



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL UNTUK
PENERANGAN RUMAH TANGGA**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Adityo Putranto (LOE 008 007)

Andika Prasetyo (LOE 008 014)

Arief Zاتمiko U. (LOE 008 021)

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
SEMARANG**

2011

LEMBAR PERSETUJUAN

Telah disetujui Laporan Proyek Akhir mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Mesin yang disusun oleh:

Nama : Adityo Putranto
NIM : LOE 008 007
Judul PA : RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL
UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA

Disetujui pada tanggal:

Semarang, 23 November 2011
Dosen Pembimbing,

Ir. Sutomo, Msi
NIP. 195203211987031001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh : Adityo Putranto (LOE 008 007)
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan
Rumah Tangga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

| | | |
|-------------|------------------------------|---------|
| Pembimbing | : Ir. Sutomo, Msi | (.....) |
| Penguji I | : Ir. Sutomo, Msi | (.....) |
| Penguji II | : Bambang Setyoko, ST, M.Eng | (.....) |
| Penguji III | : Drs. Juli Mrihardjono | (.....) |

Semarang, 12 Desember 2011
Ketua PSD III Teknik Mesin,

Ir. Sutomo, Msi
NIP. 195203211987031001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas akhir ini adalah hasil karya kami sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : 1. Adityo Putranto (LOE 008 007)
2. Andika Prasetyo (LOE 008 014)
3. Arief Zatmiko U. (LOE 008 021)

Tanggal : 23 November 2011

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adityo Putranto
NIM : L0E 008 007
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah kami yang berjudul :

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA

Dengan hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihkan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tugas Akhir kami selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 13 Desember 2011
Yang menyatakan,

(Adityo Putranto)

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

MOTO

HIDUP ITU UNTUK DIJALANI DAN DINIKMATI DENGAN PENUH SEMANGAT!!!

Persembahan

Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk :

Kedua orang tuaku tercinta, adik, keluarga besar dan teman-temanku yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan semangat utukku.

Para dosen yang telah member ilmu dan bimbingan dengan sabar.

Teman-teman regular A dan B angkatan 2008 yang senantiasa member semangat...

Dan

Wulan Anjani, Am. Keb yang senantiasa member support dan doa

Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji hanya untuk ALLAH SWT atas semua rahmat dan karunia yang telah dilimpahkanNYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu. Penulis persembahkan karya tulis ini untuk :

1. ALLAH SWT atas rahmat dan karuniaNYA.
2. Bapak dan Ibu serta adik-adikku tercinta yang memberikan kepercayaan dan dukungan secara moril.
3. Bapak Ir. Sutomo, Msi, Selaku Ketua PSD III Teknik Mesin dan selaku dosen pembimbing yang telah membimbing kami selama proses pengerjaan sampai laporan selesai.
4. Bapak Drs. Sutrisno selaku dosen wali.
5. Bapak Ibu Dosen yang telah membimbing dan membekali kami.
6. Bapak Teknisi yang telah membantu dan menyediakan sarana dan prasarana.
7. Teman-teman kelompok Tugas Akhir Arief Zatmiko U dan Andika Prasetyo.
8. Teman-teman yang telah membantu.
9. Keluarga besar Diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Betapapun karya ini masih ada kekurangan tentunya, jika diukur dengan skala keilmuan. Namun kiranya dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 13 Desember 2011
Team Pembimbing

ABSTRAK

Salah satu sebab langkanya sumber daya alam di dunia ini adalah semakin tingginya kebutuhan minyak dan gas (migas). Sementara tingginya migas tidak diimbangi dengan kapasitas produksi. Oleh sebab itu, dibutuhkan sumber daya energi yang terbaru yaitu turbin angin.

Rumusan masalah dalam pembuatan turbin angin ini adalah “Adakah Hubungan Antara Panjang Lengan Dan Ratio Roda Gigi Dengan Daya Yang Dihasilkan Turbin” Rancang bangun turbin angin ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik daya yang dihasilkan dengan variabel bebas yaitu panjang lengan dan ratio roda gigi.

Rancang bangun turbin angin ini menggunakan metode perancangan, perakitan, dan pengujian turbin angin. Pada pengujiannya digunakan 4 buah variabel bebas yang diuji di Desa Jembangan, Kecamatan Batangan, Kabupaten Pati.

Hasil Penelitian rancang bangun ini dengan menggunakan variabel bebas, yaitu pada panjang lengan 84 cm dengan perbandingan roda gigi 28:1 efisiensi maksimal sebesar (55%), panjang lengan 84 cm dengan perbandingan roda gigi 60:1 efisiensi maksimal sebesar (100%), panjang lengan 64 cm dengan perbandingan roda gigi 28:1 efisiensi maksimal sebesar (84,66%), sedangkan panjang lengan 64 cm dengan perbandingan roda gigi 60:1 efisiensi maksimal sebesar (100%). Sehingga disarankan kepada peneliti yang membuat turbin angin untuk menggunakan panjang lengan yang pendek dan ratio roda gigi yang lebih besar agar didapatkan daya yang maksimal.

Kata Kunci : Turbin Angin, Panjang Lengan, Ratio Roda Gigi, Daya

ABSTRACT

Design of Vertical Wind Turbine For The Household Lighting Coastal

One reason for the scarcity of natural resources in the world is increasingly high demand for oil and gas (gas). While high oil and gas are not matched by production capacity. Therefore needed renewable energy from wind turbine.

Formulation of the problem in the manufacture of wind turbines is "Are there Relationship Between Long Arm Wind Turbine And Gear Ratio By The Generated Power Turbine" Design of wind turbine is intended to investigate the characteristics of the power generated by the independent variable the length of the arm and the gear ratio.

Design of wind turbine uses a method of designing, assembling, and testing of wind turbines. In the test used 4 independent variables tested in the Jembangan, Pati District.

The results of this study design by using the independent variables, namely the long arm of 84cm with a 28:1 gear ratio for maximum efficiency (55%), sleeve length 84cm with a 60:1 gear ratio for maximum efficiency (100%), long sleeve 64cm with a 28:1 gear ratio for maximum efficiency (84.66%), whereas the long arm of 64cm with a 60:1 gear ratio for maximum efficiency (100%). So it is recommended to researchers who make wind turbines to use shorter length sleeves and a gear ratio greater efficiency in order to have a maximum power.

Keywords: Wind Turbine, Long Sleeve, Gear Ratio, Power

DAFTAR ISI

| | |
|--|--|
| Halaman Judul | |
| Halaman Persetujuan Dosen Pembimbing | |
| Halaman Pengesahan | |
| Halaman Pernyataan Orisinalitas..... | |
| Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir | |
| Halaman Motto dan Persembahan | |
| Kata Pengantar..... | |
| Abstrak..... | |
| Daftar Isi | |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | |
| 1.2 Alasan Pemilihan Judul | |
| 1.3 Pembatasan Masalah | |
| 1.4 Tujuan Tugas Akhir | |
| 1.5 Manfaat Penelitian | |
| 1.6 Metodologi | |
| 1.7 Sistematika Penyusunan | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Studi Literatur | |
| 2.2 Teori Penunjang | |
| 2.3 Alat Penunjang | |
| BAB III PERENCANAAN, PERHITUNGAN, PEMBUATAN, DAN PERAKITAN | |
| 3.1 Proses Perencanaan | |
| 3.2 Perhitungan Pembuatan Turbin Angin | |
| 3.3. Proses Pembuatan | |
| 3.4. Peroses Perakitan | |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN | |
| 4.1 Desain Pengujian | |
| 4.2 Tempat Pengujian | |
| 4.3 Tahap Penelitian | |
| 4.4 Metode Pengumpulan Data | |
| 4.5 Alat dan Bahan | |
| 4.6 Menentukan Spesifikasi Turbin Angin | |

- 4.7 Metode Perancangan
- 4.8 Desain Perancangan
- 4.9 Perancangan dan Pembuatan Komponen Turbin
- 4.10 Mekanisme Pengujian Turbin Angin

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

- 5.1 Perhitungan Daya Angin Teoritis
- 5.2 Perhitungan Daya Angin Sebenarnya
- 5.3 Perhitungan Efisiensi Energi Listrik yang Dihasilkan Turbin
- 5.4 Perhitungan Efisiensi Sudu Turbin.

BAB VI PENUTUP

- 6.1 Kesimpulan
- 6.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kincir angin pertama kali digunakan untuk membangkitkan listrik dibangun oleh P. La Cour dari Denmark diakhir abad ke-19. Setelah perang dunia I, layar dengan penampang melintang menyerupai sudut propeler pesawat sekarang disebut kincir angin tipe propeler' atau turbin. Eksperimen kincir angin sudut kembar dilakukan di Amerika Serikat tahun 1940, ukurannya sangat besar yang disebut mesin Smith-Putman, karena dirancang oleh Palmer Putman, kapasitasnya 1,25 MW yang dibuat oleh Morgen Smith Company dari York Pennsylvania. Diameter propelernya 175 ft(55m) beratnya 16 ton dan menaranya setinggi 100 ft (34m). Tapi salah satu batang propelernya patah pada tahun 1945. (Astu Pudjanarso, 2006)

Pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Sementara tingginya kebutuhan migas tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan sehingga di hampir semua negara berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan. (DESDM, 2005)

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Salah satu sumber pemasok listrik, PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memang memegang peran penting terhadap ketersediaan listrik terutama di Jawa, Madura, dan Bali.

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah sumber energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan salah satu Negara yang terletak di garis khatulistiwa merupakan faktor, bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah katulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin. Sebaliknya daerah kutub yang dingin, udara menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian

terjadi perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis katulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis katulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 - 7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.

Tabel 1.1 Pengelompokan potensi energi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial.

| KELAS | Kec. Angin (m/s) | Daya Spesifik (W/m ²) | Kapasitas (kW) | Lokasi |
|----------------|------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Skala Kecil | 2,5 - 4,0 | < 75 | s/d 10 | Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi |
| Skala Menengah | 4,0 - 5,0 | 75 - 150 | 10 - 100 | NTB, NTT, Sulsel, Sultra |
| Skala Besar | >5,0 | > 150 | > 100 | Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa |

Sumber: LAPAN, 2005

Pada tahun 2009, kapasitas terpasang dalam sistem konversi angin di seluruh Indonesia mencapai 1,4 MW yang tersebar di Pulau Selayar (Sulawesi Utara), Nusa Penida (Bali), Yogyakarta, dan Bangka Belitung. Melihat potensi wilayah pantai cukup luas, pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia sangat mungkin untuk dikembangkan lebih lanjut (Eko S. Baruna, Pusat data dan Informasi ESDM).

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah penggunaan turbin angin yang banyak digunakan untuk kebutuhan pertanian, seperti untuk menggerakkan pompa untuk keperluan irigasi, serta kebutuhan akan energi yaitu sebagai pembangkit listrik energi angin. Berbagai macam penemuan turbin angin sebagai pembangkit energi alternatif sudah ditemukan sejak lama dengan berbagai macam bentuk desain. Turbin angin tipe *savonius* adalah salah satu macam turbin angin yang ditemukan sebagai pemanfaatan energi angin yang bekerja dengan memanfaatkan kecepatan angin. Bentuk sudu dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan gaya dorong yang akan memutar rotor. Besarnya putaran rotor yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya kecepatan angin.

1.2 Alasan Pemilihan Judul

Pemilihan judul “Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga” didasarkan atas beberapa alasan sebagai berikut:

1. Mengembangkan dan menerapkan ilmu yang telah diperoleh dibangku kuliah, khususnya mengenai konversi energi.

2. Merancang turbin angin tipe vertikal yang memberikan manfaat sebagai sumber energi penerangan tambahan pada rumah tangga.
3. Mengembangkan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) yang didanai Direktorat Jendral Perguruan Tinggi Negeri (DIKTI) dalam bidang Teknologi Terapan (PKM-T).

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis memfokuskan pada kajian dan analisa sebagai berikut:

1. Penulis tidak membahas dan memaparkan tentang perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada kerangka turbin.
2. Penulis tidak membahas tentang perhitungan sistem kelistrikan karena hanya digunakan untuk mengetahui daya keluaran yang diketahui oleh turbin.
3. Penulis tidak membahas tentang perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada sudu turbin.
4. Turbin angin yang digunakan adalah jenis turbin angin vertikal tipe *savonius*.
5. Pengujian turbin angin dilakukan di desa Jembangan kecamatan Batangan kabupaten Pati.

1.4 Tujuan Penelitian

2. Untuk memenuhi persyaratan dalam rangka menyelesaikan studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
3. Menyelesaikan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) yang didanai Direktorat Jendral Perguruan Tinggi Negeri (DIKTI) dalam bidang Teknologi Terapan (PKM-T).
4. Membuat alat yang dapat memanfaatkan energi angin untuk keperluan penerangan dalam skala rumah tangga.
5. Tersedianya listrik di daerah/pulau terpencil terutama untuk listrik rumah tangga.

1.5 Manfaat Penelitian

Pembuatan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin *savonius* dapat digunakan sebagai pensuplai tambahan energi listrik yang kemudian diterapkan pada suatu daerah yang berpotensi memiliki angin yang baik.

Manfaat rancang bangun turbin angin *savonius* ini adalah:

1. Terciptanya sebuah teknologi baru dalam penerapan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang digunakan untuk berbagai keperluan di Indonesia.
2. Memberikan manfaat ekonomis dalam upaya pemenuhan energi nasional.
3. Memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi yang murah dan ramah lingkungan.
4. Memberikan pengalaman kepada mahasiswa dalam membuat dan terlibat dalam proyek ilmiah.

5. Menghemat biaya listrik bulanan akibat penggunaan listrik berlebih dari alat kelistrikan pada rumah tangga.
6. Memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dalam pengembangan turbin angin.

1.6 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Penyusunan Akademis

- a. Metode Bimbingan

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan pengarahan dari Dosen Pembimbing dalam penyusunan sistematik laporan tugas akhir dan bentuk yang baik serta koreksi dan masukan materi selama proses pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

- b. Studi Kepustakaan

Metode ini digunakan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir yang dapat diambil dari literatur dan digunakan sebagai referensi.

2. Metode Pelaksanaan Program

Dalam perancangan alat “Rancang Bangun Turbin Angin vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga”, penulis menerapkan beberapa metode pelaksanaan penelitian, yaitu:

- a. Rancangan Konseptual

Rancangan konseptual adalah suatu rancangan awal yang berupa gambar sketsa dasar perancangan yang didasarkan pada pemahaman konsep-konsep mekanik kincir angin untuk memecahkan masalah. Tahap ini didahului dengan identifikasi masalah yang dihadapi, kemudian menumbuhkan struktur fungsi dari masing-masing blok komponennya dan akhirnya menentukan cara yang paling tepat dan efektif.

- b. Rancangan Tata Letak

Gambar-gambar sketsa rangka dan rangkaian mekanik yang sudah jadi kemudian dianalisa untuk menentukan tata letak yang terbaik agar alat tersebut dapat bekerja dengan efektif.

- c. Rancangan Detail

Tahap pembuatan rancangan detail yang sebelumnya dilakukan optimalisasi konsep dasar, tata letak dan bentuk, penyiapan daftar komponen dan dokumen produksi. Dan terakhir yaitu penyiapan gambar kerja disertai dengan bahan komponen yang sudah diperhitungkan keamanannya berdasarkan kekuatan bahan.

- d. Persiapan Alat dan Bahan

Proses ini dimulai setelah selesainya rancangan detail. Alat-alat dan bahan yang diperlukan disiapkan secara keseluruhan, sehingga proses pembuatan prototipe terlaksana secara sempurna.

e. Pembuatan Alat

Persiapan yang telah direncanakan dilaksanakan sesuai rancangan yang dibuat, kemudian membuat rangka komponen, merakit semua komponen lalu diuji kinerja. Bila dalam proses ini ada suatu kesalahan atau kekurangan pada alat, maka akan dilakukan perbaikan sampai alat ini dapat berfungsi dengan baik. Kemudian langkah terakhir adalah penyempurnaan alat.

f. Pengujian Alat

Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga ini akan diuji pada rumah di pesisir pantai pada waktu dan tempat tertentu.

1.7 Sistematika Penyusunan

Untuk memperoleh gambaran tentang isi dari tugas akhir ini maka akan dikemukakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penulisan Tugas Akhir, metodologi penyusunan dan sistematika penyusunan.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi tentang pendekatan teoritis baik yang bersumber dari acuan pustaka maupun analisis penulis sendiri, dan disertai pertimbangan pemilihan bahan.

BAB III PERENCANAAN, PEMBUATAN, DAN PERAKITAN

Berisi tentang perhitungan, proses awal pembuatan yang kemudian dilanjutkan pada proses perakitan alat, sampai pada perawatannya.

BAB IV METODE PENELITIAN

Berisi tentang tempat, metode dan tujuan pengujian, alat bantu uji, prosedur pengujian.

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang perhitungan yang berkaitan dengan objek setelah melaksanakan pengujian.

BAB VI PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian terkait ilmu yang menyangkut tentang turbin angin, antara lain:

Bambang setioko (2007), Kenaikan harga BBM mendorong masyarakat untuk mencari alternative baru yang murah dan mudah didapat untuk mendapatkan tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga angin merupakan tenaga gerak yang murah dan mudah didapat, sehingga hal ini dijadikan penelitian dan dimanfaatkan untuk tenaga penggerak generator listrik sehingga menghasilkan arus listrik. Teknik pengolahan dan analisis data dalam pembuatan turbin angin ini dibuat dengan mengambil data jumlah kipas, besarnya sudut, kecepatan angin, dan jumlah putaran. Analisis regresi digunakan sebagai metode untuk menyusun hubungan fungsional antara dua variable yaitu variable bebas dan tak bebas. Dengan konstruksi tinggi tiang 9 meter, dimensi kipas terdiri dari empat daun dengan diameter 3 m, lebar 1,30 m dan tinggi 2,50 m yang terbuat dari lembaran alumunium. Putaran kipas dipercepat 20 kali (1:20) untuk memutar dynamo ampere dan dapat mengisi strum accu sehingga accu mampu memutar dynamo DC dan dynamo AC ikut berputar menghasilkan listrik. Arus listrik yang dihasilkan sekitar ± 1500 watt untuk waktu ± 30 menit

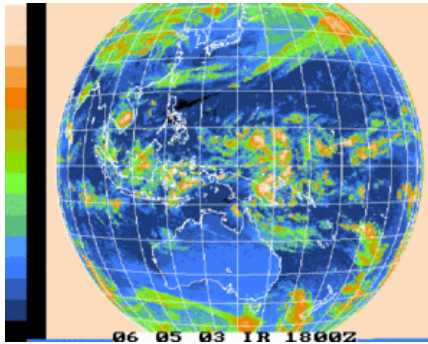
Sulistyo atmadi (2008), mewakili Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN) meneliti tentang pengembangan metode parameter rotor turbin angin sumbu vertikal tipe savonius. Penelitian ini dikembangkan dengan metode penentuan parameter awal rotor turbin angin sumbu vertical tipe savonius. Dengan daya dan kecepatan angin tertentu, maka kisaran luas, diameter, tinggi, dan kecepatan putar rotor dapat diketahui. Luas rotor sangat dipengaruhi oleh koefisien daya.

Kecepatan putaran rotor rancangan dapat dihitung setelah diameter rotor dihitung dan *Tip Speed Ratio* ditentukan. Penelitian ini menggunakan ratio diameter terhadap tinggi masing-masing 0,1; 0,8; 0,8. Hasilnya berupa table daya, kecepatan angin, luas rotor, diameter, tinggi serta kecepatan putar dapat digunakan sebagai rancangan awal turbin angin Savonius bagi para pemula karena turbin angin ini dapat dibuat secara sederhana.

2.2 Teori Penunjang

2.2.1 Definisi Energi Angin

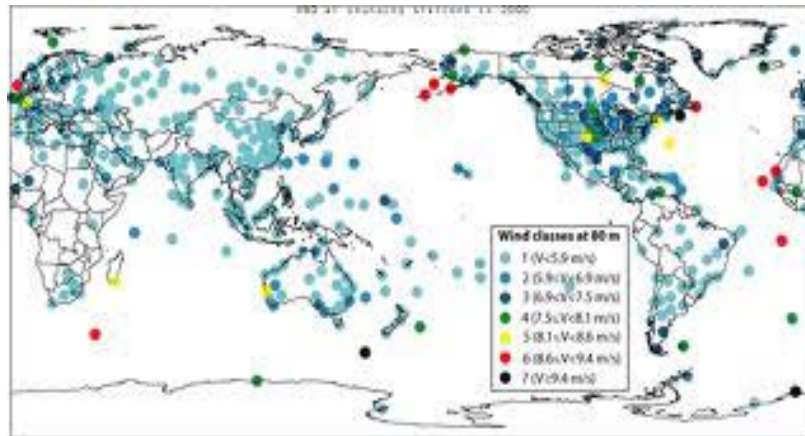
Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.



Gambar 2.1 Foto satelit gerakan angin. (Wikipedia, 2010)

Tenaga angin menunjuk kepada pengumpulan energi yang berguna dari angin. Pada tahun 2005, kapasitas energi generator tenaga angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% pengguna listrik dunia. Meskipun masih berupa sumber energi listrik minor dikebanyakan Negara, penghasil tenaga angin lebih dari empat kali lipat antara 1999 dan 2005.

Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Pada kincir angin energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik untuk melakukan kerja fisik, seperti menggiling atau memompa air. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak habis-habis, tersebar luas dan bersih.



Gambar 2.2 Peta Energi Angin di Indonesia
<http://energialternatif.wordpress.com>

2.2.2 Asal Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ Kilowatt jam energi ke Bumi setiap jam. dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 1.017$ watt.

Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi.

Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi.

Daerah panas ditunjukkan dengan warna merah, oranye, dan kuning pada gambar inframerah dari temperature permukaan laut yang diambil dari satelit NOAA-7 pada juli 1984. Udara panas lebih ringan daripada udara dingin dan akan naik ke atas sampai mencapai ketinggian sekitar 10 kilometer dan akan tersebar kearah utara dan selatan.

Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba dikutub utara dan kutub selatan, turun ke permukaan lalu kembali ke khatulistiwa. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbaharui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya menghasilkan listrik.

Tabel 2.1 Kondisi Angin

| kelas angin | kecepatan angin m/d | kecepatan angin km/jam | Kecepatan angin knot/jam |
|-------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.3~1.5 | 1~5.4 | 0.58 ~ 2.92 |
| 2 | 1.6~3.3 | 5.5~11.9 | 3.11 ~ 6.42 |
| 3 | 3.4~5.4 | 12.0~19.5 | 6.61 ~ 10.5 |
| 4 | 5.5~7.9 | 19.6~28.5 | 10.7 ~ 15.4 |
| 5 | 8.0~10.7 | 28.6~38.5 | 15.6 ~ 20.8 |
| 6 | 10.8~13.8 | 38.6~49.7 | 21 ~ 26.8 |
| 7 | 13.9~17.1 | 49.8~61.5 | 2.7 ~ 33.3 |
| 8 | 17.2~20.7 | 61.6~74.5 | 33.5 ~ 40.3 |
| 9 | 20.8~24.4 | 74.6~87.9 | 40.5 ~ 47.5 |
| 10 | 24.5~28.4 | 88.0~102.3 | 47.7 ~ 55.3 |
| 11 | 28.5~32.6 | 102.4~117.0 | 55.4 ~ 63.4 |
| 12 | >32.6 | >118 | 63.4 |

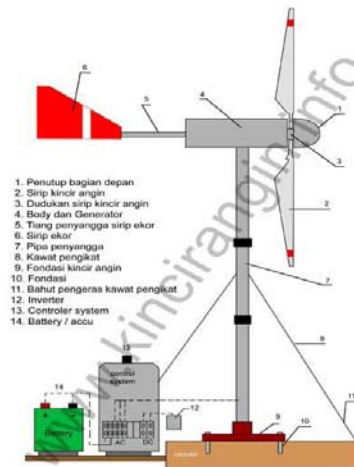
Sumber : <http://www.kincirangin.info/pdf/kondisi-angin.pdf>

2.2.3 Definisi Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan Negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *windmill*.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Co: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Co: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa kincir angin adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Sketsa Sederhaana Kincir Angin
[\(http://renewableenergyindonesia.wordpress.com/2008/03/05/\)](http://renewableenergyindonesia.wordpress.com/2008/03/05/)

2.2.4 Jenis Turbin Angin

2.2.4.1 Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros [rotor](#) utama dan [generator listrik](#) di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah [baling-baling angin](#) (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah [servo motor](#). Sebagian besar memiliki sebuah [gearbox](#) yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan [turbulensi](#) di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 2.4 Turbin angin sumbu horizontal

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

1. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki [geseran angin](#) (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
3. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator.
4. TASH yang tinggi bisa memengaruhi [radar](#) airport.
5. Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *landskape*.
6. Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

2.2.4.2 [Turbin angin sumbu vertikal](#)

[Turbin angin sumbu vertikal](#)/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. [Drag](#) (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak

atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.



Gambar 2.5 Varian turbin angin sumbu vertikal

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV):

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- c. TASV memiliki sudut *airfoil* (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- d. Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- e. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)
- f. TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- g. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- h. TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).
- i. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- j. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV):

- Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena *drag* tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

2.2.5 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan.

Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 (Nm) \quad (2.1)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 81)

Dimana:

m : massa udara yang bergerak (kg)

v : kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor.

Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan:

$$V = vA \quad (2.2)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 81)

Dimana:

V : laju volume (m^3/s)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luas area sapuan rotor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara p sebagai:

$$m = \rho Av \quad (2.3)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.4)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

Dimana:

P : daya mekanik (W)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : 1,2 kg/m³)

Karena setiap jenis turbin angin mempunyai karakteristik aerodinamika yang unik, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR untuk setiap jenis turbin angin juga berbeda-beda. Dengan memasukkan faktor daya C_p , sebagaimana dijelaskan sebelumnya, gaya mekanik aktual yang dapat diperoleh dari energi kinetik pada angin menjadi:

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.5)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 98)

Parameter utama yang mempengaruhi C_p adalah: jumlah bilah sudu, panjang *chord* bilah sudu, karakteristik aerodinamis bilah sudu, NREL menambahkan kemampuan sebuah SKEA juga dibatasi oleh rugi-rugi pada generator dan sistem transmisi.

2.2.6 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. *Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (2.6)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 94)

Dengan:

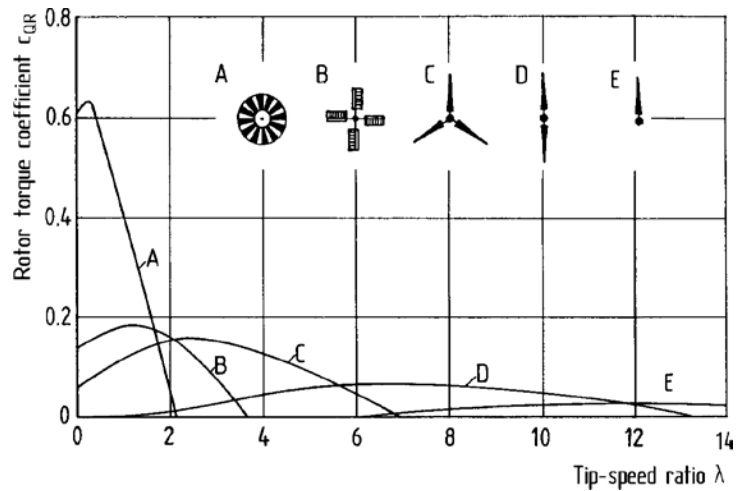
λ = *tip speed ratio*

D = diameter rotor (m)

n = putaran rotor (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

Grafik berikut menunjukkan variasi nilai *tip speed ratio* dan koefisien daya cp untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 2.6 Torsi rotor untuk berbagai jenis turbin angin

2.2.7 Pemilihan Sistem Transmisi Daya

Ketika putaran rotor dan daya motor sudah ditentukan, maka generator yang digunakan dipilih. Generator yang tersedia di pasaran memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Setiap generator memiliki kondisi kerja masing-masing.

Untuk meneruskan daya yang dihasilkan rotor ke generator, perlu sistem transmisi yang konfigurasinya disesuaikan dengan kebutuhan daya yang ditransmisikan, putaran, dan konfigurasi turbin angin. Sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok menurut rasio putaran masukan dan keluarannya yaitu:

1. *Direct drive*
2. *Speed Reducing*
3. *Speed Increasing*

Direct Drive yang dimaksud adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling. Yang penting dalam sistem transmisi *direct drive* adalah tidak ada penurunan atau peningkatan putaran. Sistem transmisi *speed reducing* adalah sistem transmisi daya dengan penurunan putaran, putaran keluar lebih rendah daripada putaran masuk. Sistem transmisi ini digunakan untuk meningkatkan momen gaya. Yang terakhir adalah sistem transmisi *speed increasing*, yaitu putaran keluar lebih tinggi dari putaran masuk, terjadi kenaikan putaran dengan konsekuensi momen gaya keluar menjadi lebih kecil.

Pada penerapannya, sistem transmisi *direct drive* hanya menggunakan poros dan kopling jika diperlukan. Konstruksi *direct drive* lebih sederhana dibandingkan yang lainnya dan tidak memerlukan banyak ruang. Sedangkan untuk penerapan sistem transmisi *speed reducing* dan *speed increasing* diperlukan mekanisme pengubah putaran seperti pasangan roda gigi, atau sabuk dan puli.

Turbin angin yang putaran rotornya berada dalam selang putaran kerja generator, maka transmisi daya yang digunakan adalah *direct drive*, rotor menggerakkan generator secara langsung. Sedangkan transmisi *speed increasing* karena pada umumnya putaran yang diperlukan generator lebih tinggi daripada putaran rotor.

2.3 Alat Penunjang

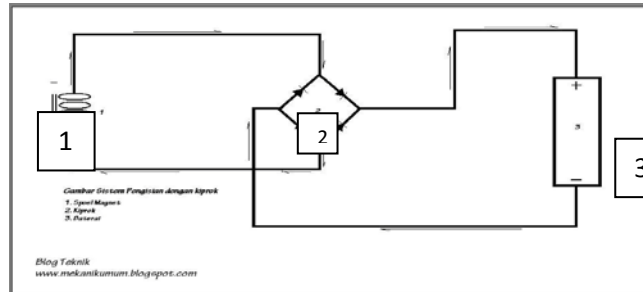
Generator adalah peralatan elektronika mekanik yang mengubah besaran energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Kebanyakan Generator menggunakan *rotating magnetic field*, akan tetapi adakalanya alternator linear digunakan. Pada prinsipnya, setiap generator AC dapat disebut sebagai alternator, akan tetapi istilah tersebut sering disama artikan dengan mesin putaran kecil yang dikendalikan oleh automotif atau mesin pembakaran internal. Salah satu contoh, alternator digunakan sebagai mesin pembangkit listrik arus bolak-balik dengan tenaga turbin uap yang sering dikenal sebagai turbo-alternator.

Generator menimbulkan listrik sama prinsipnya dengan generator DC, yaitu saat medan magnet di sekitar konduktor berubah, timbul arus didalam konduktor. Magnet yang berputar yang disebut juga sebagai rotor berputar di dalam suatu rangkaian tetap konduktor yang terbuat dari inti besi berkumparan (inti besi yang dililiti oleh konduktor), yang disebut dengan stator. Medan magnet terpotong secara tepat oleh konduktor, menimbulkan arus listrik, dan yang menyebabkan rotor berputar yaitu berupa masukan mekanik. Medan magnet berputar menginduksi tegangan AC pada lilitan stator. Seringkali terdapat delapan buah lilitan stator. Medan magnet berputar dapat dihasilkan melalui induksi (pada alternator tanpa sikat), melalui magnet permanen (pada mesin yang berukuran kecil). Medan magnet berputar barangkali dapat dihasilkan pula melalui medan lilitan tetap dengan kutub yang berputar pada rotornya.. Mesin dengan magnet permanen mencegah kehilangan daya ketika arus mengalir pada rotor untuk menghasilkan medan magnet, akan tetapi penggunaan magnet tersebut terbatas pada ukuran, dan berdasarkan pada biaya material magnet. Sejak medan magnet permanen konstan, terminal tegangan bervariasi langsung terhadap kecepatan dari generator. Generator AC tanpa sikat merupakan mesin yang besar jika dibandingkan dengan mesin berputar yang digunakan pada umumnya.



Gambar 2.7 Dinamo motor

Rangkaian sistem pengisian pada Dinamo motor:
Ke tiga kabel (soket) dihubungkan dengan kiprok di sepanjang rangkaian kelistrikan agar tegangan yang dihasilkan 12Volt.



Gambar 2.8 Rangkaian pengisian pada alternator

“1” adalah Spul magnet yang menghasilkan arus AC.

“2” adalah Kiprok yang digunakan untuk menstabilkan tegangan menjadi 12 Volt DC.

“3” adalah batterai yang digunakan menyimpan daya atau langsung ke lampu.

2.3.1 Bagian-Bagian Dinamo Motor



Gambar 2.9 Bagian dalam Dinamo Motor

2.3.1.1 Spul

Spul adalah rangkaian kumparan yang digunakan untuk menimbulkan medan magnet, jumlah kumparan pada stator ini adalah 8 buah.



Gambar 2.10 Carbon brus

2.3.1.2 Regulator (Kiprox)

Regulator adalah otak dari sistem pengisian. Regulator mengatur keduanya baik itu voltase aki dan voltase stator, dan tergantung dari kecepatan putaran mesin, regulator akan mengatur kemampuan kumparan rotor untuk menghasilkan output alternator.



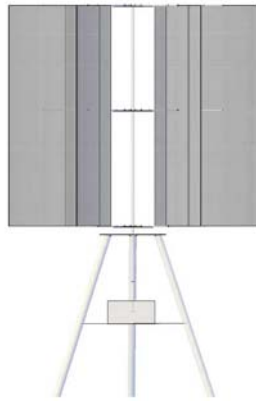
Gambar 2.11 IC Regulator (Kiprok)

BAB III PERENCANAAN, PEMBUATAN, DAN PERAKITAN

Dalam proses perencanaan dan pembuatan turbin angin tipe vertikal, untuk menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sebaiknya didasarkan dari beberapa faktor-faktor yang mendukung efektifitas daya yang dihasilkan turbin tersebut, yaitu:

- a. Dimensi Turbin (Panjang dan Lebar Sudu)
- b. Kekuatan Bahan Poros
- c. Bantalan Poros
- d. Roda Gigi
- e. Generator

Dari beberapa faktor yang harus dipertimbangkan diatas, hal yang mendasari dalam pembuatan turbin angin ini adalah besarnya kecepatan angin. Untuk pembuatan turbinnya dengan gambar kerja sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain Turbin

Keterangan:

1. Dimensi Turbin
2. Kekuatan Poros
3. Bantalan poros
4. Roda Gigi
5. Generator

3.1 Proses Perencanaan

3.1.1 Dimensi Turbin

Untuk mendesain sebuah turbin, turbin harus memiliki jenis dan dimensi, untuk menentukan jenis turbin yang digunakan dihitung berdasarkan kecepatan angin pada kondisi sekitar.

3.1.1.1 Menentukan Dimensi Turbin Angin

Dimensi dari turbin angin dapat dicari dengan mengasumsikan daya yang dihasilkan dengan kecepatan angin yang terjadi disekitar kita. Dengan rumus daya (P) pada turbin angin sebagai berikut:

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3.1)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 94)

3.1.1.2 Menentukan *Rotor Power Coefficient* (C_{pr})

Rotor Power Coefficient, koefisien daya akan dihitung dengan menggunakan teori *strip* untuk rasio kecepatan rotor tertentu. Ini memberikan koefisien daya rotor untuk kecepatan angin yang berbeda pada

kecepatan rotor tetap atau untuk kecepatan rotor yang berbeda pada satu kecepatan angin.

$$C_{pr} = \lambda C_q \tag{3.2}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 99)

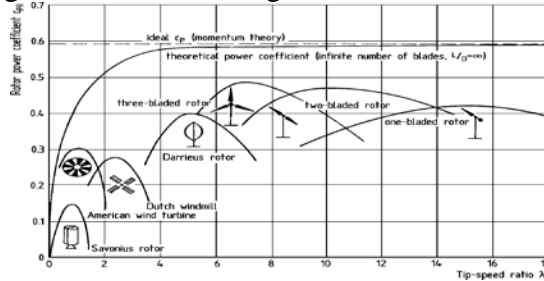
3.1.1.3 Menentukan Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor.

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \tag{3.3}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 94)

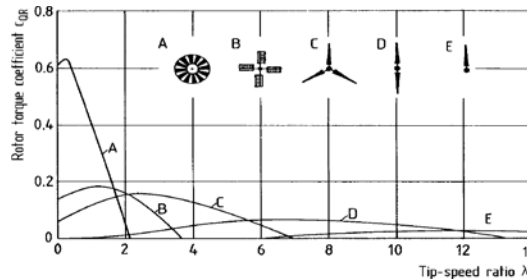
Grafik berikut menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya (Cp) untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Cpr dan TSR

3.1.1.4 Menentukan Rotor Torque Coefficient (Cq)

Rotor Torque Coefficient (Cq) adalah torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin yang digunakan untuk menghitung Rotor Power Coefficient (Cpr). Rotor Torque Coefficient (Cq) dapat dicari dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3.3 Koefisien Rotor Dari Beberapa Turbin Angin

3.1.2 Kekuatan Poros Turbin

Elemen mesin ini adalah bagian yang sangat penting, selain poros berfungsi sebagai tempat kedudukan sudu, poros juga berfungsi sebagai alat penghubung utama terjadinya perubahan energi, dari energi kinetik menjadi energi listrik yang sebelumnya melalui generator.

Berdasarkan jenis turbin ini, maka poros dipasang secara vertikal sehingga mendapat beban puntir lebih besar.

Perhitungan diameter poros:

$$Pd = f_c P \quad (3.4)$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n} \quad (3.5)$$

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (3.6)$$

$$d_s = \left(\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right)^{1/3} \quad (3.7)$$

(Sularso, Kiyokatsu 1983:7)

3.1.3 Bantalan Poros Turbin

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros beban, sehingga putaran atau gerak bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan berumur panjang. (Sularso, 1983)

Perhitungan perencanaan bantalan:

$$P = \frac{W}{ld} \quad (3.8)$$

$$\frac{l}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{5,1} \frac{\sigma_a}{Pa}} \quad (3.9)$$

$$V = \pi d \frac{n}{60 \times 1000} \quad (3.10)$$

(Sularso, Kiyokatsu 1983:110)

3.1.4 Roda Gigi

Guna mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat maka penerusan daya menggunakan roda gigi. Untuk menaikkan putaran dari poros turbin maka digunakan roda gigi lurus (*spur gear*).

3.1.4.1 Perencanaan Pasangan Roda Gigi

Dari hasil perencanaan angka transmisi dapat ditentukan putaran roda gigi *pinion*, bila putaran kurang dari 3600 Rpm, maka berlaku persamaan:

$$rv = \frac{N_{tp}}{N_{tg}} \quad (3.11)$$

(Machine Design 2005:525)

3.1.4.2 Penentuan Sudut Tekan (θ)

Sudut tekan (θ) yang umum digunakan adalah sebesar 20° atau 25° . Setelah ditentukan jumlah gigi dan sudut tekan (θ). Dapat ditentukan faktor *lewis* (Y_p dan Y_g) yang dapat dilihat pada tabel (*Values for Lewis Form Factor*).

3.1.4.3 Perhitungan Torsi

Besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = F_t \frac{d_p}{2} \quad (3.12)$$

(Machine Design 2005:542)

Sehingga dari harga-harga tersebut bila disubstitusikan ke dalam persamaan:

$$T = \frac{hp \times 63.000}{n} \quad (3.13)$$

(Machine Design 2005:542)

3.1.4.4 Penentuan Diameter *Pitch Line*

Dengan mengasumsikan nilai P, diameter *pitch line* dapat ditentukan dari persamaan:

$$P = \frac{Nt}{d} \quad (3.14)$$

(Machine Design 2005:521)

3.1.4.5 Perhitungan Kecepatan Pitch Line

Setelah mendapatkan nilai diameter *pitch line*, kecepatan *pitch line* dapat dihitung dari persamaan:

$$Vp = \frac{\pi d_p n}{12} \quad (3.15)$$

(Machine Design 2005:542)

3.1.4.6 Perhitungan Gaya-gaya Yang bekerja

Besarnya gaya dinamik dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_d = \frac{600 + V_p}{600} F_t \text{ untuk } 0 < V_p < 2000 \text{ ft/min} \quad (3.16)$$

$$F_d = \frac{1200 + V_p}{1200} F_t \text{ untuk } 2000 < V_p < 4000 \text{ ft/min} \quad (3.17)$$

$$F_d = \frac{78 + V_p}{78} F_t \text{ untuk } V_p > 4000 \text{ ft/min} \quad (3.18)$$

(Machine Design 2005:582)

Dengan melihat konsentrasi tegangan, diperoleh persamaan gaya bending:

$$F_b = S b \frac{Y}{p} \quad (3.19)$$

(Machine Design 2005:551)

Sedangkan beban keausan ijin dapat dicari dari persamaan:

$$F_d = d_p b Q K \quad (3.20)$$

$$Q = \frac{2 Nt_g}{Nt_p + Nt_g} \quad (3.21)$$

Sedangkan untuk syarat aman adalah $\frac{9}{p} \leq B \leq \frac{13}{p}$ (3.22)

(Machine Design 2005:584)

3.1.4.7 Perhitungan Module (*m*)

Module adalah perbandingan antara diameter pitch dengan jumlah roda gigi.

$$m = \frac{D}{T} \quad (3.23)$$

(R.S. Khurmi 1982:987)

3.2 Perhitungan Pembuatan Turbin Angin

3.2.1 Perhitungan Luasan Sudu Turbin

Diketahui:

$$P = 200 \text{ watt}$$

$$v = 6,3 \text{ m/s}$$

$$n = 40 \text{ rpm (asumsi)}$$

Daya pada turbin:

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho A v^3$$

3.2.1.1 Menentukan Tip Speed Ratio (TSR)

Diketahui:

$$D = 1,84 \text{ m}$$

$$n = 40 \text{ rpm (asumsi)}$$

$$v = 6,3 \text{ m/s (berdasarkan data pengukuran)}$$

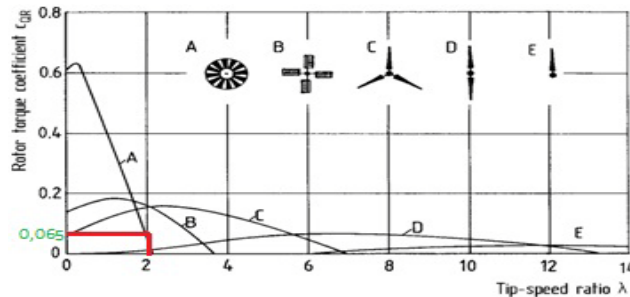
Tip Speed Ratio (λ)

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 1,84 \times 40}{60 \times 6,3}$$

$$\lambda = 0,61$$

3.2.1.2 Menentukan Rotor Torque Coefficient (C_{qr})



Gambar 3.4 Koefisien Rotor Dari Beberapa Turbin Angin

Berdasarkan dari gambar hubungan koefisien rotor dari beberapa turbin angin didapat untuk rotor turbin jenis *savonius* pada daerah A jika

$$\lambda_1 = 2 \text{ maka } C_{q1} = 0,065. \text{ Jadi jika } \lambda_2 = 0,61, \text{ maka } C_{q2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \times 0,065 = 0,21$$

3.2.1.3 Menentukan Rotor Power Coefficient (C_{pr})

Diketahui:

$$\lambda = 0,61 \quad C_q = 0,21 \quad C_{pr} = \lambda \times C_{qr} \quad C_{pr} = 0,61 \times 0,21 \quad C_{pr} = 0,13$$

Luasan pada sudu turbin:

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho V^3 A$$

$$A = \frac{2 P}{C_{pr} \rho v^3}$$

$$A = \frac{2 \times 200}{0,13 \times 1,15 \times 6,3^3}$$

$$A = 10,7 \text{ m}^2$$

Dengan didapatkannya luas penampang 6 buah sudu (A) sebesar $10,7 \text{ m}^2$, maka dengan menggunakan 6 buah sudu diperoleh dimensi sudu sebagai berikut:

1. Luas Selimut Tabung

Diketahui:

Tinggi sudu (L) = 2 meter

Jumlah sudu = 6 Buah

Luas 1 buah sudu = $\frac{10,7}{6} = 1,78 \text{ m}^2$

$$A = 6 \frac{1}{2} \pi d L$$

$$d = \frac{2A}{6\pi L}$$

$$d = \frac{2 \times 10,7}{6 \times 3,14 \times 2}$$

$$d = 0,56 \text{ meter}$$

Jadi dimensi jenis turbin yang digunakan adalah jenis turbin angin tipe *savonius* dengan dimensi D x L yaitu 0,56 x 2 meter.

2. Luas Panjang Lengan (A2)

Dengan panjang lengan $84\text{cm} + \frac{1}{2}d = 84\text{cm} + \frac{1}{2} \times 56\text{cm} = 112\text{cm} = 1,12\text{m}$, maka luasan yang didapat adalah sebagai berikut:

$$L = P \times l \quad L = 1,12 \times 2 \quad L = 2,24 \text{ m}^2$$

3. Ratio Perbandingan Luas 1

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = \frac{A1}{A2}$$

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = \frac{1,75}{2,24}$$

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = 0,78$$

4. Luas Panjang Lengan (A3)

Dengan panjang lengan $64\text{cm} + \frac{1}{2}d = 64 + \frac{1}{2}56\text{cm} = 92\text{cm} = 0,92\text{m}$, maka luasan yang didapat adalah sebagai berikut:

$$L = P \times l \quad L = 0,92 \times 2 \quad L = 1,84 \text{ m}^2$$

5. Ratio Perbandingan Luas 2

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = \frac{A1}{A3}$$

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = \frac{1,75}{1,84}$$

$$\text{Ratio Perbandingan Luas} = 0,95$$

3.2.2 Perhitungan Kekuatan Poros

Diameter Poros

Diketahui:

Perhitungan poros dengan daya 200 watt, putaran poros turbin 40 rpm, dengan faktor koreksi 2,0. Asumsi bahan diambil baja batang St 60.

P = 200 watt = 0,2 kW

n = 40 rpm

$$f_c = 2,0$$

$$St\ 60 = 60\text{ kg/mm}^2$$

Perhitungan diameter poros:

$$Pd = f_c P$$

$$Pd = 2,0 (0,2)$$

$$Pd = 0,4$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,4}{40}$$

$$T = 9740\text{ kgmm}$$

Bahan St 60 $\sigma_b = 60\text{ kg/mm}^2$; $S_{f1} = 6,0$; $S_{f2} = 2,0$

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_a = \frac{60}{6,0 \times 2,0}$$

$$\tau_a = 5\text{ kg/mm}^2$$

$$C_b = 2,0; K_t = 1,5$$

$$d_s = \left(\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right)^{1/3}$$

$$d_s = \left(\frac{5,1}{4,4} \times 1,5 \times 2,0 \times 9740 \right)^{1/3}$$

$$d_s = 26,21\text{ mm}$$

Jadi diameter poros yang digunakan adalah 26,21 mm.

3.2.3 Perhitungan Bantalan Poros

Diketahui:

$$d_s = 26,21\text{ mm}$$

$$m_{\text{rotor turbin}} = 24\text{ kg}$$

Bahan poros besi St 60 $\sigma_b = 60\text{ kg/mm}^2$; $S_{f1} = 6,0$; $S_{f2} = 2,0$

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_a = \frac{60}{6,0 \times 2,0}$$

$$\tau_a = 5\text{ Kgmm}$$

$$n = 40\text{ rpm}$$

Bahan besi perunggu Pa = 0,7 – 2,0 kg/mm²

$$\frac{1}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{5,1} + \frac{\sigma_a}{Pa}}$$

$$\frac{1}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{5,1} + \frac{5}{1,8}}$$

$$l = 20\text{ mm}$$

$$d = 26,21\text{ mm}$$

$$P = \frac{W}{ld}$$

$$P = \frac{24}{20 \times 26,21} = 0,04\text{ kg/mm}^2$$

$0,04 < 2,0$ jadi dapat diterima

$$V = \pi d \frac{n}{60 \times 1000} = 3,14 \times 26,21 \frac{40}{60 \times 1000} = 0,05 \text{ m/s}$$

$$(Pv)_a = 0,45 \times 0,05 = 0,02 \text{ kg m/mm}^2 \text{ s}$$

$$P_v = 0,2 \text{ kg m/mm}^2 \text{ s} \text{ (poros transmisi)}$$

Harga $(Pv)_a$ poros transmisi maksimal yang diijinkan $0,02 \text{ kg m/mm}^2 \text{ s}$
 $0,02 < 0,2$ jadi dapat diterima.

3.2.4 Perhitungan Roda Gigi

Diketahui:

$$\text{HP} = 200 \text{ Watt} = 0,27 \text{ HP}$$

$$n_{\text{turbin}} = 40 \text{ rpm } N1 = 69 \text{ } N2 = 12 \text{ } N3 = 69 \text{ } N4 = 17 \text{ } N5 = 69 \text{ } N6 = 27$$

3.2.4.2 Roda gigi 1

Diketahui:

$$N_1 = 69 \quad Y_p = 0,428$$

$$N_2 = 12 \quad Y_g = 0,245$$

$$HP = 200 = 0,27 \text{ HP}$$

Sudut Kontak = 20 deg FD

Jawab:

Asumsi Bahan *Pinion* = ASTM25 $S_o = 8000$

Asumsi Bahan *Gear* = ASTM35 $S_o = 12000$

$$S_o Y_p = 8000 \times 0,428 = 3424 \text{ Psi}$$

$$S_o Y_g = 12000 \times 0,245 = 2940 \text{ Psi}$$

1. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{hp \times 63.000}{n}$$

$$T = \frac{0,27 \times 63.000}{40}$$

$$T = 422,25 \text{ lb-in}$$

2. Penentuan Diameter *Pitch Line*

Diambil asumsi $P = 16$

$$P = \frac{N_{tp}}{d_p}$$

$$d_p = \frac{69}{16}$$

$$d_p = 4,31 \text{ in}$$

3. Perhitungan Kecepatan *Pitch Line*

$$v_p = \frac{\pi d_p n}{12}$$

$$v_p = \frac{3,14 \times 4,31 \times 40}{12}$$

$$v_p = 45,14 \text{ ft/min}$$

4. Perhitungan Gaya-gaya Yang bekerja

$$F_t = \frac{T}{d_p/2}$$

$$F_t = \frac{422,25}{4,31/2}$$

$$F_t = 195,83 \text{ lb}$$

Karena V_p terletak antara $0 < V_p < 2000 \text{ ft/min}$, maka:

$$F_d = \frac{600 + V_p}{600} F_t$$

$$F_d = \frac{600 + 45,14}{600} 195,83$$

$$F_d = 210,56 \text{ lb}$$

$$Q = \frac{2 N_{t_g}}{N_{t_p} + N_{t_g}}$$

$$Q = \frac{2 \times 12}{69 + 12}$$

$$Q = 0,3$$

5. Perhitungan Dimensi *Gear*

$$b = \frac{F_d}{d_p Q K}$$

$$b = \frac{212,05}{4,31 \times 0,3 \times 264} \quad \text{karena bahannya ASTM maka nilai } k = 264$$

$$b = 0,63 \text{ in}$$

$$\frac{9}{p} \leq b \leq \frac{13}{p}$$

$$0,56 \leq 0,63 \leq 0,81 \quad (\text{memenuhi})$$

Dengan melihat konsentrasi tegangan, diperoleh persamaan gaya bending:

a. Untuk *Pinion*

$$F_{bp} = S b \frac{Y_p}{p}$$

$$F_b = 12000 \times 0,63 \times \frac{0,428}{16}$$

$$F_b = 260,81 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman

$$260,81 \geq 212,05 \quad \text{maka aman}$$

Dimensi *Pinion* (b) = 0,63

b. Untuk *Gear*

$$F_{bg} = S b \frac{Y_g}{p}$$

$$F_b = 18000 \times 0,81 \times \frac{0,245}{16}$$

$$F_b = 223,95 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman

$$223,95 \geq 212,05 \quad \text{maka aman}$$

Dimensi *Gear* (b) = 0,81

Jadi untuk rodagigi 1 : Untuk *Pinion* Bahan ASTM35,
b=0,63

Untuk *Gear* Bahan SAE1020, b=0,81

6. Perhitungan Module (*m*)

Diketahui:

$$Nt_p = 69, D = 138 \text{ mm}$$

$$Nt_g = 12, D = 24 \text{ mm}$$

Jawab:

a. Untuk *Pinion*

$$m = \frac{D}{Nt_p}$$

$$m = \frac{138}{69}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

b. Untuk *Gear*

$$m = \frac{D}{Nt_g}$$

$$m = \frac{24}{12}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

3.2.4.2 Roda gigi 2

Diketahui:

$$N1 = 69 \quad Yp = 0,428$$

$$N2 = 17 \quad Yg = 0,302$$

$$HP = 200 - (30\% \times 200) = 0,19 \text{ HP}$$

$$\text{Sudut Kontak} = 20 \text{ deg FD}$$

Jawab:

$$\text{Asumsi Bahan Pinion} = \text{ASTM35 } So = 12000$$

$$\text{Asumsi Bahan Gear} = \text{ASTM50 } So = 15000$$

$$So \quad Yp = 12000 \times 0,428 = 5136 \text{ Psi}$$

$$So \quad Yg = 15000 \times 0,302 = 4530 \text{ Psi}$$

1. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{hp \times 63.000}{n}$$

$$T = \frac{0,19 \times 63.000}{230}$$

$$T = 51,4 \text{ lb-in}$$

2. Penentuan Diameter *Pitch Line*

Diambil asumsi $P = 33$

$$P = \frac{Ntp}{dp}$$

$$dp = \frac{69}{33}$$

$$dp = 2,09 \text{ in}$$

3. Perhitungan Kecepatan *Pitch Line*

$$v_p = \frac{\pi d_p n}{12}$$

$$v_p = \frac{3,14 \times 2,09 \times 230}{12}$$

$$v_p = 125,84 \text{ ft/min}$$

4. Perhitungan Gaya-gaya Yang bekerja

$$F_t = \frac{T}{dp/2}$$

$$F_t = \frac{51,4}{2,09/2}$$

$$F_t = 49,17 \text{ lb}$$

Karena v_p terletak antara $0 < v_p < 2000 \text{ ft/min}$, maka:

$$F_d = \frac{600 + v_p}{600} F_t$$

$$F_d = \frac{600 + 125,84}{600} 49,17$$

$$F_d = 59,48 \text{ lb}$$

$$Q = \frac{2 Nt_g}{Nt_p + Nt_g}$$

$$Q = \frac{2 \times 17}{69 + 17}$$

$$Q = 0,4$$

5. Perhitungan Dimensi Gear

$$b = \frac{F_d}{d_p QK}$$

$$b = \frac{59,48}{2,09 \times 0,4 \times 264} \text{ karena bahannya ASTM maka nilai } k=264$$

$$b = 0,29 \text{ in}$$

$$\frac{9}{p} \leq b \leq \frac{13}{p}$$

$$0,27 \leq 0,27 \leq 0,39 \text{ (memenuhi)}$$

Dengan melihat konsentrasi tegangan, diperoleh persamaan gaya bending:

a. Untuk Pinion

$$F_{bp} = S b \frac{Y_p}{p}$$

$$F_b = 12000 \times 0,27 \times \frac{0,428}{33}$$

$$F_b = 61,31 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman

$$61,31 \geq 59,48 \text{ maka aman}$$

Dimensi Pinion (b) = 0,273

b. Untuk Gear

$$F_{bg} = S b \frac{Y_g}{p}$$

$$F_b = 18000 \times 0,27 \times \frac{0,302}{33}$$

$$F_b = 64,89 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman = $64,89 \geq 59,48$ maka aman

Dimensi Gear (b) = 0,27

Jadi untuk roda gigi 2: Untuk Pinion Bahan ASTM35, b=0,27

Untuk Gear Bahan SAE1020, b=0,27

6. Perhitungan Module (m)

Diketahui:

$$Nt_p = 69, D = 138 \text{ mm}$$

$$Nt_g = 17, D = 34 \text{ mm}$$

Jawab:

a. Untuk Pinion

$$m = \frac{D}{Nt_p}$$

$$m = \frac{138}{69}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

b. Untuk Gear

$$m = \frac{D}{Nt_g}$$

$$m = \frac{34}{17}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

3.2.4.3 Roda gigi 3

Diketahui:

$$N1 = 69 Y_p = 0,428$$

$$N2 = 27 Y_g = 0,348$$

$$HP = 200 - (50\% \times 200) = 0,13 \text{ HP}$$

$$\text{Sudut Kontak} = 20 \text{ deg FD}$$

Jawab:

Asumsi Bahan *Pinion* = ASTM25 $S_o = 8000$

Asumsi Bahan *Gear* = ASTM35 $S_o = 12000$

So $Y_p = 8000 \times 0,428 = 3424$ Psi

So $Y_g = 12000 \times 0,348 = 4176$ Psi

1. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{hp \times 63.000}{n}$$

$$T = \frac{0,16 \times 63.000}{933,53}$$

$$T = 9,05 \text{ lb-in}$$

2. Penentuan Diameter *Pitch Line*

Diambil asumsi $P = 63$

$$P = \frac{N_{tp}}{d_p}$$

$$d_p = \frac{69}{63}$$

$$d_p = 1,1 \text{ in}$$

3. Perhitungan Kecepatan *Pitch Line*

$$v_p = \frac{\pi d_p n}{12}$$

$$v_p = \frac{3,14 \times 1,1 \times 933,53}{12}$$

$$v_p = 267,54 \text{ ft/min}$$

4. Perhitungan Gaya-gaya Yang bekerja

$$F_t = \frac{T}{d_p / 2}$$

$$F_t = \frac{9,05}{1,1 / 2}$$

$$F_t = 16,52 \text{ lb}$$

Karena v_p terletak antara $0 < v_p < 2000$ ft/min, maka:

$$F_d = \frac{600 + V_p}{600} F_t$$

$$F_d = \frac{600 + 267,54}{600} 16,52$$

$$F_d = 23,89 \text{ lb}$$

$$Q = \frac{2 N_{t_g}}{N_{t_p} + N_{t_g}}$$

$$Q = \frac{2 \times 27}{69 + 27}$$

$$Q = 0,56$$

5. Perhitungan Dimensi *Gear*

$$b = \frac{F_d}{d_p Q K}$$

$$b = \frac{23,89}{1,1 \times 0,56 \times 264} \text{ karena bahannya ASTM maka nilai } k = 264$$

$$b = 0,15 \text{ in}$$

$$\frac{9}{p} \leq b \leq \frac{13}{p}$$

$$0,14 \leq 0,15 \leq 0,21 \text{ (memenuhi)}$$

$$F_b = S b \frac{Y}{p}$$

Dengan melihat konsentrasi tegangan, diperoleh persamaan gaya bending:

a. Untuk *Pinion*

$$F_{bp} = S b \frac{Y_p}{p}$$

$$F_b = 18000 \times 0,15 \times \frac{0,428}{63}$$

$$F_b = 25,23 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman
 $25,23 \geq 23,89$ maka aman
 Dimensi *Pinion* (b) = 0,21

b. Untuk *Gear*

$$F_{bg} = S b \frac{Y_g}{p}$$

$$F_b = 23000 \times 0,21 \times \frac{0,302}{63}$$

$$F_b = 25,23 \text{ lb}$$

Jika $F_b \geq F_d$ syarat aman
 $25,23 \geq 23,89$ maka aman
 Dimensi *Gear* (b) = 0,21

Jadi untuk roda gigi 3: Untuk *Pinion* Bahan SAE1020,
 b=0,22

Untuk *Gear* Bahan SAE1035, b=0,22

6. Perhitungan Module (*m*)

Diketahui:

$$Nt_p = 69, D = 138 \text{ mm}$$

$$Nt_g = 27, D = 54 \text{ mm}$$

Jawab:

a. Untuk *Pinion*

$$m = \frac{D}{Nt_p}$$

$$m = \frac{138}{69}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

b. Untuk *Gear*

$$m = \frac{D}{Nt_g}$$

$$m = \frac{54}{27}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

3.2.5 Generator

Generator yang digunakan dari magnet dan spul sepeda motor dengan tegangan 12 volt 5 Ampere.

3.3 Proses Pembuatan

3.3.1 Alat dan bahan

3.3.1.1 Alat yang digunakan

Peralatan bantu yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mesin las listrik dan perlengkapannya.
2. Mesin bor.
3. Mesin bubut dan perlengkapannya.
4. Mesin gerinda.
5. Gunting plat.
6. Palu.
7. Rol meter.
8. Mistar baja.
9. Gergaji besi.
10. Kunci ring.
11. Kunci pas.
12. Kunci inggris.
13. Kunci *shock*.
14. Tang.
15. *Senay*.
16. Amplas.
17. Perlengkapan cat.

3.3.1.2 Bahan yang akan dikerjakan

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Besi pejal St60.
2. Aluminium.
3. Pipa besi.
4. Besi berbentuk lingkaran.
5. Besi siku.
6. Besi plat.
7. Kawat besi.
8. *Bearing*.
9. Rivet.
10. Generator.
11. Baut dan mur.
12. Aki.
13. Lampu LED.
14. Ampere meter.
15. Volt meter.

3.3.2 Langkah Pembuatan

3.3.2.1 Pengerjaan Rangka Utama

1. Bentuk Rangka yang akan dibuat

Rangka dibuat sekuat mungkin berbentuk segitiga yaitu dari besi L dengan ukuran 5 cm x 5 cm, dengan panjang 185 cm.



Gambar 3.3.1 Rangka Utama

2. Langkah Pengerjaan

- a. Mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan, seperti las listrik, gergaji besi, gerinda, palu, dan mesin bor.
- b. Memotong besi L segi empat sesuai ukuran yang sudah ditentukan, yaitu untuk penyangga poros turbin dan tingginya disesuaikan.
- c. Menghaluskan bekas potongan dengan mesin gerinda agar hasil potongan tersebut tidak kasar.
- d. Membuat penyangga horizontal bagian atas terlebih dahulu dengan mengelas titik pada tiap-tiap sudut dan membentuk segitiga.
- e. Membuat penyangga horizontal bagian bawah dengan mengelas titik tiap-tiap sudut dan membentuk segitiga.
- f. Mengelas bagian penyangga vertikal di setiap sudut penyangga segitiga bagian atas, kemudian mengelasnya dengan penyangga horizontal bagian bawah.
- g. Membuat dan memasang alat ukur yang sudah terpasang pada seng, dengan cara dipotong sesuai ukuran dan dibor.

3.3.2.2 Pengerjaan Komponen Utama Turbin

1. Poros

Dengan potongan besi profil bulat pejal yang sesuai ukuran dan jenis bahan St 60 kemudian menggunakan mesin bubut, besi profil bulat tersebut dipasang ke dalam ragam mesin bubut tersebut. Setelah terpasang, mesin bubut dihidupkan dengan putaran rendah kemudian diatur putaran benda kerja sehingga putaran ragam mesin bubut bisa center terhadap benda kerja. Setelah itu dipasang pahat ke dalam rumah pahat secara center. Dengan mengatur kecepatan mesin bubut yang sesuai, kemudian besi profil bulat tersebut dibubut dengan arah memanjang (dikurangi diameternya) sampai diameter yang dikehendaki dengan memberi toleransi agar diameter poros tersebut dapat masuk ke dalam lubang bantalan yang direncanakan. Setelah diameter yang diinginkan sesuai maka

mesin bubut dimatikan, kemudian benda kerja yang ada ragum dilepas dengan menggunakan kunci *shock*.



Gambar 3.3.2 Poros dengan Penyangga Lengan

2. Sudu

Pertama membuat mal dengan ukuran yang telah ditentukan. Bahan yang akan di mal yaitu aluminium dengan cara menggambar di atas bahan sudu sesuai ukuran mal. Kemudian dilakukan pemotongan aluminium dengan menggunakan gunting plat. Setelah dilakukan pemotongan dilanjutkan membuat kelengkungan dengan mengikat ujung-ujung sudu menggunakan kawat sesuai ukuran yang telah ditentukan. Sudu yang telah jadi, diperkuat dengan membuat kerangka yang ditempelkan pada belakang sudu menggunakan besi plat.



Gambar 3.3.3 Sudu

3. Lengan Sudu

Memotong lengan sudu yang terbuat dari besi bulat untuk pemegang sudu yang diinginkan. Lengan sudu yang dibuat berjumlah 18 buah. Pertama lengan sudu dibengkokkan sesuai ukuran yang diinginkan, kemudian dibor untuk penyambungan dengan sudu. Lubang tersebut berjumlah 2 buah pada setiap sudunya dengan diameter 6,5 mm.



Gambar 3.3.4 Lengan Sudu

4. Bantalan (*bearing*)

Bantalan yang digunakan terdapat 2 buah yaitu bantalan poros sudu dan bantalan poros roda gigi.

5. Roda gigi (*gear*)

Jenis roda gigi yang dibuat adalah roda gigi *spurs*. Pertama membuat poros *gear* dengan dibubut sesuai diameter *gear* yang berjumlah 4 buah, kemudian poros dan *gear* dilas agar dapat menyatu. Poros yang sudah terpasang dengan *gear* tersebut pada bagian atas dan bawahnya dipasang *bearing* yang diinginkan. Setelah itu, memasang *gear* yang berjumlah 4 buah tersebut pada besi plat dengan di las. Besi plat tersebut berfungsi untuk rumah *gear*.



Gambar 3.3.5 Roda gigi

3.4 Proses Perakitan

Proses perakitan merupakan suatu proses penggabungan komponen-komponen mesin atau bahan menjadi suatu kesatuan dengan memperhatikan urutan yang telah ditentukan, sehingga menjadi sebuah mesin yang siap digunakan sesuai yang diperhitungkan dan tujuan yang telah direncanakan.

Langkah awal untuk melakukan perakitan adalah melakukan pengecekan komponen-komponen yang hendak dirakit, menyiapkan alat bantu dalam perakitan komponen-komponen serta mempersiapkan langkah-langkah perakitan. Dengan langkah perakitan yang tepat akan mempermudah dan mempercepat proses perakitan itu sendiri serta menjamin keberhasilan rancangan.

3.4.1 Alat Bantu yang Digunakan

Peralatan bantu yang harus dipersiapkan dalam merakit komponen Turbin Angin adalah sebagai berikut:

1. Kunci ring 10, 12, 14.
2. Kunci pas 10, 12, 14.
3. Kunci inggris.
4. Obeng (+) dan (-).

5. Solder listrik.
6. Palu.
7. Perlengkapan cat.

3.4.2 Langkah Perakitan

Langkah perakitan Turbin Angin *Savonius* adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dirakit.
2. Mengecat kerangka turbin.
3. Memasang poros turbin pada kerangka turbin, kemudian dibaut pada bagian bawah poros.
4. Memasang lengan dengan sudu turbin dengan baut M-10.
5. Memasang lengan yang sudah terpasang dengan sudu pada poros turbin, dengan cara di *shock* terlebih dahulu dan di baut M-12.
6. Memasang roda gigi.
7. Memasang generator di atas roda gigi dengan cara mengunci dengan mur-baut M-12 dan M-14.
8. Memasang *control panel* dengan menghubungkan kabel pada generator dan accu.



Gambar 3.3.6 Turbin Angin

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Desain pengujian

Metode yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah gabungan antara perancangan dan eksperimental. Pengujian dilaksanakan apabila perencanaan dan pembuatan turbin angin tipe poros vertikal ini yang telah diselesaikan.

4.2 Tempat Pengujian

Tempat pengujian di Desa Jembangan, Kecamatan Batangan, Kabupaten Pati pada bulan September 2011.

4.3 Tahapan Penelitian

Jika diuraikan, tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data kondisi sekitar misal: kecepatan angin, rapat massa udara.
2. Menentukan spesifikasi awal turbin angin melalui perhitungan.
3. Menentukan profil sudu (*airfoil*) turbin angin.
4. Membuat desain perancangan turbin angin.
5. Pembuatan turbin angin.
6. Optimasi sudu turbin angin.
7. Melakukan pengujian kinerja turbin angin.
8. Analisis data dari pengujian turbin angin.

4.4 Metode Pengumpulan Data

Dalam rancang bangun turbin angin ini ditetapkan suatu variabel penelitian, sebab suatu variabel penelitian merupakan parameter utama yang mempengaruhi hasil penelitian yang akan dicapai. Pada Penelitian ini ditetapkan 2 variabel yaitu sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dicapai, maka variabel bebas yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah perubahan kecepatan putaran turbin angin yang akan diukur dengan anemometer dan tegangan arus yang dihasilkan.

2. Variabel Kendali

Untuk variabel kendali digunakan lampu hemat energi berdaya 6 Watt.

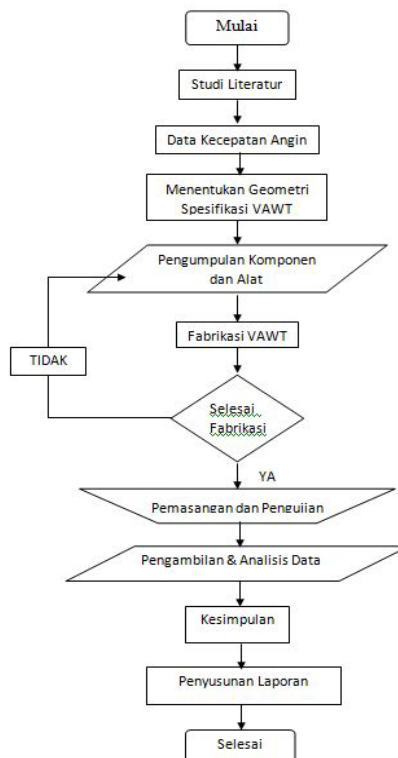
4.5 Alat dan Bahan

Dalam pembuatan rancang bangun turbin angin tipe poros vertikal dan pengujiannya ini yang digunakan dalam menunjang kegiatan penelitian menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

| Bahan | Satuan |
|----------------------------------|---------------------------|
| Besi Poros ST 60. | 1 Meter |
| Aluminium | 6lembar @ 2x1 meter |
| Gear Box 60:1 | 1 Buah |
| Besi Plat Kerangka Sudu | 30 Meter |
| <i>Bearing</i> | 2 Buah |
| Pipa Lengan | 18 Meter |
| Besi Poros Berlubang | 2,5 Meter |
| Baut | M-10 70 buah,M-12 40 buah |
| Revet | 100 buah |
| Besi Pipa Dudukan <i>Bearing</i> | 30 cm |
| Piringan | 3 buah |
| Gergaji, mata bor | 1 set |
| Aki | 1 buah |
| Generator | 1 buah |
| Besi Kerangka Bawah | 15 meter |
| Kabel | 6 meter |
| Ampere meter | 1 buah |
| Volt meter | 1 buah |

Alur Perencanaan Pembuatan Turbin Angin Poros Vertikal



Gambar 4.1 Diagram Alir Metode Pembuatan Alat

3.1 Menentukan Spesifikasi Turbin Angin

3.1.1 Menentukan Kecepatan Angin Nominal

Turbin angin yang akan dibuat dirancang untuk dapat memenuhi kebutuhan energi rumah tangga, sehingga penempatannya diupayakan tidak jauh dari daerah pemukiman. Turbin angin ini dirancang untuk penggunaan di Indonesia yang memiliki kecepatan angin pada keadaan normal berkisar antara 0,8 sampai 9 m/s. Pengukuran kecepatan angin ini menggunakan anemometer di Desa Jembangan, Kecamatan Batangan, Kabupaten Pati. Didapat kecepatan angin sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 25 September 2011

| Waktu (jam) | Kecepatan angin (m/s) |
|-------------|-----------------------|
| 01.00 | 1.44 |
| 02.00 | 1.36 |
| 03.00 | 1.52 |
| 04.00 | 1.33 |
| 05.00 | 1.48 |
| 06.00 | 1.8 |
| 07.00 | 2.1 |
| 08.00 | 2 |
| 09.00 | 2.6 |
| 10.00 | 3.8 |
| 11.00 | 3.5 |
| 12.00 | 4.8 |
| 13.00 | 4.5 |
| 14.00 | 6.9 |
| 15.00 | 8.3 |
| 16.00 | 7.2 |
| 17.00 | 3.2 |
| 18.00 | 2.9 |
| 19.00 | 2.4 |
| 20.00 | 1.9 |
| 21.00 | 1.82 |
| 22.00 | 1.74 |
| 23.00 | 1.6 |
| 24.00 | 1.48 |

Jadi berdasarkan data diatas dapat kita ambil kecepatan angin yang digunakan untuk mendesain turbin angin yaitu sebesar 6,3 m/s.

3.1.2 Pemilihan Diameter Rotor, Koefisien Rotor dan *Tip Speed Ratio*

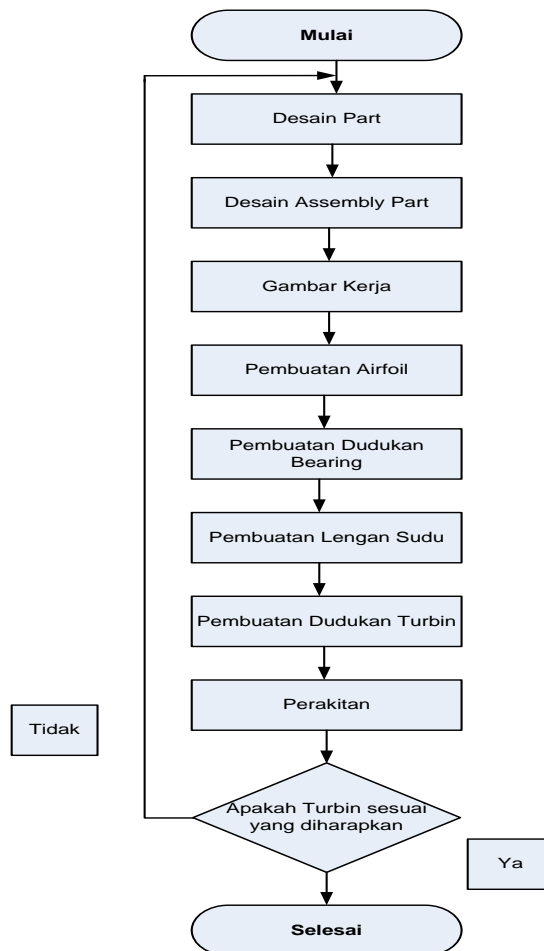
Penentuan diameter rotor dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter diantaranya besar daya yang ingin dihasilkan, kekuatan poros, dan pertimbangan lain yang berkaitan dengan keindahan,

ketersediaan lahan, dan lainnya. Semakin besar daya listrik yang ingin dihasilkan, maka diameter rotor yang diperlukan akan semakin besar.

3.1.3 Daya Mekanik Total yang Terkandung Dalam Angin Melalui Suatu Penampang

Perhitungan daya mekanik total turbin dipengaruhi oleh kecepatan angin yang melintasi penampang melintang pada turbin angin, perhitungan ini menggunakan persamaan (3.1). Dari persamaan tersebut diketahui bahwa dengan kecepatan angin (v), sedangkan densitas udara (ρ) $1,15 \text{ kg/m}^3$ dan luas sapuan penampang (A) dengan 6 buah sudu, sehingga masing-masing sudu memiliki dimensi di dapatkan daya mekanik total yang dikombinasikan dengan *gear* diperoleh sebesar 100 watt.

3.2 Metode Perancangan



Gambar 4.2 Diagram Alir Metode Perancangan

3.3 Desain Perancangan

Desain perancangan *part* menggunakan *software drawing* AutoCAD, Penggambaran desain perancangan dimaksudkan untuk mengetahui gambaran turbin angin, pembuatan, perakitan, maupun pengujian.

3.4 Perancangan dan Pembuatan Komponen Turbin

3.4.1 *Blade Arm* (Lengan Sudu)

Lengan sudu atau jari-jari turbin haruslah lebih pendek dari tinggi sudu turbin angin, jari-jari turbin memiliki panjang 0,64 m. Bahan yang digunakan adalah besi berongga, dipilih bahan ini dikarenakan lengan harus memiliki kekuatan untuk menyangga sudu.

3.4.2 *Bearing House* (Rumah Bantalan)

Bearing House merupakan tempat dudukan *bearing* dan sebagai penahan lengan sudu turbin angin. Bahan yang digunakan untuk rumah *bearing* adalah besi berongga dengan tebal 10 mm. Rumah *bearing* dibuat dengan ukuran yang presisi, dikarenakan perlu kepresisian, agar setiap sisi rumah *bearing* tidak berbeda.

3.4.3 *Gear* (Roda Gigi)

Gear terbuat dari bahan baja karbon rendah, *gear* berfungsi sebagai penerus daya dari turbin angin menuju generator.

3.4.4 *Reel Buffer* (Dudukan Turbin Angin)

Dudukan turbin adalah penyangga dari semua komponen turbin angin, dan sebagai tempat dudukan generator. Bahannya terbuat dari baja karbon rendah. Proses pengelasan dipakai untuk membuat dudukan turbin angin ini.

3.4.5 Generator

Generator yang dipakai merupakan generator DC 12 Volt, dengan Arus 5 Ampere. Generator dibeli di pasaran lokal. Puli pada Generator di lepas dan diganti dengan *gear* untuk menerima transformasi daya dari turbin angin.

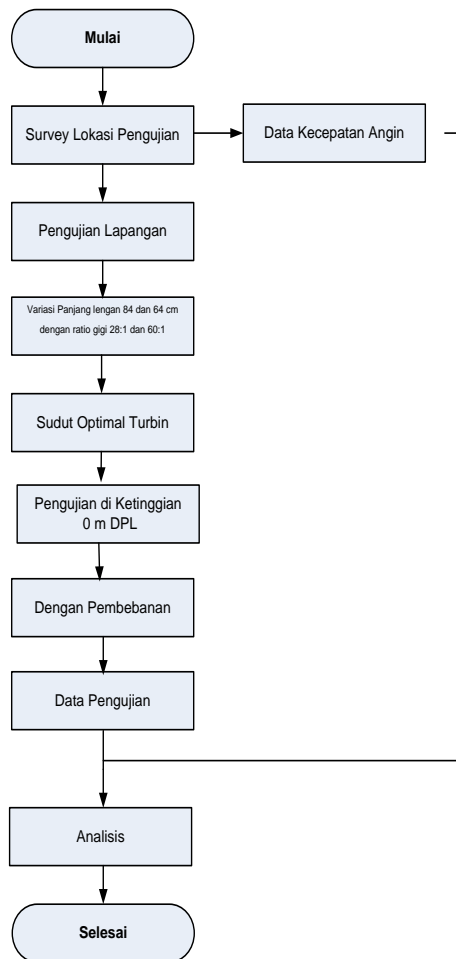
3.4.6 Perakitan Komponen Turbin

Setelah semua komponen turbin telah siap, dilakukan perakitan terhadap semua komponen turbin angin, dan turbin angin siap diuji skala Lab, guna mengetahui kesalahan pada setiap komponen turbin angin.

3.5 Mekanisme Pengujian Turbin Angin

Setelah melakukan pengukuran kecepatan angin dilakukan pengujian turbin angin. Pengujian turbin angin di tepi pantai. Kedua dilakukan pengujian turbin angin di daerah pesisir pantai dan 0 meter diatas permukaan air laut. Percobaan ini dimaksudkan untuk pengambilan data di area pedesaan yang berjarak 3 kilometer dari garis pantai yaitu di Desa Jembangan, Kecamatan Batangan Kabupaten Pati.

3.5.1 Metode Pengujian



Gambar 4.3 Diagram Alir Pengujian

3.5.2 Pengujian Kecepatan Angin

Pengujian kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin disuatu daerah dan waktu tertentu. Pengujian ini dilakukan di pesisir pantai selama 24 jam, dan menghasilkan varian kecepatan angin pada waktu tertentu. Pengujian ini menggunakan anemometer.

3.5.3 Pengujian Turbin Angin dengan Pembebanan di Ketinggian 0 m DPL

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan turbin angin terhadap daya yang dihasilkan dan efisiensi turbin angin, tetapi telah dibebani oleh lampu 6 Watt. Dalam pengujian ini diketahui varian data kelistrikan yang dihasilkan oleh turbin angin menggunakan generator sepeda motor.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Turbin angin jenis vertikal memiliki daya **6 watt**
2. Dengan menggunakan 4 buah variabel yaitu:
 - a. Panjang lengan **84 cm** dengan ratio gear **28:1** menghasilkan daya maksimal **3,3 watt** pada kecepatan angin **7,8 m/s**.
 - b. Panjang lengan **84 cm** dengan ratio gear **60:1** menghasilkan daya maksimal **6 watt** pada kecepatan angin **6,5 m/s**.
 - c. Panjang lengan **64 cm** dengan ratio gear **28:1** menghasilkan daya maksimal **5,08 watt** pada kecepatan angin **8 m/s**.
 - d. Panjang lengan **64 cm** dengan ratio gear **60:1** menghasilkan daya maksimal **6 watt** pada kecepatan angin **4,5 m/s**.

Dari data diatas didapatkan kesimpulan bahwa:

Semakin pendek panjang lengan, putaran generator yang dihasilkan semakin besar.

Semakin pendek panjang lengan, daya yang dihasilkan semakin besar.

Semakin besar ratio gear yang digunakan, semakin besar putaran generator yang dihasilkan.

Putaran generator berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan.

3. Torsi yang dihasilkan oleh turbin angin ini adalah **9,05 lb-in**.

6.2 Saran

1. Torsi yang dihasilkan sebesar **9,05 lb-in** pada poros ke 4 atau sekitar **1,02 Nm** sangat kurang untuk memutar generator untuk menghasilkan daya yang besar, sehingga direkomendasikan menggunakan generator magnet permanen dari Agus Nurtcahyantomulyo dengan kapasitas daya **200 Watt** pada **450 rpm 8,5 Nm**, sehingga roda gigi yang digunakan harus menggunakan 2 poros dengan perbandingan 5,75:1 yang menghasilkan putaran **230 rpm**, sehingga daya yang dihasilkan bias mencapai **102 Watt**
2. Perawatan turbin angin sebaiknya dilakukan 1 bulan sekali terutama pada sisi pelumasan (bantalan poros dan roda gigi) dan mengecek kekencangan baut bila terdapat baut yang kendur.