

APLIKASI *PERMANENT MAGNETIC BEARING* DALAM RANCANG BANGUN *VERTICAL WIND TURBIN*

Agus Mukhtar¹⁾, Hisyam Ma'mun²⁾

¹⁾Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Jl. Dr. Cipto – Lontar No. 1 Semarang; Telp.024-8451279. Email: agus.mukhtar@gmail.com

²⁾Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Jl. Dr. Cipto – Lontar No. 1 Semarang; Telp.024-8451279. Email: doendoeldoet@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun turbin angin sumbu vertikal jenis savonius dengan menggunakan *permanent magnetic bearing* dan mengetahui efisiensi putaran turbin untuk daerah pantai, daerah tengah dan pegunungan. Desain gambar turbin dibuat menggunakan Solidworks 2015 dan rancang bangun turbin dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang.

Pengujian awal dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang menggunakan kipas angin sebagai sumber anginnya. Setelah pengujian di laboratorium maka dilakukan pengujian langsung di Gunung Ungaran, Waduk Jatibarang dan Pantai Marina Semarang. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur kecepatan putar poros turbin menggunakan *digital tachometer* dan kecepatan putaran angin menggunakan *Anemometer*.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa besarnya kecepatan putar rotor sebanding dengan kecepatan angin pada arah yang sama untuk daerah pantai, tengah dan pegunungan. Terdapat gaya gesek pada magnet yang diakibatkan besarnya gaya rotor melebihi besarnya gaya tolak magnet bearing.

Kata kunci: *Permanent magnetic bearing, Anemometer, Tachometer, Gaya gesek*

Abstract

The purpose of this research is to design a vertical axis wind turbine for savonius types using permanent magnetic bearing and determine the efficiency of a turbine rotation for coastal, central and mountain regions. Design drawings made using Solidworks 2015 and turbine design is done in the laboratory of Mechanical Engineering University PGRI Semarang.

Initial testing conducted at the Laboratory of Mechanical Engineering University PGRI Semarang using fan as a source of wind. After testing in the laboratory testing is carried out directly on Mount Ungaran, Jatibarang Reservoir and Marina Semarang. Data collection was performed by measuring the rotational speed of the turbine shaft using a digital tachometer and speed of wind turbines using Anemometer.

Research shows that the rotational speed of the rotor is proportional to the wind speed in the same direction to the beach area, mid and mountains. There is a magnetic force caused friction on the rotor exceed the magnitude of the force of magnetic repulsion bearing.

Keywords: *Permanent magnetic bearing, Anemometer, Tachometer, Friction force*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya energi angin di Indonesia masih sangat kecil, padahal Indonesia memiliki potensi angin sebesar 3-6 m/s (ESDM). Beberapa penelitian telah dilakukan dalam rangka memanfaatkan energi angin yang ada di Indonesia yang diantaranya dengan menggunakan teknologi turbin angin (*wind turbin*).

Turbin angin terdiri dari dua jenis yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Dalam pembuatan *wind turbin* digunakan ball bearing sebagai pengait antara rotor dengan sudu. Dalam

penggunaan ball bearing maka terdapat gaya gesek yang dapat mengurangi efisiensi putaran dari turbin tersebut sehingga putaran turbin menjadi lebih rendah. Untuk itu untuk meningkatkan efisiensi putaran turbin maka dapat digunakan gaya angkat magnet permanent sebagai pengganti ball bearing.

2. TUJUAN PENELITIAN

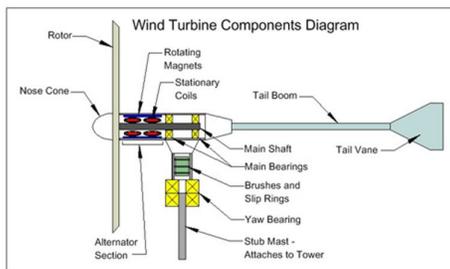
Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun turbin angin sumbu vertikal jenis savonius dengan menggunakan permanent magnetic bearing dan mengetahui efisiensi putaran turbin untuk daerah pantai, daerah tengah dan pegunungan.

3. TURBIN ANGIN

Turbin angin merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi angin yang berupa putaran rotor (Imam Maolana, 2012). Di Indonesia turbin angin telah banyak digunakan sebagai alat untuk menghalau burung disawah ataupun mainan anak yang dipasang diatas rumah. Di beberapa negara, turbin angin juga digunakan sebagai pembangkit listrik sebagaimana yang banyak ditemukan di Belanda.

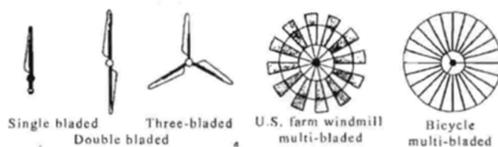
3.1 Jenis Turbin Angin

Turbin 22ngina dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu Horizontal Wind Turbin dan Vertical Wind Turbin. Horizontal Wind Turbin merupakan suatu turbin 22ngina yang menggunakan sumbu sejajar dengan sumbu x (axis)/ horizontal. Turbin ini memiliki putaran horizontal terhadap tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



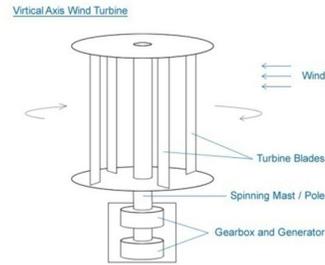
Gambar 1. Horizontal Wind Turbin

Berdasarkan jumlah sudu, maka turbin 22ngina sumbu horizontal memiliki beberapa jenis yaitu turbin 22ngina satu sudu (single blade), turbin 22ngina dua sudu (double blade), turbin 22ngina tiga sudu (three blades) dan turbin 22ngina banyak sudu (multi blade) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis Turbin Angin Sumbu Horizontal Berdasarkan Jumlah Sudu

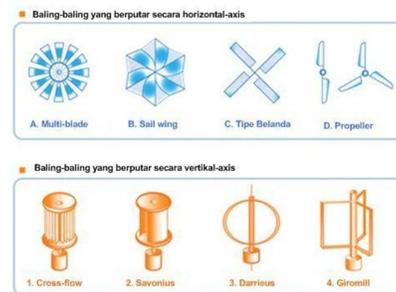
Jenis turbin 22ngina yang kedua adalah vertical wind turbin. Turbin 22ngina sumbu vertical merupakan turbin 22ngina yang sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Turbin 22ngina sumbu vertical banyak digunakan dalam skala kecil karena dapat diletakkan dekat dengan permukaan tanah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Turbin Angin Sumbu Vertical

3.2 Sudu/ Blade

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat berbagai macam bentuk sudu yang sesuai untuk turbin 22ngina. Diantara beberapa bentuk sudu yang telah dibuat untuk turbin 22ngina sumbu horizontal adalah multi blade, sail swing, tipe Belanda dan propeller. Sedangkan pada turbin 22ngina sumbu vertical adalah cross-flow, savonius, darrieus dan giromill seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Beberapa Bentuk Sudu/Blade

3.3 Bearing

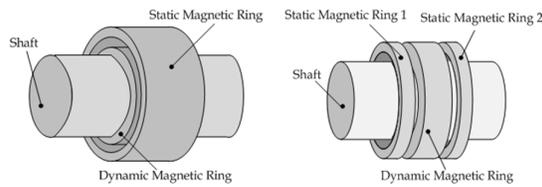
Beberapa jenis bearing yang banyak digunakan dalam dunia industry diantaranya adalah ball bearing, active Magnetic Bearing dan permanent magnetic bearing. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6.a. Active Magnetic Bearing



Gambar 6.b. Ball Bearing



Gambar 6.c. Permanent Magnetic Bearing

3.4 Desain Turbin Angin

Didalam turbin yang bergerak terdapat turbin sebesar

$$E_k = W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Angin yang menggerakkan sudu merupakan udara yang bergerak dan mempunyai aliran massa sebesar

$$m = \rho \cdot A \cdot d \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- m = massa turbin
- A = luas penampang sapuan (m²)
- ρ = density turbin (kg/m³)
- v = kecepatan turbin m/s
- d = jarak sudut turbin (m)

3.5 Daya Angin

Daya merupakan suatu usaha/ kerja per satuan waktu yaitu

$$P = \frac{W}{t} \quad (3)$$

Dimana:

- W = E_k = Usaha (watt)
- t = waktu (s)

Dari rumus turbin tersebut jika jumlah massa turbin yang mengalir dimasukkan kedalam turbin maka diperoleh persamaan:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot d \cdot v^2 \quad (4)$$

Sehingga daya turbin dapat diperoleh:

$$P_{\text{angin}} = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot d \cdot v^2 / t$$

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot d / t$$

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (5)$$

Dimana :

- A = luas penampang sapuan (m²)
- ρ = density turbin sebesar 1,2 kg/m³
- v = kecepatan turbin (m/s²)

Luas penampang sapuan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (6)$$

Dimana:

- π = 3.14
- R = jari-jari sudu (m)

3.6 Daya Turbin Angin (1)

Angin yang bergerak sehingga menggerakkan turbin turbin akan menimbulkan daya turbin turbin sebesar:

$$P_{\text{rotor}} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (7)$$

Dimana: C_p = koefisien daya = 0,59

Daya pada turbin tidak sama dengan daya turbin, hal ini dikarenakan tidak semua daya turbin dapat dirubah menjadi daya turbin yang disebut dengan koefisien daya.

3.7 Gaya Angin

Gaya dapat menyebabkan sebuah objek dengan massa tertentu untuk mengubah kecepatannya. Menurut hukum Newton kedua, gaya bersih yang bekerja pada suatu benda sama dengan (kecepatan pada saat momentumnya berubah terhadap waktu.

$$F = m \cdot a \quad (\text{Newton}) \quad (8)$$

Dimana:

- m = massa benda (kg)
- a = percepatan (m/s²)

Energi merupakan gaya (F) dikalikan dengan jarak, Maka dari persamaan 4 dapat diperoleh

$$E_k = F \cdot d$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot d \cdot v^2 / d$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (9)$$

3.8 Torsi Rotor

Torsi merupakan gaya yang bekerja pada lever dikalikan dengan jarak dari titik tengah lever.

$$T_{\text{rotor}} = F_{\text{rotor}} \cdot R$$

$$T_{\text{rotor}} = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot R \quad (10)$$

Dimana:

- C_T = koefisien torsi

Besarnya nilai koefisien torsi ditentukan dari hubungan antara torsi dengan daya sehingga diperoleh persamaan:

$$C_T = \frac{C_P}{\lambda} \quad (11)$$

Dimana:

- C_P = adalah koefisien daya
- λ = perbandingan kecepatan linear rotor dengan kecepatan 24ngina

Nilai perbandingan kecepatan linear rotor dengan kecepatan 24ngina dapat diperoleh

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (12)$$

Dimana:

- ω = kecepatan sudut rotor (rad/s)
- R = jari-jari rotor
- v = kecepatan 24ngina

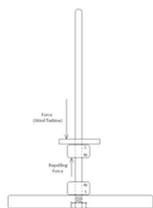
Nilai dari kecepatan sudut rotor dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (13)$$

Dimana n = jumlah putaran rotor

3.9 Magnetic Levitation

Hal yang perlu diperhitungkan dalam perancangan turbin 24ngina sumbu 24ngina menggunakan *Magnetic Levitation* yaitu menentukan berapa besar gaya angkat magnet tersebut yang harus dipakai untuk menahan beban turbin. Dengan memanfaatkan gaya angkat magnet dapat digunakan agar turbin tidak meluncur ke bawah karena adanya berat turbin seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsep *Magnetic Levitation*

Untuk menghitung besarnya gaya magnet dari dua muatan magnet dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (9) \quad (14)$$

Dimana:

- F = Gaya magnet (Newton)
- Q_1 dan Q_2 = muatan kutub magnet
- μ_0 = permeabilitas udara ($4\pi \times 10^{-7}$)
- r = jarak antara dua muatan

Untuk kondisi setimbang seperti pada Gambar 8, maka gaya magnet dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

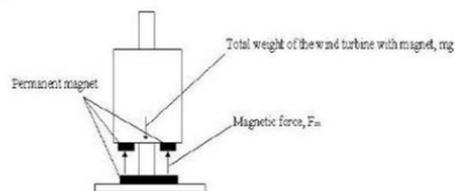
$$\sum F = 0$$

$$m \cdot g - F_m = 0$$

$$F_m = m \cdot g \quad (15)$$

Dimana:

- F_m = gaya magnet (Newton)
- m = total massa dari turbin 24ngina yang akan diangkat
- g = percepatan gravitasi



Gambar 8. Diagram body untuk

Magnetic Levitation object

4. METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di tiga lokasi yang berbeda yaitu di daerah dataran tinggi yaitu >700m dpl, daerah tengah 200m dpl < dataran tengah < 700m dpl, dan dataran rendah 0 - < 200m dpl. Sebelum dilakukan pengujian langsung di 3 daerah tersebut, sebagai pembandingan dilakukan pengambilan data di dalam Laboratorium Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang dengan menggunakan kipas angin sebagai sumber anginnya.

Untuk dataran rendah dalam penelitian ini dilakukan pengujian kincir di daerah Pantai Marina Semarang, dataran tengah diambil di daerah Waduk Jatibarang

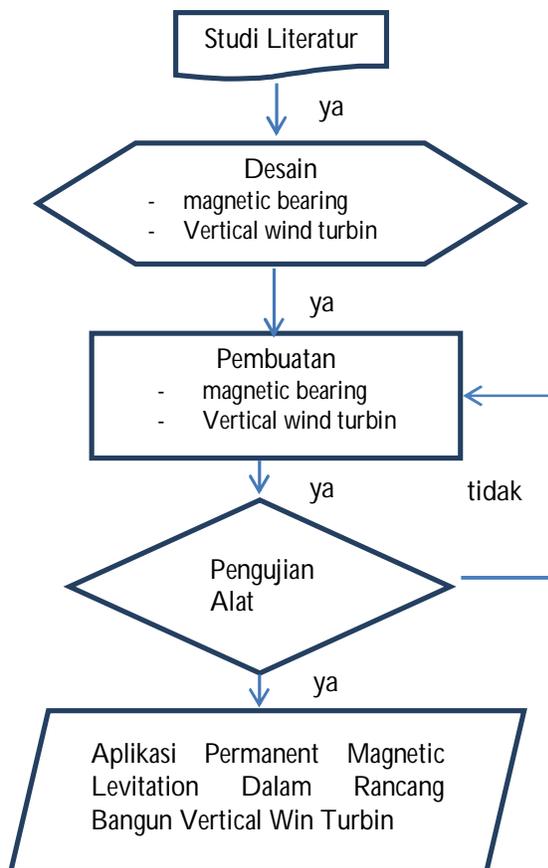
Semarang dengan ketinggian 350m dpl dan dataran tinggi diambil di daerah Gunung Ungaran dengan ketinggian 2050 m dpl pada waktu pagi hari jam 09.00 WIB dan sore hari jam 16.00 WIB selama satu hari.

4.2 Parameter Penelitian

Variable yang diukur dalam penelitian ini adalah kecepatan putar rotor kincir yang diukur dengan menggunakan Tachometer Digital dan kecepatan angin yang diukur menggunakan Anemometer.

4.3 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini bagi dalam beberapa langkah yaitu studi literature, desain Magnetic Bearing dan vertical win turbin dengan software CAD, pembuatan Magnetic Bearing dan vertical win turbin, pengujian alat dan Aplikasi Permanent Magnetic Bearing Dalam Rancang Bangun Vertical Win Turbin Jenis Savonius yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Desain Perhitungan Kincir

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan luas penampang sudu yang akan digunakan dalam pembuatan kincir yaitu dengan menggunakan rumus:

$$A = n \cdot 0.5 \cdot \pi \cdot d \cdot L$$

Dimana:

- n = jumlah sudu = 20 buah
- d = diameter kincir = 40 cm
- L = tinggi kincir = 30 cm
- π = 3.14

sehingga :

$$A = n \cdot 0.5 \cdot \pi \cdot d \cdot L$$

$$A = 20 \times 0.5 \times 3.14 \times 0.45 \times 0.3$$

$$A = 4.239 \text{ m}^2$$

Setelah diketahui luas penampang kincir yang digunakan maka dapat dihitung daya rotor yang bekerja pada turbin sebesar :

$$P = C_p \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dimana:

- kecepatan rata-rata angin (v) daerah pantai sebesar 5.5 m/s (Lampiran 1),
- koefisien factor daya (C_p) adalah 0.59 (Lampiran 2),
- densitas udara ρ sebesar 1.2 kg/m^3

sehingga :

$$P = C_p \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0.59 \times 0.5 \times 1.2 \times 4.239 \times 5.5^3$$

$$P = 249.663 \text{ watt}$$

Nilai kecepatan sudut rotor dapat dihitung dengan menggunakan rumus $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$, dimana n = jumlah putaran rotor tiap menit = asumsi 600 putaran/menit maka dapat diketahui kecepatan sudut rotor sebesar:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3.14 \times 600}{60}$$

$$\omega = 62.8 \text{ rad/sec}$$

Nilai perbandingan kecepatan linear rotor dengan kecepatan angin dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v}$$

dimana:

$$R = \text{Jari-jari rotor} = (\text{asumsi } 1\text{cm})$$

Maka dapat diketahui nilai perbandingan kecepatan linear rotor dengan kecepatan angin sebesar :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v}$$

$$\lambda = \frac{62.8 \times 0.01}{5.5}$$

$$\lambda = 0.11$$

Besarnya nilai koefisien torsi ditentukan dari hubungan antara torsi dengan daya sehingga dapat dihitung :

$$C_T = \frac{C_P}{\lambda}$$

$$C_T = \frac{0.59}{0.11}$$

$$C_T = 5.36$$

Besarnya gaya yang bekerja pada rotor dapat dihitung dengan menggunakan rumus $F_{\text{rotor}} = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$

$$F_{\text{rotor}} = 5.36 \times \frac{1}{2} \times 1.2 \times 4.239 \times 5.5^2$$

$$F_{\text{rotor}} = 412.386 \text{ Newton}$$

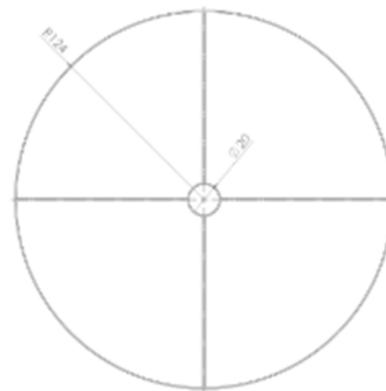
5.2 Desain Blade

Desain gambar dilakukan dengan menggunakan Solidworks 2015. Pertama dibuat gambar blade sesuai ukuran yang telah ditentukan seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Bentuk sudu dan dimensi sudu

Desain selanjutnya adalah membuat rangka untuk menggabungkan masing-masing sudu yang berbentuk lingkaran seperti pada Gambar 11.



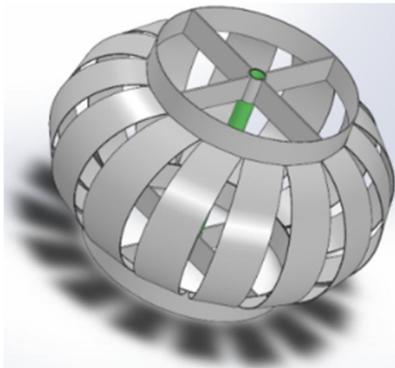
Gambar 11. Lingkaran untuk menaruh sudu dan dimensi lingkaran

Untuk menyatukan antara lingkaran dan sudu maka diperlukan As yang sekaligus berfungsi sebagai rotor turbin seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Rotor dan dimensi rotor

Setelah semua komponen dibuat maka langkah selanjutnya merakit tiap komponen menjadi satu sehingga dapat berbentuk kincir seperti Gambar 13.

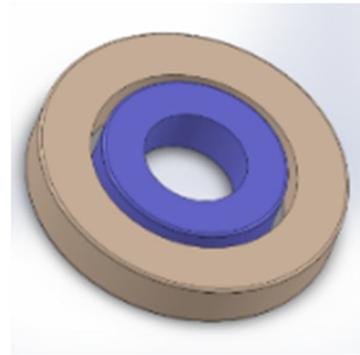


Gambar 13. Kincir turbin angin

5.3 Desain Magnetic Bearing

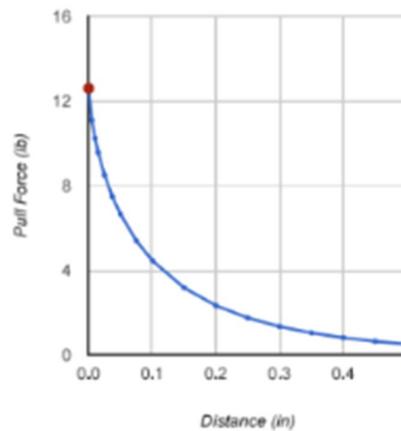
5.3.1 Magnetic Bearing Atas

Desain permanent magnetic bearing ini memanfaatkan dua buah magnet yang terpasang *consentric* yaitu satu magnet berbentuk cincin berada di luar dan satu magnet cincin lainnya berada di dalamnya seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Desain permanent magnetic bearing atas

Berdasarkan grafik 1 pada datasheet Gaya tolak menolak yang bekerja pada bearing tersebut dengan jarak magnet 1 dan 2 adalah 0.5 cm maka besarnya gaya tolak sebesar 2.5lb



Gambar 15. Gaya tolak magnet neodymium N42

5.3.2 Magnetic Bearing Bawah

Desain permanent magnetic bearing ini memanfaatkan *magnetic levitation* dari magnet neodymium. Untuk itu massa dari kincir tersebut harus diperhatikan agar gaya tolak magnet mampu menumpu gaya berat dari kincir tersebut. Dari hasil penimbangan berat kincir dengan bahan aluminium diperoleh berat (m) sebesar 1 Kg. Maka dapat dicari gaya berat kincir adalah :

$$W = m \cdot g$$

Dimana :

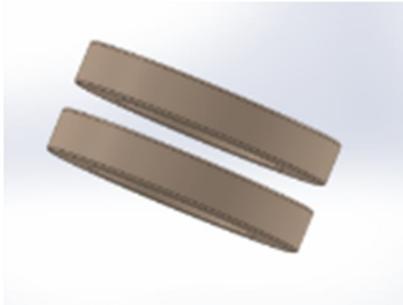
g = percepatan gravitasi = 9.8 ms^{-1}
 sehingga :

$$W = m \cdot g$$

$$W = 1 \times 9.8$$

$$W = 9.8 \text{ Newton}$$

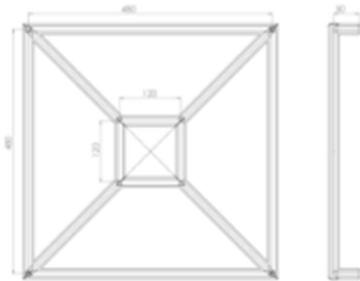
Sehingga berdasarkan grafik 1 dapat diketahui jarak antara kincir dengan magnet penopang dapat diketahui sebesar 0.25 inch. Desain *magnetic levitation* dapat dilihat pada Gambar 16.



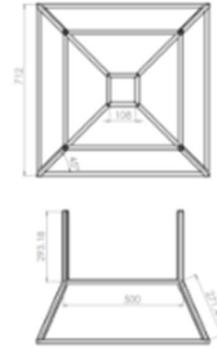
Gambar 16. Desain permanent magnetic bearing bawah

5.4 Desain Rangka

Rangka menggunakan besi kotak berukuran 1cm yang disambungkan dengan menggunakan las listrik sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Didalam rangka terdapat bantalan untuk meletakkan permanent magnetic yang nantinya akan menopang kincir seperti pada Gambar 17.



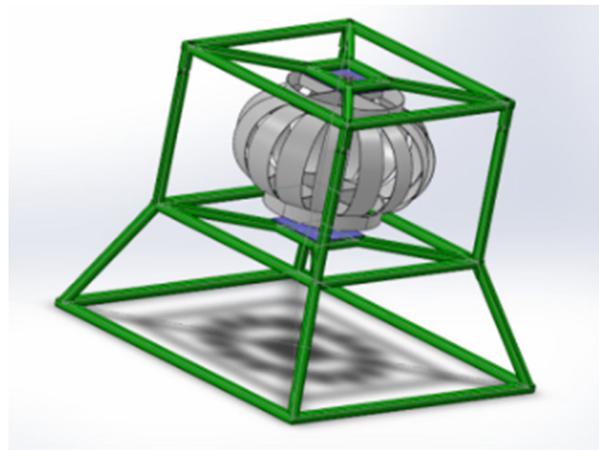
Gambar 17.a. Desain dan dimensi rangka atas



Gambar 17.b Desain dan dimensi rangka bawah

5.5 Desain Jadi Kincir dan Rangka

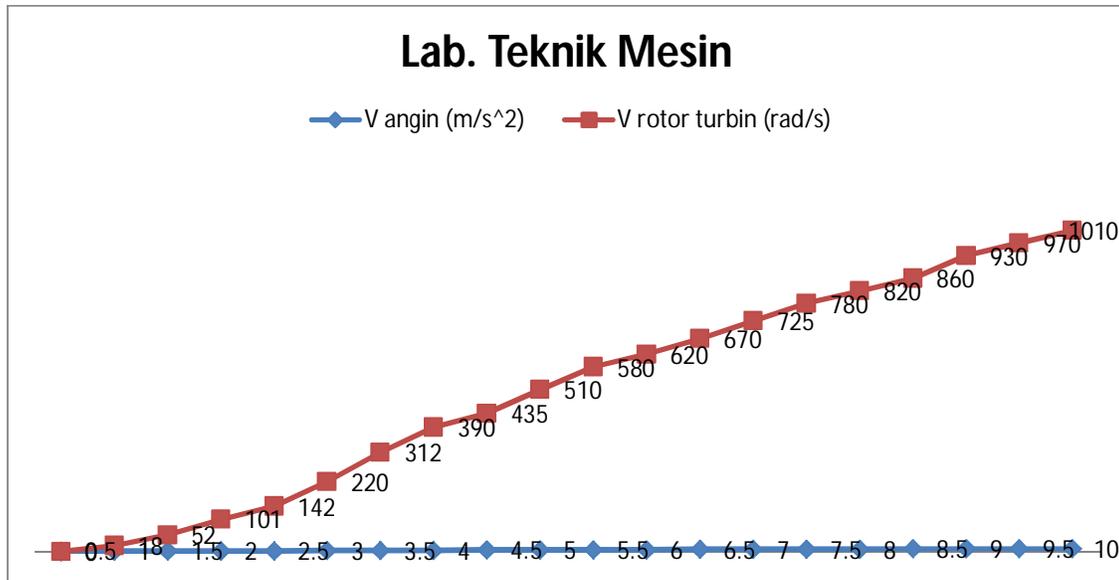
Setelah desain kincir, desain permanent magnetic bearing dan desain rangka selesai, maka langkah selanjutnya adalah menyatukan ketiga desain tersebut menjadi bentuk desain turbin angin seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Desain jadi turbin angin

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

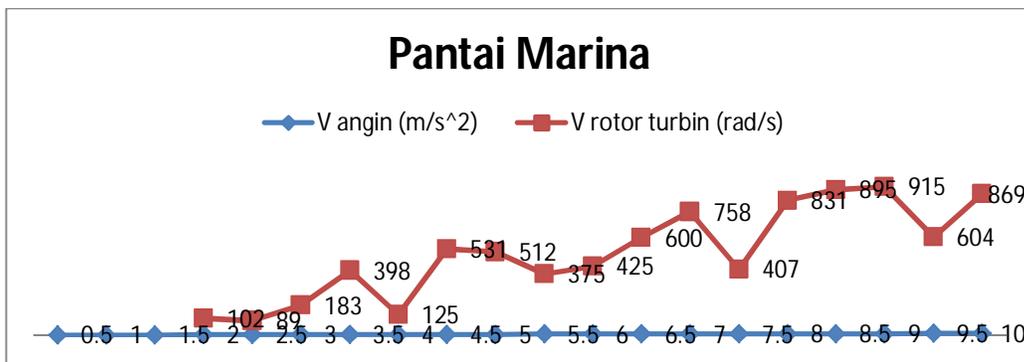
Dari hasil pengujian pertama dilakukan di dalam Laboratorium Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang, diperoleh hasil seperti pada Grafik 2. Pengambilan dilakukan dengan menggunakan kipas angin sebagai sumber anginnya dan anemometer yang dipasang dekat dengan kincir.



Grafik 2. Hasil pengujian kincir di Lab. Teknik Mesin UPGRIS

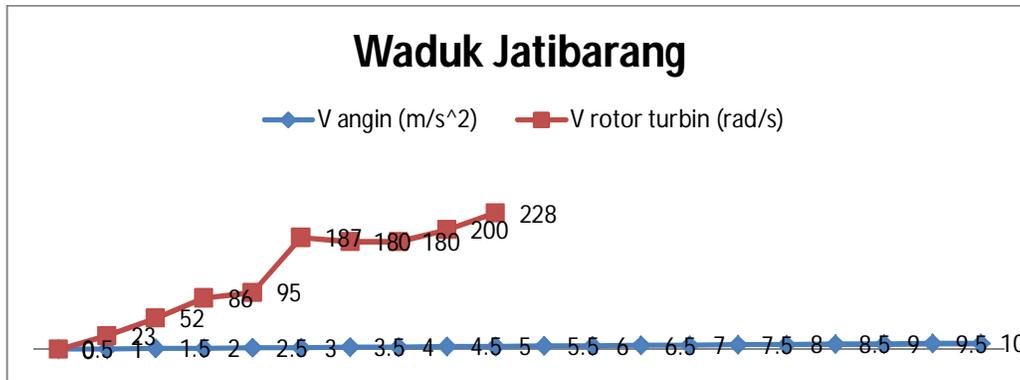
Setelah dilakukan pengujian di Laboratorium, maka daerah tengah dan daerah pegunungan diperoleh data selanjutnya dilakukan pengujian di daerah pantai, sebagai berikut:

6.1 Data Kecepatan Angin dan Kecepatan Rotor di Pantai Marina Semarang



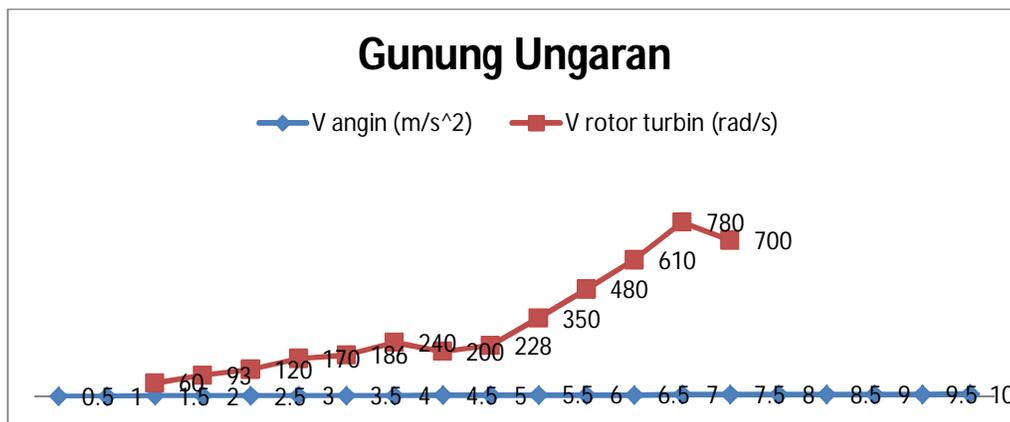
Grafik 3. Hasil pengujian kincir di Pantai Marina Semarang

6.2 Data Kecepatan Angin dan Kecepatan Rotor di Waduk Jatibarang Semarang



Grafik 4. Hasil pengujian kincir di Pantai Waduk Jatibarang Semarang

6.3 Data Kecepatan Angin dan Kecepatan Rotor di Gunung Ungaran Semarang



Grafik 5. Hasil pengujian kincir di Gunung Ungaran

Dari data yang diperoleh di pengujian Laboratorium dapat dilihat bahwa kenaikan kecepatan putaran rotor sebanding dengan kecepatan angin. Hal ini dikarenakan arah angin yang bersumber dari kipas angin berada pada satu arah yang sama dan konstan.

Data pengujian di lapangan yaitu di daerah pantai, daerah sedang dan daerah tinggi terdapat data kecepatan rotor yang tidak sebanding dengan kecepatan angin. Hal ini dikarenakan arah angin untuk kondisi nyata berasal dari berbagai arah dengan kecepatan yang tidak konstan. Begitu pula posisi alat ukur anemometer yang tidak selalu searah dengan arah angin menjadikan pembacaannya tidak sesuai dengan kecepatan angin yang sesungguhnya.

Besarnya Gaya pada rotor (Frotor) yaitu sebesar 92.87lb yang melebihi gaya tolak magnet yaitu sebesar 2lb menyebabkan rotor bergerak menyentuh sisi

magnet penumpu, sehingga menimbulkan gaya gesek yang dapat mengurangi efektivitas putaran turbin.

7. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa simpulan yaitu :

- Besarnya kecepatan rotor sebanding besarnya kecepatan angin baik di daerah pantai, tengah dan pegunungan.
- Rotor akan mulai berputar pada kecepatan angin 1 m/s²
- Kecepatan angin di daerah pantai dan pegunungan lebih besar dibandingkan dengan daerah tengah.
- Besarnya Gaya pada rotor (Frotor) yaitu sebesar 92.87lb yang melebihi gaya tolak magnet yaitu sebesar 2lb menyebabkan rotor bergerak menyentuh sisi magnet penumpu, sehingga menimbulkan gaya gesek yang dapat mengurangi efektivitas putaran turbin

8. REKOMENDASI

Dari penelitian diatas terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki dan diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan desain kincir dan bearing magnet, sehingga dapat menghilangkan gaya gesek.

9. DAFTAR PUSTAKA

Achmad Jaya P, Gunawan Nugroho, Ali Musyafa', 2013. *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade Untuk Memperoleh Daya Maksimum*. Institut Teknologi Surabaya.

Adityo Putranto, Andika Praseto, Arief Zاتمiko, 2011. *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga*. Universitas Diponegoro Semarang.

DESDM, 2005. *Rasio Cadangan Dibanding Produksi Minyak Bumi di Indonesia Dalam Kurun Waktu 18 Tahun*. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral.

Imam Maolana, Agus Sifa, 2012. *Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Drag Untuk Pompa Aerasi Kolam Ikan*. Politeknik Indramayu.

K Gopi Nata, K Pradeep, G Pradeep Kumar, M Sanketh, 2013. *Magnetically Levitated Vertical Axis Wind Turbine*. Gokaraju Rangaraju Institute.

Markus Nanda A, Teguh T, Ricky O P, 2007. *Kincir Angin Sumbu Horisontal Bersudu Banyak*. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.