

PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (TASV) SAVONIUS 3 SUDU

Riza Jaka Ariazena⁽¹⁾, Agus Suprayitno⁽²⁾, Gunawan⁽³⁾.

Program Studi Teknik Mesin, STT Wastukencana Purwakarta

⁽¹⁾rizajakaariazena@gmail.com, ⁽²⁾agussuprayitno@stt-wastukencana.ac.id,

⁽³⁾xgunawan07@gmail.com

Abstrak. Energi angin adalah merupakan salah satu energi alternative yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, guna menggantikan sumber energi berbahan fosil. salah satu bentuk dari pemanfaatan energi angin adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. keunggulan dari turbin ini yaitu mampu mengekstrak angin dengan kecepatan angin yang kecil (min 2 m/s). Hasil perhitungan dari turbin angin Savonius didapatkan hasil, pada kecepatan rata – rata angin 7 m/s menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 3.62% pada tip speed ratio 3.24. Pada kecepatan rata – rata angin 5 m/s menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 7.95% pada tip speed ratio 3.43. Sedangkan pada kecepatan rata – rata angin 2.5 m/s menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 24.40% pada tip speed ratio 2.35. Rangka turbin yang menopang bahan komponen yang terpasang pada rangka adalah 41,26 kg. Konsentrasi tegangantarik maksimum pada batang yang terjadi adalah $0,101 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_{\max} = 3,08 \text{ kg/mm}^2$, jadi rangka aman digunakan terhadap tegangan tarik.

Kata kunci : Energi alternatif, Turbin savonius, Savonius tiga sudu

Abstract: Wind energy is an alternative energy that can be used for various purposes, in order to replace energy sources made from fossil fuels. One form of the use of wind energy is as an energy source for power generation. The advantage of this turbine is that it is able to extract wind with small wind speeds (min 2 m/s). The calculation results from the Savonius wind turbine show that at an average wind speed of 7 m/s it produces a maximum power coefficient of 3.62% at a tip speed ratio of 3.24. At an average wind speed of 5 m/s it produces a maximum power coefficient of 7.95% at a tip speed ratio of 3.43. While the average wind speed of 2.5 m/s produces a maximum power coefficient of 24.40% at a tip speed ratio of 2.35. The turbine frame supporting the component materials attached to the frame is 41.26 kg. The maximum tensile stress concentration in the rod that occurs is $0,101 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_{\max} = 3,08 \text{ kg/mm}^2$, so the frame is safe to use against tensile stress.

Keywords: Alternative energy, Savonius turbine, Three-spoon savonius.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar.

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dibandingkan efisiensi turbin, turbin angin sumbu horisontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibandingkan turbin angin sumbu vertikal. Tetapi turbin angin sumbu vertikal juga memiliki keunggulan, yaitu:

- a. Tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horisontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.

- b. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
- c. Konstruksi turbin sederhana
- d. Dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah. Sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin

Savonius merupakan salah satu jenis turbin anin poros vertikal yang cocok dengan kecepatan angin rendah. Intensitas aning juga menjadi permasalahan pemampatan turbin angin untuk menghasilkan daya listrik. Berdasarkan permasalahan yang ada dalam pengembangan pembangkit listrik energi angin, maka penelitian kali ini akan.

Oleh karena itu, sejalan dengan pemikiran di atas dimana angin tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbaru. pembangkit listrik tenaga angin, merupakan solusi yang tepat untuk dikembangkan. berbagai teknologi pembangkit banyak diterapkan dalam PLTA baik dari sisi turbin dan instrument. Didalam turbin kita mengenal berbagai jenis turbin yang dapat di pergunakan. salah satunya turbin angin yang sederhana dan yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti pantai, gunung dan puncak bukit).

Pantai Tanjung Baru sebagai objek penelitian berada di Desa Pasir Jaya, Kecamatan Cilamaya Kulon, Karawang, Jawa Barat. Pantai ini tidak memiliki penerangan jalan yang kurang untuk akses warga pada malam hari. Namau pantai ini memiliki sumber angin yang sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga angin sekala kecil. kecepatan angin rata-rata yang didapat mencapai 3,7 m/s. dan kecepatan maksimum yang di dapat adalah 7,4 m/s, untuk memaksimalkan sumber energi angina.

2. Kajian Pustaka

2.1. Rumus Perhitungan

Rumus perhitungan yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja rotor:

2.2.1 Luas Rotor

Daya ngan (Pin) adalah daya yang tersedia oleh angin dimana day aini berbanding lurus dengan pangkat tiga kecepatannya dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Pin = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Dimana :

Pin : Daya total.

ρ : masa jenis angin (kg/m³)

A : luas rotor turbin (m²)

V : kecepatan angin (m/s)

2.2.2 Torsi

Torsi (T) adlah hasil perkalian besarnya gaya pembebanan (F) dengan Panjang kengan torsi (l) sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F l \text{ (Nm)}$$

Dimana :

T : Torsi

F : gaya pembebanan (N)

l : Panjang lengan (m)

2.2.3 Daya Rotor

Daya rotor (Pout) adalah daya yang dihasilkan oleh rotor sebagai akibat adanya angin yang menghantam sudu rotor sehingga sudu rotor bergerak. Daya yang dihasilkan oleh sudu kincir yang berputar adalah :

$$P_{out} = T \cdot \omega \text{ (watt)}$$

Untuk menentukan kecepatan sudut, digunakan persamaan :

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = (\text{rad/s})$$

2.2.4 Koefisien Daya

Koefisien daya (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya yang tersedia oleh angin sehingga bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{Cp} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \%$$

Dimana :

P_{Cp} : koefisien daya

P_{out} : daya yang dihasilkan rotor (watt)

P_{in} : daya yang terjadi angin (watt)

2.2.5 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan di ujung sudu rotor dengan kecepatan anginnya sehingga dapat dirumuskan :

$$tsr = \frac{\pi n r}{30 v} =$$

Dimana :

tsr : Tip Speed Ratio

n : Kecepatan putar poros rotor (rpm)

r : Jari - jari rotor (m)

v : Kecepatan angin (m/s)

3. Pembahasan Dan Hasil

3.1. Perancangan Rotor Turbin Savonius

3.1.1 Parameter Yang Digunakan Dalam Perancangan

Untuk merancang rotor turbin angin savonius yang diperlukan data-data, data- data yang diketahui seperti seperti dibawah ini:

1. Data-data yang diketahui.
 - a. Kecepatan angin (V) : 7,4 m/s
 - b. Suhu udara sekitar (T) : 30 °C
 - c. Daya rencana (P) : 300 Watt
2. Data-data yang dipilih
 - a. Jenis sudu : Lengkung

3.1.2 Luas Rotor

Rotor merupakan elemen utama turbin angin karena pada rotor inilah sudu turbin di assembly. adapun tegangan total aliran angin yang mengalir adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang yang dirumuskan dengan :

$$P_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \text{ (Watt)}$$

$$300 = \frac{1}{2} \cdot 1,1514 \cdot A \cdot (7,4)^3$$

$$300 = 0,303 \cdot A \cdot (7,4)^3$$

$$A = 1,28 \rightarrow 1,3 \cdot \text{m}^2$$

3.1.3 Perhitungan Dimensi Rotor

Dengan merancang sudu pada turbin savonius ini terdiri dari atas 2 bagian yaitu diameter rotor dan tinggi rotor (D dan t). untuk itu dalam perancangan ini dipilih perbandingan diameter rotor dan tinggi rotor (D/t) sebesar 0,8.

Luas rotor adalah $1,3 \text{ m}^2$

$$\frac{D}{t} = 0,8$$

$$D = 0,8t$$

3.1.4 Tinggi Rotor

$$L_{\text{rotor}} = D \times t = (\text{mm})$$

$$1,3 = 0,8t \times t$$

$$1,3 = 0,8t^2$$

$$t = 1,3 \text{ m} \rightarrow 1300 \text{ mm}$$

3.1.5 Diameter Rotor

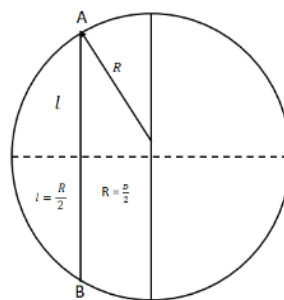
$$D = 0,8 \cdot t = (\text{mm})$$

$$D = 0,8 \cdot 1,3$$

$$= 0,96 \text{ m} \rightarrow 1 \text{ m}$$

3.1.6 Perhitungan Dimensi Sudu

karena bentuk sudu yang akan direncanakan adalah lengkung, maka digunakan rumus mencari luas panjang busur pada lingkaran (busur AB).



Gambar 4. 1 Skema Menentukan Radius Sudu Dan Panjang AB.

$$D_{\text{rotor}} = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$D_{\text{rotor}} = \frac{D_{\text{rotor}} - 35}{2} = (\text{mm})$$

$$D_{\text{rotor}} = \frac{1000 - 35}{2} = 482,5 \text{ mm}$$

Sehingga alas busur AB (l) menjadi :

$$l = \frac{482,5}{2} = 241,25 \text{ mm}$$

Mencari nilai R pada lingkaran dengan menggunakan rumus phytagoras, sehingga

$$R^2 = l^2 + (1/2 \cdot R)^2 = (\text{mm})$$

$$4R^2 = 4 \cdot 241,25^2 + R^2$$

$$4R^2 - R^2 = 232.806$$

$$R = 278,6 \text{ mm}$$

Maka jari-jari (R) yang dihasilkan adalah 283 mm

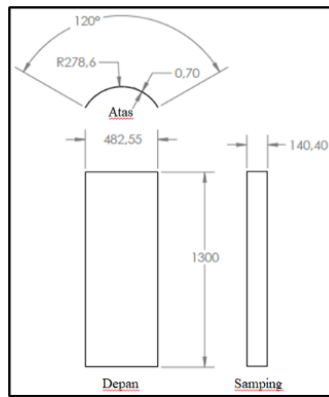
3.1.7 Panjang Burur AB

$$L = \frac{\alpha(\text{sudut pusat})}{360^\circ} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R$$

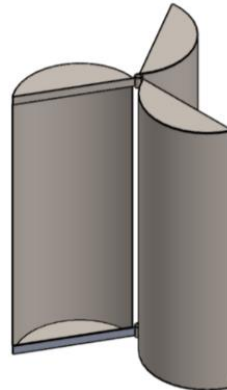
$$L = \frac{120^\circ}{360^\circ} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 278,6$$

$$L = 583,2 \text{ mm}$$

Maka panjang busur yang dihasilkan 583,2 mm



Gambar 4. 2 Sudu Savonius.



Gambar 4. 3 Rotor Savonius.

3.2. Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian turbin angin yang meliputi kecepatan angin , kecepatan putaran poros rotor (Rpm). Pengambilan data turbin anin savinius dengan variasi kecepatan angin dari blower 7 m/s, 5 m/s, dan 3,5 m/s.

Tabel 4. 1 Hasil pengambilan data.

No	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm	Beban (g)
1	7	452	80
2	5	341	80
3	2.5	11	95

3.3. Pengolahan Data dan Perhitungan

Langkah – Langkah perhitungan dapat dilihat pada contoh sampel yang diambil dari table diatas.

3.3.1 Perhitungan Daya Angin

Daya yang dihsilkan angin pada rotor dengan $A=1.3m^2$ dapat dicari dengan persamaam (2.14). Sample data untuk contoh perhitungan diambil dari table 4.3.

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 = \text{(watt)}$$

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot 1,1514 \cdot 1,3 \cdot (7,4)^3$$

$$P_m = 256,70 \text{ watt}$$

3.3.2 Perhitungan Daya Rotor

Daya yang dihasilkan oleh rotor dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.3), untuk mendapatkan daya rotor harus diketahui kecepatan sudut dan torsi.

a. Kecepatan Sudut

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \text{ (rad/s)}$$

$$\omega = \frac{\pi 452}{30}$$

$$\omega = 47.31 \text{ rad/s}$$

b. Torsi

$$T = F l = \text{(Nm)}$$

$$T = m \cdot g \cdot l$$

$$T = \frac{80}{1000} \cdot 9.81 \cdot 0.25$$

$$T = 0.20 \text{ Nm}$$

$$P_{\text{out}} = T \cdot \omega = \text{(watt)}$$

$$P_{\text{out}} = T \cdot \omega$$

$$P_{\text{out}} = 0.20 \text{ Nm} \cdot 47.31 \text{ rad/s}$$

$$P_{\text{out}} = 9.28 \text{ watt}$$

3.3.3 Perhitungan Koefisien Daya

Karena energi angin yang melalui rotor tidak semua dapat di manfaatkan oleh rotor untuk menghasilkan daya yang sama dengan angin. Hal ini tergantung koefisien daya rotor tersebut.

$$P_{\text{Cp}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$P_{\text{Cp}} = \frac{9.28}{256.70} \cdot 100 \%$$

$$P_{\text{Cp}} = 3.62 \%$$

3.3.4 Perhitungan Tip Speed Ratio

Untuk mengetahui besaran perbandingan kecepatan ujung rotor dengan kecepatan angin tau tip speed ratio dicari dengan menggunakan persamaan (7) :

$$tsr = \frac{\pi n r}{30 v}$$

$$tsr = \frac{\pi 452 \cdot 0.48}{30 \cdot 7}$$

$$tsr = 3.24$$

3.4. Data Hasil Perhitungan

Parameter yang diperoleh dari penelitian diolah dengan menggunakan software Microsoft Excell untuk menampilkan grafik hubungan antara putaran rotor dengan torsi yang dihasilkan, grafik hubungan koefisien daya dengan tip speed ratio, dan grafik hubungan antara daya dengan torsi yang dihasilkan untuk tiga varian kecepatan angin. Pada table 4. 4.

Tabel 4. 2 Hasil pengambilan data.

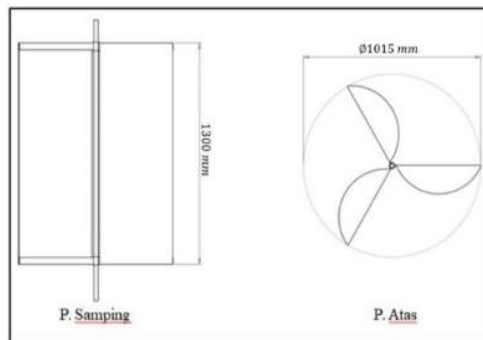
No	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm	Beban (g)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Pin (watt)	Pout (watt)	Pcp (%)	tsr
1	7	452	80	47.31	0.17	256.70	9.28	3.16	3.24
2	5	341	85	35.69	0.20	93.55	7.44	7.95	3.43
3	2.5	117	95	12.25	0.23	11.69	2.85	24.40	2.35

3.5. Perancangan Rangka Dan Kaki

Turbin angin ditopang dengan kaki dan rangka dimana bagian ini merupakan hal yang sangat penting dimana dalam meletakkan bagian-bagian utama turbin.

3.5.1 Perancangan rangka

Adapun dalam perancangan rangka turbin ini. ukuran-ukurannya didasarkan pada ukuran diameter rotor, dan panjang rotor. selain itu juga dengan mempertimbangkan clearance (kelonggaran) antara rotor dan rangka 30mm

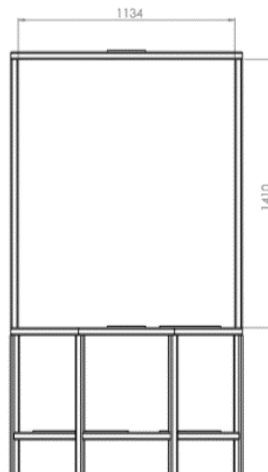


Gambar 4. 4 Rotor

Panjang rangka bagian atas adalah :

$$\begin{aligned} L_{\text{rangka}} &= D \text{ rotor} + 2 (59,5) \\ &= 1015 + 119 = 1.134 \text{ mm} \end{aligned}$$

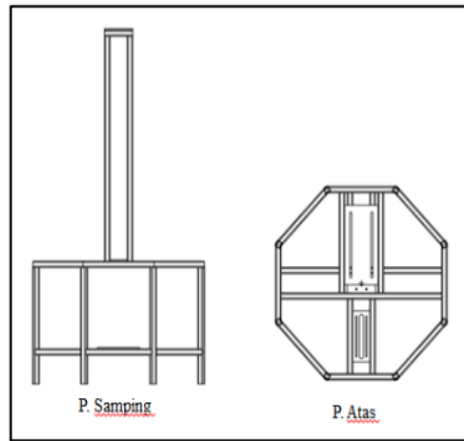
Sedangkan panjang tangka bagian samping adalah 1410 mm inididasarkan pada panjang rotor turbin yaitu sebesar 1300 mm.



Gambar 4. 5 Rangka Samping Turbin

3.5.2 Perancangan kaki-kaki

Dalam merancang kaki-kaki turbin ini ditentukan bentuk kaki-kaki adalah berbentuk persegi 8 dengan menggunakan bahan hollow ukuran 40x40 mm. Adapun tinggi kaki-kaki ditentukan dengan berdasarkan ukuran panjang dari poros, poros perantara, dan spasi antara bagian-bagian yang lain



Gambar 4. 6 Kaki-Kaki Turbin

3.6. Reaksi Tegangan Tarik Pada Batang

1. Menghitung tegangan tarik pada batang

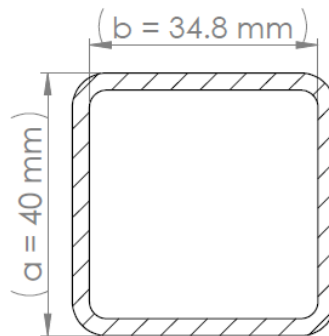
Untuk mencari tegangan tarik pada batang harus mengetahui beban pada batang dan luas batang square tube. sehingga tagangan :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \text{ kg/mm}^2$$

Dimana :

F = 41,26 kg (beban terbesar yang pada rangka)

A = $a^2 - b^2 = (40 \text{ mm})^2 - (34.8 \text{ mm})^2 = 389 \text{ mm}^2$



Gambar 4. 7 Square Tube (40mm x 40 mm x 2.6mm).

Sehingga :

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{41,26 \text{ kg}}{389 \text{ mm}^2} \\ &= 0,106 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan maksimum pada bahan (σ_{max})

Bahan rangka square tube ST37 dengan tegangan tarik maksimum 37(kg/mm²), sehingga tegangan ijin bahan adalah :

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_B}{sf_1 \cdot sf_2}$$

Dimana :

σ_B = 37 kg/mm²

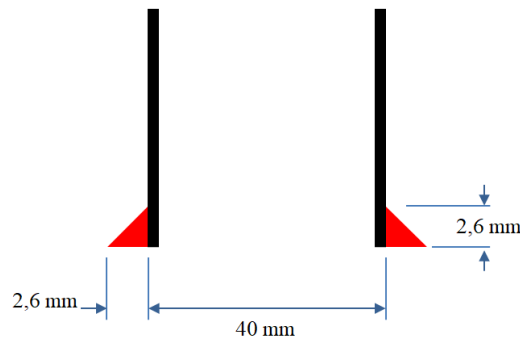
sf_1 = factor keamanan untuk batas kelelahan punter yang harganya 6,0

S_{f2} = factor keamanan akibat pengaruh konsentrasi tegangan seperti adanya alur pasak pada poros, harganya 1,3-3,0, dalam perencanaan diambil harganya 3.

$$\sigma_{max} = \frac{37}{6 \times 3}$$

$$= 3,08 \text{ kg/mm}^2$$

3.7. Pengelasan Rangka



Gambar 4. 8 Skema Pengelasan Batang.

keliling pengelasan pengelasan

$$k = S \times 4$$

$$= 40 \times 4 = 160 \text{ mm}$$

Luas area pengelasan

$$A = k \times t$$

$$= 160 \text{ mm} \times 2,6 \text{ mm}$$

$$= 416 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_t = 0,5 \times \sigma_{ijjin}$$

$$= 0,5 \times 420 \text{ N/mm}^2$$

$$= 210 \text{ N/mm}^2$$

a. kekuatan pengelasan pada rangka turbin

Untuk mengetahui kekuatan pengelasan pada rangka, harus mengetahui beban (F) yang terjadi pada rangka. Beban terbesar terdapat pada rangka batang (I-J) sebesar 41,26 kg.

$$F = 41,26 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}$$

$$= 412,6 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{412,6 \text{ N}}{282,8 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,45 \text{ N/mm}^2$$

Kekuatan las pada rangka $< \sigma_t$. Maka pengelasan dinyatakan aman.

4. Kesimpulan

Perancangan ini dilakukan dengan tujuan untuk bisa merancang dan menghitung dimensi sudu turbin, poros, bantalan, Yang bertujuan sebagai alat untuk pembangkit energi listrik skala kecil. Didapat hasil perancangan:

1. Pada kecepatan rata – rata angin 7 m/s menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 3.62% pada tip speed ratio 3.24. Pada kecepatan rata – rata angin 5 m/s menghasilkan koefisien daya

- maksimal sebesar 7.95% pada tip speed ratio 3.43. Sedangkan pada kecepatan rata – rata angin 2.5 m/s menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 24.40% pada tip speed ratio 2.35.
2. Torsi terbesar yang dihasilkan pada kecepatan rata – rata angin 7 m/s oleh rotor yaitu 0.20 Nm dengan kecepatan putaran rotor 452 Rpm, dan daya yang di hasilkan 9.28 watt.
 3. Tip speed ratio tertinggi yang didapatkan 3.43 pada kecepatan rotor 341 Rpm terjadi pada kecepatan 5 m/s.
 4. Rangka turbin yang menopang bahan komponen yang terpasang pada rangka adalah 41,26 kg. dengan bahan rangka batang square tube ST37 dengan ukuran (40mm x 40mm x 4mm). konsentrasi tagangantarik maksimum pada batang yang terjadi adalah $0,101 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_{\max} = 3,08 \text{ kg/mm}^2$, jadi rangka aman digunakan terhadap tegangan tarik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Sanusi, Sudjito S, Slamet W, dan Lilis Y. (2017). *Performance Analysis of a Combined Blade Savonius Wind Turbine*. International Journal of Fluid Machinery and System.
- Buyung Junaidin. (2017). Perancangan Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT) Skala Kecil. Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto. Program Studi Penerbangan.
- Gare, James M. dan Timoshenko, Stephen P. (2000). Mekanika Bahan Jilid 2. Jakarta : Erlangga
- Hau, E. (2006). *Wind Turbines Fundamental, Technologies, Applications, Economics 2nd Edition*. Berlin: Springer
- Irvan Septyan Mulyana. (2017) Perancangan Turbin Angin Vertikal Savonius Sebagai Sumber Energy Untuk Penerangan Jalan Toll. Universitas Gunadarma. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri.
- Mario Alejandro, R. (2018). *Small Wind Turbines For Electricity And Irrigation*. New York : CRC Press
- M sunil kumar, VVSH Prasad, C. Labesh Kumar, Dr. K Ashok R. (2017). *Savonius Wind Turbine Design And Validation-an Manufacturing Approach*. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET).
- Peter J. Schubel dan Richard J. (2012) *Wind Turbine Blade Design*. University of Nottingham. Faculty of Engineering, Devision of Materials, Mechanics and Structures.
- Renal M, Suryadimal, Iqbal. (2017). Perancangan Kincir Angin Savonius Tipe L Empat Sudu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Universitas Bung Hata Padang. Program Studi Teknik Mesin.
- Satriya R., Daminius D., Eko P.B. (2015). Perancangan Turbin Angun Tipe Savonius Dua Tingkat Dengan Kapasitas 100 Watt Untuk Gedung Syariah Hotel Solo. Universitas Sebelas Maret Solo. Program studi Teknik Mesin.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga. (2004). Dasar Perancangan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta : PT. Pradya Paramita.
- Syukri H, (2006). Energi Angin. Makasar : CV Bintang.