- [2] J. Sargolzaei, "Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks", Zahedan: Baluchestan University, 2007.
- [3] Y. Daryanto, "Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," Blueprint, April, 2007.

- [4] B. Mahendra, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L", Malang, 2011.
- [5] S. Wasserman, "SimScale Brings the Price of Computer-Aided Engineering Down to Zero", engineering.com, 2015.
- [6] R. Tara, "Be Warned: The CAE World Is About to Shift", engineering.com, 2016.
- [7] S. S. H. Moel, "Analisis Komputasional Mekanika Retak Pada Pelat Metal Berlubang Berpenambal Metal dan Komposit", Skripsi, FTMD, Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung. Bandung, Indonesia, 2017
- [8] P. Gipe, "Wind power renewable energy for home farm and business", Chelsia Green Publication Company, White River Junction, VT, Page no. 61, 2004
- [9] S. Mitra, P. Laws, B. Aditya, and R. V. Bethi, "Parametric sensitivity analysis of vertical axis wind turbine," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 6, no. 5, pp. 385–390, 2017.
- [10] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6115>