



**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN *HORIZONTAL*
AXIS DENGAN TEGANGAN KONSTAN 12 VOLT DC
PADA KECEPATAN BERVARIASI**

SKRIPSI

oleh

**Ilham Sadli
NIM. 121910201022**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN HORIZONTAL
AXIS DENGAN TEGANGAN KONSTAN 12 VOLT DC
PADA KECEPATAN BERVARIASI**

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S 1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Ilham Sadli
NIM. 121910201022

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Dengan ridho dari Allah skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu dan ayah saya Najamudin dan Sauri yang memberikan segalanya;
2. Semua dosen dan guru saya di Universitas Jember, MAN 1 Lombok Tengah, dan SMPN 2 Pujut, SDN Barepaok, yang telah memberikan ilmu serta membimbing saya agar menjadi lebih baik lagi;
3. Sahabat sahabat saya, Mbak Fevtri, Bima, dan anak-anak FLP Jawa Timur serta sahabat dari komunitas blogger dan tak lupa juga keluarga besar SATE_UJ yang selalu ada memberikan dukungan, motivasi serta bantuan selama saya menimba ilmu di Universitas Jember;

MOTTO

“Saya tak tahu, berapa waktu yang tersisa untuk saya. Satu jam, satu hari, satu tahun, sepuluh, lima puluh tahun lagi? Bisakah waktu yang semakin sedikit itu saya manfaatkan untuk memberi arti keberadaan saya sebagai hamba Allah di muka bumi ini? Bisakah cinta, kebajikan, maaf dan syukur selalu tumbuh dari dalam diri, saat saya menghirup udara dari Yang Maha?”

(Helvy Tiana Rosa)

Dan jika kamu menghitung-hitung nikmat Allah, niscaya kamu tak dapat menentukan jumlahnya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Pengampun lagi Maha Penyayang. [QS. AN NAHL 16:18]

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ilham Sadli

NIM : 121910201022

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **“Rancang Bangun Turbin Angin *Horizontal Axis* Dengan Tegangan Konstan 12 Volt Dc Pada Kecepatan Bervariasi”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Desember 2019

Yang menyatakan,

Ilham Sadli

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN *HORIZONTAL AXIS* DENGAN
TEGANGAN KONSTAN 12 VOLT DC PADA KECEPATAN
BERVARIASI**

Oleh

Ilham Sadli
NIM 121910201022

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, ST., MT

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Turbin Angin *Horizontal Axis* Dengan Tegangan Konstan 12 Volt Dc Pada Kecepatan Bervariasi” telah diuji disahkan pada :

Hari, tanggal : Selasa, 23 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Suprihadi Prasetyono, ST., MT
NIP. 197004041996011001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M
NIP. 196312011994021002

Penguji 1,

Penguji 2,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 197104022003121001

Andi Setiawan, S.T., M.T.
NIP 196910101997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

Rancang Bangun Turbin Angin *Horizontal Axis* Dengan Tegangan Konstan 12 Volt Dc Pada Kecepatan Bervariasi

Ilham Sadli

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Tetapi penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit konvensional dalam jangka panjang akan mengurangi sumber minyak bumi, gas dan batubara. Adanya energi angin sebagai salah satu energi terbarukan membuka peluang besar untuk memanfaatkannya menjadi energi listrik, meskipun dalam bentuk skala kecil. Tetapi menjadi sebuah masalah ketika kecepatan angin selalu mengalami perubahan, hal ini tentunya akan berimbas pada hasil tegangan hingga daya yang dihasilkan oleh sebuah turbin angin. Maka dirancanglah sebuah prototype turbin angin dengan kontrol stabilitas tegangan sehingga tegangan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Dengan menggunakan buck-boost converter maka diperoleh sebuah kesimpulan bahwa tegangan yang berubah bisa distabilkan menjadi 12 volt DC dengan memanfaatkan kontrol otomatis pada buck-boost converter.

Kata kunci : turbin angin, buck-boost converter, stabilitas tegangan

*Design of Horizontal Axis Wind Turbines with a Constant Voltage of 12 Volt Dc
at Variable Speeds*

Ilham Sadli

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

Energy demand in the world, especially in Indonesia continues to increase along with population growth, economic growth, and the pattern of energy consumption itself. But the use of fossil fuels for conventional power plants in the long run will reduce the sources of oil, gas and coal. The existence of wind energy as one of the renewable energy opportunities opens big to utilize it as electrical energy, albeit on a small scale. But it becomes a problem when the wind speed always changes, this will certainly affect the results of the voltage to the power generated by a wind turbine. Then designed a prototype of a wind turbine with voltage stability control so that the resulting voltage is as expected. By using a buck-boost converter, we get a conclusion that the changing voltage can be stabilized to 12 volts DC by utilizing automatic control on the buck-boost converter.

Keyword: wind turbine, buck-boost converter, voltage stability

RINGKASAN

Rancang Bangun Turbin Angin *Horizontal Axis* Dengan Tegangan Konstan 12 Volt Dc Pada Kecepatan Bervariasi; Ilham Sadli, 121910201022; 2019: .. halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Tetapi penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit konvensional dalam jangka panjang akan mengurangi sumber minyak bumi, gas dan batubara. Menurut *blue print* pengelolaan energi nasional yang dikeluarkan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam jangka waktu 18 tahun lagi, gas bumi dalam jangka waktu 60 tahun dan batubara dalam kurun waktu 147 tahun terhitung dari tahun 2006.

Tujuan dari penelitian ini yaitu Membuat prototype turbin angin horizontal axis yang menghasilkan tegangan konstan pada keadaan angin yang bervariasi dengan memanfaatkan *buck-boost converter* sebagai sistem untuk membuat tegangan yang dihasilkan menjadi stabil meskipun kecepatan berubah.

Turbin angin didesain sedemikian rupa untuk bisa menghasilkan tegangan 12 Volt DC. Oleh karena itu, pada penelitian ini blade yang digunakan terbuat dari balik-baling kipas angin dengan generator menggunakan motor DC 12 – 24 Volt 1660 – 3350 rpm. Untuk stabilitas tegangan, penelitian ini memanfaatkan *buck-boost converter* untuk bisa menghasilkan tegangan stabil 12 volt dalam keadaan energi angin yang berubah-ubah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika menggunakan 3 parameter kecepatan angin dengan energi angin yang bersumber dari kipas angin sehingga dalam penelitian ini, kecepatan angin diganti dengan indikator angka dalam kipas angin. Dilakukan dua macam pengambilan data, diantaranya adalah ketika data tegangan diambil tanpa menggunakan kontrol stabilitas tegangan dan ketika menggunakan kontrol stabilitas tegangan. Metode ini dilakukan dengan tujuan menjadi sebuah pembanding bagaimana kinerja dari desain prototype turbin angin

tipe horizontal axis ini berjalan. Karena buck-boost converter sistem kerjanya adalah manual seperti utamanya servo, maka dibutuhkan peralatan tambahan seperti motor dvd, obeng dan motor driver agar bisa bekerja dengan otomatis. Dengan menggunakan metode ini, maka tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin horizontal axis bisa stabil mendekati angka 12 volt DC.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Turbin Angin *Horizontal Axis* Dengan Tegangan Konstan 12 Volt Dc Pada Kecepatan Bervariasi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena dengan hidayah dan karunianya skripsi ini terselesaikan;
2. Suprihadi Prasetyono, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
3. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
4. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Widjonarko, S.T., M.T. selaku Kaprodi S1 selanjutnya yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
7. Ibu Sauri dan Bapak Najamudin yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;

8. Teman-teman Elektro'12 (SATE UJ) yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini;
9. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), Forum Lingkar Pena terima kasih telah memberikan aspirasi dan pembelajaran;

Penulis juga menerima semua kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Desember 2019

Penulis

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Tetapi penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit konvensional dalam jangka panjang akan mengurangi sumber minyak bumi, gas dan batubara. Menurut *blue print* pengelolaan energi nasional yang dikeluarkan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam jangka waktu 18 tahun lagi, gas bumi dalam jangka waktu 60 tahun dan batubara dalam kurun waktu 147 tahun terhitung dari tahun 2006.

Cadangan minyak bumi nasional baik berupa cadangan terbukti maupun cadangan potensial mengalami peningkatan pada periode 2012-2013. Cadangan potensial minyak pada tahun 2013 sebesar 3,85 miliar barel sedangkan cadangan terbukti sebesar 3,69 miliar barel (IEO, 2014). Tingginya tingkat kebutuhan akan energi listrik dan semakin menipisnya bahan bakar fosil, maka penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan bisa dimanfaatkan menjadi energi alternatif pengganti bahan bakar fosil.

Sesuai dengan Peraturan Presiden RI no.5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yaitu pangsa pasar energi baru dan terbarukan dalam konsumsi energi nasional tahun 2025 ditargetkan mencapai 17% (Peraturan Presiden RI, 2006). Namun demikian pemerintah Indonesia ingin mencapai target yang lebih tinggi dengan mencanangkan visi energi 25/25, dimana pemerintah berkomitmen meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan sampai 25% dari keseluruhan konsumsi energi pada tahun 2025 dan juga tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari satu (IEO, 2012). Sumber daya energi angin di wilayah Indonesia berkisar antara 3-6 m/s (IEO, 2014).

Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan salah satu solusi mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Pengkajian permasalahan ini dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya krisis energi. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan. (Yusuf Ismail, 2015).

Pada penelitian ini, turbin angin yang akan dirancang adalah turbin angin sumbu *Horizontal* (*Horizontal Axis Wind Turbine*). Karena kecepatan angin yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan, sehingga tegangan yang dihasilkan dari putaran turbin angin bervariasi dan cenderung tidak konstan. Untuk memastikan tegangan yang dihasilkan konstan, maka perlu dirancang sebuah sistem penyearah tegangan untuk menghasilkan tegangan yang konstan dengan memanfaatkan *buck-boost converter*. Oleh karena itu, dari penelitian inilah akan diuji bagaimana memanfaatkan *buck-boost converter* agar tegangan yang dihasilkan stabil meskipun kondisi angin berubah-ubah. Sehingga peneliti berharap bisa menghasilkan tegangan stabil 12 volt DC dalam keadaan angin yang berubah-ubah dengan memanfaatkan control otomatis dari *buck-boost converter*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah yang digunakan sebagai acuan adalah:

1. Bagaimana membuat desain turbin angin sumbu *Horizontal* untuk menghasilkan tegangan yang konstan dengan kecepatan angin bervariasi. Sehingga daya yang dihasilkan bisa maksimum.
2. Penelitian ini juga membahas bagaimana pengaruh tegangan yang konstan pada daya yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada rumusan masalah diatas, peneliti membuat beberapa batasan masalah adalah motor yang digunakan adalah motor DC 12 Volt, pengujian kekuatan angin menggunakan angin dari kipas sehingga.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat prototype turbin angin horizontal axis yang menghasilkan tegangan konstan pada keadaan angin yang bervariasi
2. Memanfaatkan *buck-boost converter* sebagai sistem untuk membuat tegangan yang dihasilkan menjadi stabil meskipun kecepatan berubah.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu rujukan dalam pemanfaatan energi angin dan energi surya untuk alternatif pengganti bahan bakar fosil. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengembangan IPTEK terkait pemanfaatan energi terbarukan yang bebas fosil sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil, sehingga bisa mengantisipasi krisis energi dimasa mendatang.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini tersusun secara sistematis serta terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dengan harapan menjadi mudah dipahami dan diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat mengenai sistematika penulisan tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab dua mencakup konsep serta teori-teori serta rujukan penelitian lain yang mendasari dalam pembuatan tugas akhir.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, tahap penelitian, dan desain penelitian adalah bagian-bagian yang menyusun bab tiga. Desain penelitian mencakup desain konstruksi *hardware*, *software*, gambar rangkaian termasuk blok diagram sistem secara keseluruhan dan *flowchart*.

BAB 4. DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas dan dianalisis hasil dari pembuatan dan pengujian proses kerja alat sehingga dapat diketahui hasil dari alat yang didesain.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini terdiri atas kesimpulan dan saran dari hasil pengujian serta analisis alat yang telah dibuat.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Penelitian Terdahulu

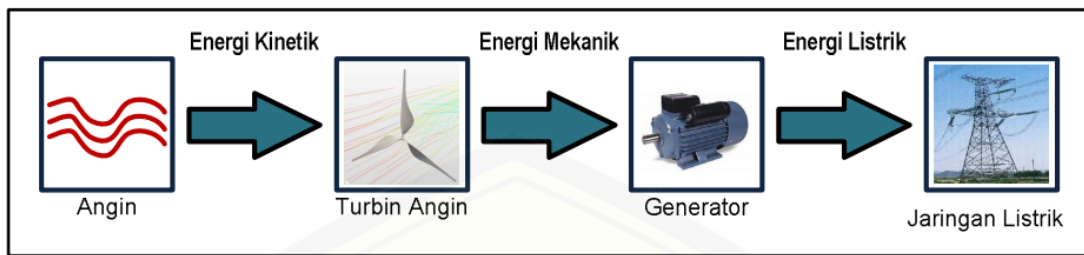
Bidang penelitian sistem pembangkit listrik telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Pemanfaatan energi terbarukan termasuk energi angin sudah banyak diterapkan di beberapa negara berkembang sebagai sumber energi alternatif pengganti fosil dan bersifat berkelanjutan.

Sebagai penunjang kerangka pemikiran teoritis pada skripsi ini, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan yakni sebagai berikut.

1. Penelitian oleh Achmad Jaya Pradana (2013), berjudul “Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade untuk Memperoleh Daya Maksimum.” Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai b dari profil kurva blade turbin angin maka makin besar daya yang dihasilkan.
2. Penelitian yang dilakukan Bayu Mahendra, Rudy Soenoko dan Djoko Sutikno (2012), berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L.” Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 mempunyai untuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu lainnya.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf Ismail Nakhoda dan Choirul Saleh (2015), berjudul “Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen.”

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pusat pembangkitan energi listrik yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan kecepatan dan tekanan angin. Pembangkit energi listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik nonkonvensional di Indonesia masih dalam tahap riset sehingga belum dapat dikomersilisasikan.



Gambar 2.1. Sistem Konversi Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sinuraya. 2006)

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 di bagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

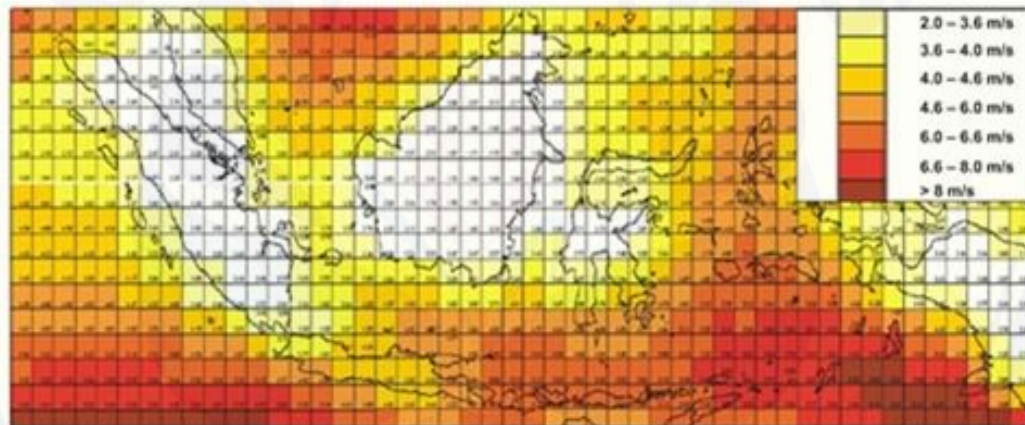
Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Wind Power), adalah pembangkit yang memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber penghasil listrik. Alat utamanya adalah generator, dengan generator tersebut maka dapat dihasilkan arus listrik dari gerakan blade/baling-baling yang bergerak karena hembusan angin. Pembangkit ini lebih efisien dari pada pembangkit listrik tenaga surya didalam menghasilkan listrik. Pembangkit listrik telah ada dipasaran memiliki kapasitas Watt per jam 200, 400, 500, 1000, 2000, dan 3000 Watt. Pembangkit ini tidak bisa dioperasikan pada sembarang tempat karena medan yang akan dipasang harus memiliki kecepatan angin yang tinggi dan stabil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 diatas.

Umumnya suatu pembangkit listrik tenaga anginterdiri dari beberapa komponen utama yaitu ; a) kincir angin, b) gear box, c) brake system, d) generator dan e) alat penyimpan energi.

2.2.1 Potensi Angin Indonesia

Angin merupakan energi alternatif yang murah dan dapat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi kebutuhan masyarakat. Energi tersebut dapat dikonversikan menjadi beberapa energi kinetik yang nantinya dapat mempermudah pekerjaan manusia.

Proses pemanfaatan energi angin juga dilakukan sejak lama untuk pemanfaatan energi listrik. Dengan bantuan energi angin ini proses perubahan energi dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik.



Gambar 2.2 Potensi Angin Indonesia

Angin memberikan energi gerak sehingga mampu menggerakkan perahu layar, kincir angin, dan bisa dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik yaitu berupa turbin angin. Keberadaan energi angin ini terdapat di lapisan atmosfer bumi yang banyak mengandung partikel udara dan gas. Lapisan troposfer merupakan lapisan atmosfer terendah bumi dan dilapisan ini semua peristiwa cuaca termasuk angin terjadi.

Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari

menyebabkan perbedaan massa jenis (ρ) udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin. Kondisi aliran angin dipengaruhi oleh medan atau permukaan bumi yang dilalui oleh aliran angin dan perbedaan temperatur permukaan bumi.

2.2.2 Jenis Angin

Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa akan menerima energi radiasi matahari lebih banyak daripada di daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Perbedaan berat jenis dan tekanan udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara inilah yang didefinisikan sebagai angin. Berdasarkan prinsip dari terjadinya, angin dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang kita ketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke arah laut. Sebaliknya, pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari.

b. Angin Lembah

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama

dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung.

c. Angin Musim

Angin musim dibedakan menjadi 2, yaitu angin musim barat dan angin musim timur. Angin Musim Barat/Angin Muson Barat adalah angin yang mengalir dari Benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas). Apabila angin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra, maka angin ini akan mengandung curah hujan yang tinggi. Angin Musim Barat menyebabkan Indonesia mengalami musim hujan. Angin ini terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari dengan kecepatan minimum 3 m/s.

Angin Musim Timur/Angin Muson Timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas). Angin ini menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau, karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia Besar, dan Victoria). Musim kemarau di Indonesia terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli.

d. Angin Permukaan

Kecepatan dan arah angin ini dipengaruhi oleh perbedaan yang diakibatkan oleh material permukaan Bumi dan ketinggiannya. Secara umum, suatu tempat dengan perbedaan tekanan udara yang tinggi akan memiliki potensi angin yang kuat. Ketinggian mengakibatkan pusat tekanan menjadi lebih intensif.

Selain perbedaan tekanan udara, material permukaan bumi juga mempengaruhi kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angin dan material permukaan bumi ini. Disamping itu, material permukaan bumi juga mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap dan melepaskan panas yang diterima dari sinar matahari. Sebagai contoh, belahan Bumi utara didominasi oleh daratan, sedangkan selatan sebaliknya lebih di

dominasi oleh lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angin di belahan Bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam.

e. Angin Topan

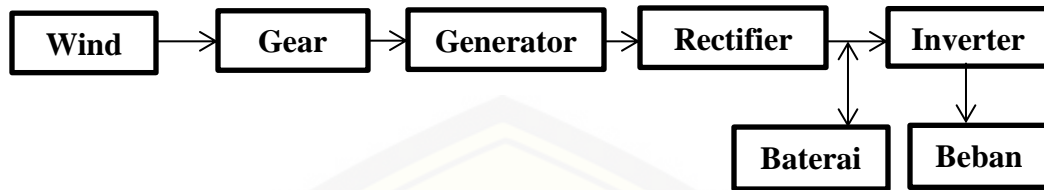
Angin topan adalah pusaran angin kencang dengan kecepatan angin 120 km/jam atau lebih yang sering terjadi di wilayah tropis di antara garis balik utara dan selatan. Angin topan disebabkan oleh perbedaan tekanan dalam suatu sistem cuaca. Di Indonesia dan daerah lainnya yang sangat berdekatan dengan khatulistiwa, jarang sekali dilewati oleh angin ini. Angin paling kencang yang terjadi di daerah tropis ini umumnya berpusar dengan radius ratusan kilometer di sekitar daerah sistem tekanan rendah yang ekstrem dengan kecepatan sekitar 20 Km/jam.

2.2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah sistem pembangkit yang memanfaatkan angin sebagai sumber gerak rotor yang memutar generator sehingga terbentuklah energi listrik. Angin sendiri sejatinya adalah udara bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah.

Turbin angin merupakan sebuah pembangkit listrik yang mendukung konsep penghijauan. Tidak seperti pembangkit listrik yang lainnya yang berbahan baku batu bara dan gas alam, turbin angin hanya memerlukan angin sebagai bahan bakunya. Turbin angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan *blade*. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar sudu, diteruskan memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

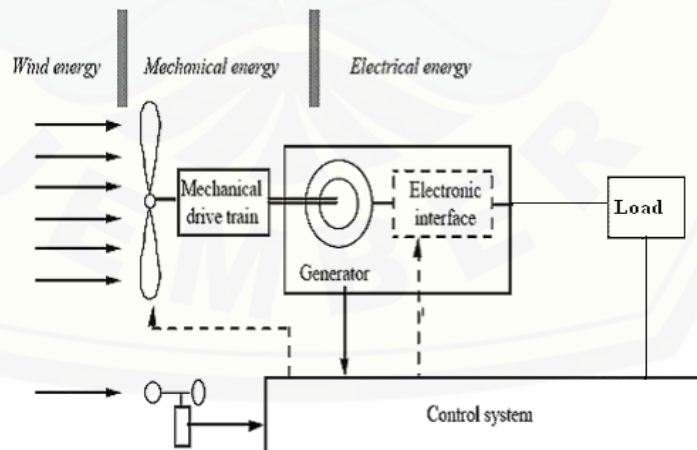
Berikut ini adalah diagram blok dari *system* keseluruhan turbin angin secara umum.



Gambar 2.2 Diagram Blok Turbin Angin

Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi ini merupakan salah satu perwujudan dalam mendukung usaha mendukung perwujudan perpres 5/2006 tentang target pemerintah tahun 2025 (Dadan Kusdiana, 2013). Sumber daya energi surya sebesar 4,80 Kwh/M²/day, sedangkan energi angin sebesar 3-6 m/s, energi laut sebesar 49 Gw dan potensi listrik dari uranium sebesar 3.000 Mw (IEO, 2014).

Turbin angin adalah kincir angin yang memutar generator agar dapat menghasilkan tenaga listrik. Energi yang dihasilkan adalah energi kinetik dari angin yang bergerak pada permukaan bumi. Sudut turbin angin menerima energi kinetik sehingga bertransformasi menjadi energi listrik melalui generator. Efisiensi dari pengkonversian angin menjadi energi listrik sangat dipengaruhi oleh efisiensi rotor dan aliran angin yang didapat.



Gambar 2.3 Sistem Konversi Energi Angin

Energi kinetik adalah energi yang berhubungan dengan massa dan kecepatan. Persamaan energi kinetik ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.1)$$

Menganggap bahwa area yang dilewati angin pada rotor angin adalah A, maka energi kinetik pada aliran angin ditunjukkan pada persamaan 2.2.

$$E = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \quad (2.2)$$

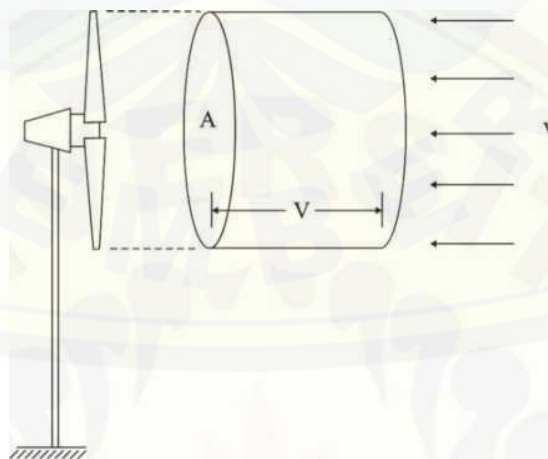
ρ_a adalah kerapatan udara, dan v adalah volume bidang yang tersedia di rotor angin. Bidang angin tersebut berinteraksi dengan rotor per satuan waktu sehingga dengan luas rotor (A_T) sehingga energi angin yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$E = \frac{1}{2} A_T V^3 \quad (2.3)$$

Luas rotor adalah πr^2 sehingga persamaan 2.3 dapat dituliskan menjadi persamaan 2.4.

$$E = \frac{1}{2} \pi r^2 V^3 \quad (2.4)$$

Seperti yang terlihat dalam gambar 5.2 bahwa terdapat sebuah bidang udara yang melewati turbin angin sehingga terjadi energy mekanik pada turbin tersebut.



Gambar 2.4 Bidang Udara yang Melewati Turbin Angin

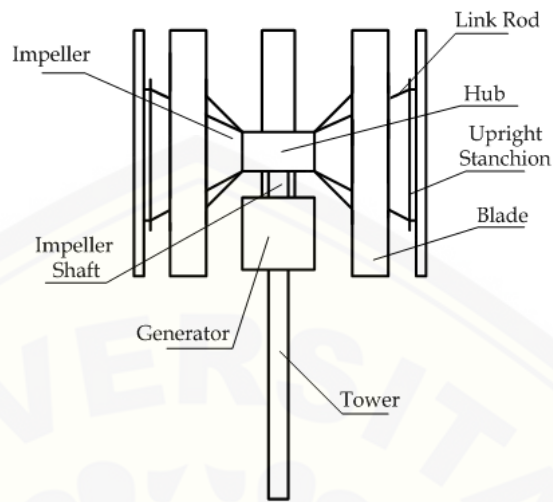
2.2.3 Pengelompokan Turbin Angin

Desain dari turbin angin sangat banyak jenisnya, berdasarkan bentuk rotoronya dibagi menjadi Turbin Angin Sumbu Horisontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) (Daryanto, 2007).

a. Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang pertama dibuat manusia. Pada awalnya, putaran rotornya hanya memanfaatkan efek magnus yaitu karena adanya selisih gaya drag pada kedua sisi rotor atau sudu sehingga menghasilkan momen gaya terhadap sumbu putar rotor. Salah satu contoh turbin angin sumbu vertikal jenis drag adalah turbin angin savonius, yang mana terdiri dari dua atau tiga lembar pelat yang dilengkungkan pada arah tangensial yang sama terhadap sumbu putar. Turbin angin poros vertikal atau yang lebih dikenal memiliki ciri utama yaitu keberadaan poros tegak lurus terhadap arah aliran angin atau tegak lurus terhadap permukaan tanah.

Keuntungan dari konsep turbin angin sumbu vertikal adalah lebih sederhana perancangannya dan pembuatannya dibandingkan turbin angin sumbu horisontal. Keuntungan-keuntungan tersebut diantaranya adalah memungkinkan penempatan komponen mekanik, komponen elektronik, transmisi roda gigi, dan generator dekat dengan permukaan tanah. Rotor turbin angin sumbu vertikal berputar tanpa dipengaruhi arah datangnya angin sehingga tidak membutuhkan mekanisme pengatur arah (seperti ekor) seperti pada turbin angin sumbu horisontal.



Gambar 2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal (www.intechopen.com)

b. Turbin Angin Sumbu Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu horizontal mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal meliputi: sudu (*blade*), ekor (*tail*), tiang penyangga (*tower*), dan alternator.

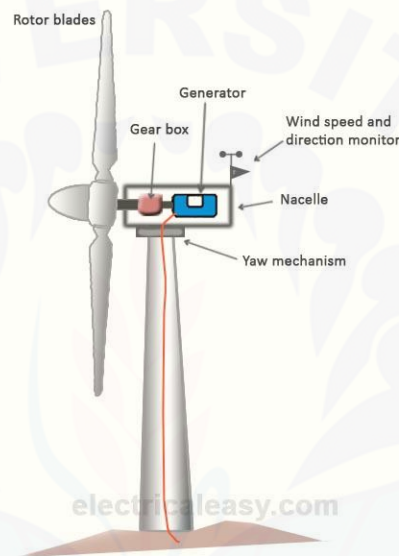
Berdasarkan letak rotanya terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu turbin angin sumbu horizontal tipe *Upwind* dan *Downwind*. Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin, sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah datang angin.

Kelebihan turbin angin horizontal adalah:

1. Dasar menara yang tinggi memungkinkan akses angin kuat ditempat yang memiliki besaran angin fluktuatif
2. Efisiensi lebih tinggi, karena *blade* selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

Sedangkan kekurangan turbin angin sumbu horizontal adalah:

1. Membutuhkan konstruksi menara yang besar untuk menyanggah bilah, gearbox dan generator
2. Harus diletakkan pada area aman lintasan pesawat untuk menghindari kecelakaan
3. Membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal (www.electrical easy.com)

Secara umum, bagian-bagian utama dari turbin angin sumbu horizontal terdiri dari; rotor (*blade* dan *hub*), nasek/*nacelle*, generator, transmisi *gearbox*, kopling dan rem, sistem orientasi (*yaw system*), menara, sistem kontrol dan pondasi.

- Sudu (*blade*)

Rotor turbin angin yang terdiri dari *blade* dan *hub* merupakan bagian dari turbin angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak. Pada sebuah turbin angin, baling-baling rotor dapat berjumlah 1, 2, 3 atau lebih.

- Rotor *Hub*

Hub merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan shaft (poros) utama

- Kontrol *pitch blade*

Salah satu tipe rotor adalah dengan sudu terpasang variabel yang dapat dirubah sudut serangnya dengan mengatur posisi sudut serang sudu terhadap arah angin bertiup. Rotor dengan mekanisme demikian disebut dengan rotor dengan pitch sudu variabel. Tidak semua turbin angin menggunakan tipe rotor dengan sudut sudu variabel.

- Rem

Rem berfungsi untuk menghentikan putaran poros rotor yang bertujuan untuk keamanan atau pada saat dilakukan perbaikan.

- Poros Rotor Putaran Rendah

Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi *gearbox*.

- *Gearbox*

Pada umumnya transmisi di turbin angin berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator dengan dipercepat putarannya. Hal ini diperlukan karena umumnya putaran rotor berotasi pada putaran rendah, sementara generatornya bekerja pada putaran tinggi.

- *Tail Vane*

Salah satu sistem orientasi yang pasif (*passive yawing*) adalah menggunakan ekor pengarah. Fungsi dari ekor pengarah (*tail vane*) adalah untuk membelokan posisi rotor terhadap arah datangnya angin.

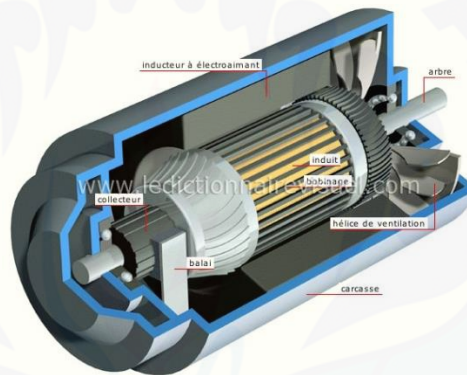
2.2.4 Generator

Generator merupakan komponen terpenting dalam sistem turbin angin, dimana fungsinya adalah merubah energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak menjadi energi listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa *alternating current* (AC) maupun *direct current* (DC) dan

tegangan keluarannya dapat dari tegangan rendah (12 volt) atau sampai tegangan 680 volt atau lebih.

Generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin berbeda dengan generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air ataupun uap. Biasanya yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin adalah generator DC. Gnerator ini memiliki berat dan dimensi yang tidak terlalu besar. (Gunawan, 2015).

Berikut ini adalah gambar dari generator DC yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin:



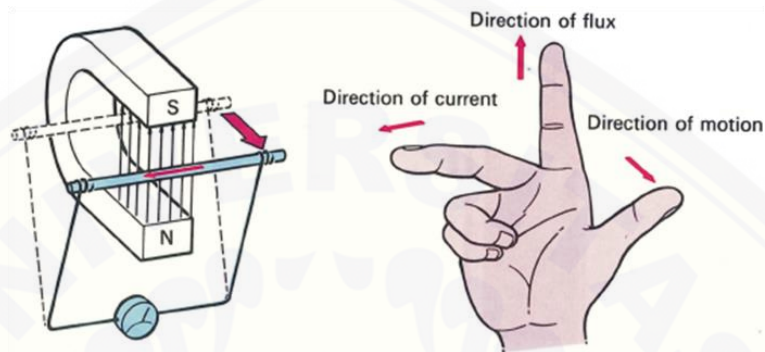
Gambar 2.7 Generator DC (sumber: <http://kilathitam.blogspot.co.id>)

Prinsip dasar generator DC menggunakan hukum farady yang menyatakan bahwa jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan generator bergantung pada kecepatan putaran (N), jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks (Z) dan jumlah fluks magnet yang dibandingkan oleh medan magnet.

Konstruksi generator DC terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

1. Rotor, merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksi ke stator
2. Stator, merupakan bagian tetap pada generator yang terbuat dari baja. Stator berfungsi melindungi bagian dalam generator kotak terminal dan name plate pada

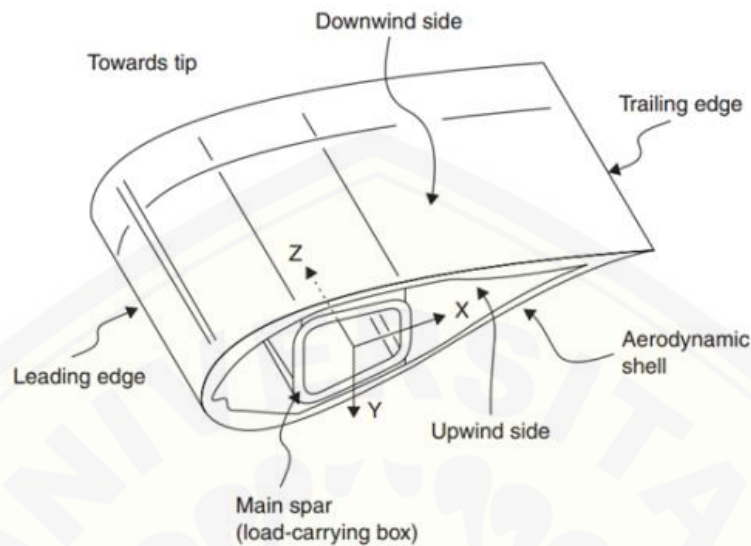
generator. Inti stator terbuat dari bahan feromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat laur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan sedangkan rotor berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder).



Gambar 2.8 Kaidah tangan kanan (sumber: <https://qtussama.wordpress.com>)

2.2.5 Gaya Aerodinamik pada Turbin Angin

Blade berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya angin dan menggerakkan poros turbin dan poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. *Blade* turbin angin diusahakan memiliki kekasaran yang sama pada setiap permukaannya sehingga gaya *lift* yang dihasilkan tinggi. Bagian pangkal blade dicengkeram oleh *hub* dengan menggunakan baut. Jari-jari *blade* adalah jarak dari sudu dari permukaan poros rotor sampai ujung dari *blade*.



Gambar 2.9 Penampang Blade Turbine (<http://www.renewableenergyfocus.com>)

Pada *blade* turbin angin akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan udara. Distribusi tegangan geser pada permukaan *blade* ini dipresentasi dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan *blade* dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk *blade*, luas permukaan bidang sentuh, sudut serang, dan kecepatan angin. Secara matematis, kedua gaya ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_D = \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau_w \sin \theta dA \quad (2.5)$$

$$F_L = \int dF_y = - \int p \sin \theta dA + \int \tau_w \cos \theta dA \quad (2.6)$$

Dimana P adalah tekanan yang terjadi pada permukaan *blade* akibat gaya aliran udara, sedangkan θ adalah sudut yang dibentuk antara arah aliran udara terhadap sumbu normal *blade*.

Untuk mempermudah perhitungan fenomena *drag* dan *lift*, maka dengan metode *numeric* (*Gerhart*), diperkenalkanlah *drag* and *lift coefficient* (koefisien gaya hambat dan gaya angkat) yang dilambangkan dengan C_D dan C_L . Besarnya C_L dan C_D bergantung dari bentuk melintang sudu yang digunakan dan sudut serang (α).

Secara matematis, hubungan gaya drag dan lift dengan koefisiennya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A \quad (2.7)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho U^2 A \quad (2.8)$$

Dimana ρ adalah massa jenis udara, A adalah luas penampang sudu, dan U adalah kecepatan angin.

2.2.6 Koefisien Daya dan *Tip Speed Ratio*

Desain aerodinamik pada turbin angin memerlukan banyak pengetahuan fisika dasar tentang hukum konversi energi. Seorang perancang akan menghadapi permasalahan tentang hubungan antara bentuk *blade*, jumlah *blade*, dan sifat-sifat aerodinamik.

Bet'z memudahkan teori momentum pada sudu turbin dengan cara pemodelan aliran dua dimensi. Aliran udara ini akan menyebabkan defleksi pada *airfoil*. Gerakan dari angin ini akan menggerakkan sudu sehingga timbul gerak putar pada sudu turbin.

Power Coefficient (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada *blade* akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya lift pada aliran udara. Secara matematis, hubungan ini dapat dituliskan:

$$C_P = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 - v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (2.9)$$

$$C_P = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[\left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \right] \quad (2.10)$$

Dimana:

C_p : Koefisien daya

P : daya mekanik yang dihasilkan rotor (Watt)

P_0 : daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui *blade* (Watt)

ρ : massa jenis udara (kg/m^2)

A : Luas Penampang bidang putar *blade* (Watt)

v_1 : kecepatan aliran udara sebelum melalui *blade* rotor (m/s)

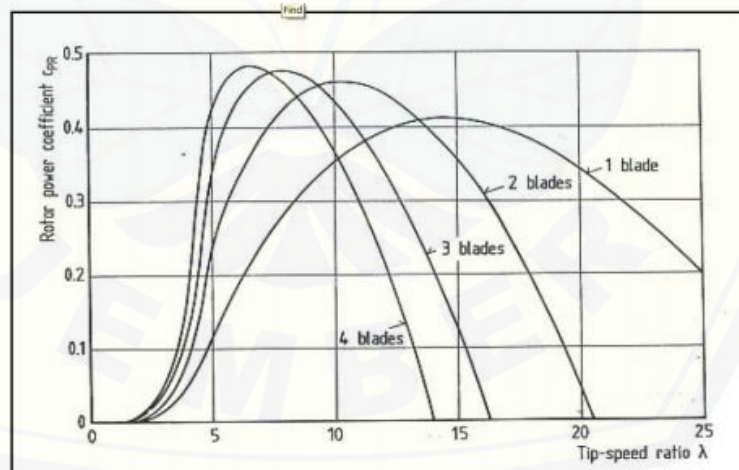
v_2 : kecepatan aliran udara setelah melalui *blade* rotor (m/s)

Energi yang terkandung pada *spin* (putaran *blade*) akan mengurangi proporsi penggunaan energi total yang terkandung pada aliran. Secara teori momentum, *power coefficient* dari turbin harus lebih kecil daripada harga yang ditentukan oleh Betz's (sekitar 0,593). Hal ini disebabkan terjadinya *losses* pada mekanisme gerak turbin angin. *Power coefficient* bergantung pada rasio antara komponen energi gerak putar *blade* dan gerak rotasi pada aliran udara. Rasio ini didefinisikan sebagai kecepatan tangensial *blade* rotor terhadap kecepatan angin dan didefinisikan sebagai *tip speed ratio* (λ), yang secara umum direkomendasikan pada kecepatan tangensial dari ujung *blade*.

$$\text{Tip speed ratio, } \lambda = \frac{u}{v_w} \quad (2.11)$$

$$\text{Tip speed ratio, } \lambda = \frac{\pi d n}{60 v} \quad (2.12)$$

Dimana u adalah kecepatan tangensial dari ujung *blade* (m/s), v_w adalah kecepatan angin (m/s), d adalah diameter *blade*, dan n adalah putaran rotor atau *blade*.



Gambar 2.10 Kurva hubungan *tip speed ratio* terhadap rotor *power coefficient* (C_{PR}) pada bagian jumlah *blade* (sumber: Wind Turbine, Erich Hau)

Kecepatan aksial V_a pada rotor turbin angin dengan kecepatan tangensial u pada radius dari penampang *blade* dikombinasikan menjadi kecepatan aliran total V_r .

Elemen dasar pada kurva daya rotor adalah *power coefficient* (C_P) yang merupakan fungsi dari *tip speed ratio* untuk semua spesifikasi turbin atau mesin angin. Pada beberapa sumber buku *power coefficient* didefinisikan sebagai rotor *power coefficient* (C_{PR}), sehingga besarnya nilai C_P dan C_{PR} adalah sama. Pada penampang *blade* terdapat sudut serang (*angle of attack*) dan sudut *pitch blade*. Sudut serang adalah parameter aerodinamik dan sudut *pitch blade* adalah untuk parameter desain.

Perhitungan keseimbangan gaya meliputi tidak hanya pada *drag* dan *lift airfoil* murni, tetapi juga meliputi semua komponen *drag* dan *lift* lain yang terdapat di sekitar *blade*. Resultan *drag* merupakan fungsi dari koefisien *lift* lokal dan aspek rasio dari *blade*. Perhitungan *drag* dan *lift* aerodinamik lokal, menurut teori momentum pada *blade* (teori Betz's), terkait distribusi gaya aerodinamik sepanjang *blade*. Terdapat dua komponen, yaitu: satu pada bidang putaran rotor yang dinamakan dengan distribusi gaya tangensial, dan satu lagi adalah distribusi gaya dorong.

Pada dasarnya besar tekanan yang terjadi antara pangkal (*top*) dengan ujung (*tip*) *blade* adalah berbeda. Dengan mengetahui sudut *pitch blade*, dapat ditentukan besarnya lebar *blade*. Besarnya lebar *blade* merupakan fungsi dari sudut *pitch* dan *tip speed ratio*. Pada prosesnya, setiap *blade* memiliki lapisan angin tertentu. Untuk jari-jari r yang kecil, jumlah angin yang melapisi *blade* tentu akan lebih kecil. Secara matematis, besarnya *blade* (*chord*) dapat dinyatakan dengan:

$$C = \frac{16\pi R \left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 B} \quad (2.12)$$

Dimana C adalah ketebalan *blade*, r adalah jari-jari *blade*, R adalah jari-jari total turbin angin, dan B adalah jumlah *blade*.

2.2.7 Karakteristik Daya Rotor

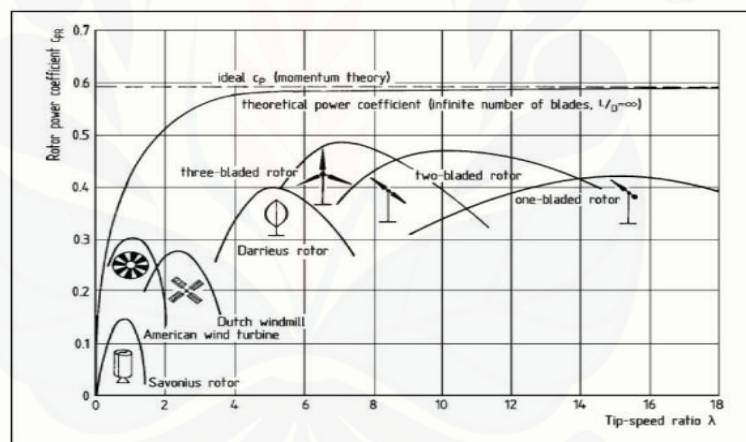
Teori momentum sederhana (teori Betz's) telah menyediakan persamaan dasar untuk menghitung besarnya output daya mekanik dari rotor (mechanical power output). Dengan menggunakan power coefficient C_p , daya rotor dapat dihitung sebagai fungsi dari kecepatan angin.

$$P_R = C_p \frac{\rho}{2} v_w^3 A \quad (2.13)$$

Atau,

$$P_R = C_p \eta \frac{\rho}{2} v_w^3 A \quad (2.14)$$

Dimana A adalah luas blade, v_w adalah kecepatan angin, C_p adalah koefisien daya rotor, ρ adalah massa jenis udara, P_R adalah daya rotor dan η adalah efisiensi elektrik dan mekanik.



Gambar 5.11 Kurva hubungan tip speed ratio terhadap rotor power coefficient (CPR) pada berbagai jenis turbin angin (sumber: Wind Turbines, Erich Hau)

2.2.8 Buck-boost Converter

Buck-boost converter adalah penggabungan dari buck converter dan boost converter, karena keduanya memiliki fungsi dan tujuan yang berbeda.

2.2.8.1 Buck Converter

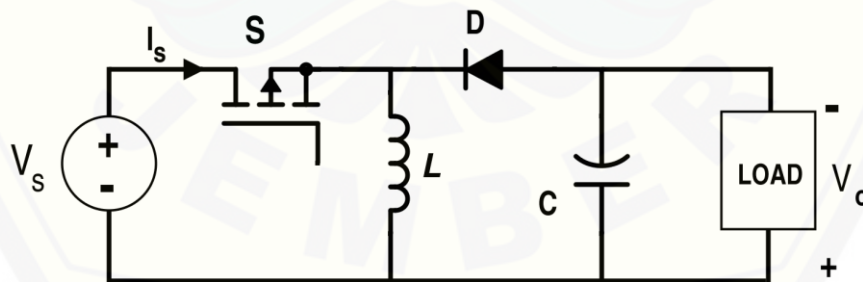
Buck Converter merupakan penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2, rangkaian ini terdiri terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode), kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya.

2.2.8.2 Boost Converter

Boost converter berguna untuk mengubah tegangan masukan yang rendah ke tegangan keluaran yang tinggi (penaik tegangan). Konverter ini bekerja secara periodik saat saklar terbuka dan tertutup. Untuk konverter ini, parameter yang dibutuhkan untuk dapat memperoleh rangkaiannya terdiri dari beberapa komponen yaitu saklar daya, dioda frekuensi tinggi, induktor, kapasitor, dan beban resistor. Saklar yang dipakai harus mempunyai respon yang cepat saat keadaan on dan off. Saklar yang dapat digunakan adalah saklar semikonduktor seperti MOSFET.

2.2.8.3 Buck-boost Converter

Buck-boost converter adalah sebuah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah level tegangan, baik ke level tinggi maupun ke level rendah. *Buck-boost converter* mengubah polaritas dari tegangan *input* terhadap tegangan *output*.



Gambar 2.13 Buck-boost Converter (sumber: <https://www.allaboutcircuits.com>)

Induktor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* arus, sedangkan kapasitor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* tegangan, dan dioda digunakan sebagai komponen *switching* yang bekerja pada keadaan *open*.



2.2.9 Arduino UNO

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin *input* dan *output*. Memiliki 6 pin *input output* digital sebagai *output Pulse Width Modulation* dan 6 pin *input* analog. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB.



Gambar 2.14 Arduino Uno (sumber: <https://robotechshop.com>)

Dengan adanya mikrokontroler ini semua sensor akan dikontrol dan diprogram untuk dapat disimpan ke dalam memori internal berupa data kecepatan angin, arah angin dan temperatur udara pada tiap-tiap ketinggian. Mikrokontroler jenis ini sudah dapat mencakupi kebutuhan sistem yang nantinya digunakan dalam pembuatan alat anemometer berbasis kecepatan dan arah angin yang diinginkan.

Arduino Uno mempunyai sejumlah fasilitas untuk komunikasi dengan sebuah komputer, Arduino lainnya atau mikrokontroler lainnya. Atmega 328 menyediakan *serial* komunikasi UART TTL (5V), yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah Atmega 16U2 pada channel *board serial* komunikasinya melalui USB dan muncul sebagai sebuah port virtual ke *software* pada komputer. *Firmware* 16U2 menggunakan *driver* USB COM standar, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Bagaimanapun, pada Windows, sebuah file *inf* pasti dibutuhkan.

Software Arduino mencakup sebuah *serial* monitor yang memungkinkan data tekstual terkirim ke dan dari *board* Arduino. LED RX dan TX pada *board* akan menyala ketika data sedang di *transmit* melalui *chip* USB-to-serial dan koneksi USB pada komputer (tapi tidak untuk komunikasi *serial* pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial library* memungkinkan untuk komunikasi *serial* pada beberapa pin *digital* UNO. ATmega328 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. *Software* Arduino mencakup sebuah *Wire library* untuk memudahkan menggunakan bus I2C, lihat dokumentasi untuk lebih jelas. Untuk komunikasi SPI, gunakan *SPI library*.

2.2.10 Programming

Arduino UNO dapat diprogram dengan *software* Arduino (*download*). Pilih “Arduino Uno dari menu *Tools > Board* (termasuk mikrokontroler pada *board*). Untuk lebih jelas, lihat referensi dan tutorial. ATmega328 pada Arduino Uno hadir dengan sebuah *bootloader* yang memungkinkan kita untuk *upload* kode baru ke ATmega328 tanpa menggunakan pemrogram *hardware* eksternal. ATmega328 berkomunikasi menggunakan protokol STK500 asli (referensi, file *C header*).

```
#define LED_PIN13
|
void setup () {
  pinMode (LED_PIN, OUTPUT); // enable pin 13 for digital output
}

void loop () {
  digitalWrite (LED_PIN, HIGH); // turn on the LED
  delay (1000); // wait one second (1000 milliseconds)
  digitalWrite (LED_PIN, LOW); // turn off the LED
  delay (1000); // wait one second
}
```

Gambar 2.15 Contoh Program Arduino

(Setiawan, 2014)

Kita juga dapat membypass *bootloader* dan program mikrokontroler melalui kepala / *header* ICSP (In-Circuit *Serial Programming*); lihat instruksi untuk lebih jelas Sumber kode *firmware* ATmega16U2 (atau 8U2 pada *board* revisi 1 dan revisi 2) tersedia. ATmega16U2/8U2 di - *load* dengan sebuah *bootloader* DFU, yang dapat diaktifkan dengan:

- Pada *board* Revisi 1: Dengan menghubungkan jumper solder pada belakang *board* (dekat peta Italy) dan kemudian me - *reset* 8U2.
- Pada *board* Revisi 2 atau setelahnya: Ada sebuah resistor yang menarik garis HWB 8U2/16U2 ke ground, dengan itu dapat lebih mudah untuk meletakkan ke dalam *mode* DFU. Kita dapat menggunakan *software* Atmel's FLIP (Windows) atau pemrogram DFU (Mac OS X dan Linux) untuk me - *load* sebuah *firmware* baru. Atau kita dapat menggunakan *header* ISP dengan sebuah pemrogram eksternal (meng - *overwrite* *bootloader* DFU). Lihat *tutorial user-contributed* ini untuk informasi selengkapnya.

2.2.11 Reset Otomatis (*Software*)

Dari pada mengharuskan sebuah penekanan fisik dari tombol *reset* sebelum sebuah peng - *upload* - an, Arduino Uno didesain pada sebuah cara yang memungkinkannya untuk *direset* dengan *software* yang sedang berjalan pada pada komputer yang sedang terhubung. Salah satu garis kontrol aliran *hardware* (DTR) dari ATmega8U2/16U2 sihubungkan ke garis *reset* dari ATmega328 melalui sebuah kapasitor 100 nanofarad.

Ketika saluran ini dipaksakan (diambil rendah), garis *reset* jatuh cukup panjang untuk *mereset* chip. *Software* Arduino menggunakan kemampuan ini untuk memungkinkan kita untuk meng*upload* kode dengan mudah menekan tombol *upload* di *software* Arduino. Ini berarti bahwa *bootloader* dapat mempunyai sebuah batas waktu yang lebih singkat, sebagai penurunan dari DTR yang dapat menjadi koordinasi yang baik dengan memulai peng-*upload* - an.

Pengaturan ini mempunyai implikasi. Ketika Arduino Uno dihubungkan ke sebuah komputer lain yang sedang *running* menggunakan OS Mac X atau Linux, Arduino Uno *mereset* setiap kali sebuah koneksi dibuat dari *software* (melalui USB). Untuk berikutnya, setengah-detik atau lebih, *bootloader* sedang berjalan pada Arduino UNO. Ketika Arduino UNO diprogram untuk mengabaikan data yang cacat/salah (contohnya apa saja selain sebuah *penguploadan* kode baru) untuk menahan beberapa bit pertama dari data yang dikirim ke *board* setelah sebuah koneksi dibuka. Jika sebuah *sketch* sedang berjalan pada *board* menerima satu kali konfigurasi atau data lain ketika *sketch* pertama mulai, memastikan bahwa *software* yang berkomunikasi menunggu satu detik setelah membuka koneksi dan sebelum mengirim data ini.

Arduino Uno berisikan sebuah jejak yang dapat dihapus untuk mencegah *reset* otomatis. Pad pada salah satu sisi dari jejak dapat disolder bersama untuk mengaktifkan kembali. Pad itu diberi label “*RESET-RN*” Kita juga dapat menonaktifkan *reset* otomatis dengan menghubungkan sebuah resistor 110 ohm dari tegangan 5V ke garis *reset*.

2.2.12 Proteksi Arus USB

Arduino UNO mempunyai sebuah sekering *reset* yang memproteksi port USB komputer dari hubungan pendek dan arus lebih. Walaupun sebagian besar komputer menyediakan proteksi internal sendiri, sekering menyediakan sebuah proteksi tambahan. Jika lebih dari 500 mA diterima port USB, sekering secara otomatis akan memutuskan koneksi sampai hubungan pendek atau kelebihan beban hilang.

2.2.13 LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) atau disebut tampilan kristal cair merupakan jenis media tampilan di berbagai bidang misalnya dalam alat – seperti televisi,

kalkulator, ataupun layar komputer. LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan suatu alat yang dapat menampilkan karakter ASCII sehingga kita bisa menampilkan campuran huruf dan angka sekaligus. LCD didalamnya terdapat sebuah mikroprosesor yang mengendalikan tampilan, kita hanya perlu membuat program untuk berkomunikasi.



Gambar 2.14 LCD 16x2

(Sumber : <http://www.basicx.com/Products/SLCD/2X16LCDoverview.html>)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan Laboratorium CDAST Universitas Jember yang beralamat di Jl. Kalimantan No.37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, setelah pelaksanaan seminar proposal.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih enam bulan, berikut adalah tabel jadwal kegiatan penelitian.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan / Minggu											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■											
2	Mengurus perijinan		■										
3	Menyiapkan alat dan bahan			■	■								
4	Pengujian laboratorium				■	■							
5	Pengambilan data					■	■						
6	Analisis data							■	■				
7	Membuat laporan									■	■	■	■

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laptop
2. Anemometer
3. *Buck-boost converter*
4. Turbin angin
5. Motor DC 12 Volt
6. Bateray Manajemen
7. Pipa Pvc
8. Sensor tegangan
9. Arduino Uno
10. LCD

3.3 Tahap Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan adanya sebuah studi pustaka dan literatur mengenai hal yang akan menjadi objek penelitian, hingga nanti menjadi sebuah laporan penelitian yang baik dan benar. Tahapan-tahapan penelitian disusun sebagai berikut :

1. Studi Pustaka dan Literatur

Tahapan awal dari penelitian ini adalah mencari sebuah studi pustaka dan literatur dari hasil penelitian sebelumnya yang diharapkan dengan pengkajian studi pustaka dan literatur dapat memberikan gambaran dan keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik dan mendapatkan hasil penelitian secara maksimal serta mengurangi kesalahan dalam penelitian. Beberapa jurnal dan buku menjadi acuan dan literatur pendukung dari penelitian ini.

2. Pembangunan Alat

a. Perencanaan perangkat keras

Perancangan perangkat keras adalah tahap awal dalam proses pembuatan alat ini. Pada tahap ini di rencanakan komponen apa saja yang akan di pakai dalam alat. Proses pembelian alat dan penyesuaian komponen yang

nantinya akan membuat sistem menjadi semakin baik. Alat dan bahan disiapkan dengan baik untuk memudahkan proses pembuatan alat.

b. Pembelian bahan pembangunan alat

Dalam pembangunan alat tahap kedua adalah pembelian material pendukung dalam pembuatan alat. Pembelian meliputi komponen alat dan bahan. Semua alat dan bahan benar-benar disiapkan agar tidak kurang dan menghindari pembelian ulang, cukup pembelian ulang ketika alat mengalami kerusakan berat saja.

c. Pengerjaan pembangunan alat

Tahap selanjutnya dalam pembangunan alat adalah proses pengerjaan turbin angin *horizontal axis* dengan alat, bahan, dan skematik dari rangkaian dan program yang telah direncanakan direalisasikan dalam sebuah pengerjaan pembangunan alat.

3. Pengujian Alat

Tahap ketiga dari penelitian ini adalah pengujian alat. Dalam sebuah pengujian, fungsi kerja rangkain yang telah dibuat diharapkan sudah sesuai dengan tujuan penelitian sehingga nantinya alat yang telah dibuat dapat bekerja secara maksimal dan didapatkan parameter - parameter yang dibutuhkan dalam pembahasan dan analisa. Pengujian ini dilakukan untuk menghindari adanya eror atau masalah baru ketika alat dioperasikan dalam proses pengambilan data.

4. Pembahasan dan Analisa

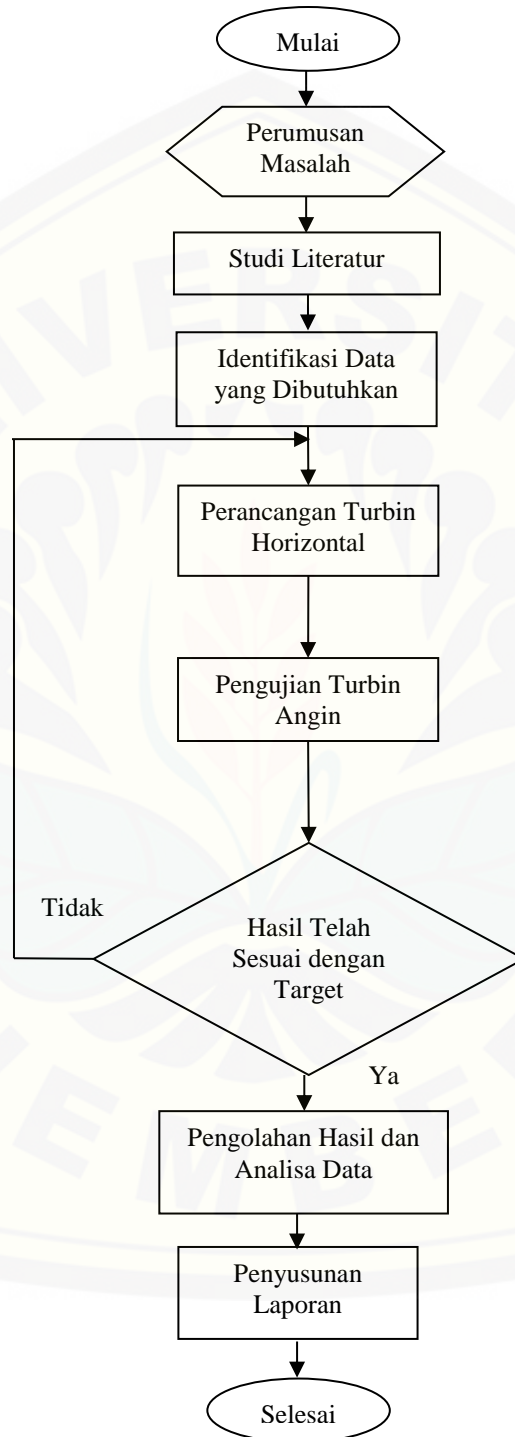
Pada tahapan pembahasan dan analisa dilakukan analisis tentang data yang telah diperoleh dari hasil pengujian alat dan analisa hasil pengukuran, sehingga diharapkan pada tahap ini dapat ditemukan sebuah pembahasan analitis guna penyesuaian teoritis dan hasil pengujian alat yang dilakukan. Hasil analisis inilah yang nantinya dijadikan acuan apakah penelitian berhasil atau tidak dan juga sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

5. Penyusunan Laporan

Pada tahapan akhir penelitian ini, hasil pengambilan data dan analisa yang telah dimasukan dalam pembahasan. Dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja alat yang telah dibuat dan memberikan saran guna menyempurnakan alat system keamanan kendaraan bermotor, sehingga dapat memungkinkan terjadi pengembangan penelitian.



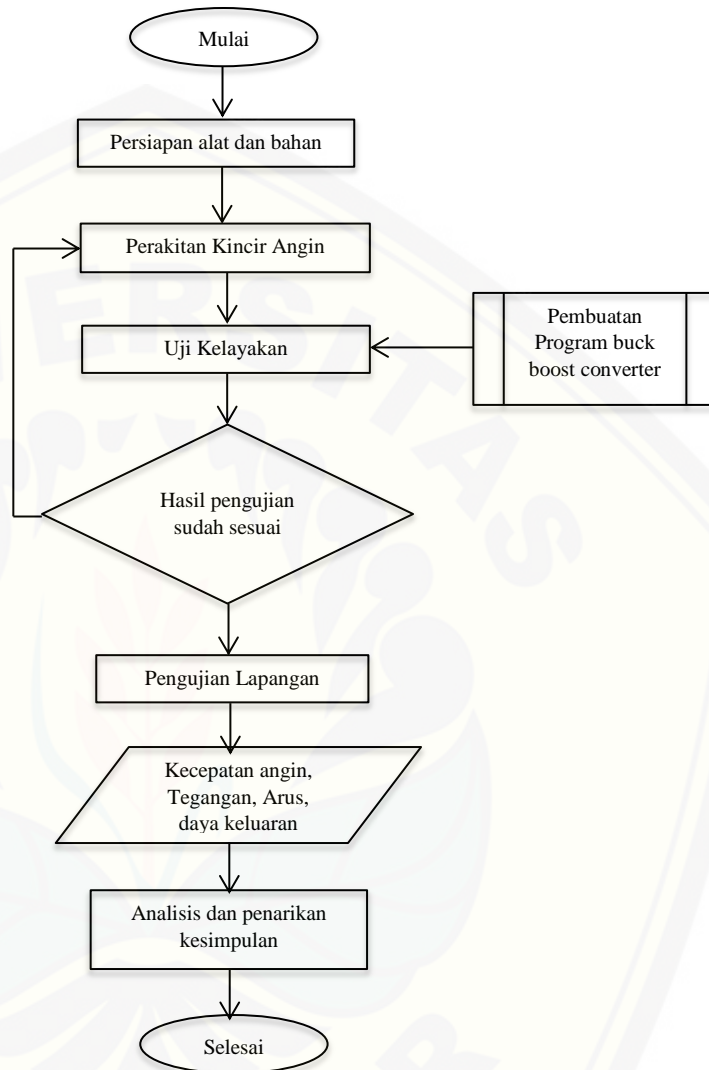
3.4 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

- Langkah pertama :Merumuskan masalah yang ada ketika akan merancang bangun turbin angin.
- Langkah kedua :Mempelajari teori penunjang yang berkaitan dengan rancang bangun turbin angin.
- Langkah ketiga :Mengidentifikasi data apa saja yang akan digunakan seperti data kecepatan angin, torsi, arus, daya referensi, luas penampang, dan sebagainya.
- Langkah keempat :Dalam tahap ini, perancangan turbin angin dengan menggunakan beberapa lat dan bahan.
- Langkah kelima :Pengujian dilakukan setelah rancang bangun selesai dibuat dengan mendapatkan dat-data yang dibutuhkan. Apabila hasil yang didapat sesuai dengan target yang diharapkan, maka akan dilakukan tahapan selanjutnya. Akan tetapi jika hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan target, maka kembali ke langkah empat.
- Langkah keenam :Pengolahan hasil dan analisa data dilakukan setelah mendapatkan data yang diinginkan.
- Langkah ketujuh :Langkah terakhir adalah menyusun laporan sebagai bukti telah menyelesaikan penelitian.

3.5 Digram Alir Rancang Bangun



Gambar 3.2 diagram alir rancang bangun

Berdasarkan diagram alir dapat dijelaskan bahwa setelah proses dimulai maka langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Setelah memilih dan memilah alat dan bahan, maka langkah selanjutnya adalah dengan mulai perakitan. Dalam proses perakitan ini dibagi menjadi dua macam yaitu perakitan hardware (perakitan kincir angin) dan *software* (sistem kontrol). Pada proses perakitan kincir angin, apabila sudah selesai kemudian

dilakukan uji kelayakan dengan menggunakan kipas angin sebagai sumber energi angin. Apabila sudah layak, maka selanjutnya adalah pengujian untuk sistem kontrolnya. Apabila pada sistem kontrol berjalan sesuai rancangan maka akan dilanjutkan dengan pengujian di lapangan, namun apabila tidak sesuai akan dilakukan pemrograman ulang.

Untuk uji lapangan, akan dilakukan di gedung CDAST Universitas Jember. Data yang akan diambil adalah data kecepatan angin, tegangan, arus, torsi, dan daya keluaran dari turbin tersebut. Jika semua data sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya ialah melakukan analisis, penyusunan laporan hingga penarikan kesimpulan.

3.6 Rancang Bangun

3.6.1 Rancang Bangun Kincir Angin

Kincir angin adalah alat bantu yang digunakan untuk menggerakkan generator dan membangkitkan tenaga listrik. Efisiensi angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jenis angin tersebut, serta titik rancangan. (Markus et al.,2007).



Gambar 3.3 Desain Rancang Bangun Turbin Angin

3.6.1.1 Menentukan Dimensi turbin angin

Untuk mendesain sebuah turbin angin, turbin haruslah memiliki dimensi. Dimensi dari turbin angin dapat ditentukan dengan mengasumsikan daya yang dihasilkan dengan kecepatan angin rata-rata disekitar. Dengan rumus persamaan daya (P) pada turbin angin.

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

Rotor power koefisien (C_{Pr}) akan dihitung dengan menggunakan teori strip untuk rasio kecepatan tertentu. Ini memberikan koefisien daya rotor untuk kecepatan angin yang berbeda pada kecepatan rotor tetap atau sebaliknya. Selanjutnya adalah menentukan tip *speed ratio*. Tip *speed ration* (rasio kecepatan ujung) adalah kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip *speed ratio* akan berpenagruh pada kecepatan putar rotor. Hal ini berdasarkan persamaan tip *speed ratio* pada persamaan 2.10. untuk grafik hubungan antara C_{Pr} dan tip *speed ratio* bisa dilihat pada gambar 2.9.

3.6.1.2 Kekuatan Poros Turbin

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



Gambar 3.4 Desain Poros Turbin

Perhitungan diameter poros

$$P_d = f_c P \quad (3.2)$$

$$T = 9,74 \times 10^{5 \frac{P_d}{n}} \quad (3.3)$$

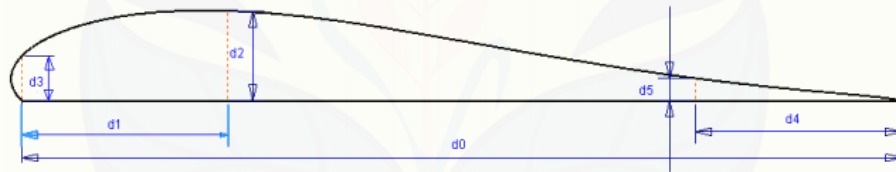
$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (3.4)$$

$$d_s = \left(\frac{5,1 K_t C_b T}{\tau_a} \right)^{1/3} \quad (3.5)$$

3.6.1.3 Menentukan Profil Airfoil

Airfoil NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil

Bentuk dari airfoil yang akan digunakan adalah seperti gambar berikut.



Gambar 3.5 Profil airfoil

Dimana:

D0 = lebar blade

D1 = lokasi titik puncak

D2 = tinggi titik puncak

D3 = tinggi arc leading edge

D4 = lokasi mulai trailing edge

D5 = tinggi mulai trailing edge

3.6.1.4 Pemilihan Bentuk Blade

Bentuk blade pada umumnya memiliki variasi yang beragam diantaranya bentuk blade lurus, bentuk blade tirus, bentuk blade tirus terbalik, dan bentuk blade optimal. Bentuk blade optimal dipilih dengan beberapa keuntungan diantaranya memberikan nilai C_p yang terbesar, nilai chord besar pada root untuk memberikan nilai starting torque yang besar.

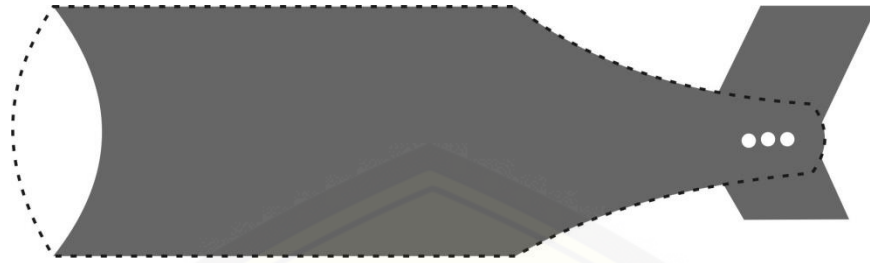


Gambar 3.6 Desain blade turbin angin

Sudut *pitch* dibuat seragam untuk kemudahan dalam pembuatan. Pemilihan sudut *pitch* dilakukan dengan pertimbangan untuk memperoleh nilai C_p maksimum dengan kondisi sudut *pitch* yang sama.

3.6.1.5 Desain *Body*

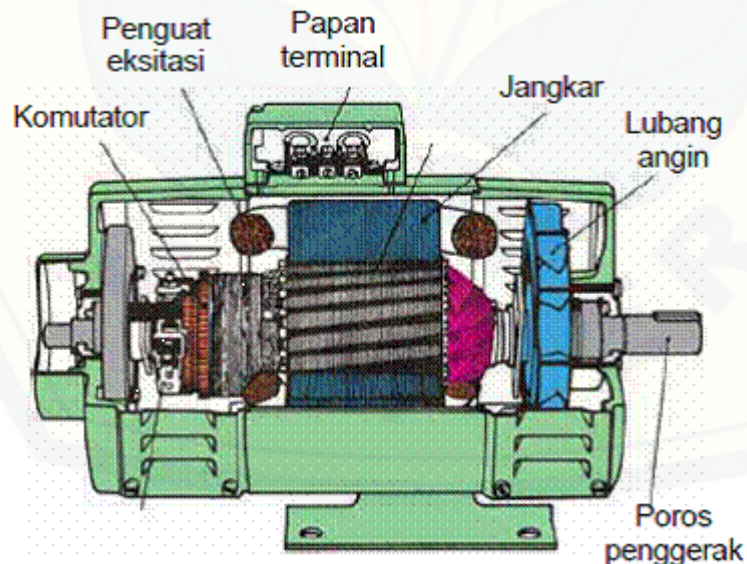
Body sebuah turbin angin adalah salah satu komponen yang penting untuk menunjang kinerja turbin angin. *Body* turbin angin ini digunakan untuk melindungi dan memperkecil kemungkinan generator yang digunakan untuk turbin angin mengalami gangguan dari kondisi alam. Berikut ini adalah desain *body* turbin angin.



Gambar 3.6 Desain body turbin angin

3.6.2 Generator

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Pada generator arus searah (DC) terdapat *rectifier* yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC. Generator ini menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan bila dihubungkan dengan beban, akan menimbulkan arus searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan listrik pada putaran yang tinggi. Untuk digunakan pada turbin angin, jenis generator ini memerlukan transmisi untuk menaikkan putaran.



Gambar 3.7 Generator DC (sumber: citra-teknologi.blogspot.com)

Generator yang digunakan adalah generator DC 12 - 24V 1660 – 3350 rpm.
Dengan spesifikasi motor sebagai berikut

Tabel 3.2 Spesifikasi Motor DC

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Trade mark	Canon
2	Type	FH7 - 1860
3	Tegangan Kerja	12 – 24 volt
4	Dimensi motor	D 37 mm, p 72 mm
5	Dimensi shaft	3 mm, 4 mm
6	Type sikat	karbon

3.7 Metode Pengumpulan Data

Dalam proses rancang bangun turbin angin dalam penelitian ini ditetapkan beberapa variabel, karena satu variabel penelitian merupakan parameter utama yang mempengaruhi hasil penelitian yang akan dicapai. Variabel yang digunakan sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mendapatkan tegangan konstan dengan kecepatan bervariasi. Skenario tolak ukur kecepatan angin bervariasi mengacu pada hasil penelitian kecepatan angin oleh Gunawan pada tahun 2015 dan Surya Ahmadi 2016. Dengan nilai kecepatan angin antara 0 hingga 6 m/s.

Dalam pengambilan data, dilakukan dua kali ujicoba. Uji coba yang pertama tanpa menggunakan kontrol, sedangkan ujicoba yang kedua menggunakan kontrol stabilitas tegangan. Hal ini bertujuan untuk membandingkan bagaimana kinerja sebuah turbin angin ketika tanpa menggunakan kontrol dan setelah menggunakan kontrol.

Untuk rangkaian boost converter, dilakukan dengan menggunakan 3 indikator kecepatan. Dimana indikator kecepatan ini dikalkulasikan sehingga mendapatkan tegangan dibawah 12 volt, untuk kemudian dinaikan menjadi tegangan yang mendekati angka 12 volt dan stabil.

Sedangkan untuk buck converter, dilakukan juga ujicoba dengan menggunakan 3 indikator kecepatan diatas kecepatan sebelumnya. Sehingga akan dihasilkan tegangan lebih dari 12 volt dc. Ketika angka yang diperoleh lebih dari 12 volt dc inilah kemudian buck converter dioperasikan sehingga akan mendapatkan tegangan stabil mendekati angka 12 volt. Dengan demikian, maka akan bisa dilakukan analisis dan pembahasan untuk ditarik sebuah kesimpulan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Putaran turbin dipengaruhi oleh seberapa besar torsi yang dihasilkan gaya dorong angin terhadap sudu dan desain turbin angin.
2. Semakin luas bidang sentuh angin maka akan menghasilkan torsi yang semakin besar. Desain turbin angin mempengaruhi seberapa besar kemampuan turbin untuk dapat mengubah energi angin menjadi energi mekanik rotasi.
3. *Buck-boost converter* bisa digunakan untuk stabilitas tegangan secara manual, sedangkan untuk membuatnya menjadi otomatis haruslah menggunakan *driver* motor sebagai tenaga pembantunya.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah desain turbin benar-benar harus diperhitungkan sedetail mungkin untuk meminimalisir terjadinya energi yang berkurang karena desain blade dan rotor memiliki jarak yang panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bustam, Kang. 2002. *Trik Pemrograman Aplikasi Berbasis SMS*. Jakarta: Penerbit Buku PT. Elex Media Komputindo.
- Tarigan, Daud E. 2013. “Membangun SMS Gateway Berbasis Web dengan Codeigniter”. Yogyakarta : Penerbit Lokomedia.
- Banzi, Masimo. 2009. *Getting Started with Arduino*. Amerika: O’reilly Media, Inc.
- Firmansyah, Dhea. 2013. *Simulasi Pintu Pagar Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Igoe, Tom. 2012. *Getting Started with RFID: Identity Objects in the Physical World with Arduino*. Amerika: Penerbit Buku O’Reilly Media, Inc.
- Lingga, Wardana. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroller AVR Seri Atmega85835 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi* . Yogyakarta : Andi.
- Kasyidi Muhammad Hilman dkk, 2010, “Rancang Bangun Sistem Informasi Keamanan Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroller Dan SMS Gateway”, Jurusan Teknik Elektronika PENS-ITS.
- Mandeep Kaur, dkk. 2011. “RFID Technology Principles, Advantages, Limitations & Its Applications”. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*. Vol. 3 (1) : 151-157.
- Ma’rifatul, Iman. 2005. *Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Pintu Garasi Berbasis Mikrokontroller Dengan SMS – Pengontrolan Pintu Otomatis Menggunakan Atmega8535*. Surabaya : PENS - ITS.
- Mahardika, Noorman Santa. *Rancang Bangun Sistem Keamanan Dan Pelacakan Kendaraan Berbasis Mikrokontroler Dan GPS*. Bandung : Telkom University.
- Nambiar, Arun N. 2009. “RFID Technology: A Review of It Applications”. *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science*. Vol. 2.

- Pradita, Rafi. 2013. *Pengaturan Sistem Keamanan dan Pemantauan Lokasi Mobil Dengan Fasilitas SMS*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Rudi, Siswoyo. 2005. *Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Pintu Garasi Berbasis Mikrokontroller Dengan SMS – Pembuatan Software SMS*. Surabaya: PENS – ITS.
- Sarjono., Rudianto. 2011. *Pengaruh Jumlah Blade Spiral 5 & 3 Terhadap Performa Kincir Angin Savonius dengan Bentuk Blade Spiral*. Majalah Ilmiah STTR Cepu: Fakultas Teknik Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu.
- Hasyim Asy'ari dkk, “*Desain Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Horizontal Dan Generator Magnet Permanen Tipe Axial Kecepatan Rendah*” Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III ISSN: 1979-911X, Yogyakarta, 3 November 2012
- Ita Rama Insiyanda, dkk, *Prototipe Turbin Angin Sumbu Tegak Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Ramah Lingkungan*, Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015Volume IV, Oktober 2015 ISSN: 2339-0654 ISSN: 2476-9398.
- Widodo B, Gayamel Rizal. 2007. *Belajar Sendiri 12 Proyek Mikrokontroler*. Jakarta : Penerbit Buku PT. Elex Media Komputindo.
- <http://febriadisantosa.weebly.com/knowledge/arduino-uno>. Diakses pada tanggal 29 Februari 2016
- <http://www.basicx.com/Products/SLCD/2X16LCDoverview.html>. Diakses pada tanggal 3 Maret 2016
- <http://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay.html>. Diakses pada tanggal 3 Maret 2016
- <https://pccontrol.wordpress.com/2014/12/12/pengetahuan-dasar-rfid-dan-pemrograman-dgn-arduino.html>. Diakses tanggal 2 Maret 2016
- <http://www.musbikhin.com/cara-menguji-modem-gsm-wavecom-fastrack-dengan-hyperterminal>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2016

<http://blog.adisanjaya.com/2014/05/project-dengan-arduino-uno-kirim-sms.html>

Diakses pada tanggal 28 Oktober 2016

