

Perancangan Rotor Turbin Angin Savonius Tipe-L Untuk Pembangkit Listrik Pada Rumah Tinggal

¹Woe Junior, ²Stenly Tangkuman, dan ³Tritiya Arungpadang

¹Prodi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

^{2),3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus Unsrat Bahu, Manado

Email: ¹woejunior32@gmail.com ; ²st75@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Rotor adalah salah satu komponen utama dalam pembuatan Pembangkit Listrik. Rotor berperan mengkonversi energi angin menjadi energi putar / energi mekanik. Untuk menghubungkan rotor ke roda gigi memerlukan poros. Penelitian ini bertujuan merancang rotor pada turbin angin Savonius dengan tipe sudu L untuk Pembangkit Listrik. Tujuan dari penelitian ini ada dua, pertama merancang rotor pada turbin angin Savonius dan mensimulasikannya pada perangkat lunak Ansys Workbench 18.1 untuk melihat daya output. Kedua membuat rotor untuk melengkapi miniatur Pembangkit Listrik dengan rasio 1:5.

Hasil dari perancangan rotor yaitu diameternya sebesar 1,25 m dan tinggi 2,5 m. Dapat beroperasi pada kecepatan angin 6,25 m/s dengan daya keluar 120 Watt. Untuk miniatur rotor dapat berfungsi dengan baik dan telah terpasang pada miniatur Pembangkit Listrik.

Kata kunci: Rotor, Pembangkit Listrik

ABSTRACT

Rotor is one of the main component in wind power plant. The rotor plays a role in converting wind energy into rotary energy / mechanical energy. To connect the rotor to the gear requires a shaft. This research aims to design a rotor Savonius Wind Turbine with an L blade type for a Wind Power Plant. This research has two purposes, first to design the Rotor Savonius Wind Turbine and then simulate the rotor in the Ansys Workbench 18.1 to see the output power. Second is making a Rotor to complete a miniature Wind Power Plant with a ratio of 1:5.

The result of the Rotor design is that the diameter is 1.25 m and the height is 2.5 m. Can operate at 6.25 m/s with the output power is 120 Watt. The rotor miniature can function properly and has been installed on a miniature Wind Power Plant.

Keywords: Rotor, Wind Power Plant

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu energi yang sering digunakan untuk pembangkit listrik adalah angin. Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik sudah sering dilakukan, namun energi listrik yang dihasilkan sangat terbatas. Kecepatan angin di Indonesia juga cenderung rendah. Jenis turbin angin yang bisa dipakai untuk kecepatan angin rendah yaitu Turbin angin tipe Savonius. Turbin ini terdiri dari beberapa komponen penting yang berperan dalam mengkonversi energi angin ke energi listrik, salah satunya adalah rotor turbin. Rotor turbin berperan dalam merubah energi angin menjadi energi gerak / energi mekanik.

Sudah banyak penelitian mengenai perbandingan kinerja turbin angin savonius menggunakan beberapa bentuk sudu yang variatif dan diperoleh sudu dengan tipe L memiliki efisiensi terbaik. Dari Penelitian yang dilakukan Jamal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar pada tahun 2019 dengan judul “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius”. turbin 2 sudu menghasilkan

putaran yang lebih besar dibandingkan turbin 3 dan 4 sudu, tetapi turbin 2 sudu memiliki momen torsi yang rendah dibandingkan turbin 3 dan 4 sudu. Penelitian ini berfokus pada pengujian eksperimental untuk mengetahui kinerja dari turbin savonius dengan variasi jumlah sudu turbin. Jadi, penelitian tersebut tidak berfokus pada perancangan rotor.

Meifry H.F. Tielung, (2019), menggunakan *software* Ansys Workbench18.1 untuk mensimulasikan turbin yang telah dirancang. Dari hasil pemodelan yang dibuat turbin menghasilkan daya 210,77 Watt. Namun penelitian ini hanya sampai ditahap pemodelan 3D pada *software* Solidwork 2016.

Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat sebuah miniatur rotor turbin untuk melengkapi miniatur Turbin Angin Savonius dengan tipe sudu L untuk memanfaatkan energi angin di daerah pesisir pantai.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yaitu bagaimana merancang dan membuat rotor turbin yang sudunya berbentuk L pada turbin angin tipe Savonius dengan kecepatan angin

rendah dan memanfaatkan energi yang didapat tersebut untuk pembangkit listrik pada rumah tangga tinggal.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ada tiga. Pertama adalah sudu pada rotor turbin yang akan dibuat untuk turbin angin tipe savonius berbentuk L. Kedua adalah wilayah yang ditinjau dalam perhitungan energi angin adalah Bukit Savana Pulisan, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Ketiga adalah tidak dirancangnya sistem *control output* daya, generator dan penyimpan daya.

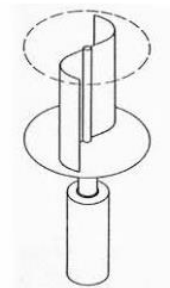
1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan merancang rotor turbin angin tipe Savonius yang sudunya berbentuk L dan memanfaatkan energi yang dihasilkan untuk kebutuhan rumah tinggal. Perancangan berupa gambar tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Solidwork 2016, serta simulasi gaya – gaya menggunakan ANSYS Workbench 18.1. Setelah dilakukan perancangan dan pengecekan tegangan, akan dibuat model rotor turbin.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Turbin Savonius

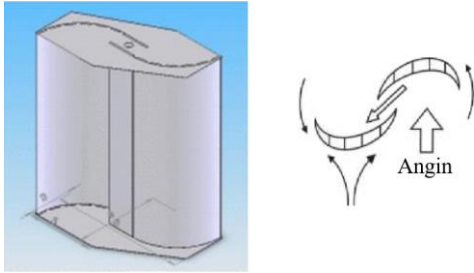
Turbin ini ditemukan pertama kalinya di Finlandia oleh seorang sarjana Finlandia bernama Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1922 dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar.



Gambar 2. 1 Turbin Angin Tipe Savonius (Savonius, 1922)

2.2 Turbin Savonius Tipe L

Pada rancangan Savonius tipe L, angin yang menumbuk salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah dekat poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini. Melalui penambahan diameter, titik pusat gaya dorong angin pada rotor akan bergeser menjauhi poros rotor. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan torsi yang lebih besar (Soelaiman, 2006).



Gambar 2. 2 Turbin Savonius Tipe L
(Sadaaki dkk, 2003)

2.3 Parameter Desain Turbin Angin Savonius

Turbin angin tipe Savonius memiliki beberapa parameter utama yang menentukan performa secara keseluruhan (Bayu, 2012), antara lain;

- Kecepatan Angin (V);

Dalam proses perancangan turbin angin Savonius, diperlukan data kecepatan angin di suatu daerah atau tempat dimana turbin tersebut akan dipasang. Berdasarkan data kecepatan angin ini, akan dihitung potensi energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin yang kemudian dimanfaatkan untuk PLTB (Hau, 2003). Daya angin dihitung dengan persamaan

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

- koefisien kinerja daya (C_p);

Koefisien kinerja daya (C_p) merupakan perbandingan antara

daya turbin dengan daya yang dihasilkan oleh angin yang melewati turbin angin yang dihitung dengan persamaan berikut ini (Hau, 2013).

$$C_p = \frac{P_t}{P_w} \quad (2.2)$$

- Luas Penampang Aliran (A);

Luas penampang aliran atau *swept area* adalah luas efektif dari *bucket wind turbine* yang mampu menerima energi kinetik dari angin, dan mengubahnya menjadi energi mekanik (Gambar 2.8). Untuk tipe Savonius, luas daerah sapuan untuk turbin Savonius dinyatakan dengan (Bayu, 2012)

$$A = H D \quad (2.3)$$

- Tip Speed Ratio (λ);

Tip speed ratio merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial sudu turbin dengan kecepatan angin (Hau, 2013) sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini

$$\lambda = \frac{V_t}{V_w} \quad (2.4)$$

- Jumlah Bucket (n);

Menurut Blackwell, (1978), getaran dinamis dan momen statik dari rotor Savonius sepanjang posisi angular dari *advancing bucket*, yakni *bucket* yang maju mendorong ke depan, dapat dikurangi dengan penambahan *bucket*. Sehingga secara signifikan mengurangi nilai posisi angular untuk *advancing bucket*, dimana momen rotor relatif rendah, karena kemungkinan dari *bucket* untuk berada di posisi yang bagus agar mengekstrak momentum aliran udara bertambah. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini, yang juga menunjukkan siklus momen dari rotor untuk jumlah *bucket* 2 dan 3.

- Rasio Aspek (A_r);

Rasio aspek atau *aspect ratio* (A_r) merupakan rasio dari turbin angin tipe Savonius yakni perbandingan tinggi turbin angin dengan diameter rotor. Semakin tinggi rasio ini, turbin angin akan memiliki *losses* yang rendah akibat efek dari ujung *bucket*. Berdasarkan hasil studi kasus oleh Luc Menet, Jean dan Bourabaa, Nachida, nilai optimal

untuk A_r adalah 2. A_r dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.5.

$$A_r = \frac{H}{D} \quad (2.5)$$

- Overlap Ratio (a dan e);

Overlap ratio didefinisikan sebagai jarak *overlap* antara dua sudu (e_x dan e_z) terhadap diameter sudu rotor atau *bucket* (d). Verifikasi dari parameter e_x dan e_z terhadap pengaruh turbin angin tipe Savonius telah lama diteliti. Berdasarkan percobaan dan studi kasus Fujisawa (1996) dan Blackwell (1978), dapat disimpulkan bahwa nilai $e_x = 0$ memberikan performa terbaik untuk Savonius dengan profil *bucket semi-circular*. Sedangkan untuk nilai e_z , menurut Fujisawa (1996) nilai optimal untuk e_z ini adalah sama dengan 15% dari diameter *bucket*. Sedangkan Blackwell (1978), mengambil kesimpulan bahwa nilai e_z ideal berada antara 10% dan 15% dari ukuran diameter *bucket*.

- Penambahan Pelat Penutup;

Pelat penutup merupakan pelat yang terpasang pada bagian atas dan bawah turbin angin Savonius.

Penambahan pelat penutup dapat menambah nilai rata-rata maksimum *power coefficient* (C_p averaged). Nilai diameter didapatkan dengan rumus (Bayu, 2012)

$$R_f = 1,1R \quad (2.6)$$

- Pemilihan Bentuk *Bucket*.

Bucket merupakan komponen yang akan menerima terpaan angin. Akibat dari terpaan angin *bucket* kemudian terdorong dan menimbulkan gerakan potensial. Dari gerakan potensial ini bisa dikonversikan ke energi listrik. Untuk penentuan lebar *bucket* tersebut bisa menggunakan rumus dibawah.

$$d_r = R + \left(\frac{e_z}{2}\right) \quad (2.7)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis dan struktur pelaksanaannya dengan prosedur penelitian seperti pada gambar 3.1. Penjelasan nya adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berhubungan dengan topik penelitian.

2. Pengambilan data kecepatan angin
Pada tahap ini adalah pengambilan data kecepatan angin dari situs globalwindatlas.info dengan jangka waktu 1 bulan.

3. Penentuan parameter desain
Pada tahap ini, akan ditentukan jumlah sudu, *aspect ratio*, *overlap ratio*, pelat penutup, dan pemilihan bentuk *bucket*.

4. Perhitungan awal dimensi turbin
Pada tahap ini, akan dilakukan perhitungan untuk mencari diameter dan tinggi dari turbin.

5. Permodelan 3D di perangkat lunak Solidwork 2016

Pada tahap ini dilakukan pemodelan tiga dimensi turbin angin savonius dengan tipe sudu L.

6. Simulasi aliran angin pada perangkat lunak Ansys Workbench 18.1

Pada tahap ini akan disimulasikan turbin yang telah digambar pada *software* Solidwork 2016. Tujuannya untuk mencari kecepatan tangensial pada sudu.

7. Kecepatan linier pada sudu

Pada tahap ini telah didapat kecepatan tangensial pada sudu dan dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

8. Simulasi daya *output* dan torsi pada perangkat lunak Ansys Workbench 18.1

Pada tahap ini dilakukan simulasi pada *software* Ansys Workbench 18.1 untuk mengetahui daya dan torsi dari turbin yang telah dirancang.

9. Validasi presentase perbedaan hasil simulasi dan perhitungan teoritis

Pada tahap ini dilakukan validasi untuk melihat presentase perbedaan hasil simulasi dan perhitungan teoritis dari daya dan torsi. Jika presentase perbedaannya tidak terlalu jauh, perancangan di anggap *valid*.

10. Pemilihan bahan sudu dan poros

Pada tahap ini, akan dilakukan pemilihan bahan untuk sudu dan poros.

11. Simulasi tegangan pada Ansys Workbench 18.1

Setelah dipilih bahan untuk sudu dan poros, maka akan disimulasikan pada *software* Ansys Workbench 18.1 untuk mengetahui tegangan *Von Misses* dari sudu dan poros.

12. Pengecekan Tegangan

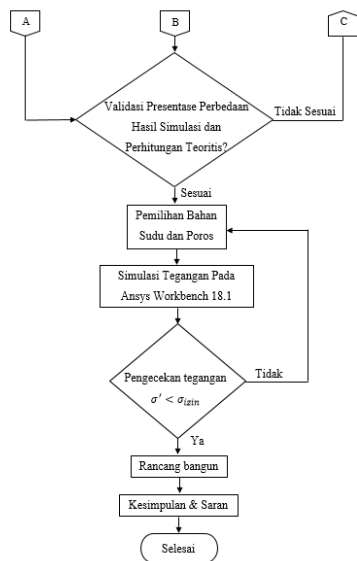
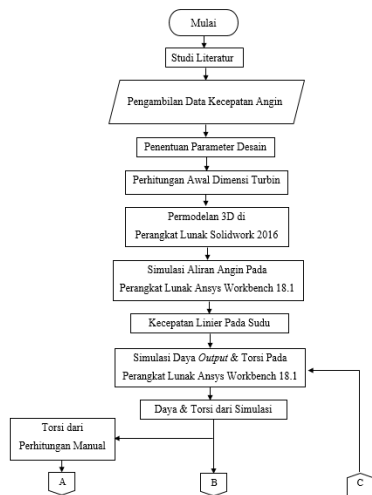
Setelah diketahui tegangan *von misses* yang terjadi pada sudu dan poros, akan dilakukan pengecekan tegangan. Jika nilai tegangan yang terjadi melebihi nilai dari tegangan izin, bahan yang dipakai harus diganti dan disimulasikan ulang. Namun jika tidak melebihi maka bahan yang dipilih bisa dipakai dan dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

13. Rancang Bangun

Pada tahap ini akan diproduksi miniatur turbin angin yang yang diperkecil 5 kali lipat dari ukuran rancangan untuk melengkapi miniatur pembangkit listrik tenaga angin. Untuk pembuatan dan perakitan akan dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.

14. Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini dibuat kesimpulan dan s ar an dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 3.1 Prosedur Penelitian

IV. PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Penentuan Parameter dan Dimensi Turbin

4.1.1 Data Kecepatan Angin

Kecepatan angin diambil di situs globalwindatlas.info pada bulan Desember 2019 di Kabupaten Minahasa Utara. Data yang akan digunakan dalam analisis dimensi turbin dan simulasi pada perangkat lunak adalah kecepatan angin maksimum yaitu 6,25 m/s.

4.1.2 Jumlah *Bucket*

Jumlah *bucket* dipilih 2 dengan tebal 2 mm.

4.1.3 Aspect Ratio (*Ar*)

Aspect ratio dipilih 2.

4.1.4 Overlap Ratio (e_x dan e_z)

Berdasarkan percobaan dan studi kasus Fujisawa (1996), Blackwell (1978), Menet dkk (2014), dipilih untuk nilai $e_x = 0$ dan nilai $e_z = 20\%$ dari diameter turbin.

4.1.5 Pelat Penutup

Tebal pelat penutup dipilih 1 mm untuk bagian atas dan bawah.

4.1.6 Pemilihan Bentuk *Bucket*

Model *bucket* dibuat dengan bentuk L yang diharapkan dapat membuat efek angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi (Soelaiman, 2006).

4.1.7 Perhitungan Dimensi Turbin

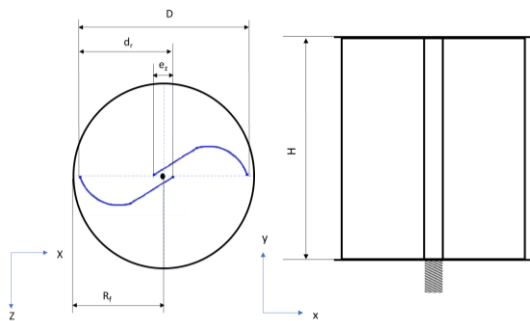
Berdasarkan Persamaan yang telah tertulis pada Bab sebelumnya, didapatkan dimensi turbin sebagai berikut:

- lebar *bucket* (d_r) = 0,6875 m;
- *overlap ratio* (e_z) = 0,125 m;
- diameter turbin (D) = 1,25 m;
- tinggi turbin (H) = 2,5 m;
- jari - jari pelat penutup (R_f) = 0,6875 m.

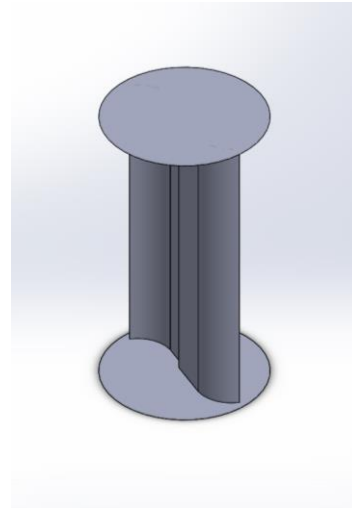
4.2 Simulasi Aliran Angin dengan Ansys Workbench 18.1

4.2.1 Pemodelan Turbin di Solidwork 2016

Pada tahap ini akan dibuat permodelan pada Solidwork 2016 dengan menggunakan ukuran dimensi yang sudah dihitung di subbab sebelumnya. Hasil permodelan bisa dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2.

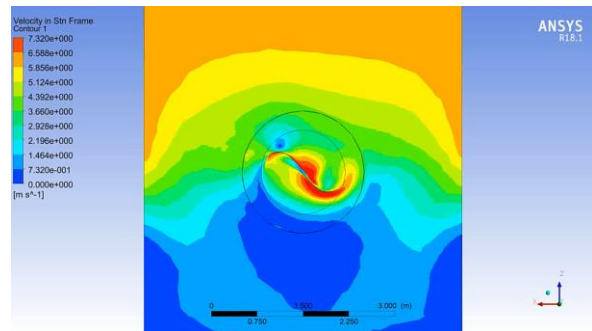


Gambar 4. 1 Pemodelan Turbin dalam bentuk 2D

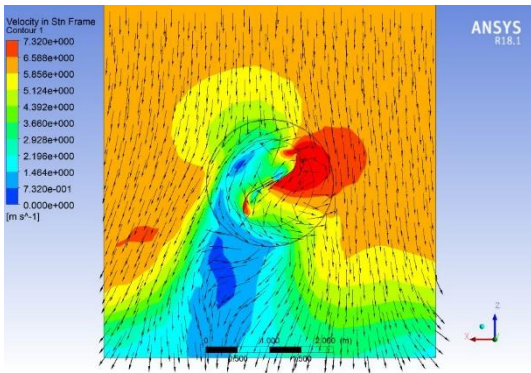


Gambar 4. 2 Pemodelan Turbin dalam bentuk 3D di Solidwork 2016

4.2.2 Hasil Simulasi Aliran Angin



Gambar 4. 3 Hasil simulasi kecepatan angin pada turbin dalam bentuk animasi 2D



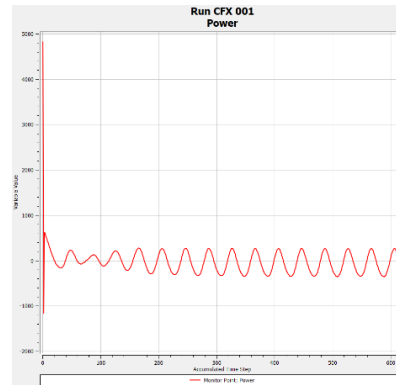
Gambar 4. 4 Hasil simulasi *Streamline* pada turbin

Gambar 4.3 dan 4.4 adalah hasil simulasi aliran angin yang menghempas sudu – sudu turbin. Selama simulasi berlangsung hingga selesai tidak ada terjadi indikator *error*. Hasil simulasi akan dirangkum dalam Tabel 4.2.

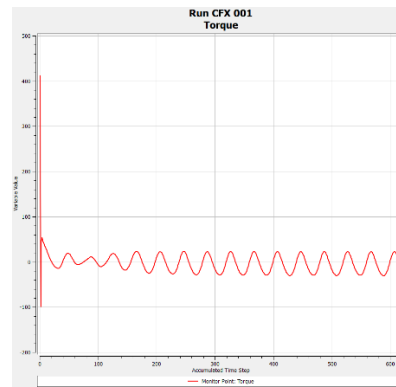
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Aliran Angin

4.2.3 Hasil Simulasi Daya & Torsi Turbin

Pada tahap ini akan disimulasikan lagi turbin angin untuk mencari daya dan torsi dari turbin yang telah dirancang.



Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Daya Output pada kecepatan putaran turbin 111,78 rpm



Gambar 4. 6 Hasil Simulasi Torsi pada

Jumlah Sudu	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Awal (rpm)	Kecepatan Linier Sudu pada Simulasi (m/s)
2	6,25	95,5	7,32

kecepatan putaran turbin 111,78 rpm

Dengan menggunakan metode interpolasi bisa didapat nilai daya output dan torsi pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Didapat

Daya output turbin dengan nilai 120 Watt dan torsi 10 Nm.

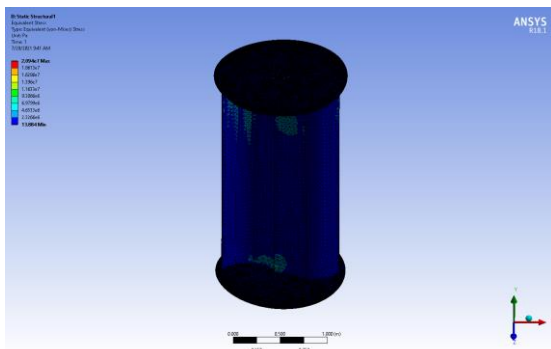
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Daya Output

Kecepatan Putar (rpm)	Daya (Watt)	Torsi (Nm)
111,78	120	10,24

4.3 Simulasi Tegangan

4.3.1 Pengecekan Tegangan Pada Sudu

Sudu menggunakan paduan aluminium tipe 5456 ASTM B209-96, dengan massa jenis (ρ) = 2.660 kg/m³, kekuatan tegangan luluh (σ_y) = 206,8 MPa dan nilai kekuatan tegangan maksimum (σ_u) = 365,4 MPa. Dalam simulasi ini menggunakan gaya yang diakibatkan oleh angin yang bernilai 43,7 N yang didapat dengan Persamaan 2.10.



Gambar 4.7 Tegangan von Misses Maksimum pada Turbin Angin

Berdasarkan Gambar 4.7 besar tegangan von Misses (σ') maksimum yang terjadi pada sudu adalah 20,94 MPa. Setelah didapat besar tegangan akan di cek apakah nilai tersebut melebihi tegangan izin material atau tidak dengan cara membagi kekuatan tegangan luluh material dengan faktor keamanan desain dengan nilai 2.5. Diperoleh hasil pengecekan tegangan sebagai berikut.

$$\sigma' < \sigma_{izin} = \sigma' < \frac{206,8 \text{ MPa}}{2,5}$$

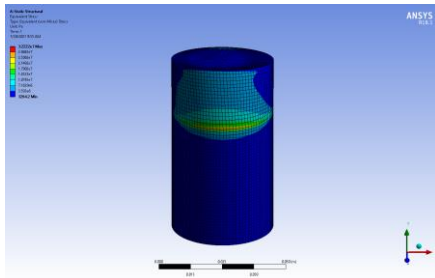
$$\sigma' < \sigma_{izin} = 20,94 \text{ MPa} < 82,72 \text{ MPa}$$

Berdasarkan pengecekan tegangan diatas, bahan yang telah dipilih dapat menahan gaya yang bekerja pada sudu.

4.3.2 Pengecekan Tegangan Pada Poros

Poros menggunakan AISI 1020 carbon steel, dengan massa jenis (ρ) = 8.030 kg/m³, kekuatan tegangan luluh (σ_y) = 294,8 MPa, kekuatan tegangan maksimum (σ_u) = 394,7 MPa. Pada poros akan dipasang dua bantalan sebagai tumpuan. Dalam simulasi ini poros akan dipengaruhi oleh momen yang terjadi

akibat terpaan angin, torsi dari turbin dan gaya berat sudu.



Gambar 4. 8 Tegangan von Misses Maksimum pada Turbin Angin

Berdasarkan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 besar tegangan *von Misses* (σ') maksimum yang terjadi pada poros adalah 32,22 MPa. Setelah didapat besar tegangan akan di cek apakah nilai tersebut melebihi tegangan izin material atau tidak dengan cara membagi kekuatan tegangan luluh material dengan faktor keamanan desain dengan nilai 2.5. Diperoleh hasil pengecekan tegangan sebagai berikut.

$$\sigma' < \sigma_{izin} = \sigma' < \frac{294,8 \text{ MPa}}{2,5}$$

$$\sigma' < \sigma_{izin} = 32,22 \text{ MPa} < 117,92 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengecekan tegangan diperoleh tegangan von Misses tidak melebihi tegangan izin material. Sehingga poros tidak akan mengalami kegagalan material.

Maka dapat disimpulkan poros tidak akan mengalami kegagalan.

V. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perancangan rotor turbin angin savonius dengan tipe sudu L menghasilkan daya (120 watt) untuk disalurkan ke rumah tinggal, berdasarkan hasil simulasi Ansys Workbench 18.1. Rotor yang telah dirancang mampu beroperasi pada kecepatan angin 6,25 m/s dengan kecepatan putar turbin 111,78 rpm. Torsi yang diperoleh sebesar 10,24 Nm. Rotor turbin ini memiliki dimensi tinggi 2,5 m dengan diameter 1,25 m. Sedangkan untuk miniatur yang telah dibuat berdimensi tinggi 0,5 m dan diameter 0,25 m.

Untuk pengecekan tegangan, bahan yang dipilih untuk sudu adalah paduan aluminium tipe 5456 ASTM B209-96 dengan tegangan *von misses* yang terjadi adalah 20,94 MPa dan untuk poros menggunakan bahan AISI 1020 *carbon steel* dengan tegangan *von misses* nya 32,22 MPa, tegangan yang terjadi jauh lebih kecil daripada tegangan izin material yang dipilih untuk setiap komponen. Sehingga disimpulkan bahan yang dipilih

dianggap layak untuk dipakai dalam pembuatan turbin angin.

Daftar Pustaka

Alexander AJ, Holownia BP. *Wind tunnel tests on a Savonius rotor*. J Ind Aerod 1978;3:343–51.

Bayu, A.I. 2012. *Desain Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius Optimalisasi Kecepatan Angin Rendah*. Skripsi Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia. Depok.

Darmawan, Hendra. 2017. *Perancangan Turbin Angin Tipe Savonius L Sumbu Vertikal*. Program Studi Teknik Elektro Universitas Maritim Raja Ali Haji.

Global Wind Atlas, *Wind Power Density of Sulawesi Utara - Indonesia*.

<https://globalwindatlas.info/area/Indonesia/Sulawesi%20Utara/MinahasaUtara>

Diakses tanggal: 23 September 2020

Hau, E. 2013. *Wind Turbines Fundamentals, Technologies,*

Application, Economics Third Translated Edition. Berlin: Springer

Junaidin, Buyung, 2016. *Perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Skala Kecil*. Program Studi Teknik Penerbangan Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto. Jogjakarta.

Prayogo, A. 2019 *Desain Model Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Portabel*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Santoso, A. A. 2018. *Perancangan Mesin Stirling Beta Tenaga Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Simanjuntak, Josua Nugroho. 2021. *Simulasi Pengaruh jumlah dan Panjang Sudu Terhadap Daya Turbin Angin Tipe Poros Horizontal*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol*; Bandung. ITB

Supriyo, 2015. *Perancangan Turbin Straight Blade Darrieus Dengan Tiga Sudu*. Program Studi Teknik Konversi Energi Polteknik Negeri Semarang. Semarang.

Syamza, A.F. 2017. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbin Angin Vertikal Sebagai Energi Alternatif*. Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.

Tielung, Meifri Haryanto Fransisko. 2019. *Simulasi Dan Permodelan Turbin Angin Savonius Dengan Konfigurasi Rotor Tipe L Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi. Manado.