

**“PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN ANGIN TIPE
HELICAL – HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT)”**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
guna memperoleh Gelar Diploma III
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

Oleh:

YAYAT HIDAYAT
342 12 019

BRILLIANT PASANGIN
342 12 024

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2015**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul :

**Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical – Horizontal Axis
Wind Turbine (HAWT)**

Oleh :

Yayat Hidayat 342 12 019

Brilliant Pasangin 342 12 024

Telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md) pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 30 Oktober 2015

Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Jumadi Tangko, M.Pd
NIP. 19580606 199003 1 002



Abdul Rahman, S.T.,M.T.
NIP. 19730803 200604 1 001

Mengetahui,

a.n. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr.Ir. Muhammad Arsyad, M.T.
NIP. 19670410 199303 1 003

PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini, Jumat Tanggal 30 Oktober 2015, Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir telah menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa:

1. Yayat Hidayat (342 12 019)
2. Brilliant Pasangin (342 12 024)

Dengan judul **“Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical – Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)”** yang diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan gelar Diploma III (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 30 Oktober 2015

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------|
| 1. Dr. Jamal, S.T.,M.T | Ketua | (.....) |
| 2. Musrady Mulyadi, S.ST.,M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. Ir. La Ode Musa,M.T | Anggota | (.....) |
| 4. Gusri Emiyati Ali, S.Pd.,M.Pd. | Anggota | (.....) |
| 5. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. | Pembimbing I | (.....) |
| 6. Abdul Rahman, S.T.,M.T. | Pembimbing II | (.....) |

ABSTRAK

(Yayat Hidayat, Brilliant Pasangin), Pembuatan Dan Pengujian Turbin Angin Tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Pembimbing **Dr. Jumadi Tangko M.Pd** dan **Abdul Rahman, S.T., M.T.**

Turbin angin *Helical* merupakan jenis turbin angin yang bersudu heliks disebut sebagai turbin heliks atau *Helical*. Bentuk heliks dipilih karena secara teori dapat memberikan total torsi yang jauh lebih seimbang.

Pada pengujian ini, digunakan generator AC magnet permanen dan aki 12 volt sebagai beban generator. Pengujian dilakukan di atap gedung Administrasi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pengujian tersebut dilakukan dengan mengukur arus & tegangan rangkaian pengujian serta putaran pada poros turbin & generator. Analisis dilakukan untuk mengetahui efisiensi turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

Hasil pengujian turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) menghasilkan putaran 25,25 rpm pada poros turbin, dan menghasilkan putaran 101 rpm pada generator sedangkan tegangan output generator 18 Volt. Pada penelitian ini diperoleh efisiensi rata-rata turbin sebesar 0,214%.

Kata kunci: *HAWT*, putaran turbin, tegangan listrik dan efisiensi



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe *Helical-horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*”**.

Penulis menyadari bahwa dengan adanya kerja sama antara pembimbing dan penulis serta beberapa kerabat yang memberi berbagai masukan dan arahan yang bermanfaat bagi penulis sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat tersusun. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan karunia-Nya.
2. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas dukungan materi, doa, serta kasih sayang yang tak terhingga nilainya.
3. Bapak Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Sukma Abadi, S.T.,M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Dr. Jumadi Tangko, M.Pd., selaku pembimbing I dan Bapak Abdul Rahman, S.T., M.T., selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing kami.
7. Para Dosen dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya kepada kami.

8. Rekan-rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya program studi Teknik Konversi Energi.

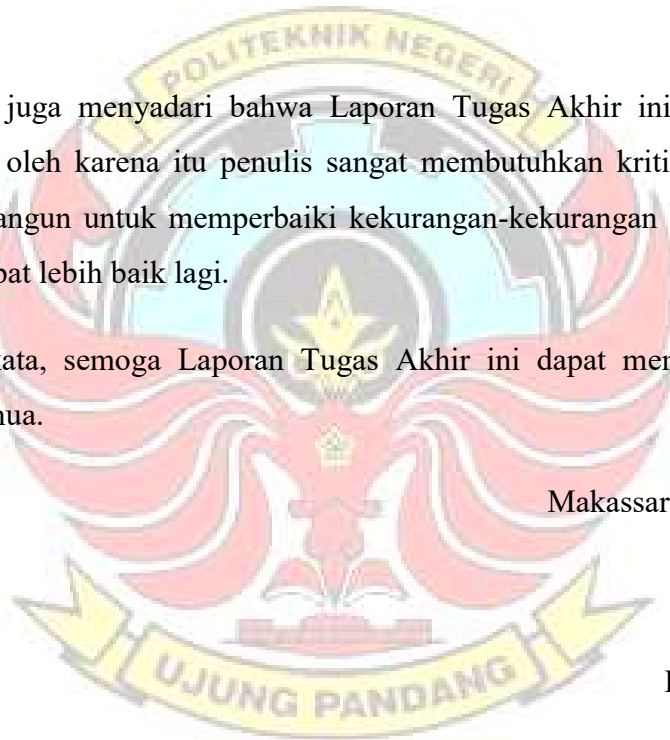
Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin sesuai dengan kemampuan penulis. Namun sebagai manusia biasa, penulis tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan baik dari segi keterbasan ilmu, teknik penulisan, maupun tata bahasa. Meskipun demikian penulis berusaha sebisa mungkin menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini meskipun tersusun sangat sederhana.

Penulis juga menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan agar dimasa yang akan datang dapat lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Makassar, Oktober 2015

Penulis



DAFTAR ISI

| HALAMAN SAMPUL | HAL |
|---|-------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | i |
| ABSTRAK | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR SIMBOL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Batasan Masalah..... | 3 |
| D. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| E. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Sejarah Pemanfaatan angin..... | 5 |
| B. Defenisi Energi Angin..... | 5 |
| C. Potensi Angin Di Indonesia..... | 6 |
| D. Pengertian Turbin Angin | 8 |
| E. Jenis Turbin Angin | 9 |
| F. Turbin Angin Helical..... | 17 |
| G. Analisa Daya | 17 |
| H. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)..... | 19 |

BAB III METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

A. Tempat Dan Waktu Penelitian..... 22

B. Metode Penelitian..... 22

C. Alat Dan Bahan Penelitian 24

D. Prosedur Penelitian..... 24

E. Teknik Pengumpulan Data 25

F. Metode Analisa Data 25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian Dan Pembuatan 26

B. Pembahasan..... 32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan..... 40

B. Saran..... 40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

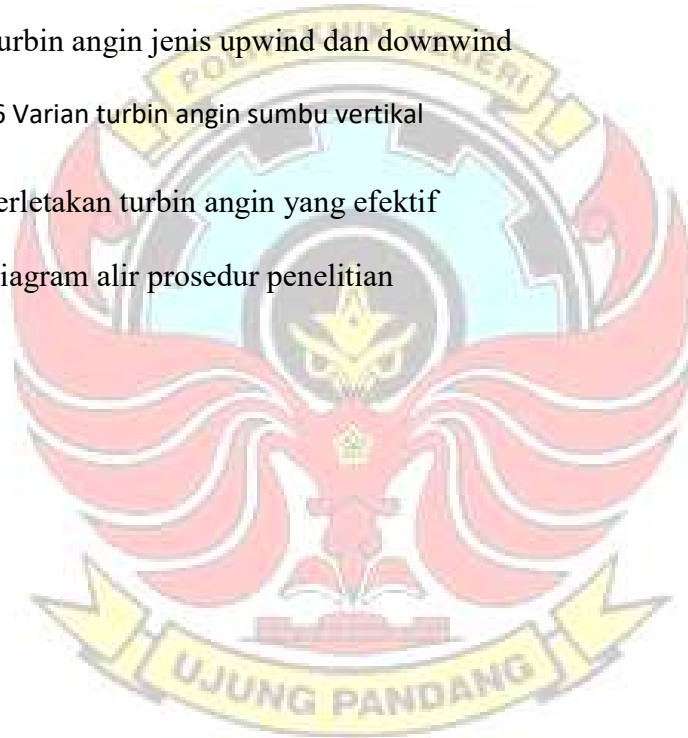


DAFTAR SIMBOL

| No | Simbol | Keterangan | Satuan |
|-----|----------|-------------------|------------|
| 1. | A | Luas penampang | (m^2) |
| 2. | I | Arus listrik | (A) |
| 3. | N_g | Putaran generator | (rpm) |
| 4. | N_t | Putaran turbin | (rpm) |
| 5. | P_g | Daya generator | (W) |
| 6. | P_w | Daya angin | (W) |
| 7. | v_a | Kecepatan angin | (m/s) |
| 8. | V_{dc} | Tegangan listrik | (V) |
| 9. | V_g | Tegangan keluaran | (V) |
| 10. | ρ | Densitas udara | (kg/m^3) |
| 11. | η_s | Efisiensi sistem | $(\%)$ |

DAFTAR GAMBAR

| | Hal. |
|---|-------------|
| Gambar 2.1 Skema Terjadinya Angin | 6 |
| Gambar 2.2 Sketsa sederhana kincir angin | 9 |
| Gambar 2.3 Komponen turbin angin sumbu horizontal | 11 |
| Gambar 2.4 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu | 11 |
| Gambar 2.5 Turbin angin jenis upwind dan downwind | 12 |
| Gambar 2.6 Varian turbin angin sumbu vertikal | 15 |
| Gambar 2.7 Perletakan turbin angin yang efektif | 18 |
| Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian | 23 |



DAFTAR TABEL

| | Hal. |
|--|-------------|
| Tabel 2.1 Pengelompokkan potensi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial | 7 |



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Tabel

Lampiran II. Gambar desain turbin

Lampiran III. Gambar dokumentasi kegiatan pembuatan turbin.



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah sumber energi angin. Indonesia juga merupakan negara kepulauan dan salah satu negara yang terletak di garis khatulistiwa yang merupakan faktor bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah.

Guru Besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember 1945 Surabaya, Djoko Sungkono, Rabu (27/7/2011) menjelaskan, menurut para ahli minyak bumi, gas alam, dan batu bara yang dikatakan sebagai bahan bakar fosil diperkirakan akan habis ±30 tahun lagi, bahan bakar gas habis dalam kurun waktu 70-80 tahun, dan bahan bakar padat 120 tahun lagi. Ini menunjukkan bahwa ketersediaan sumber energi yang ada di bumi tidak lama lagi akan habis, oleh karena itu perlu adanya penghematan sumber energi fosil dan mengembangkan sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia selanjutnya.

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/s, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Jika potensi ini tidak dimanfaatkan

sebaik-baiknya maka manusia terancam akan mengalami krisis energi karena penggunaan sumber energi yang terus meningkat.

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 *Helical* 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. Setelah turbin *Helical* ini dibuat, maka diharapkan akan habisnya bahan bakar yang tak terbarui seperti batu bara dan minyak bumi akan tertangani.

Pada penelitian Kamal H Bagar dkk, yang meneliti turbin angin *Helical* tipe vertikal dengan spesifikasi turbin, panjang rotor 2,5 m diameter 1,55 m dan area sapuan 6,8 m² dimana kecepatan angin sekitar 4 m/s atau 16 km/jam masih belum dapat mengawali perputaran turbin (Bagar, Habibi Kamal dkk. 2013). Hal inilah yang mendorong peneliti untuk membuat dan meneliti kembali turbin angin *Helical* tapi dengan tipe Horizontal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat dan menguji pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)?
2. Bagaimanakerja turbin dari efisiensi turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine*(HAWT) ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada proyek akhir ini adalah:

1. Membuat dan menguji pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).
2. Menghitung efisiensi turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Membantu Pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan khususnya pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin.
2. Memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi yang murah dan ramah lingkungan.
3. Sebagai bahan penelitian bagi kampus, industri dan pemerintah, khususnya turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

E. Batasan Masalah

Untuk lebih mempermudah dalam analisis data dan menghindari pembahasan diluar lingkup kajian maka penyusun membatasi masalah sebagai berikut:

1. Variabel yang dihitung
 - Daya input
 - Daya output
 - Effisiensi sistem
2. Kegiatannya meliputi pembuatan dan pengujian sistem pembangkit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Pemanfaatan Angin

Usaha manusia untuk memanfaatkan angin sebagai sumber energi telah dilakukan sejak zaman purbakala, salah satunya angin digunakan untuk mendorong kapal dan perahu. Kemudian, energi angin dimanfaatkan manusia sebagai sumber tenaga untuk menggiling butir gandum (padi) dan memompa air. Selama perubahan daya guna dari peralatan berat dan sederhana ini hingga mesin canggih dan berdaya guna sekarang, teknologi menjalani variasi tahap perkembangan. Tenaga angin merupakan tenaga gerak yang mudah didapat, sehingga dimanfaatkan untuk tenaga penggerak generator listrik sehingga menghasilkan arus listrik. (Romadoni, Lugi. 2013)

B. Definisi Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi 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 menjelaskan terjadinya angin secara skematik, prinsipnya adalah bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara di beberapa tempat di muka bumi.



Gambar 2.1 Skema Terjadinya Angin (Kadir, Abdul. 1995 :217)

C. Potensi Angin Di Indonesia

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

Tabel 2.1 Pengelompokkan potensi energi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial.

| KELAS | Kec. Angin (m/s) | Daya Spesifik (W/m²) | 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

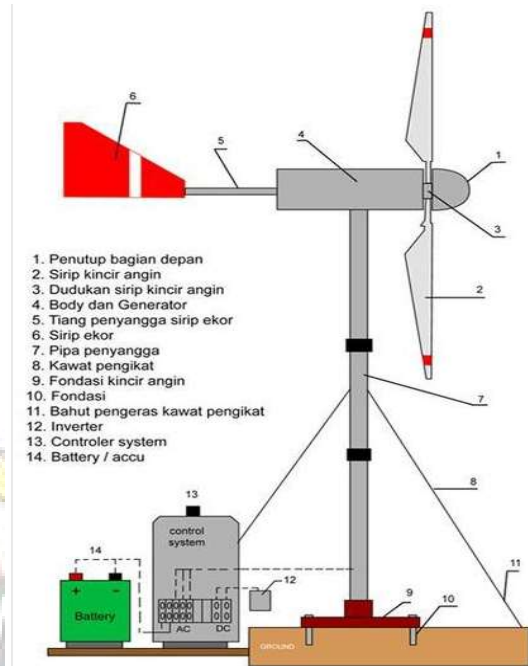
Pada tahun 2009, kapasitas terpasang dalam sistem konversi angin di seluruh Indonesia mencapai 1,4 MW yang tersebar di Pulau Selayar (Sulawesi Selatan), Nusa Penida (Bali), Yogyakarta, dan Bangka Belitung. Melihat potensi wilayah pantai cukup luas, pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber energi terbarukan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

D. Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu putar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmill*. Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin angin atau *wind energi converter* (WEC).

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, seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan sebagainya. Turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contohnya batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Secara sederhana sketsa kincir angin atau turbin angin adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Sketsa sederhana kincir angin (Romadoni, Lugi. 2013).

E. Jenis Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang di manfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*
2. Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan *gayalift*.

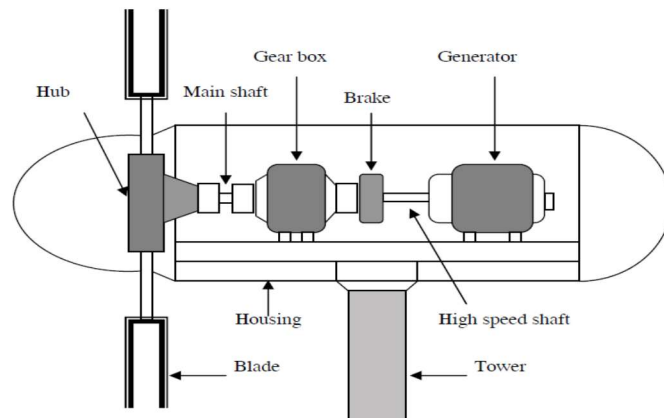
Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan

gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*.

Jika di lihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

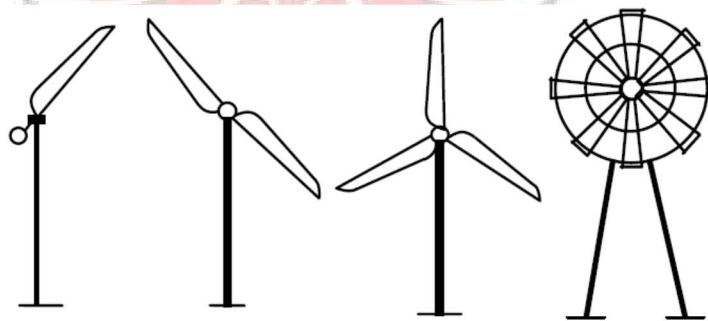
Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan di arahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin.



Gambar 2.3 Komponen turbin angin sumbu horizontal (Sathyajith M. [4] : 90)

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi :

- Turbin angin satu sudu (*single blade*)
- Turbin angin dua sudu (*double blade*)
- Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
- Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Gambar 2.4 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu (Sathyajith M. [4] : 17)

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal di bedakan menjadi dua macam yaitu :

- *Upwind*
- *Downwind*

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah datangnya angin.



Gambar 2.5 Turbin angin jenis upwind dan downwind (Syukri, Alvi. 2012).

Rotor pada turbin *up, wind* terletak didepan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling-baling. Diperlukan mekanisme tambahan untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, seperti penambahan ekor pada turbin. Keuntungannya, naungan menara berkurang. Udara akan mulai menekuk di sekitar menara sebelum berlalu begitu sehingga ada kehilangan daya dari gangguan yang terjadi, hanya tidak setingkat dengan turbin *downwind*. Kekurangnya membutuhkan

nacelle yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu. Sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara

Turbin angin *downwind* memiliki rotor disisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme tambahan seperti penambahan ekor pada turbin. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan yaitu biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur menyebabkan beban angin didistribusikan ke sudu daripada ke menara.

Sudu yang fleksibel juga memiliki kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan keletihan sudu. Dibelakang menara merupakan masalah dengan mesin *downwind* karena menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin (Syukri, Alvi. 2012)

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

- 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.

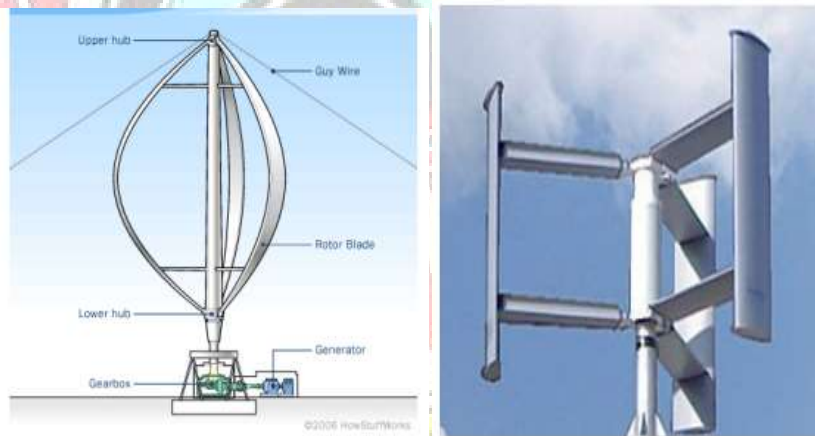
Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya.
- TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan Derek yang sangat tinggi dan mahal serta memerlukan operator yangampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- Ukurannya yang tinggi merintangangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan landscape.

2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (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.

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 objek 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.



Gambar 2.6 Varian turbin angin sumbu vertical (Syukri, Alvi. 2012)

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV):

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Desain turbin angin sumbu vertikal berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki

wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkaran turbin angin sumbu horizontal.

- Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

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.

F. Turbin Angin *Helical*

Turbin angin *Helical* merupakan turbin angin terbaru yang bersudu heliks sedemikian hingga disebut juga dengan turbin *Helical*. Dengan desain sudunya yang unik, turbin *Helical* masih menggunakan prinsip yang hampir sama dengan turbin Darrieus. Meskipun menggunakan prinsip kerja yang sama, turbin *Helical*

justri menutupi kekurangan yang terdapat pada turbin Darrieus yang membutuhkan energi ekstra untuk mengawali gerakan sedemikian hingga cukup untuk mengakselerasikan dirinya sendiri dalam menghasilkan power output. Bahkan turbin *Helical* menghasilkan daya keluaran yang lebih besar untuk kecepatan angin yang sama.

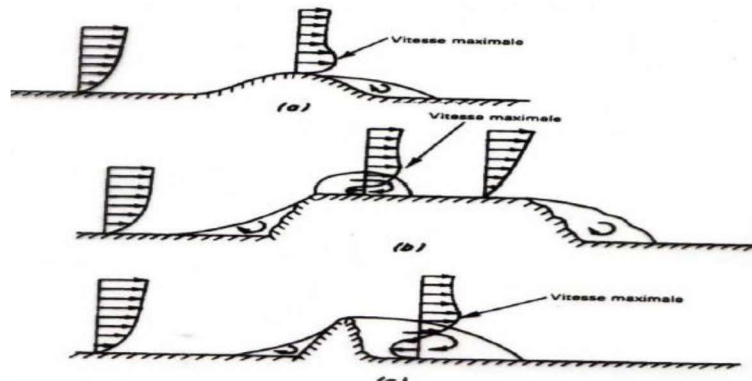
Bentuk *Heliks* dipilih karena secara teori dapat memberikan total torsi yang jauh lebih seimbang daripada sudu turbin Darrieus. Dengan kata lain, turbin *Helical* hanya membutuhkan kecepatan minimum yang relatif rendah untuk mengakselerasikan dan memberinya daya yang besar (Bagar, Habibi Kamal. dkk. 2013)

G. Analisis Daya

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang dapat diperoleh dimana saja dibelahan bumi kita, namun untuk mencapai efisiensi yang optimal kita perlu memikirkan berbagai pertimbangan teknis dan letak geografisnya. Beberapa perletakan turbin yang efisien menurut berbagai penelitian yang pernah dilakukan ialah:

1. Pesisir pantai
2. Hamparan tanah/padang yang luas
3. Pegunungan dan lembah
4. Kepulauan atau lautan luas

5. Perkotaan/gedung tinggi



Gambar 2.7 Perletakan turbin angin yang efektif (Tangko, Jumadi. dkk. 2013 : 38)

Kecepatan angin yang bergerak menabrak sudu-sudu turbin angin berhubungan langsung dengan ketinggian turbin angin, seperti dijelaskan pada persamaan berikut:

$$v/v_0 = (h/h_0)^n$$

Dengan V dan V_0 adalah kecepatan akhir dan awal udara, H/H_0 adalah ketinggian akhir dan awal dan n adalah index kekasaran sudu-sudu turbin yang bervariasi dari 0,1 s/d 0,4. Daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin angin bergantung pada kecepatan angin yang timbul akibat perubahan temperatur dan tekanan, perbedaan ketinggian dan kerapatan udara sehingga menghasilkan energi sebesar:

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

Dimana: P adalah daya yang dihasilkan (Watt), ρ kerapatan rata-rata udara (kg/m^3), A adalah luas vektor permukaan sudu-sudu turbin (m^2) dan v adalah kecepatan angin (m/s).

H. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

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

Energi untuk suatu massa angin m bergerak dengan kecepatan v yang akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut (Hau, Eric. 2005 : 81):

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

Dimana :

m : massa udara yang bergerak (kg)

v : kecepatan angin (m/s)

Energi 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 V sebagai persamaan (Hau, Eric. 2005 : 81) :

$$V = va \quad (2)$$

Dimana :

V : laju volume (m^3/s)

v : kecepatan angin (m/s)

sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara p sebagai (Hau, Eric. 2005 : 82):

$$m = \rho Av \quad (3)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (3) ke persamaan (1) menjadi : (Hau, Eric. 2005 : 82) :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4)$$

Dimana :

P_w : daya angin (W)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Menentukan Daya Generator (Watt)

$$P_g = V_g \cdot I_g \cdot \cos \phi \quad (5)$$

Dimana :

V = Tegangan generator (Volt)

I = Arus generator (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya = 1

Menentukan Efisiensi Sistem (%)

$$\eta_{sistem} = \frac{\text{Daya generator}}{\text{Daya angin}} \times 100\%$$

BAB III

METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

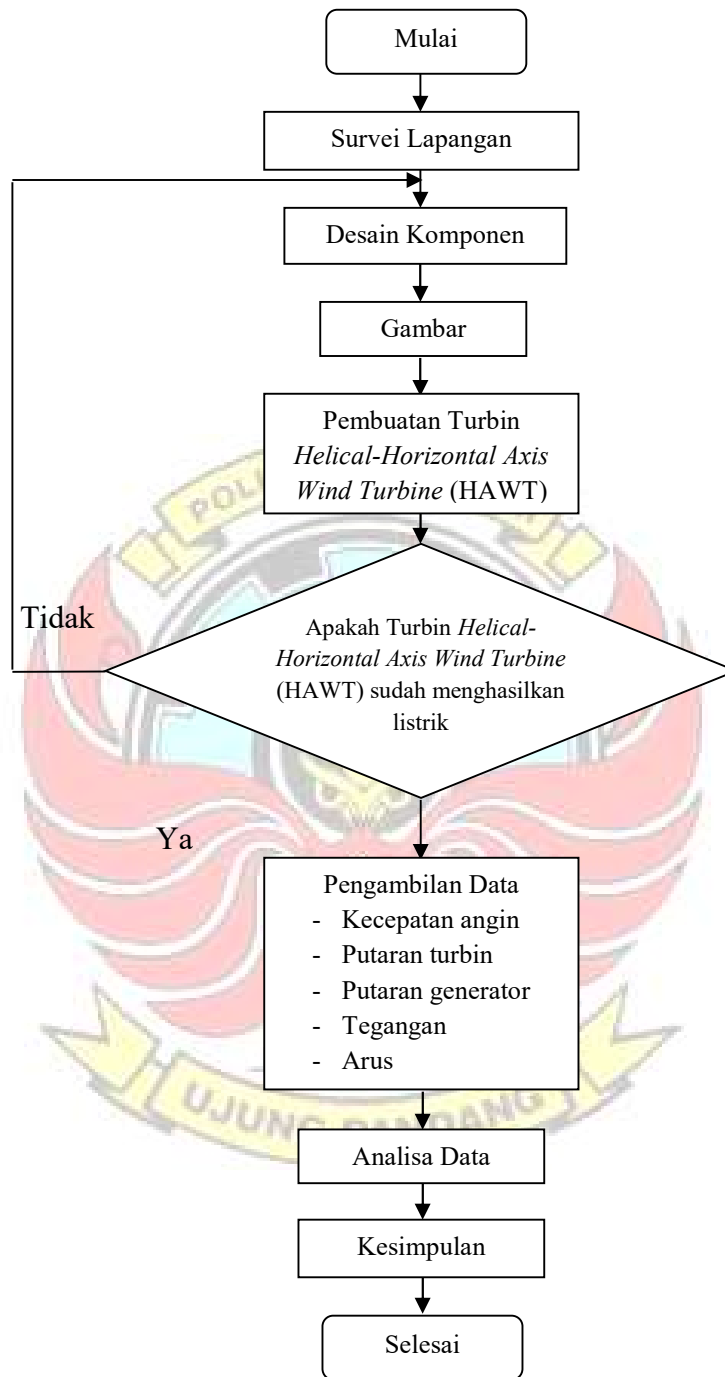
A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan proses perancangan dan penelitian ini dilaksanakan di Kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pelaksanaan perancangan alat dan penelitian yaitu bulan Juni – Oktober 2015.

B. Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Survei lapangan untuk memperoleh data yang dibutuhkan, yakni:
 - Berapa kecepatan angin rata-rata di lokasi pengujian
2. Desain komponen dilakukan secara bertahap sesuai dengan diagram alir yang ada.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

C. Alat Dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine*(HAWT) adalah sebagai berikut:

1. Peralatan penelitian:

- Turbin angin tipe HAWR, mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda, palu, mistar baja, gergaji besi, kunci ring, kunci pas, tang, generator, anemometer, tachometer, voltmeter, amperemeter dan multimeter.

2. Bahan yang digunakan:

- Besi as, plat besi, besi siku, bearing, belt, puli, elektroda dan pipa paralon.

D. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu pengambilan langsung secara seksama dengan melakukan pengukuran – pengukuran.

Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Mempersiapkan turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine*(HAWT) dan generator yang akan digunakan.
2. Memastikan alat dan instrumentasi berfungsi dengan baik.
3. Menempatkan turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) pada tempat yang cukup tinggi.

4. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan yaitu, anemometer, tachometer, multimeter, voltmeter dan amperemeter.
5. Mengukur kecepatan angin.
6. Mengukur kecepatan putar turbin.
7. Mengukur tegangan yang dihasilkan.
8. Mencatat hasil pengukuran ke dalam tabel yang telah disediakan.
9. Pengujian dilakukan mulai pukul 09.00 – 17.00 WITA.

E. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

1. Metode observasi, yaitu pengumpulan data dengan mengadakan penelitian secara langsung.
2. Studi literatur, yaitu mengumpulkan data dari buku-buku referensi, modul-modul yang relevan dengan objek permasalahan.

F. Metode Analisa Data

Adapun data yang dilakukan merupakan analisis kuantitatif turbin angin pada turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT):

1. Mengukur kecepatan angin yang digunakan untuk memutar turbin.
2. Mengukur kecepatan putar turbin angin.
3. Mengukur arus listrik yang dihasilkan oleh turbin angin.
4. Menghitung efisiensi turbin angin

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan dan Pengujian

Data awal yang digunakan sebelum melakukan perancangan adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian survey lapangan berupa kecepatan angin.

Untuk mendapatkan kecepatan angin dilakukan pengukuran kecepatan dengan menggunakan alat anemometer. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa angin mulai berhembus pada pukul 11.00 - 16.00 WITA. Kecepatan angin berkisar antara 0 – 6,9 m/s.

2. Perhitungan potensi daya angin yang dihasilkan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dik :

$$\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,7 \text{ m}^2$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$A_{\text{tot}} = r.l$$

$$= 0,35 \times 2$$

$$= 0,7 \text{ m}^2$$

Penyelesaian :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = (0,5) \cdot (1,13) \cdot (0,7) \cdot (4)^3$$

$$P_w = 25,31 \text{ Watt}$$

3. Hasil pembuatan

a. Turbin

Turbin dibuat dari bahan pipa paralon menggunakan poros besi as dengan panjang 270 cm. Kaki turbin terbuat dari besi siku dengan tinggi 1 m.

b. Puli

Jenis puli yang digunakan adalah puli dari bahan aluminium diameter 3' pada generator dan puli dari bahan besi diameter 12' pada turbin dengan perbandingan 1 : 4 ditransmisikan menggunakan belt jenis V.

c. Generator

Generator yang digunakan ialah generator AC magnet permanen dengan kutub magnet berjumlah tiga pasang dan berdaya 500 Watt.

B. Pembahasan

1. Analisa Data

- Untuk analisa data pada pengujian berbeban diambil data nomor 1 dimana:

$$V_g = 12 \text{ volt}$$

$$N_g = 31 \text{ rpm}$$

$$v_a = 3,7 \text{ m/s}$$

$$I = 0,01 \text{ A}$$

$$A = 4,276 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya : Daya Angin ?

Daya Genertor ?

Efisiensi Sistem ?

Penyelesaian :

– Daya Angin (P_w)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$
$$= \frac{1}{2} \times 1,13 \times 0,7 (3,7)^3$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,13 \times 0,7 \times 50,653$$

$$= 20 \text{ Watt}$$

– Daya Generator (P_g)

$$P_g = V_g \cdot I_g$$

$$= 12 \times 0,01$$

$$= 0,12 \text{ Watt}$$

– Efisiensi Sistem (η)

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{P_g}{P_w} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{0,12}{20} \times 100\%$$

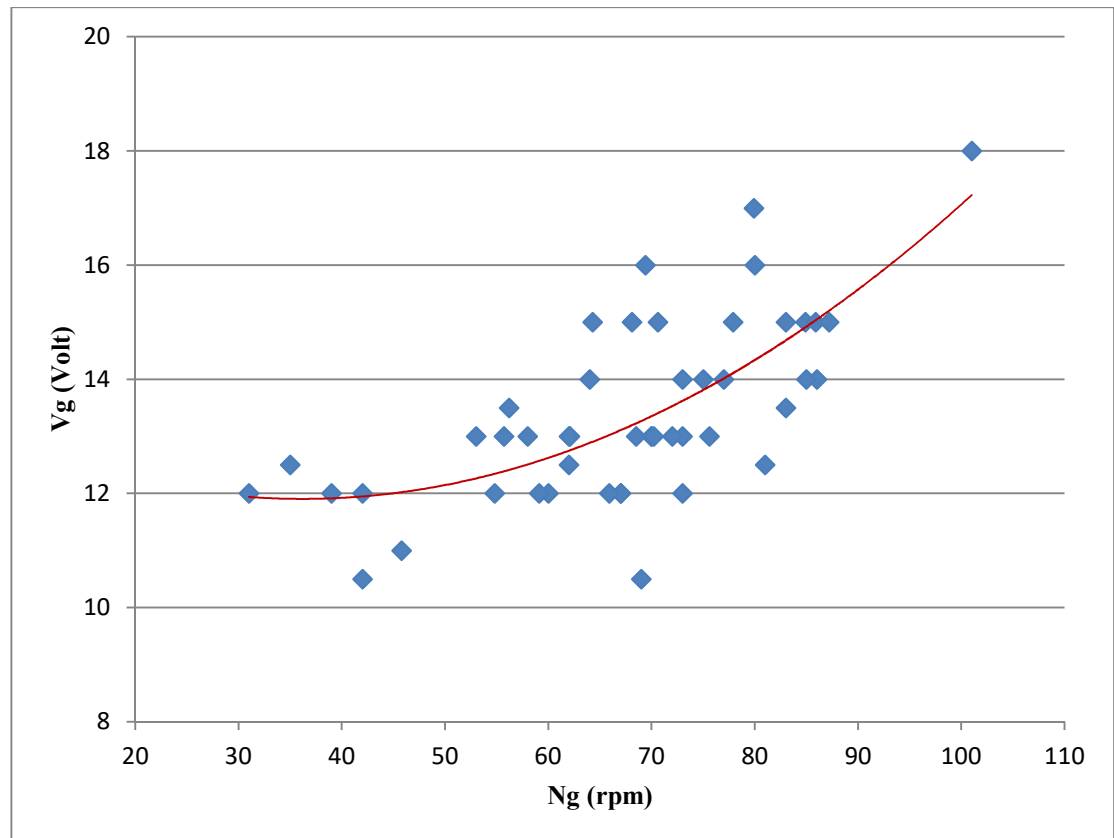
$$\eta_{\text{sistem}} = 0,6\%$$

Untuk lebih jelasnya, hasil analisa data selengkapnya dapat kita lihat pada table di lampiran.



2. Grafik

**Gambar 4.1 Grafik hubungan Putaran Generator terhadap Tegangan
Genertor**

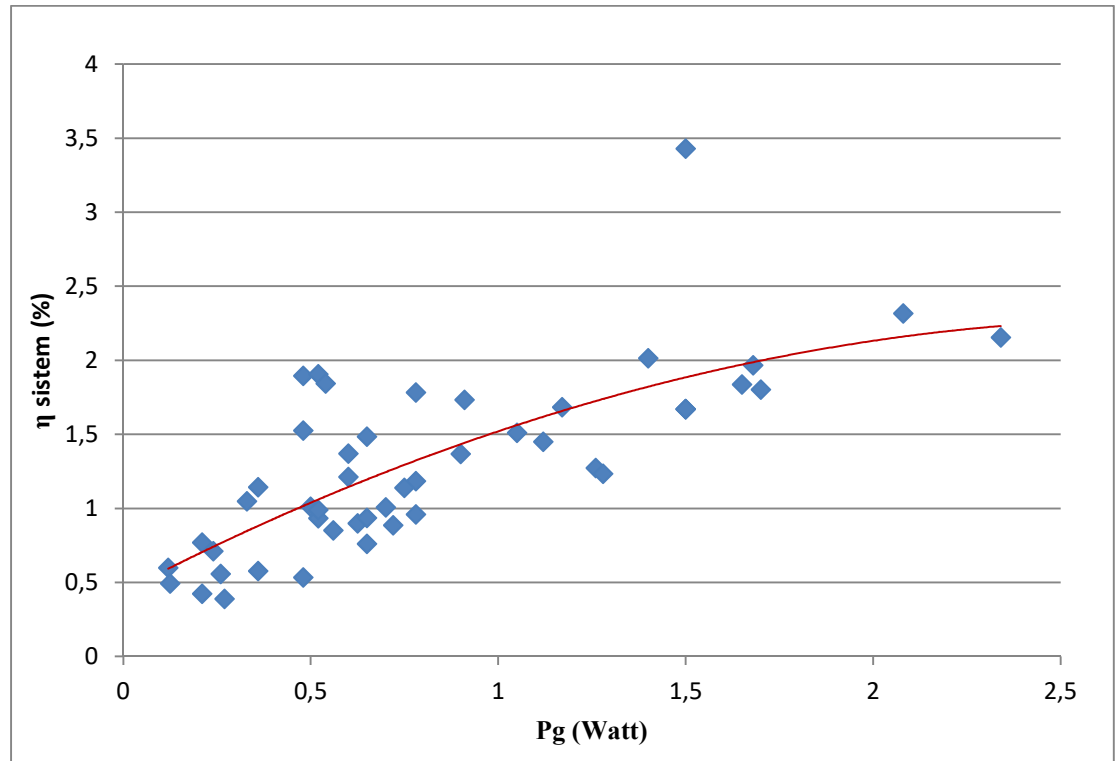


Pembahasan :

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa putaran generator maksimum yaitu 101 rpm dengan tegangan generator yaitu 18 volt sedangkan putaran genertaor minimum 31 rpm yang menghasilkan tegangan generator 12 volt.

Jadi, semakin tinggi putaran generator maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan.

Gambar 4.2 Grafik hubungan Putaran Generator terhadap Efisiensi Sistem

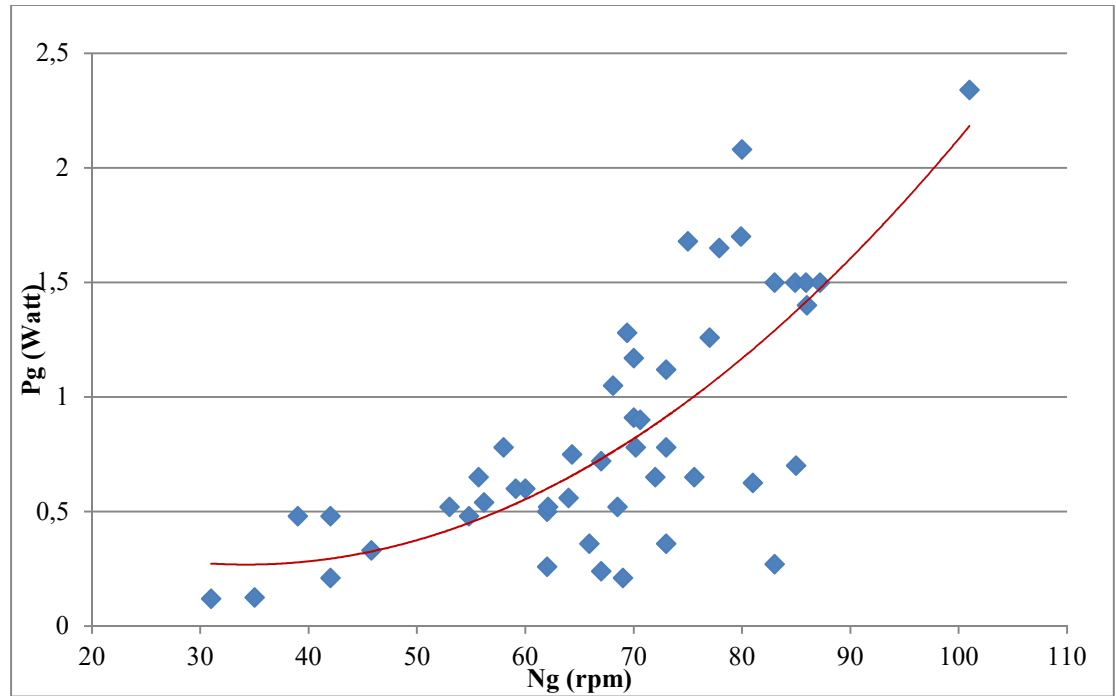


Pembahasan :

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa daya generator maksimum adalah 2,34 watt dengan efisiensi sistem 3,43% sedangkan daya minimum adalah 0,12 watt dengan efisiensi sistem 0,39%.

Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa daya genertaor mempengaruhi efisiensi sistem.

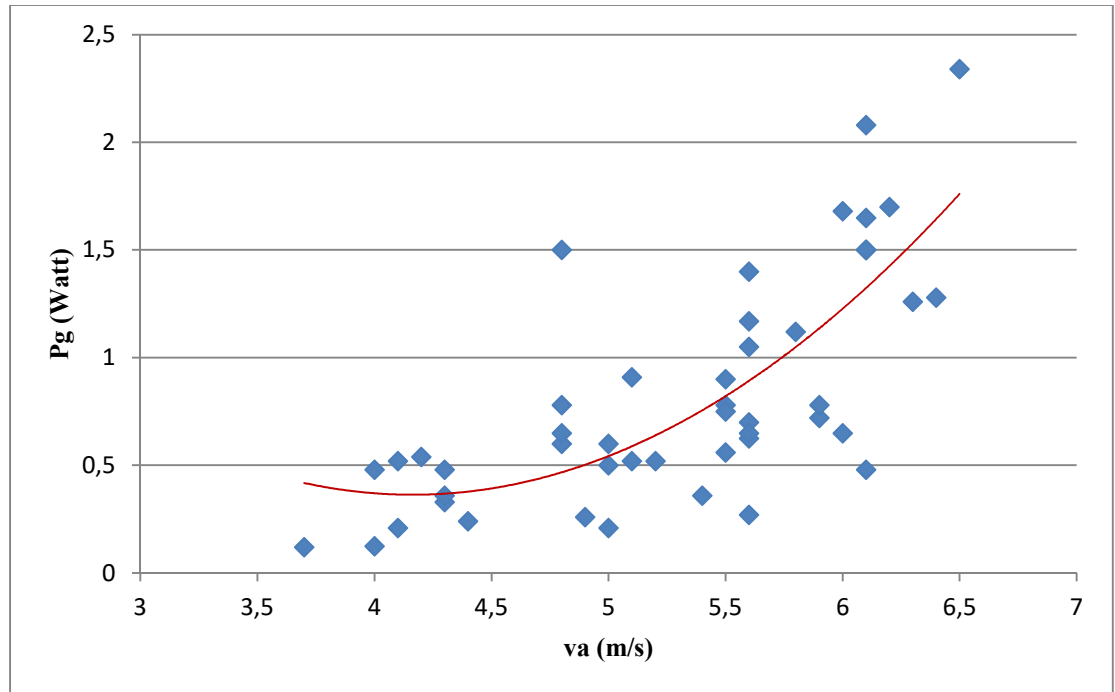
Gambar 4.3 Grafik hubungan Putaran Generator terhadap Daya Genertor



Pembahasan :

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa putaran generator maksimum 101 rpm dapat menghasilkan daya generator 2,34 watt sedangkan putaran generator minimum 31 rpm menghasilkan daya generator 0,12 watt.

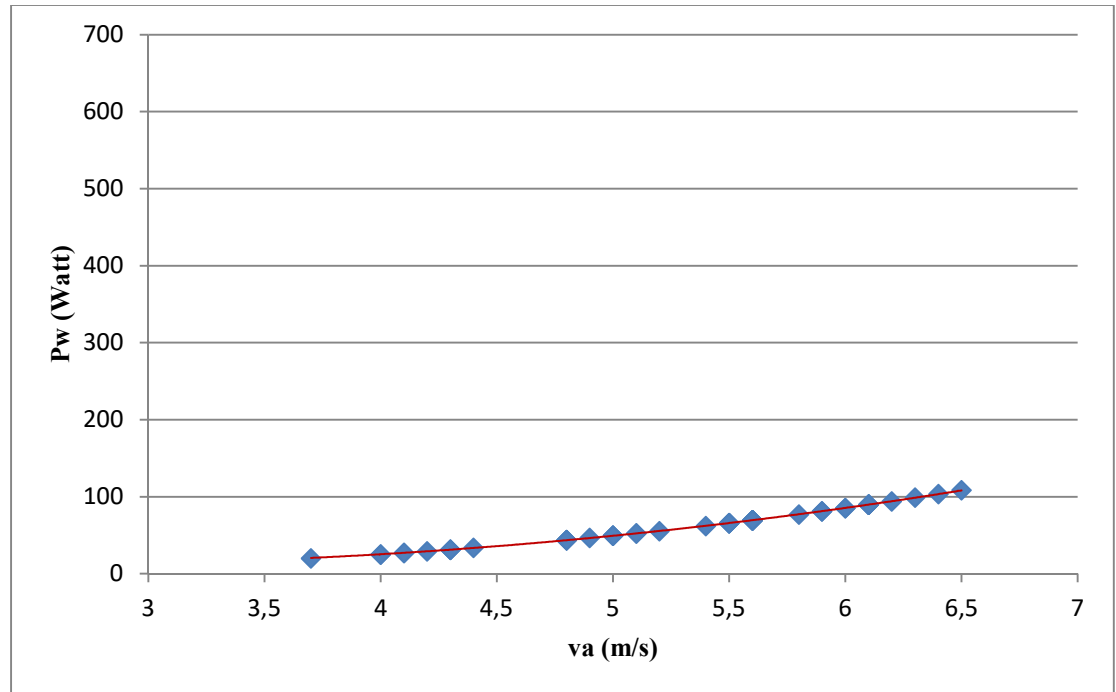
Gambar 4.4 Grafik hubungan Kecepatan Angin terhadap Daya Genertor



Pembahasan :

Pada grafik di atas dapat dilihat pada kecepatan angin minimum yaitu 3,7 m/s dapat menghasilkan daya generator sebesar 0,12 watt dan kecepatan angin maksimum 6,5 m/s menghasilkan daya generator 2,34 watt, jadi dapat dilihat dari gambar grafik di atas semakin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi pula daya generator yang dihasilkan.

Gambar 4.5 Grafik hubungan Kecepatan Angin terhadap Daya Angin

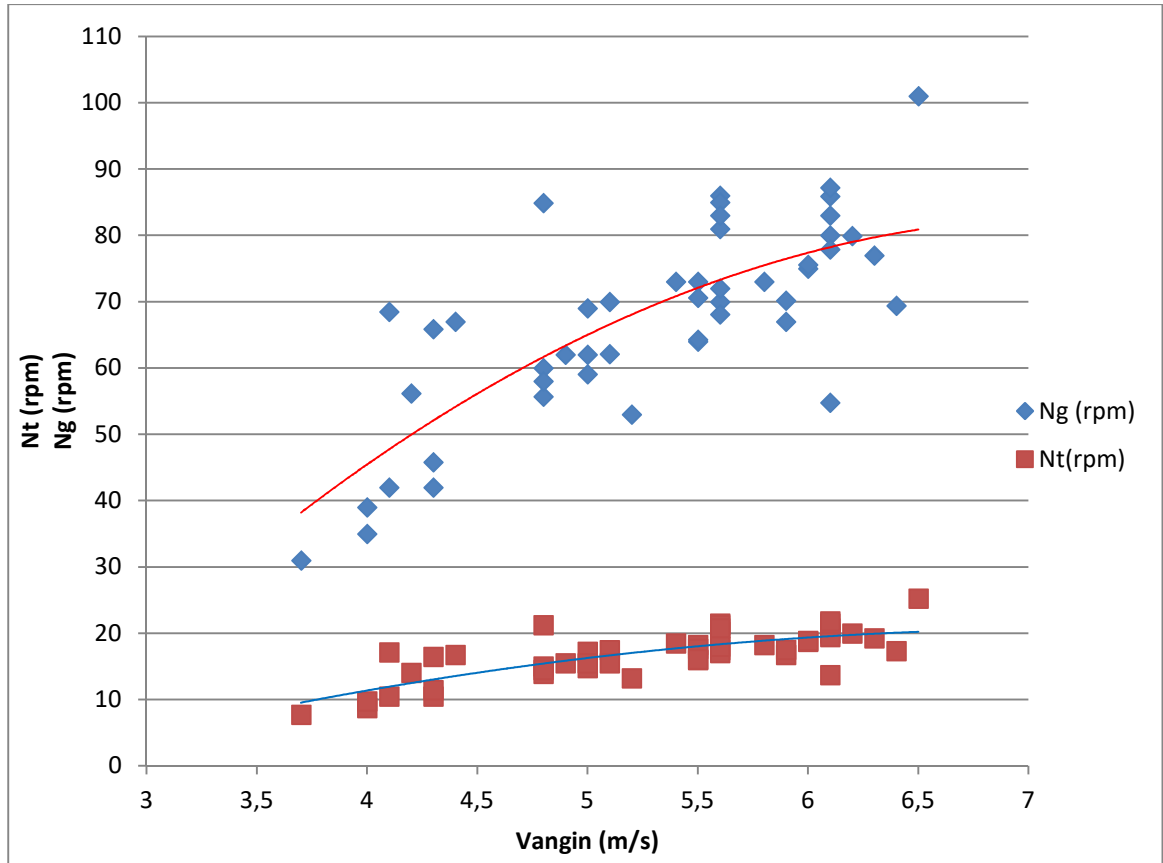


Pembahasan :

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kecepatan angin minimum adalah 3,7 m/s dengan daya angin sebesar 20,03 watt. Sedangkan kecepatan maksimum adalah 6,5 m/s dengan daya angin sebesar 108,61 watt.

Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin dapat mempengaruhi daya angin

Gambar 4.6 Grafik hubungan Kecepatan Angin terhadap Putaran Turbin dan Putaran Generator



Pembahasan :

Dari grafik di atas terlihat perbandingan antara putaran turbin dan putaran generator cukup besar. Dengan selisih perbandingan antara 1 : 4.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa data, maka kami dapat menyimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pembuatan dan pengujian turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) maka diperoleh bahwa turbin angin mulai berputar secara mekanik (pada kecepatan angin 3,7 m/s, kemampuan pembangkitan daya listrik maksimum sebesar 2,34 Watt dengan kecepatan angin sebesar 6,5 m/s.
2. Efisiensi rata-rata turbin angin tipe *Helical-Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) berdasarkan hasil penelitian sebesar 1,472 %

B. Saran

1. Untuk perancangan selanjutnya, pengembangan dilakukan pada penambahan jumlah sudu pada turbin untuk peningkatan kapasitas pembangkitan daya listrik.
2. Sebaiknya menggunakan generator putaran rendah.
3. Sebaiknya menempatkan generator pada gedung yang berdinding rata.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagar, Habibi Kamal dkk, *Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Inovasi Turbin Heliks Vertikal Untuk Kemandirian Energi Sekolah Daerah Pesisir*.
<https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fartikel.dikti.go.id%2Findex.php%2FFPKMT%2Farticle%2Fdownload%2F84%2F85&ei=1NJzVcuBPMaWuATisKyYAg&usg=AFQjCNHAL-sd9iNmFuYafYEvNxtF9hUcrw>.
Diakses pada tanggal 27 Mei 2015
- Hau, Eric. 2005. *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Berlin, Germany.
- Kadir, Abdul. 1995. *Energi: sumberdaya, inovasi, tenaga listrik dan potensi ekonomi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Rapidshared.com
- Romadoni, Lugi. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin*.
<https://www.google.co.id/search?q=jenis+turbin+angin+up+wind&source>.
Diakses pada tanggal 05 Mei 2015
- Sathyajith M.2006. *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, Germany.
- Syukri, Alvi. 2012. *Performansi Turbin Angin Savonius Dengan Empat Sudu Untuk Menggerakkan Pompa: Skripsi*. (Online), BAB II
(<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29220/4/Chapter%20II.pdf>)
Diakses pada tanggal 10 Mei 2015
- Tangko, Jumadi. dkk. 2013. *Energi Konvensional Dan Terbarukan*. Makassar: Politeknik Negeri Ungjung Pandang.



Lampiran 1

Tabel

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Tanpa Beban

| No. | V angin (m/s) | Ng (rpm) | Nt (rpm) | V (Volt) |
|-----|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. | 5 | 240 | 60 | 35 |
| 2. | 4,1 | 186 | 46,5 | 20 |
| 3. | 4,3 | 187 | 46,75 | 25 |
| 4. | 6,1 | 293,2 | 73,3 | 50 |
| 5. | 6 | 176 | 44 | 35 |
| 6. | 6,3 | 288 | 72 | 43 |
| 7. | 4,4 | 140 | 35 | 25 |
| 8. | 4,5 | 142 | 35,5 | 25 |
| 9. | 3,4 | 92 | 23 | 19 |
| 10. | 3,6 | 73 | 18,25 | 15 |
| 11. | 4,3 | 106 | 26,5 | 21 |
| 12. | 4,6 | 133 | 33,25 | 25 |
| 13. | 4,8 | 107 | 26,75 | 20 |
| 14. | 3,6 | 88 | 22 | 15 |
| 15. | 5,7 | 224 | 56 | 30 |
| 16. | 4,8 | 137 | 34,25 | 25 |
| 17. | 4,4 | 127 | 31,75 | 25 |
| 18. | 3,4 | 73 | 18,25 | 15 |
| 19. | 4,9 | 194 | 48,5 | 28 |
| 20. | 4,1 | 116 | 29 | 23 |
| 21. | 4,9 | 242 | 60,5 | 30 |
| 22. | 3,6 | 103 | 25,75 | 28 |
| 23. | 4,3 | 135 | 33,75 | 26 |

| No. | V angin (m/s) | Ng (rpm) | Nt (rpm) | V (Volt) |
|-----|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 24. | 4,3 | 136 | 34 | 27 |
| 25. | 3,4 | 88 | 22 | 15 |
| 26. | 4,4 | 124 | 31 | 26 |
| 27. | 4,2 | 147 | 36,75 | 29 |
| 28. | 6 | 172 | 43 | 35 |
| 29. | 5,4 | 126 | 31,5 | 25 |
| 30. | 6,1 | 123 | 30,75 | 24 |
| 31. | 6,1 | 202 | 50,5 | 40 |
| 32. | 6,9 | 240 | 60 | 45 |
| 33. | 5,8 | 170 | 42,5 | 35 |
| 34. | 4,8 | 107 | 26,75 | 20 |
| 35. | 5,2 | 126 | 31,5 | 26 |
| 36. | 5,2 | 137 | 34,25 | 27 |
| 37. | 6,4 | 180 | 45 | 37 |
| 38. | 5,2 | 136 | 34 | 28 |
| 39. | 6,1 | 211 | 52,75 | 40 |
| 40. | 6,5 | 298 | 74,5 | 52 |
| 41. | 5,7 | 169 | 42,25 | 29 |
| 42. | 5,7 | 163 | 40,75 | 27 |
| 43. | 6,3 | 196 | 49 | 29 |
| 44. | 6 | 266 | 66,5 | 32 |
| 45. | 5,5 | 142 | 35,5 | 24 |
| 46. | 5,5 | 116 | 29 | 22 |
| 47. | 5,7 | 144 | 36 | 28 |
| 48. | 6,4 | 266 | 66,5 | 39 |

| | | | | |
|-----|-----|-----|-------|----|
| 49. | 5,9 | 71 | 17,75 | 28 |
| 50. | 4,3 | 111 | 27,75 | 19 |
| 51. | 5,3 | 124 | 31 | 24 |
| 52. | 5,9 | 208 | 52 | 30 |
| 53. | 5,7 | 189 | 47,25 | 22 |
| 54. | 4,6 | 172 | 43 | 20 |



Tabel 2 Data Hasil Pengujian Berbeban

| No. | V _{angin} (m/s) | N _g (rpm) | N _t (rpm) | V _g (V) | V _{dc} (V) | I (A) |
|-----|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------|
| 1. | 3,7 | 31 | 7,75 | 12 | 10,5 | 0,01 |
| 2. | 4 | 35 | 8,75 | 12,5 | 10,5 | 0,01 |
| 3. | 5,5 | 64 | 16 | 14 | 11 | 0,04 |
| 4. | 4,8 | 60 | 15 | 12 | 11 | 0,05 |
| 5. | 5,6 | 70 | 17,5 | 13 | 11,5 | 0,09 |
| 6. | 6 | 75 | 18,75 | 14 | 12 | 0,12 |
| 7. | 6,3 | 77 | 19,25 | 14 | 11,5 | 0,09 |
| 8. | 6,1 | 83 | 20,75 | 15 | 11 | 0,1 |
| 9. | 6,1 | 80 | 20 | 16 | 12 | 0,13 |
| 10. | 4,3 | 42 | 10,5 | 12 | 10,5 | 0,04 |
| 11. | 5,6 | 81 | 20,25 | 12,5 | 11 | 0,05 |
| 12. | 5,8 | 73 | 18,25 | 14 | 11 | 0,08 |
| 13. | 5,2 | 53 | 13,25 | 13 | 10,5 | 0,04 |
| 14. | 4 | 39 | 9,75 | 12 | 10,5 | 0,04 |
| 15. | 4,1 | 42 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 0,02 |
| 16. | 5 | 69 | 17,25 | 10,5 | 10,5 | 0,02 |
| 17. | 5,4 | 73 | 18,25 | 12 | 10,5 | 0,03 |
| 18. | 6,5 | 101 | 25,25 | 18 | 12 | 0,13 |
| 19. | 5,5 | 73 | 18,25 | 13 | 11 | 0,06 |
| 20. | 5,6 | 86 | 21,5 | 14 | 11,5 | 0,1 |
| 21. | 5,6 | 85 | 21,25 | 14 | 11 | 0,05 |
| 22. | 5,6 | 83 | 20,75 | 13,5 | 10,5 | 0,02 |
| 23. | 5,9 | 67 | 16,75 | 12 | 11 | 0,06 |
| 24. | 5 | 59,1 | 14,775 | 12 | 11 | 0,05 |
| 25. | 5 | 62 | 15,5 | 12,5 | 11 | 0,04 |

| No. | V angin (m/s) | Ng (rpm) | Nt (rpm) | Vg (V) | Vdc (V) | I (A) |
|-----|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|----------|
| 26. | 4,8 | 55,7 | 13,925 | 13 | 11 | 0,05 |
| 27. | 4,8 | 58 | 14,5 | 13 | 11 | 0,06 |
| 28. | 6,1 | 77,9 | 19,475 | 15 | 11,5 | 0,11 |
| 29. | 6,1 | 84,9 | 21,225 | 15 | 11,5 | 0,1 |
| 30. | 4,8 | 68,5 | 17,125 | 13 | 10,5 | 0,04 |
| 31. | 4,1 | 62 | 15,5 | 13 | 10,5 | 0,02 |
| 32. | 4,9 | 67 | 16,75 | 12 | 11 | 0,02 |
| 33. | 4,4 | 54,8 | 13,7 | 12 | 10,5 | 0,04 |
| 34. | 6,1 | 85,9 | 21,475 | 15 | 11,5 | 0,1 |
| 35. | 4,3 | 45,8 | 11,45 | 11 | 10 | 0,03 |
| 36. | 5,1 | 70 | 17,5 | 13 | 11 | 0,07 |
| 37. | 6,2 | 79,9 | 19,975 | 17 | 12 | 0,1 |
| 38. | 5,6 | 68,1 | 17,025 | 15 | 11,5 | 0,07 |
| 39. | 5,9 | 70,2 | 17,55 | 13 | 10,5 | 0,06 |
| 41. | 5,6 | 72 | 18 | 13 | 11 | 0,05 |
| 42. | 6 | 75,6 | 18,9 | 13 | 11 | 0,05 |
| 43. | 6,1 | 87,2 | 21,8 | 15 | 12 | 0,1 |
| 44. | 5,5 | 70,6 | 17,65 | 15 | 11,5 | 0,06 |
| 45. | 6,4 | 69,4 | 17,35 | 16 | 11,5 | 0,08 |
| 46. | 5,5 | 64,3 | 16,075 | 15 | 11,5 | 0,05 |
| 47. | 5,1 | 62,1 | 15,525 | 13 | 11 | 0,04 |
| 48. | 4,3 | 65,9 | 16,475 | 12 | 11 | 0,03 |

Tabel 3 Hasil Analisa Data

| No. | V _{angin} (m/s) | N _g (rpm) | N _t (rpm) | V _g (V) | V _{dc} (V) | I (A) | A (Kg/m ³) | P _w (W) | P _g (W) | η system (%) |
|-----|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 3.7 | 31 | 7.75 | 12 | 10.5 | 0.01 | 1.4 | 39.96 | 0.12 | 0.300 |
| 2 | 4 | 35 | 8.75 | 12.5 | 10.5 | 0.01 | 1.4 | 50.49 | 0.125 | 0.248 |
| 3 | 5.5 | 64 | 16 | 14 | 11 | 0.04 | 1.4 | 131.25 | 0.56 | 0.427 |
| 4 | 4.8 | 60 | 15 | 12 | 11 | 0.05 | 1.4 | 87.25 | 0.6 | 0.688 |
| 5 | 5.6 | 70 | 17.5 | 13 | 11.5 | 0.09 | 1.4 | 138.54 | 1.17 | 0.845 |
| 6 | 6 | 75 | 18.75 | 14 | 12 | 0.12 | 1.4 | 170.40 | 1.68 | 0.986 |
| 7 | 6.3 | 77 | 19.25 | 14 | 11.5 | 0.09 | 1.4 | 197.26 | 1.26 | 0.639 |
| 8 | 6.1 | 83 | 20.75 | 15 | 11 | 0.1 | 1.4 | 179.07 | 1.5 | 0.838 |
| 9 | 6.1 | 80 | 20 | 16 | 12 | 0.13 | 1.4 | 179.07 | 2.08 | 1.162 |
| 10 | 4.3 | 42 | 10.5 | 12 | 10.5 | 0.04 | 1.4 | 62.72 | 0.48 | 0.765 |
| 11 | 5.6 | 81 | 20.25 | 12.5 | 11 | 0.05 | 1.4 | 138.54 | 0.625 | 0.451 |
| 12 | 5.8 | 73 | 18.25 | 14 | 11 | 0.08 | 1.4 | 153.92 | 1.12 | 0.728 |
| 13 | 5.2 | 53 | 13.25 | 13 | 10.5 | 0.04 | 1.4 | 110.93 | 0.52 | 0.469 |
| 14 | 4 | 39 | 9.75 | 12 | 10.5 | 0.04 | 1.4 | 50.49 | 0.48 | 0.951 |
| 15 | 4.1 | 42 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 0.02 | 1.4 | 54.37 | 0.21 | 0.386 |
| 16 | 5 | 69 | 17.25 | 10.5 | 10.5 | 0.02 | 1.4 | 98.61 | 0.21 | 0.213 |
| 17 | 5.4 | 73 | 18.5 | 12 | 10.5 | 0.03 | 1.4 | 124.22 | 0.36 | 0.290 |
| 18 | 6.5 | 101 | 25.25 | 18 | 12 | 0.13 | 1.4 | 216.65 | 2.34 | 1.080 |
| 19 | 5.5 | 73 | 18.25 | 13 | 11 | 0.06 | 1.4 | 131.25 | 0.78 | 0.594 |
| 20 | 5.6 | 86 | 21.5 | 14 | 11.5 | 0.1 | 1.4 | 138.54 | 1.4 | 1.011 |
| 21 | 5.6 | 85 | 21.25 | 14 | 11 | 0.05 | 1.4 | 138.54 | 0.7 | 0.505 |
| 22 | 5.6 | 83 | 20.75 | 13.5 | 10.5 | 0.02 | 1.4 | 138.54 | 0.27 | 0.195 |
| 23 | 5.9 | 67 | 16.75 | 12 | 11 | 0.06 | 1.4 | 162.02 | 0.72 | 0.444 |
| 24 | 5 | 59.1 | 14.775 | 12 | 11 | 0.05 | 1.4 | 98.61 | 0.6 | 0.608 |
| 25 | 5 | 62 | 15.5 | 12.5 | 11 | 0.04 | 1.4 | 98.61 | 0.5 | 0.507 |
| 26 | 4.8 | 55.7 | 13.925 | 13 | 11 | 0.05 | 1.4 | 87.25 | 0.65 | 0.745 |
| 27 | 4.8 | 58 | 14.5 | 13 | 11 | 0.06 | 1.4 | 87.25 | 0.78 | 0.894 |
| 28 | 6.1 | 77.9 | 19.475 | 15 | 11.5 | 0.11 | 1.4 | 179.07 | 1.65 | 0.921 |
| 29 | 4.8 | 84.9 | 21.225 | 15 | 11.5 | 0.1 | 1.4 | 87.25 | 1.5 | 1.719 |
| 30 | 4.1 | 68.5 | 17.125 | 13 | 10.5 | 0.04 | 1.4 | 54.37 | 0.52 | 0.956 |
| 31 | 4.9 | 62 | 15.5 | 13 | 10.5 | 0.02 | 1.4 | 92.81 | 0.26 | 0.280 |
| 32 | 4.4 | 67 | 16.75 | 12 | 11 | 0.02 | 1.4 | 67.20 | 0.24 | 0.357 |
| 33 | 6.1 | 54.8 | 13.7 | 12 | 10.5 | 0.04 | 1.4 | 179.07 | 0.48 | 0.268 |

| No | V _{angin} (m/s) | N _g (rpm) | N _t (rpm) | V _g (V) | V _{dc} (V) | I (A) | A (Kg/m ³) | P _w (W) | P _g (W) | η system (%) |
|----|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 34 | 6.1 | 85.9 | 21.475 | 15 | 11.5 | 0.1 | 1.4 | 179.07 | 1.5 | 0.838 |
| 35 | 4.3 | 45.8 | 11.45 | 11 | 10 | 0.03 | 1.4 | 62.72 | 0.33 | 0.526 |
| 36 | 5.1 | 70 | 17.5 | 13 | 11 | 0.07 | 1.4 | 104.65 | 0.91 | 0.870 |
| 37 | 6.2 | 79.9 | 19.975 | 17 | 12 | 0.1 | 1.4 | 188.02 | 1.7 | 0.904 |
| 38 | 5.6 | 68.1 | 17.025 | 15 | 11.5 | 0.07 | 1.4 | 138.54 | 1.05 | 0.758 |
| 39 | 5.9 | 70.2 | 17.55 | 13 | 10.5 | 0.06 | 1.4 | 162.02 | 0.78 | 0.481 |
| 40 | 4.2 | 56.2 | 14.05 | 13.5 | 11 | 0.04 | 1.4 | 58.45 | 0.54 | 0.924 |
| 41 | 5.6 | 72 | 18 | 13 | 11 | 0.05 | 1.4 | 138.54 | 0.65 | 0.469 |
| 42 | 6 | 75.6 | 18.9 | 13 | 11 | 0.05 | 1.4 | 170.40 | 0.65 | 0.381 |
| 43 | 6.1 | 87.2 | 21.8 | 15 | 12 | 0.1 | 1.4 | 179.07 | 1.5 | 0.838 |
| 44 | 5.5 | 70.6 | 17.65 | 15 | 11.5 | 0.06 | 1.4 | 131.25 | 0.9 | 0.686 |
| 45 | 6.4 | 69.4 | 17.35 | 16 | 11.5 | 0.08 | 1.4 | 206.81 | 1.28 | 0.619 |
| 46 | 5.5 | 64.3 | 16.075 | 15 | 11.5 | 0.05 | 1.4 | 131.25 | 0.75 | 0.571 |
| 47 | 5.1 | 62.1 | 15.525 | 13 | 11 | 0.04 | 1.4 | 104.65 | 0.52 | 0.497 |
| 48 | 4.3 | 65.9 | 16.475 | 12 | 11 | 0.03 | 1.4 | 62.72 | 0.36 | 0.574 |



Tabel 4 Massa Jenis

Tabel 2.2. Beberapa Sifat Udara

| Suhu <i>t</i> (°C) | Kerapatan ρ (kg/m ³) | Panas jenis c_p (kJ/kg K) | Konduktivitas termal k (W/m K) | Kekentalan kinematik ν (m ² /s) x 10 ⁻⁶ | Koeffisien pemuaian β (1/K) x 10 ⁻³ | Bilangan Prandtl's - Pr |
|--------------------------|---|-----------------------------------|--|---|--|---------------------------|
| -150 | 2.793 | 1.026 | 0.0116 | 3.08 | 8.21 | 0.76 |
| -100 | 1.980 | 1.009 | 0.0160 | 5.95 | 5.82 | 0.74 |
| -50 | 1.534 | 1.005 | 0.0204 | 9.55 | 4.51 | 0.725 |
| 0 | 1.293 | 1.005 | 0.0243 | 13.30 | 3.67 | 0.715 |
| 20 | 1.205 | 1.005 | 0.0257 | 15.11 | 3.43 | 0.713 |
| 40 | 1.127 | 1.005 | 0.0271 | 16.97 | 3.20 | 0.711 |
| 60 | 1.067 | 1.009 | 0.0285 | 18.90 | 3.00 | 0.709 |
| 80 | 1.000 | 1.009 | 0.0299 | 20.94 | 2.83 | 0.708 |
| 100 | 0.946 | 1.009 | 0.0314 | 23.06 | 2.68 | 0.703 |
| 120 | 0.898 | 1.013 | 0.0328 | 25.23 | 2.55 | 0.70 |
| 140 | 0.854 | 1.013 | 0.0343 | 27.55 | 2.43 | 0.695 |
| 160 | 0.815 | 1.017 | 0.0358 | 29.85 | 2.32 | 0.69 |
| 180 | 0.779 | 1.022 | 0.0372 | 32.29 | 2.21 | 0.69 |
| 200 | 0.746 | 1.026 | 0.0386 | 34.63 | 2.11 | 0.685 |
| 250 | 0.675 | 1.034 | 0.0421 | 41.17 | 1.91 | 0.68 |
| 300 | 0.616 | 1.047 | 0.0454 | 47.85 | 1.75 | 0.68 |
| 350 | 0.566 | 1.055 | 0.0485 | 55.05 | 1.61 | 0.68 |
| 400 | 0.524 | 1.068 | 0.0515 | 62.53 | 1.49 | 0.68 |

Tabel 5 Spesifikasi Aki

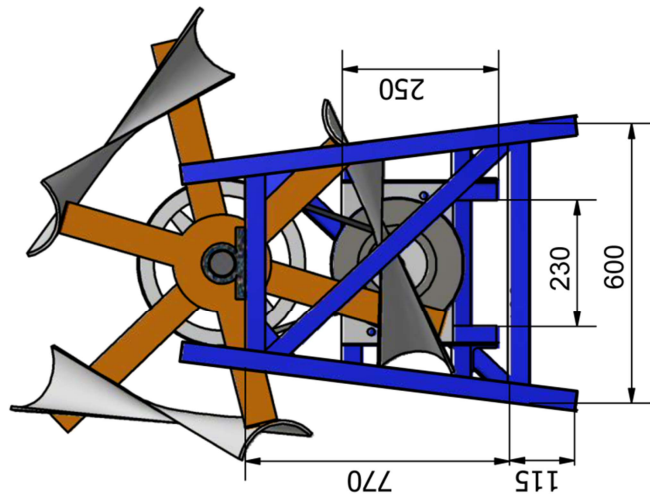
| Jenin ACCU | Type ACCU | Arus | Tegangan | Dimensi ACCU |
|------------|-------------------|------|----------|------------------|
| ACCU Basah | Yuassa YBL3- B | 3 Ah | 12 V | 99x57x111 mm. |




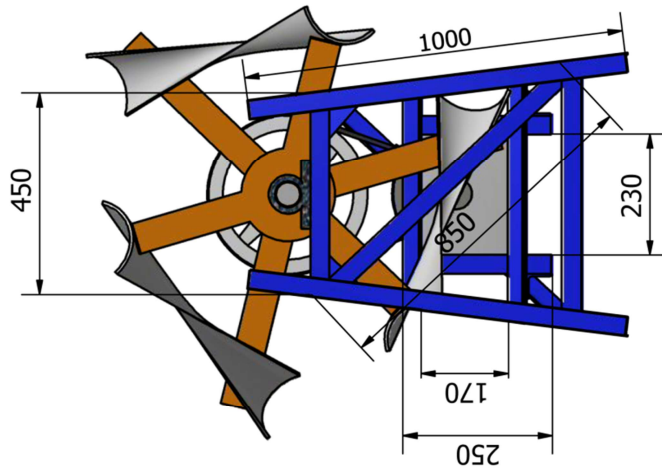



Lampiran 2

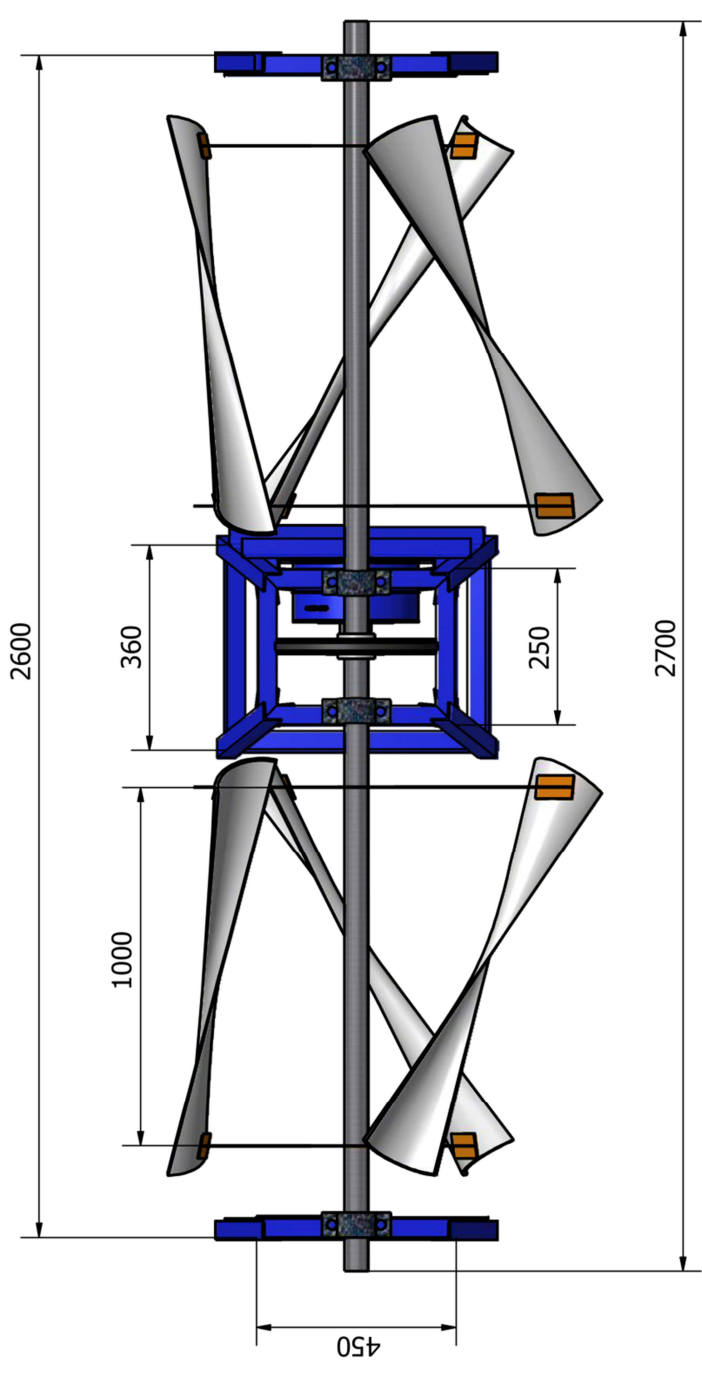
Desain Perancangan



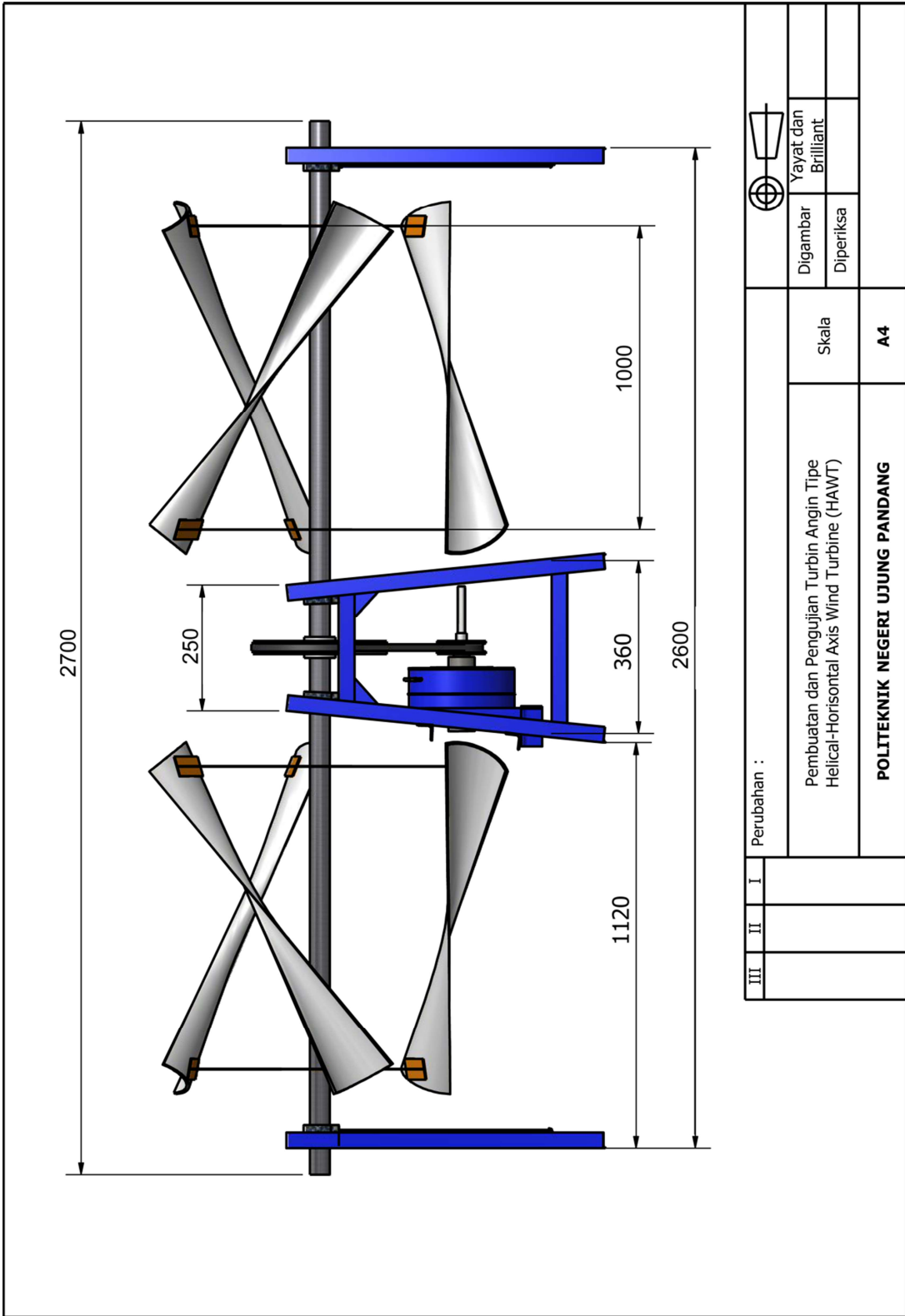
| | | | | | |
|-----|----|---|---|-----------|---|
| III | II | I | Perubahan : | |  |
| | | | | | |
| | | | Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical-Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) | Skala | Digambar Diperiksa |
| | | | POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG | A4 | Yayat dan Brilliant |




| | | | |
|---|-------------|--------------------|---|
| III | Perubahan : | |  Yayat dan Brilliant |
| II | I | Digambar Diperiksa | |
| Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical-Horisontal Axis Wind Turbine (HAWT) | | | Skala |
| POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG | | | A4 |



| | | | | | |
|---|----|---|-------------|-------|---------------------|
| III | II | I | Perubahan : | | Yayat dan Brilliant |
| | | | | | |
| Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical-Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) | | | | Skala | |
| POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG | | | | A4 | |



| | | | | | |
|-----|----|---|--|-----------------------|---|
| III | II | I | Perubahan : | |  |
| | | | Digambar Diperiksa | Yayat dan Briliant | |
| | | | Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Tipe Helical-Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) | | Skala |
| | | | POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG | | A4 |



Lampiran 3
Foto Kegiatan



Proses pembuatan rangka



Proses pembuatan blade



Proses pembuatan kaki turbin



Proses pembuatan blade



Proses pemasangan blade



Proses pemasangan blade



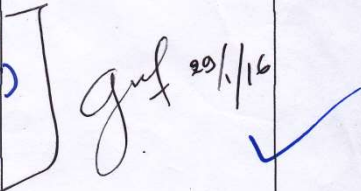
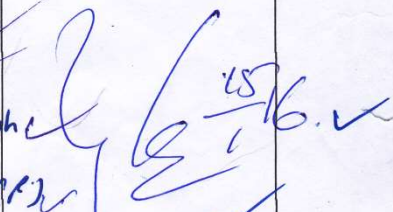
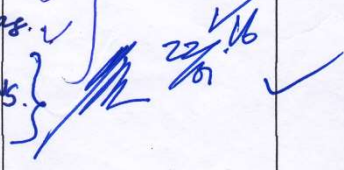
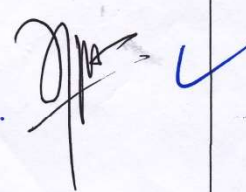
Proses pengambilan data

LEMBAR REVISI JUDUL PROYEK / TUGAS AKHIR

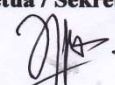
N a m a : Yayat Hidayat / Brilliant Pasangin

S t a m b u k : 342 12 019 / 342 12 024

Catatan Penguji :

| No | N a m a | U r a i a n | Tanda Tangan |
|----|-----------------------|---|---|
| 1. | Gusri Emiyati, Spd MT | <ul style="list-style-type: none"> - perbaiki Abstrak - daftar isi (perbaiki spasi) - daftar lamp (perbaiki spasi) - perbaiki Kuripan - penulisan y bahasa asing. (cek miring) - perbaiki daftar pustaka |  |
| 2. | Ir. La Ode Musa, MT | <ul style="list-style-type: none"> - perbaiki penulisan notasi - hal 9 dan 10 perbaiki penulisan - perbaiki garis petunjuk arah pada diagram alir. - lampirkan tabel masa jenuh (P) - dasar penentuan luas penampang. - spesifikasi aki |  |
| 3 | Muhammad Mulya | <ul style="list-style-type: none"> - Grafik V_a vs P_w, V_a vs N_t, N_s. - detail drawing. |  |
| 4. | Dr. Jauat - ST, MT | <ul style="list-style-type: none"> - perbaiki dimensi pada gambar. - perbaiki tata tulis pada grafik. - perbaiki perhitungan luas penampang. - tambahkan gambar rangkaian pengujian. |  |

Makassar,
Ketua / Sekretaris Penguji,


Dr. Jauat, ST, MT

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.