

LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN MEKANISME *PITCH BLADE CONTROL*
DAN *YAW DRIVE CONTROL* TURBIN ANGIN HORIZONTAL
DIAMETER SUDU 10 M



Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya

Disusun Oleh :
Arif Wildan Al Hakim
21050115060004

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2018

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah disetujui Laporan Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Mesin yang disusun oleh:

Nama : Arif Wildan Al Hakim

Nim : 21050115060004

Judul TA : Rancang Bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* Turbin Angin Horisontal Diameter Sudu 10 M

Disetujui pada tanggal :

Semarang, September 2018

Dosen Pembimbing

Drs. Wiji Mangestyono, MT

NIP. 196102281986031002

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Arif Wildan Al Hakim

NIM : 21050115060004

Tanda tangan :

Tanggal :

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arif Wildan Al Hakim
NIM : 21050115060004
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul “Rancang Bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* Turbin Angin Horisontal Diameter Sudu 10 M” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : September 2018

Yang menyatakan,

Arif Wildan Al Hakim

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, tiada henti-hentinya penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT. Atas ridho-Nya, akhirnya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam penulis kirimkan kepada Rosululloh, sehingga sampai sekarang indahnya iman dan Islam masih terasa. Bantuan dari berbagai pihak pun, tak luput dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik bantuan secara materi; spiritual; informasi; motivasi. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof Dr. Ir.Budiyono, M.Si selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Drs.Ireng Sigit.A.M.Kes selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Mesin Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Drs. Wiji Mangestyono, MT selaku Dosen Pembimbing dalam Tugas Akhir.
4. Didik Ariwibowo, ST, MT selaku Dosen Wali Kelas B Angkatan 2015.
5. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar di Program Studi Diploma III Teknik Mesin Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Segenap Teknisi Laboratorium Program Studi Diploma III Teknik Mesin Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
7. Kedua orang tua atas support yang selalu diberikan selama ini.
8. Teman - teman DIII Teknik Mesin Universitas Diponegoro angkatan 2015.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan semuanya.

HALAMAN MOTTO

"Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh."

(Confusius)

"Apabila anda berbuat kebaikan kepada orang lain, maka anda telah berbuat baik terhadap diri sendiri."

(Benyamin Franklin)

"Orang-orang yang sukses telah belajar membuat diri mereka melakukan hal yang harus dikerjakan ketika hal itu memang harus dikerjakan, entah mereka menyukainya atau tidak."

(Aldus Huxley)

"Kebanyakan dari kita tidak mensyukuri apa yang sudah kita miliki, tetapi kita selalu menyesali apa yang belum kita capai."

(Schopenhauer)

"Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya ; hidup di tepi jalan dan dilempari orang dengan batu, tetapi dibalas dengan buah."

(Abu Bakar Sibli)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* Turbin Angin Horisontal Diameter Sudu 10 M”.

Tugas akhir ini wajib ditempuh oleh mahasiswa PSD III Teknik Mesin Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro sebagai salah satu syarat memperoleh gelar ahli madya. Selain itu pembuatan tugas akhir ini juga bertujuan untuk mengembangkan wawasan, menambah pengetahuan dan mengembangkan disiplin ilmu yang diperoleh dibangku kuliah.

Dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Atas berbagai bantuan dan dukungan tersebut.

Penulis menyadari masih banyak yang dapat dikembangkan pada laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis sendiri dan semua pihak khususnya bagi mahasiswa PSD III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, September 2018

Penulis

ABSTRAK

Salah satu penyebab langkanya sumber daya alam di dunia ini adalah semakin tingginya kebutuhan minyak dan gas (migas). Sementara tingginya migas tidak diimbangi dengan produksi dan sumber energi fosil memiliki kapasitas terbatas. Oleh sebab itu, dibutuhkan sumber daya energi yang terbarukan seperti energi angin, energi matahari, energi panas bumi, energi air, energi biomassa. Dalam kasus ini rancang bangun turbin angin merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini dan kami melanjutkan proyek Tugas Akhir Rancang Bangun Rotor Turbin Angin Horizontal yaitu memfokuskan pada Rancang Bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* Turbin Angin Horizontal Diameter Sudu 10 M.

Tujuan laporan ini yaitu untuk mengetahui proses pembuatan mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* berdasarkan perhitungan diameter sudu dan dapat menghasilkan putaran pada generator dengan mempertimbangkan kapasitas maksimal listrik yang dihasilkan generator dan ketersediaan komponen-komponen itu sendiri. Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* diuji kekuatannya berdasarkan pengujian analisis kualitatif (kekuatan tuas; kekuatan baut flens; kekuatan roda gigi *yaw drive*) dan pengujian analisis kuantitatif (reliabilitas).

Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw Drive Control* memenuhi standar sesuai dengan pengujian analisis kualitatif dan pengujian analisis kuantitatif. Oleh karena itu mekanisme tersebut dapat dioperasikan jika mekanisme kelistrikan sudah selesai dan sesuai dengan standar untuk lebih menjaga efisiensi Turbin Angin kapasitas 1 KW (Kilo Watt).

Kata Kunci : *Pitch Blade Control*; *Yaw Drive Control*; Turbin angin.

ABSTRACT

One of the causes of the scarcity of natural resources in the world is the increasing demand for oil and gas. While the high level of oil and gas is not balanced with the production and sources of fossil energy has limited capacity. Therefore, renewable energy resources are needed such as wind energy, solar energy, geothermal energy, water energy, biomass energy. In this case the design of a wind turbine is one of the solutions to overcome this problem and we continue the Final Project Project for the Design of a Horizontal Wind Turbine Rotor which focuses on the Design of the Pitch Blade Control Mechanism and Yaw Drive Control Mechanism for Horizontal Wind Turbine Diameter of 10 M.

The purpose of this report is to determine the process of making the mechanism of Pitch Blade Control and Yaw Drive Control based on blade diameter and can generate rotation on the generator by considering the maximum capacity of electricity produced by the generator and the availability of the components themselves. The Pitch Blade Control and Yaw Drive Control mechanisms are tested for strength based on qualitative analysis testing (lever strength; flange bolt strength; yaw drive gear strength) and testing of quantitative analysis (reliability).

The Pitch Blade Control and Yaw Drive Control mechanisms meet standards in accordance with the testing of qualitative analysis and quantitative analysis testing. Therefore, the mechanism can be operated if the electrical mechanism is completed and in accordance with standards to better maintain the efficiency of a 1 KW (Kilo Watt) Wind Turbine capacity.

Keywords: Wind Turbine; Pitch Blade Control; Yaw Drive Control.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	4
1.6 Metode Penulisan	4
1.7 Sistematika Penyusunan Laporan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Energi Angin	7
2.2 Potensi Energi Angin di Indonesia	7
2.3 Turbin Angin	9
2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	11
2.5 Komponen Turbin Angin	12
2.6 Karakteristik Turbin Angin	14
2.7 Mekanisme Turbin Angin	16
2.7.1 Mekanisme Pitch Blade Control	16

2.7.2	Mekanisme <i>Yaw drive Control</i>	17
2.7.3	Skala Beaufort.....	18
BAB III		20
METODOLOGI.....		20
3.1	Skema Alir Pembuatan dan Pengujian Alat	20
3.2	Alat dan Bahan	21
3.3	Proses Pembuatan Mekanisme Sistem Control	26
3.3.1	Pembuatan Mekanisme <i>Pitch Blade Control</i>	26
3.3.2	Pembuatan Mekanisme <i>Yaw Drive Control</i>	32
3.3.3	Perakitan Turbin Angin.....	34
3.4	Pengambilan Data.....	35
3.4.1	Alat yang diperlukan	35
3.4.2	Tahap Pengambilan Data	35
3.5.1	Perhitungan Reliabilitas	37
3.6	Rancangan Pengujian Kontrol.....	38
BAB IV		44
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Hasil Perhitungan Analisis Kualitatif.....	44
4.1.1	Perhitungan Kekuatan Tuas	44
4.1.2	Perhitungan Kekuatan Baut Flens.....	46
4.1.3	Perhitungan Kekuatan Roda Gigi <i>Yaw drive</i>	50
BAB V.....		58
KESIMPULAN		58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Turbin angin sumbu horizontal	12
Gambar 2.2. Komponen turbin angin.....	12
Gambar 2.3. Hubungan daya output terhadap kecepatan angin.....	14
Gambar 2.4. Hubungan kecepatan rotor terhadap kecepatan angin.....	15
Gambar 2.5. Hubungan efisiensi terhadap output.....	15
Gambar 3.1. Skema alir pembuatan dan pengujian alat.....	21
Gambar 3.2. Mesin bubut.....	22
Gambar 3.3. Las listrik.....	22
Gambar 3.4. Mesin bor.....	23
Gambar 3.5. Gergaji mesin	24
Gambar 3.6. Poros utama horizontal.....	24
Gambar 3.7. Poros utama vertikal.....	25
Gambar 3.8. Hub, bushing and flange.....	25
Gambar 3.9. Meja poros horizontal.....	26
Gambar 3.10. Hub	28
Gambar 3.11. Bushing	29
Gambar 3.12. Main shaft horizontal	30
Gambar 3.13. Rumah <i>bearing</i>	31
Gambar 3.14. Dudukan bearing	33
Gambar 3.15. Poros penggerak vertikal.....	33
Gambar 3.16. Roda gigi	34
Gambar 3.17. Diagram alir perakitan.....	34
Gambar 3.18. Diagram alir <i>pitch blade control</i>	38
Gambar 3.19. Diagram alir <i>yaw drive</i>	39
Gambar 3.20. <i>Wind direction</i>	42
Gambar 4.1. Penampang tuas.....	45
Gambar 4.2. Penampang baut	49
Gambar 4.3. Penampang sudu.....	50
Gambar 4.4. Dimensi roda gigi	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Energi angin yang tersedia pada berbagai wilayah di Indonesia	8
Tabel 2.2 Tabel kecepatan angin berdasarkan skala beaufort.....	18
Tabel 3.1 Tabel kolerai (Tabel r)	38
Tabel 4.1 Spesifikasi elektrik aktuator.....	44
Table 4.2 Pengujian torsi (τ)	46
Tabel 4.3 Tabel standart proporsi sistem roda gigi	52
Tabel 4.4 Pengujian torsi <i>yaw drive</i>	54
Tabel 4.5 Hasil pengukuran torsi sudu tahap I dan tahap II.....	56
Tabel 4.6 Perhitungan total skor data tahap I.....	57
Tabel 4.7 Perhitungan total skor data tahap II	57
Tabel 4.8 Tabel kerja korelasi produk momen	58

DAFTAR NOTASI

Lambang	Keterangan	Satuan	Hal
U	Energi Kinetik	J	10
M	Massa	Kg	10
v_w	Kecepatan Angin	m/s ²	10
ρ_{air}	Massa Jenis Udara	kg/m ³	10
A	Luas	m ²	10
P	Daya	Watt	10
Cp	<i>Coeffisien Power</i>		11
λ	<i>Tip Speed Ratio</i>		11
θ	<i>Pitch Angle</i>	°	11
ω	Kecepatan Sudut	rad/s	11
R	Jari-jari Rotor Blade	M	11
d	Diameter	Mm	28
r _i	Reliabilitas Instrument		38
n	Banyak Responden		38
Σ	Jumlah		38
i	Tahapan 1		38
j	Tahapan 2		38
σ_b	Tegangan Bengkok	kg/mm ²	45
M _b	Momen Bengkok	Kgmm	45
W _b	Werkstan Bengkok	mm ³	45
b	Lebar Tuas	Mm	45
h	Panjang Tuas	Mm	45
τ	Torsi	Kgmm	46
r	Jari-jari	Mm	48
v	Kecepatan	m/s	48

F	Gaya	N	49
a	Percepatan	m/s^2	49
Δt	Selisih Waktu	Detik	49
σ_d	Tegangan Geser	kg/mm^2	49
M	Modul		50
T	Jumlah Gigi		50
T	Waktu	Detik	52
Z	Fase Putar Motor Listrik		52
S	Lintasan Gaya	M	52
W	Kerja Motor Listrik	J	52
N	Daya Motor Listrik	Watt	53
η_{mtr}	Randemen Motor Listrik		53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu sumber daya penting dalam kehidupan manusia. Semakin maju peradaban manusia maka ketergantungan terhadap kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Di Indonesia, permasalahan peningkatan kebutuhan energi berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil dimana saat ini energi nasional masih terfokus kepada energi konvensional yaitu batubara; minyak bumi; gas bumi yang akan berkurang dan habis pada suatu saat nanti. Hal tersebut melatar belakangi para peneliti mempelajari dan mencoba memanfaatkan sumber daya alternatif lain dimana bersifat terbarukan yang ketersediaannya tidak akan habis sampai kapanpun. Potensi energi terbarukan seperti tenaga surya; panas bumi; tenaga air; biomassa; tenaga angin di Indonesia cukup melimpah.

Dalam tugas akhir ini, energi angin akan menjadi topik yang akan dibahas lebih mendalam. Pemanfaatan energi angin merupakan hal populer pada beberapa negara tertentu seperti Jerman; Cina; Amerika Serikat; Spanyol; India.¹ Alasan mengapa negara tersebut memanfaatkan energi angin karena letak geografis mendukung serta garis pantai yang luas salah satu pemanfaatannya, untuk menghasilkan energi listrik dengan bantuan turbin angin. Penggunaan turbin angin untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik telah

¹ <https://sobatsepeda.wordpress.com/2011/12/21/5-negara-pemakai-energi-angin-terbesar-di-dunia/>

dilakukan dengan cara modern dimana telah mengaplikasikan sistem kontrol otomatis. Mekanisme sistem kontrol otomatis yang digunakan dalam hal ini diantaranya adalah *pitch blade control* dan *yaw drive control*.

Pitch blade control digunakan untuk mengatur sudut *blade* terhadap kecepatan angin agar tidak terjadi *overrunning*. Mekanisme *pitch blade control* sangat sederhana yaitu mengubah sudut *blade* sesuai kecepatan angin yang diolah oleh sensor kemudian digerakan oleh aktuator. Keunggulan sistem *pitch blade control* menjaga efisiensi dari turbin angin agar daya yang dihasilkan generator tetap stabil.

Mekanisme yang digunakan untuk mengatur *rotor* selalu menghadap arah datang angin agar mendapatkan energi angin maksimal adalah *yaw drive control*. Sistem ini sangat sederhana namun memiliki keuntungan cukup besar. Hal ini dikarenakan *yaw drive control* menggantikan fungsi ekor/*tail* dimana sistem ekor/*tail* membutuhkan energi angin besar agar dapat merubah arah *rotor* untuk turbin berukuran besar dan ukuran ekor yang sangat besar sehingga hal itu sangat berpengaruh terhadap desain dan nilai estetika suatu turbin angin. Perubahan arah *rotor* dengan sistem *yaw drive control* ini menggunakan motor listrik dan sensor arah angin sehingga lebih akurat serta desain turbin angin menjadi ringkas.

Dalam tugas akhir ini, kami membuat mekanisme *pitch blade control* dan *yaw drive control* dimana akan dicari nilai torsi pada kedua mekanisme tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubung dengan judul diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja mekanisme *pitch blade* dan *yaw drive* otomatis pada turbin angin.
2. Pembuatan mekanisme *pitch blade* dan *yaw drive* otomatis pada turbin angin
3. Pengujian mekanisme *pitch blade* dan *yaw drive* otomatis pada turbin angin

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengarahkan pengamatan agar sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka diperlukan batasan masalah yang akan dibahas. Penulis menitik beratkan pembahasan pada:

1. Desain mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control*
2. Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control*
3. Komponen-komponen mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control*
4. Proses pembubutan pada pipa *Horizontal* dan pipa *vertical*
5. Proses perakitan komponen-komponen mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control*
6. Pengujian torsi *Pitch Blade* dan *Yaw drive*

1.4 Tujuan

Tujuan dari “Rancang Bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control* Turbin Angin *Horizontal* Diameter Sudu 10 M” adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan desain dan rancang bangun Mekanisme *Pitch Blade Control* yang mampu menyesuaikan perubahan kecepatan angin dan *Yaw drive Control* Turbin Angin *Horizontal* Diameter Sudu 10 M.
2. Mengurangi konsumsi energi dari fosil dan juga akan usaha memenuhi keterbutuhan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.
3. Mengetahui dan memahami mekanisme transmisi daya.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Di dalam pengerjaan proyek akhir ini sampai selesai kami mendapatkan beberapa manfaat yaitu mengetahui mengenai rancang bangun mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control* Turbin Angin *Horizontal*; mengetahui proses pembuatan hub; mengetahui proses perakitan komponen-komponen yang ada pada mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control* serta mengetahui pemilihan bahan apa saja yang digunakan untuk pembuatan rancang bangun mekanisme *Pitch Blade Control* dan *Yaw drive Control* .

Adapun manfaat lain dari tugas akhir ini kami dapat membuat turbin angin *horizontal* menggunakan prinsip kerja sesuai di PLTB dengan mekanisme lebih sederhana dan biaya yang lebih terjangkau.

1.6 Metode Penulisan

Penyusunan laporan dilaksanakan dengan metode *study* kepustakaan, metode *study* kepustakaan dilakukan untuk menunjang metode *interview* dan observasi yang telah dilakukan. Pengumpulan informasi yang dibutuhkan

dilakukan dengan mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan, referensi dapat diperoleh dari buku-buku atau internet.

1. Prinsip Percobaan

Menghasilkan kecepatan angin yang konstan dengan mekanisme otomatis *yaw drive* dan *pitch blade control*.

2. Penyusunan Laporan

Metode yang digunakan dalam penyusunan laporan ini adalah

a. Metode *observasi*

Metode *observasi* yaitu suatu metode pengumpulan data dimana penulis mengadakan pengamatan dan pengujian secara langsung pada media yang diamati.

b. Metode *interview*

Metode *interview* yaitu suatu metode pengumpulan data dimana penulis mengadakan wawancara secara langsung dengan orang yang berkepentingan.

c. Metode *literature*

Metode *literature* yaitu suatu metode pengumpulan data dimana penulis membaca dan mempelajari bahan – bahan yang berhubungan dengan laporan.

1.7 Sistematika Penyusunan Laporan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang proses pembuatan desain *hub*, program *pitch blade control* , pembuatan mekanisme *yaw drive*, program *control yaw drive* .

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil desain *hub*, hasil pembuatan mekanisme *yaw drive*.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik maupun mekanik melalui proses konversi ke mekanik dan selanjutnya ke listrik. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan (pompa piston, penggilingan, dan lain-lain). Sementara itu, pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses pengubahan ini disebut konversi energi angin; sedangkan sistem atau alat yang melakukannya disebut Sistem Konversi Energi Angin. Selanjutnya, untuk menghasilkan listrik disebut turbin angin; dan untuk komponen mekaniknya disebut kincir angin. Sekarang ini, pemanfaatan energi angin yang lebih umum yakni dalam bentuk energi listrik, sementara bentuk energi mekanik atau yang lebih dikenal sebagai pemanfaatan langsung mulai berkurang.

2.2 Potensi Energi Angin di Indonesia

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ kW jam energi ke Bumi setiap jam. dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 1.017$ Watt.² Sekitar 1-2% dari energi

² <http://www.ristek.go.id/>

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

Tabel 2.1. Energi angin yang tersedia pada berbagai wilayah di Indonesia

No	Provinsi	Tahun	Potensi (MW)
1	NTT	2017	10.188
2	Jawa Timur	2017	7.907
3	Jawa Barat	2017	7.036
4	Jawa Tengah	2017	5.213
5	Sulawesi Selatan	2017	4.193
6	Maluku	2017	3.188
7	NTB	2017	2.605
8	Bangka Belitung	2017	1.787
9	Banten	2017	1.753
10	Bengkulu	2017	1.513
11	Sulteng	2017	1.414
12	Papua	2017	1.411
13	Sulawesi Utara	2017	1.214
14	Lampung	2017	1.137
15	D.I.Yogyakarta	2017	1.079
16	Bali	2017	1.019
17	Kalimantan Selatan	2017	1.006
18	Kepulauan Riau	2017	922
19	Sulawesi Tengah	2017	908
20	Aceh	2017	894
21	Kalimantan Tengah	2017	681
22	Kalimantan Barat	2017	554
23	Sulawesi Barat	2017	514

24	Maluku Utara	2017	504
25	Papua Barat	2017	437
26	Sumatra Barat	2017	428
27	Sumatra Utara	2017	356
28	Sumatra Selatan	2017	301
29	Kalimantan Timur	2017	212
30	Gorontalo	2017	137
31	Kalimantan Utara	2017	73
32	Jambi	2017	37
33	Riau	2017	22
34	Jakarta	2017	4

Sumber : setkab.go.id/potensi-pengembangan-pltb-di-indonesia

Berdasarkan tabel 2.1 pemilihan energi angin tersedia dalam satu tahun yang paling tepat adalah provinsi ini (NTT) dikarenakan potensi angin yang paling besar. energi angin yang tersedia di provinsi sebesar 10.188 MW.

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan adanya prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat dipengaruhi oleh angin.

Prinsip dasar bahwa sebuah turbin angin dapat berputar pada porosnya adalah karena adanya vektor dari gaya *lift* dan gaya *drag* yang dihasilkan akibat bentuk aerodinamis dari penampang *blade* tersebut. Ketika sebuah *airfoil* terkena angin dari arah depan, maka akan menghasilkan vektor gaya *lift* (L) dan *drag* (D). Gaya *lift* dan gaya *drag* ini perubahannya dipengaruhi langsung oleh bentuk

geometri *blade*, kecepatan dan arah angin terhadap garis utama *blade*. Akibat dari perubahan gaya *lift* dan *drag*.³

Kecepatan sudut dan torsi poros akan berubah pula. *Blade Pitch Angle Control System* adalah salah satu mekanisme kontrol pada turbin angin yang bekerja dengan mengontrol aerodinamis dari *blade* melalui kontrol kemiringan sudut *blade* terhadap arah tiupan angin (*angle of attack*). Perubahan sudut *blade* ini akan mempengaruhi kecepatan sudut (RPM) dari poros karena adanya perubahan jumlah daya tiup angin yang diterima oleh *blade* yang dikonversi menjadi kecepatan putar poros.

Daya dari angin yang dapat ditangkap oleh sebuah *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dapat diturunkan dari persamaan energi kinetik angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu ke arah x. adapun persamaan energi yang mengenai sudu turbin angin dituliskan sesuai dengan persamaan (1) adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{2} m v_w^2 = \frac{1}{2} (\rho_{air} A_r x) v_w^2 \quad (1)^3$$

Diketahui bahwa daya adalah turunan dari energi terhadap waktu, maka dituliskan dengan persamaan (2) adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho_{air} A_r v_w^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho_{air} A_r v_w^3 \quad (2)^3$$

Selain pada kecepatan angin, power juga tergantung pada C_p (*Coeffisien Power*). Semakin besar nilai C_p maka akan semakin besar tenaga yang dapat ditangkap oleh turbin angin. C_p sendiri adalah merupakan fungsi dari λ (*tip speed ratio*) dan θ (*pitch angle*). Jadi persamaan (2) dapat ditulis kembali kedalam bentuk yang lebih sederhana seperti ditunjukkan pada persamaaan (3):

³ Denny Putra Pratama, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Blade Pitch Angle Pada Prototipe Turbin Angin Berbasis euro-Fuzzy", hal. 2.

$$P = \frac{1}{2} \rho_{air} C_p (\lambda, \theta) A_r v_w^3 \quad (3)^3$$

Sedangkan λ sendiri dirumuskan sbagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (4)^3$$

Dimana :

λ = tip speed ratio

ω = kecepatan sudut (rps)

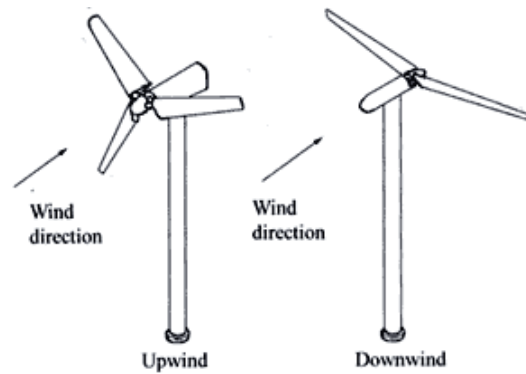
v = kecepatan angin (m/s)

R = jari-jari *rotor blade* (m)

Jika diasumsikan ω adalah konstan sesuai *set point* yang diinginkan dan R *blade* adalah konstan, maka C_p hanya akan bergantung pada v (kecepatan angin) dan θ (pitch sinilah kemudian θ dijadikan variabel yang dikontrol sebagai kompensasi perubahan kecepatan angin (v) untuk mendapatkan tenaga yang diinginkan. Sedangkan untuk mendapatkan θ sesuai dengan yang dibutuhkan dilakukan pengambilan data dengan menggunakan kecepatan angin (v) yang ditentukan.

2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal

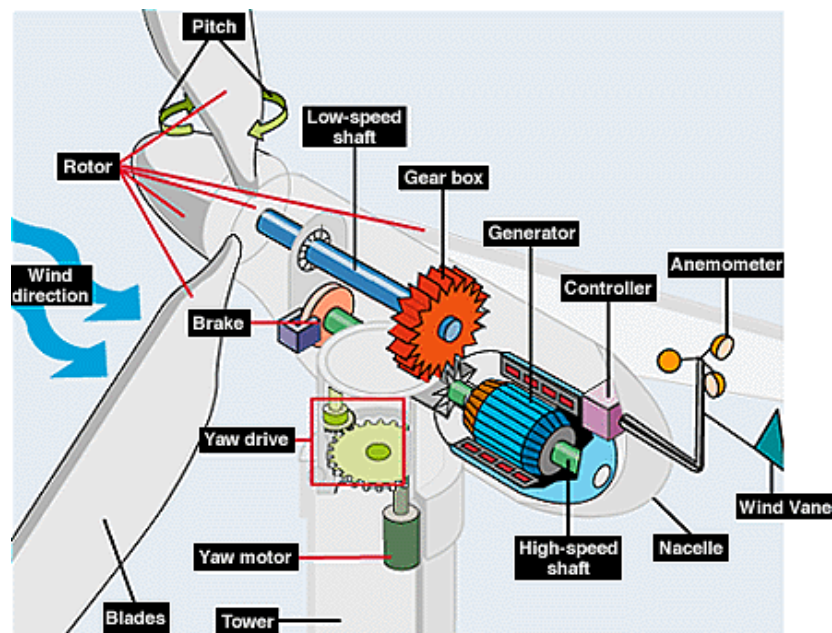
Turbin angin sumbu *Horizontal* (TASH) memiliki poros *rotor* utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah ekor (*tail*) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah *servo motor*. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Turbin angin sumbu *Horizontal* dibedakan juga terhadap datangnya arah angin terhadap *rotor* turbin, yaitu :



Gambar 2.1. Turbin angin sumbu horizontal (Sumber: Mathew;2006)

1. *Upwind*, apabila turbin angin diletakan menghadap arah angin (*upwind* memiliki *rotor* yang menghadap arah datangnya angin).
2. *Downwind*, apabila turbin angin diposisikan membelakangi arah angin.

2.5 Komponen Turbin Angin



Gambar 2.2. Komponen turbin angin
(Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014/03/komponen-pltb.html>)

- 1 *Anemometer*: Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.

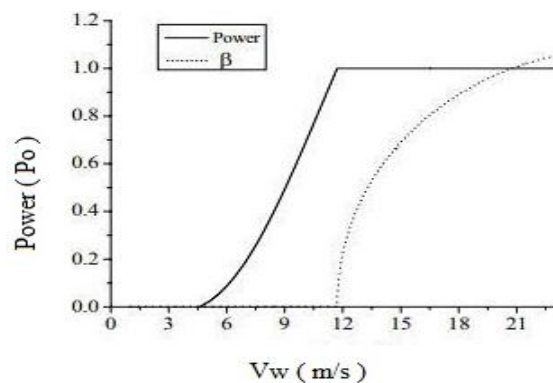
- 2 *Blades* (Bilah Kipas): Kebanyakan turbin angin mempunyai 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
- 3 *Brake* (Rem): Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan *rotor* atau saat keadaan darurat.
- 4 *Gearbox* (Roda Gigi): Roda gigi menaikkan putaran dari 100 rpm menjadi sekitar 400 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.
- 5 *Generator*: Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak-balik.
- 6 *High-speed shaft* (Poros Putaran Tinggi): Berfungsi untuk menggerakkan generator.
- 7 *Low-speed shaft* (Poros Putaran Rendah): Poros turbin yang berputar kira-kira 30-100 rpm.
- 8 *Nacelle* (Rumah Mesin): Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- 9 *Pitch* (Sudut Bilah Kipas): Bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan *rotor* yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.
- 10 *Rotor* : Bilah kipas bersama porosnya dinamakan *rotor*.
- 11 *Tower* (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, ataupun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan

bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.

- 12 *Wind direction* (Arah Angin): Adalah turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
- 13 *Wind vane* (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
- 14 *Yaw drive* (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
- 15 *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan *yaw drive*.

2.6 Karakteristik Turbin Angin

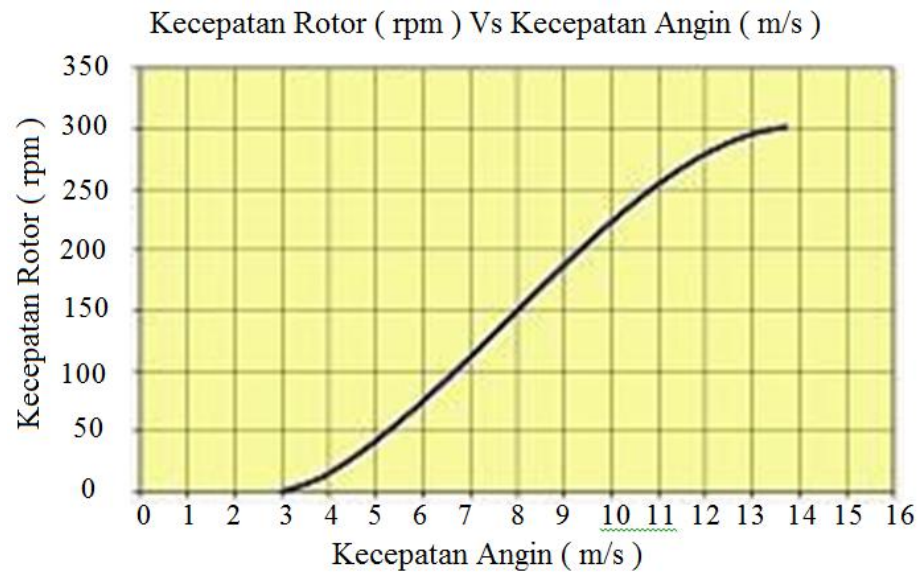
Turbin angin sebagai salah satu alat penghasil energi memiliki beberapa karakteristik yang perlu kita ketahui diantaranya sebagai berikut



Gambar 2.3. Hubungan daya output terhadap kecepatan angin (*Sumber : Laporan Perencanaan Turbin Angin Horizontal, Polban*)

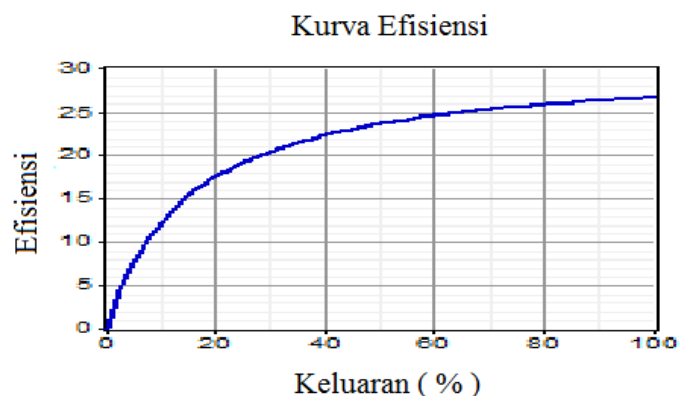
Dari persamaan $P_o = \frac{1}{2} \rho v^3 A$ dan kurva di atas kita bisa mengetahui bahwa semakin cepat kecepatan angin maka akan semakin besar daya yang dihasilkan, akan tetapi terjadi kejenuhan pada kecepatan angin tertentu

sehingga daya tidak bertambah melainkan konstan.



Gambar 2.4. Hubungan kecepatan rotor terhadap kecepatan angin
(Sumber : Laporan Perencanaan Turbin Angin Horizontal, Polban)

Semakin cepat kecepatan angin maka akan semakin besar putaran *rotor* yang dihasilkan, dan hal tersebut dapat terlihat dari gambar 2.4 yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran *rotor* terhadap kecepatan angin. Jadi dapat kita ketahui apabila menginginkan kecepatan *rotor* yang lebih tinggi caranya adalah dengan meningkatkan kecepatan angin yang digunakan untuk memutar turbin angin.



Gambar 2.5. Hubungan efisiensi terhadap output
(Sumber : Laporan Perencanaan Turbin Angin Horizontal, Polban)

Untuk perbandingan antara efisiensi terhadap *output* pada saat *output* sekitar 0% hingga 40% dari kemampuan turbin atau generator peningkatan efisiensi sangat tinggi, namun pada saat 50% hingga 100% ada peningkatan efisiensi namun tidak signifikan namun tidak terlalu signifikan.

2.7 Mekanisme Turbin Angin

Pembahasan mekanisme pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu:

2.7.1 Mekanisme Pitch Blade Control

Pitch Blade Control adalah teknologi yang digunakan untuk mengoperasikan dan mengontrol sudut pisau dalam turbin angin. Pengontrol utama turbin menghitung sudut kemiringan yang dibutuhkan dari satu set kondisi, seperti kecepatan angin, kecepatan generator dan produksi daya. Sudut kemiringan yang dibutuhkan ditransfer ke sistem *pitch blade control* sebagai *set point* untuk membuat aktuator menggerakkan *blade* ke sudut yang diperlukan.

Pitch Blade Control merupakan metode yang dioperasikan ketika kecepatan angin diluar dari nilai rata-rata, dalam situasi ini torsi elektromagnetik tidak cukup untuk mengontrol kecepatan *rotor* dengan demikian generator akan *overload*. Untuk menghindari hal ini, konversi daya turbin angin harus dibatasi dan ini dapat dilakukan dengan mengurangi koefisien daya (C_p) dari wind turbine. Koefisien daya dapat dimanipulasi dengan memvariasikan *blade pitch angle*.

Baling-baling pada turbin angin yang memiliki *pitch control* dapat berubah posisi menjauhi atau mendekati arah datangnya angin saat daya keluaran sangat tinggi ataupun sangat rendah, berurutan. *Pitch control* bekerja relatif cepat dan dapat digunakan untuk membatasi kecepatan *rotor* dengan mengatur

aerodinamika aliran daya. Pada saat kecepatan angin rendah atau sedang, sudut baling-baling diatur agar turbin angin bekerja pada kondisi optimumnya.

Sedangkan saat kecepatan angin sedang tinggi, sudut baling-baling akan dinaikkan agar daya aerodinamika berkurang dan kecepatan *rotor* bertahan pada kecepatan *rating*. Manfaat yang dapat diambil dengan menggunakan kontrol sudut baling-baling ini adalah peningkatan daya tangkapan turbin angin. Dengan demikian, maka efisiensi kerja turbin angin dapat ditingkatkan dan menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Penambahan kontrol sudut ini juga dapat menghindari daya masukan dari angin yang melebihi kemampuan kerja dari turbin angin dimana hal tersebut dapat menyebabkan perangkat mekanik dan elektronik pada turbin mengalami beban berlebih yang menyebabkan kerusakan.

Aplikasi kontrol ini memungkinkan energi yang ditangkap turbin menjadi maksimal saat kecepatan angin rendah dengan memanfaatkan efek *tip speed ratio* yang konstan akibat penambahan kontrol tersebut. Pada saat kecepatan angin rendah, maka *pitch angle* akan diatur pada besaran yang konstan yaitu pada *pitch angle* yang menghasilkan daya terbesar. Sedangkan pada saat kecepatan angin tinggi, maka torsi dan daya akan dibatasi pada bagian yang memiliki besaran konstan.

2.7.2 Mekanisme Yaw drive Control

Penggerak *yaw* merupakan komponen penting dari sistem *yaw* turbin angin sumbu *horizontal*. Untuk memastikan turbin angin menghasilkan jumlah energi listrik maksimal setiap saat, penggerak *yaw* digunakan untuk menjaga *rotor* menghadap angin saat arah angin berubah. Ini hanya berlaku untuk turbin angin dengan *rotor* sumbu *horizontal*. Turbin angin dikatakan memiliki kesalahan *yaw* jika *rotor* tidak sejajar dengan angin.

2.7.3 Skala Beaufort

Skala Beaufort adalah ukuran empiris yang berkaitan dengan kecepatan angin untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut. Skala ini ditemukan oleh Francis Beaufort pada tahun 1805.⁴ Beaufort mengukur kecepatan angin dengan menggambarkan pengaruhnya pada kecepatan kapal dan gelombang air laut. Skala Beaufort menggunakan angka dan simbol. Semakin besar angka skala Beaufort, maka semakin kencang angin berhembus dan bahkan bisa semakin merusak. Skala Beaufort dimulai dari angka 1 untuk hembusan angin yang paling tenang sampai angka 12 untuk hembusan angin yang dapat menyebabkan kehancuran. Skala Beaufort tetap berguna dan dipakai sampai sekarang.

Tabel 2.2 Tabel kecepatan angin berdasarkan skala beaufort

Nomor	Kekuatan Angin	Kecepatan Rata-rata (km/jam)
0	Tenang	<1
1	Sedikit tenang	1-5
2	Sedikit hembusan angin	6-11
3	Hembusan angin pelan	12-19
4	Hembusan angin sedang	20-29
5	Hembusan angin sejuk	30-39
6	Hembusan angin kencang	40-50
7	Mendekati kencang	51-61
8	Kencang	62-74
9	Kencang sekali	75-87

⁴ https://id.wikipedia.org/wiki/Skala_Beaufort

10	Badai	88-101
11	Badai dahsyat	102-117
12	Badai topan	>118

Sumber: Brainly.co.id

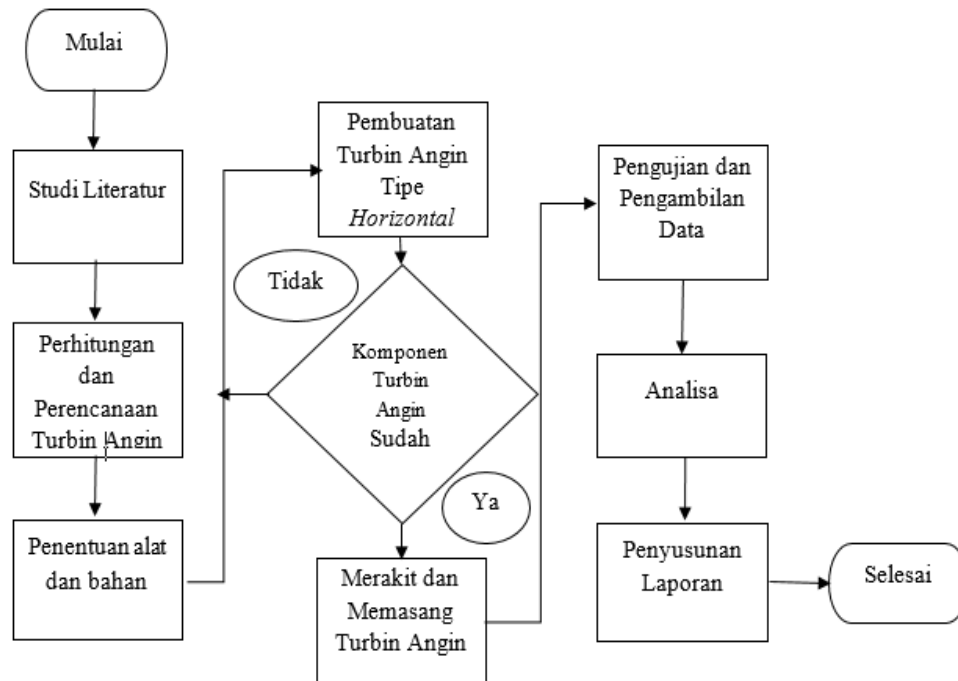
BAB III

METODOLOGI

3.1 Skema Alir Pembuatan dan Pengujian Alat

Berikut akan dibahas tahap-tahap dalam pembuatan mekanisme *pitch blade* dan *yaw drive control* turbin angin, alat ini bekerja berdasarkan kecepatan dan arah angin yang telah ditentukan dengan pengujian beberapa variabel.

Dalam menentukan rancangan alat harus mempertimbangkan beberapa hal yang salah satunya ialah sifat dari alat tersebut. Sehingga dapat ditentukan bentuk serta ukuran alat dan bahan yang di perlukan. Beberapa sifat dari alat ini bisa di tentukan berdasarkan identifikasi dengan menganalisa cara kerja alat yang hendak di buat. Topik yang akan di bawakan dalam bahasan kali ini yaitu mekanisme *pitch blade control* dan mekanisme *yaw drive*, dimana pada mekanisme *yaw drive* sendiri menggunakan poros vertikal yang ditopang oleh 2 Roda Gigi. Poros vertikal tersebut akan berputar ketika angin mengenai sensor yang kemudian diolah sehingga mengubah posisi poros sesuai arah angin. Sedangkan mekanisme *pitch blade control* berfungsi untuk mengatur kecepatan angin dengan memanfaatkan kemiringan sudu. Sudu ini akan berotasi secara otomatis oleh plat lingkaran yang telah diporoskan dengan *flans* sudu dimana *actuator electric* sebagai penggeraknya.



Gambar 3.1. Skema alir pembuatan dan pengujian alat

3.2 Alat dan Bahan

Setelah rancangan di buat, langkah selanjutnya adalah pemilihan alat yang akan digunakan sesuai dengan kriteria yang di dapat dari hasil identifikasi dan di rencanakan semula. Pemilihan alat sebaiknya diperhatikan kualitasnya karena alat dan bahan yang baik akan berpengaruh baik pula terhadap kualitas. Begitu juga sebaliknya, pemilihan alat dan bahan yang tidak sesuai dapat berpengaruh buruk terhadap kualitas.

A. Alat

1. Mesin Bubut

Mesin bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang

digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja.



Gambar 3.2. Mesin bubut
(Sumber: Dokumen Pribadi)

2. Las Listrik

Las berfungsi untuk menyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas. Jenis sambungan las dengan las busur listrik ini adalah merupakan sambungan tetap/permanen.



Gambar 3.3. Las listrik
(Sumber: [google.com/Mesinlas](https://www.google.com/Mesinlas))

3. Las Asetelin

Selain digunakan untuk menyambung dan menyolder, las asetilin dipakai juga untuk pemotongan logam. Untuk pengelasan (menyambung) digunakan pembakar (*torch*), sedangkan untuk memotong logam digunakan pembakar pemotong (*cutting torch*).

4. Mesin Bor

Berfungsi untuk Membuat lubang, Membuat lobang bertingkat, Membesarkan lobang, *chamfer*. Cara kerja mesin bor adalah dengan cara memutar mata pisau dengan kecepatan tertentu dan ditekan ke suatu benda kerja.



Gambar 3.4. Mesin bor
Sumber: google.com/Mesinbor)

5. Gergaji Mesin

Fungsi utama Mesin Gergaji adalah untuk memotong benda kerja dalam jumlah yang banyak.



Gambar 3.5. Gergaji mesin
(Sumber: [google.com/Gergajimesin](https://www.google.com/search?q=Gergaji+mesin))

B. Bahan

1.) Pipa *Seamless* sch 60

Pipa *Seamless* ini digunakan untuk membuat poros *Horizontal* pada *pitch blade control*. Dengan keterangan sebagai berikut :

Panjang = 1700 mm

Diameter Luar = 87 mm

Diameter Dalam = 67 mm



Gambar 3.6. Poros utama horizontal
(Sumber: *Dokumentasi Pribadi*)

2.) Pipa ST-37

Pipa ST-37 ini digunakan untuk membuat poros vertikal pada mekanisme *yaw drive*. Dengan keterangan sebagai berikut :

Panjang : 1000 mm

Diameter Luar: 220 mm



Gambar 3.7. Poros utama vertikal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.) Besi Plat ST-37

Besi Plat ST-37 ini digunakan untuk membuat komponen-komponen sebagai berikut :

Nama Komonen	Panjang	Lebar	Tebal
<i>Hub</i>	500 mm	500 mm	8 mm
Dudukan Rumah <i>Bearing</i>	345 mm	100 mm	10 mm



Gambar 3.8. Hub, bushing and flange
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.) Besi Plat Profil L 7

Nama Komponen	Panjang	Lebar	Tebal
Dudukan Poros <i>Horizontal</i>	1700 mm	235 mm	7 mm



Gambar 3.9. Meja poros horizontal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.3 Proses Pembuatan Mekanisme Sistem Control

Dalam proses pembuatan mekanisme *yaw drive* dan *pitch blade control* dilakukan secara beruntun berdasarkan tahap-tahapan yang meliputi persiapan (meliputi pemilihan alat), pengerjaan (meliputi proses pembuatan mekanisme), pemasangan (meliputi perakitan beberapa komponen), dan pengecekan (meliputi pengujian keberhasilan mekanisme nya).

3.3.1 Pembuatan Mekanisme *Pitch Blade Control*

Pitch Blade Control digunakan untuk mengatur sudut *blade* terhadap kecepatan angin agar tidak terjadi *over running*. Mekanisme *pitch blade control* sangat sederhana yaitu mengubah sudut *blade* sesuai kecepatan angin yang diolah oleh sensor kemudian digerakan oleh *electric actuator*.

Keunggulan sistem *pitch blade control* menjaga efisiensi dari turbin angin agar daya yang dihasilkan generator stabil.

Dalam pembuatan mekanisme *pitch blade control* meliputi : Pembuatan Hub, Pembuatan *bushing* pengontrol sudu, pembuatan *main shaft horizontal*, pembuatanudukan *bearing horizontal*, dan pembuatanudukan poros *horizontal*.

a. Pembuatan Hub

Hub dibuat dari pipa besi dengan tebal 8mm yang melalui proses permesinan sehingga memungkinkan untuk dipasang *blade*. *Hub* dibuat dengan diameter 500 mm, pada *hub* juga dipasang hidung turbin angin (*bonet*), pemasangan hidung turbin angin ini diasumsikan bahwa angin yang melewati *hub* tidak hilang begitu saja melainkan dibelokan menuju sudu turbin angin sehingga angin yang dimanfaatkan dapat lebih optimal.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses pembuatan	Pembuatanudukan baling-baling atau <i>hub</i>
Jenis pekerjaan	Memotong pipa berongga d= 500 x 500 mm
	Memotong plat untuk <i>flens</i> kanan dan kiri
	Membubut plat untuk <i>flens</i> kanan dan kiri
	Mengelas plat untuk <i>flens</i> kanan dan kiri
	Membuat <i>bushing</i> kanan dan kiri

Bahan	Membuat lubang pipa $d = 220$ mm untuk meletakkan kedudukan <i>blade</i>
	Membuat lubang <i>flens</i> kanan dan kiri sebanyak 6 kali
	Mengelas <i>bushing</i> pada <i>flens</i> kanan dan kiri
	Pipa rongga $d = 500 \times 500$ mm
	Plat eser $d = 500 \times 8$ mm jumlah 2 buah



Gambar 3.10. Hub

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

b. Pembuatan *Bushing* Pengontrol Sudu

Bushing ini dibuat dari plat eser dengan diameter 27 mm yang melalui proses permesinan sehingga memungkinkan untuk mengontrol sudu.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses Pembuatan	Pembuatan <i>Bushing</i> Pengontrol Sudu
Jenis Pekerjaan	Memotong bahan pipa $d = 220$ mm Memotong plat dan <i>shaft</i> Mengelas <i>flans</i> kanan dan kiri

Bahan

Membubut *bushing*
 Pipa d = 220 mm
 Plat ST-37 d = 270 mm
 Pipa d = 88 mm
 Baut M 14



Gambar 3.11. Bushing
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. Pembuatan Main Shaft *Horizontal*

Sebagai alat yang berfungsi untuk meneruskan atau mentransmisikan putaran yang dihasilkan sudu menuju ke generator, *main shaft* juga berfungsi untuk menahan berat dari sudu dan generator sehingga pemilihan bahan *main shaft* harus dapat menahan beban berat. Bahan yang dipakai adalah pipa *seamless* sch-60 dengan panjang 1700 mm dan diameter 87 mm.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses Pembuatan
 Jenis Pekerjaan

Pembuatan *Main Shaft*
 Mengelas pipa *seamless* sch-60

	Membubut pipa <i>seamless</i> sch-60
Bahan	Pipa <i>seamless</i> sch-60



Gambar 3.12. Main shaft horizontal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

d. Pembuatan Dudukan Bearing *Horizontal*

Bearing yang dipakai sebagai penopang poros *horizontal* menggunakan jenis *ball and taper bearing*. Dudukan bearing terbuat dari bahan plat eser dengan 320 x 100 mm.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses pembuatan	Pembuatan Dudukan <i>Bearing Horizontal</i>
Jenis pekerjaan	Memotong plat Mengelas plat Membubut plat Melubangi plat untuk baut 13 mm
Bahan	Plat eser ukuran 320 x 100 mm Plat eser d = 200 mm x 40 mm Plat eser ukuran 16 mm x 200 mm x 350 mm.



Gambar 3.13. Rumah *bearing*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

e. Pembuatan Dudukan Poros *Horizontal*

Dudukan poros atau meja poros (Gambar 3.8) dibuat sesuai dengan panjang pipa *seamless* yaitu 1700 mm. Dudukan poros ini menggunakan bahan baja profil L7. Pada pembuatan ini dilakukan melalui proses permesinan sehingga memungkinkan untuk menahan berat sesuai dengan ukuran pipa *seamless*.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses Pembuatan

Pembuatan dudukan poros
Horizontal

Jenis Pekerjaan

Memotong baja profil L
Mengelas baja profil L

Bahan

Baja profil panjang 1700 mm dan lebar 100 mm.

3.3.2 Pembuatan Mekanisme *Yaw Drive Control*

Yaw Mechanism Control adalah komponen yang menghubungkan antara tiang penyangga dan rangka turbin. Fungsi *yaw mechanism* adalah menjaga arah turbin angin sehingga *rotor* selalu menghadap arah datangnya angin. Prinsip kerja *yaw mechanism* berupa putaran yang bergerak pada sumbunya dimana ketika sudu menerima angin dari arah samping, *yaw mechanism* akan berputar sehingga sudu tetap menghadap angin dan dapat berputar.

Yaw Mechanism menggunakan material dari besi. Hal ini dikarenakan beban yang diterima *yaw mechanism* sangat besar yang berasal dari beban komponen turbin selain tiang dan beban dari energi angin itu sendiri.

a. Pembuatan Dudukan Bearing pada Poros Vertikal

Bearing yang dipakai sebagai penopang poros vertikal menggunakan jenis *ball bearing* dan *tapper bearing*. Dudukan *bearing* terbuat dari bahan plat eser dengan ukuran 800 x 400 x 40 (mm).

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses pembuatan	Pembuatan dudukan <i>bearing</i> pada poros vertikal
Jenis pekerjaan	Memotong plat Membubut dudukan bearing d= 220 mm dan d= 230 mm Membuat lubang bor d= 13mm
Bahan	Plat eser 800 x 400 x 40 mm



Gambar 3.14. Dudukan bearing
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

b. Pembuatan Poros Penggerak Vertikal

Poros ini digunakan untuk menggerakkan mekanisme *yaw drive*, dibuat dari besi ST-37.

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses pembuatan
Jenis pekerjaan

Bahan

Pembuatan poros vertical
Memotong pipa diameter 210 x 1000 mm
Men-shock pipa d= 220x230 mm
Membubut dan mengelas pipa
Pipa d= 210 x 1000 mm
Plat d= 210 x 10 mm sebanyak 2 buah



Gambar 3.15. Poros penggerak vertikal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. Pembuatan Roda Gigi

Pada tahap persiapan pengerjaan perlu diperhatikan beberapa hal, tujuannya adalah agar bahan-bahan yang dipasang sesuai dengan rancangan semula dan tidak ditemukan kendala. Hal-hal yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya:

Proses pembuatan
Jenis pekerjaan

Pembuatan Roda Gigi
Memotong plat
Membubut plat
Proses *hobbing* (pembuatan gigi)
Lubang bor
ST 37

Bahan

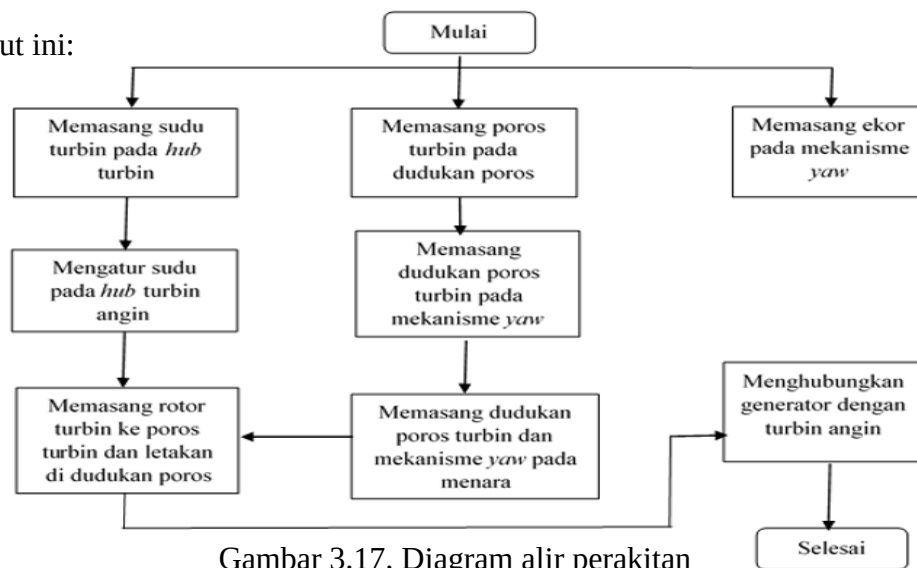


Gambar 3.16. Roda gigi
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.3.3 Perakitan Turbin Angin

Langkah perakitan turbin angin dapat dilihat pada gambar diagram alir

berikut ini:



Gambar 3.17. Diagram alir perakitan

3.4 Pengambilan Data

Setelah selesai melakukan perakitan turbin langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian turbin, untuk mengetahui performa atau kemampuan dari mekanisme *pitch* dan *yaw drive control* turbin angin yang telah dibuat.

3.4.1 Alat yang diperlukan

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu mempersiapkan alat yang diperlukan dalam proses pengujian. Berikut adalah alat-alat yang diperlukan dalam proses pengujian:

1. Dynamometer
2. Jangka Sorong
3. Meteran

3.4.2 Tahap Pengambilan Data

Setelah alat yang diperlukan terkumpul atau terpenuhi semua maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada turbin angin. Berikut adalah tahap pengujian turbin angin.

A. Pengambilan Data pada *Pitch Blade Control*

Pengambilan data yang akan dilakukan yaitu dengan cara menghitung torsi pada *pitch blade control* dengan cara sebagai berikut :

1. Kaitkanlah alat untuk mengukur torsi (*dynamometer*) pada sambungan antara sudu dengan hub (*flans*).
2. Kemudian alat yang sudah dikaitkan diputar seperti halnya menggulung tali satu putaran atau seperlunya saja.

3. Aturlah *dynamometer* tersebut sehingga menunjukkan angka 0 (normal).
4. Tariklah alat tersebut sehingga sudu dapat bergerak berputar 35^0
5. Catatlah nilai yang ditunjukkan oleh *dynamometer* tersebut sebagai bahan untuk olahan data.
6. Lakukanlah hal diatas sebanyak 8 kali dalam 2 tahap.

B. Pengambilan Data pada *Yaw drive Control*

Pengambilan data yang akan dilakukan yaitu dengan cara menghitung torsi pada *yaw drive control* dengan cara sebagai berikut :

1. Kaitkanlah alat untuk mengukur torsi (*dynamometer*) pada ujung roda gigi .
2. Kemudian alat yang sudah dikaitkan diputar seperti halnya menggulung tali satu putaran atau seperlunya saja.
3. Aturlah *dynamometer* tersebut sehingga menunjukkan angka 0 (normal).
4. Tariklah alat tersebut sehingga sudu dapat bergerak berputar 35^0
5. Catatlah nilai yang ditunjukkan oleh *dynamometer* tersebut sebagai bahan untuk olahan data.
6. Lakukanlah hal diatas sebanyak 16 kali.

3.5 Analisis Data

Setelah tahap pengujian selanjutnya adalah menganalisa data yang telah diperoleh dengan menghitung menggunakan perhitungan reliabilitas dan menggunakan rumus korelasi *Product Momen* dengan analisa rumus *Spearman Brown*.

3.5.1 Perhitungan Reliabilitas

Perhitungan perlu dilakukan dengan tujuan untuk menjamin bahwa sistem kontrol pengaturan sudut sudu menghasilkan reliabilitas yang baik. Uji reliabilitas dilakukan menggunakan rumus korelasi *Product Momen* dengan analisis lanjut rumus *Spearman Brown*. Langkah pengujian dilakukan dengan diawali langkah pengambilan data. Nilai r_i hasil perhitungan di atas selanjutnya dikonsultasikan terhadap nilai r pada tabel korelasi.

Rumus Kolerasi *Product Momen*

$$r = \frac{n\sum i.j - (\sum i)(\sum j)}{\sqrt{(n\sum i^2 - (\sum i)^2)(n\sum j^2 - (\sum j)^2)}}$$

(<http://www.ishaqmadeamin.com/2013/06/reliabilitas-tes-objektif-dengan-fungsi.html>)

Rumus *Spearman Brown*

$$r_i = \frac{2r}{1+r}$$

(<http://www.ishaqmadeamin.com/2013/06/reliabilitas-tes-objektif-dengan-fungsi.html>)

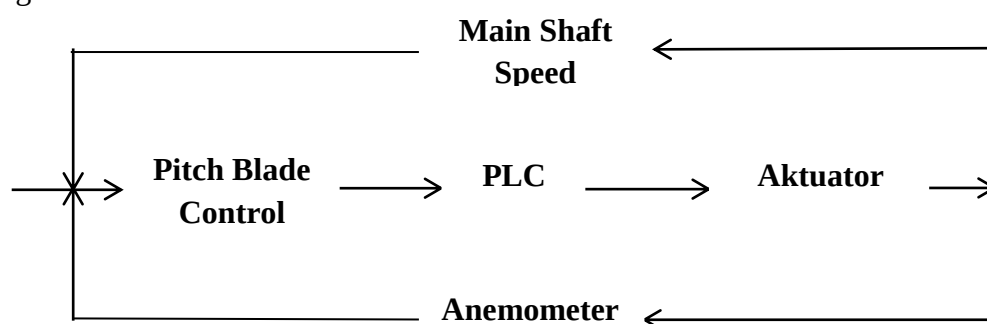
df = (N-2)	Tingkat signifikansi untuk uji satu arah				
	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Tingkat signifikansi untuk uji dua arah				
	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.9877	0.9969	0.9995	0.9999	1.0000
2	0.9000	0.9500	0.9800	0.9900	0.9990
3	0.8054	0.8783	0.9343	0.9587	0.9911
4	0.7293	0.8114	0.8822	0.9172	0.9741
5	0.6694	0.7545	0.8329	0.8745	0.9509
6	0.6215	0.7067	0.7887	0.8343	0.9249
7	0.5822	0.6664	0.7498	0.7977	0.8983
8	0.5494	0.6319	0.7155	0.7646	0.8721
9	0.5214	0.6021	0.6851	0.7348	0.8470
10	0.4973	0.5760	0.6581	0.7079	0.8233
11	0.4762	0.5529	0.6339	0.6835	0.8010
12	0.4575	0.5324	0.6120	0.6614	0.7800
13	0.4409	0.5140	0.5923	0.6411	0.7604
14	0.4259	0.4973	0.5742	0.6226	0.7419
15	0.4124	0.4821	0.5577	0.6055	0.7247

Tabel 3.1 Tabel kolera (Tabel r)

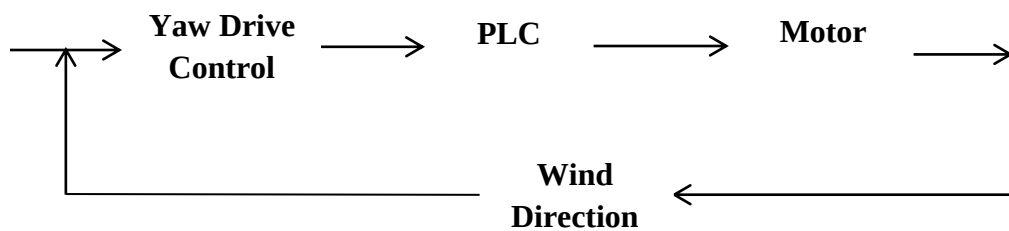
<http://www.ishaqmadeamin.com/2013/06/reliabilitas-tes-objektif-dengan-fungsi.html>

3.6 Rancangan Pengujian Kontrol

Pengujian sistem *control* pada penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai berikut:

Gambar 3.18. Diagram alir *pitch blade control*

Sistem *control* diawali pada saat kecepatan angin mulai berubah, anemometer yang berfungsi sebagai sensor akan memberi sinyal kepada plant yang akan diteruskan oleh *control*. *Control* akan memerintah actuator berupa motor untuk mengubah sudut dari *blade* dengan *set point* yang telah ditentukan.



Gambar 3.19. Diagram alir *yaw drive*

Sistem *control* diawali pada saat posisi arah angin mulai berubah, encoder yang berfungsi sebagai sensor akan memberi sinyal kepada sistem turbin angin yang akan diteruskan oleh *control*. *Control* akan memerintah actuator berupa motor untuk mengubah sudut atau arah poros sesuai arah angin.

Komponen yang terdapat pada sistem *control* sebagai berikut:

a. *Electrical Actuator*

Electrical Actuator adalah Aktuator yang menggunakan listrik sebagai tenaga penggerakannya. Dalam beberapa hal, Aktuator elektrik memiliki beberapa keunggulan diantaranya harga yang lebih terjangkau dan implementasi serta konstruksinya yang tidak rumit. Namun tenaga yang dihasilkannya hanya untuk tenaga bawah hingga menengah.

Beberapa Keunggulan Aktuator Elektrik:

1. Mudah dalam pengontrolan

2. Mulai dari mW sampai MW.
3. Berkecepatan tinggi, 1000 – 10.000 rpm.
4. Banyak macamnya.
5. Akurasi tinggi
6. Torsi ideal untuk pergerakan.
7. Efisiensi tinggi⁵

b. Anemometer

Anemometer merupakan jenis alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang digunakan dalam bidang meteorologi dan geofisika seperti BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Secara etimologi, alat ini berasal dari bahasa Yunani, yaitu ‘*anemos*’ yang berarti angin. Perancang pertama alat ini adalah Leon Batista Alberti pada tahun 1450.

Secara umum alat ini terdiri dari jenis anemometer, yaitu *velocity anemometer* dan *anemometer tekanan*. Jika *velocity anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan angin, maka termometer tekanan berfungsi untuk mengukur tekanan angin.

Pada saat tertiup angin, maka baling-baling atau mangkuk yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai dengan arah mata angin. Semakin besar kecepatan angin meniup, maka semakin cepat pula perputaran dari baling-baling tersebut. Berdasarkan jumlah perputaran per detik, maka akan diketahui jumlah dari kecepatan anginnya. Pada anemometer terdapat bagian alat pencacah yang berfungsi menghitung jumlah kecepatan angin. Hasilnya akan dicatat, kemudian akan disesuaikan dengan Skala Beaufort c.

⁵ <https://id.m.wikipedia.org/wiki/aktuator>

Anemometer terdiri atas beberapa jenis antara lain, anemometer dengan tiga atau empat mangkuk dan anemometer termal. Pada anemometer dengan jumlah tiga atau empat mangkuk memiliki sensor yang dipasang pada posisi jari-jari yang berpusat pada sebuah sumbu vertikal atau pun pada semua mangkuk yang ada dan terpasang pada poros vertikal. Sedangkan pada anemometer termal, sensor digunakan untuk mengukur jumlah kecepatan dari fluida (angin) sesaat. Cara kerja sensor tersebut adalah dengan cara konvektif dari sensor ke arah lingkungan sekeliling sensor.

Anemometer juga tetap memerlukan proses kalibrasi yang dilakukan secara periodik untuk menjaga nilai akurasi atau ketepatan nilai pada proses pengukuran. Anemometer merupakan jenis alat yang yang digunakan karena pembacaannya atau hasilnya hanya dibutuhkan pada saat-saat tertentu untuk mengetahui kondisi dan perubahan cuaca.

c. Aktuator

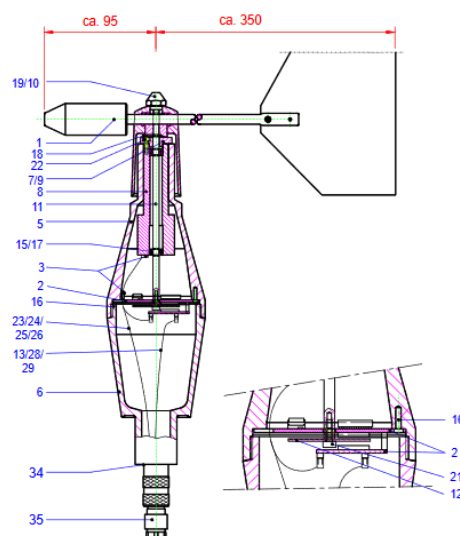
Aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme. Aktuator diaktifkan dengan menggunakan lengan mekanis yang biasanya digerakkan oleh motor listrik, yang dikendalikan oleh media pengontrol otomatis diantaranya *microcontroller*. Aktuator adalah elemen yang mengonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran.

d. Wind Direction

Sensor ini dirancang untuk akuisisi dan pemilihan transmisi tronic data arah angin. Itu disesuaikan mampu untuk aplikasi di bidang meteorologi dan pemantauan lingkungan, serta untuk stasiun cuaca otomatis di bandara, di kapal

penelitian, disitus industry dan untuk sistem pengukuran seluler dll. Berkat berbagai *output* yang dapat digunakan secara bersamaan ada berbagai tugas pengukuran.

Sensor terdiri dari sistem baling-baling angin yang terus menerus sejajar dengan arah angin lokal melalui tekanan angin yang terjadi. Posisi baling-baling ditransmisi oleh poros ke unit *encoder angular*. Desain mekanis tercatat pada gambar berikut:



Gambar 3.20. *Wind direction*

(Sumber: https://fischer-barometer.de/katalog/dokumente/meteo/E451211_12.pdf)

Sirip (1) terbuat dari lembaran aluminium anodized logam. Lengan pendukung terbuat dari baja tahan karat dan *counter balance* terbuat dari krom berlapis kuningan. Kepala putar, terbuat dari polikarbonat, adalah diikat ke poros vertikal (11) dengan mur segi enam (10). Untuk mempertahankan posisi yang benar setelah penggantian ada pin (18) di poros, menarik alur saat menurunkan kepala putar. Poros adalah terbuat dari *stainless steel* dan dipandu oleh dua bantalan bola sion (15). Fiksasi aksial diperoleh oleh cincin Seeger. Roda kode diikat ke ujung bawah poros dan ditempatkan di antara keduanya *printboards* (2),

membawa penghalang cahaya 8-line. Dengan mengganggu penghalang cahaya ini, posisi sudut dideteksi dengan menggunakan 8 bit *Gray Code*. Perumahan polikarbonat terdiri dari bagian atas (5) dan bagian bawah (6)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Analisis Kualitatif

Perhitungan analisis kualitatif lebih menekankan pada aspek pemahaman secara mendetail, perhitungan ini bertujuan untuk lebih mengetahui kualitas suatu alat. Perhitungan analisis kualitatif pada mekanisme *pitch blade control* dan *yaw drive control* lebih menekankan pada perhitungan kekuatan tuas, perhitungan kekuatan roda gigi, dan perhitungan kekuatan baut *flens*.

4.1.1 Perhitungan Kekuatan Tuas

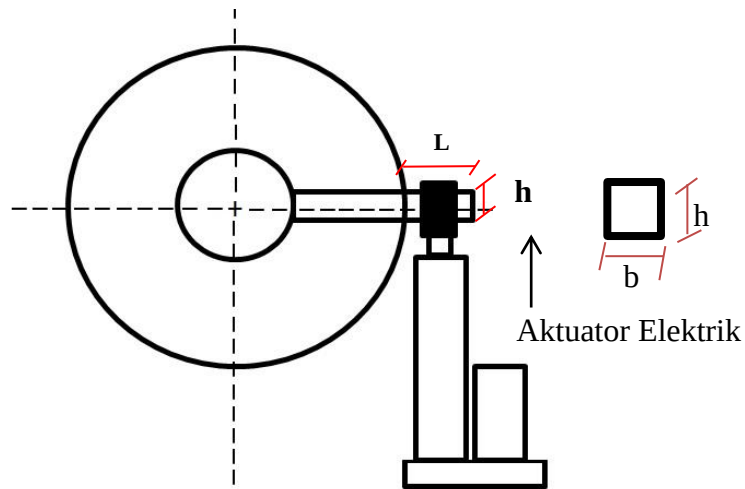
Tuas yang digunakan untuk menggerakkan roda gigi pada mekanisme *pitch blade control* menggunakan tuas berbahan besi ST-40 yang digerakkan oleh elektrik aktuator (Gambar 4.1) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.1 Spesifikasi elektrik aktuator

Nama Merk	Bahung
Type	Motor Gir
Nomor Model	LA-03-100
Efisiensi	IE 3
Konstruksi	Magnet Permanen
Fitur Proteksi	Anti Air
Arus	2.3 A
Daya Keluaran	18 Watt
Torsi	Maks 1000 N
Stroke	100 mm

Adapun untuk mengetahui suatu kekuatan tuas tersebut dilakukanlah beberapa analisis salah satunya yaitu perhitungan tegangan bengkok (σ_b). Perhitungan ini bertujuan untuk membandingkan hasil dari perhitungan tegangan

bengkok tuas dengan tegangan bengkok yang diijinkan agar tidak terjadi patah pada tuas tersebut ketika beroperasi.



Gambar 4.1. Penampang tuas

Untuk mencari kekuatan tuas ditinjau dari tegangan bengkok (σ_b) dengan rumus umum sebagai berikut :

$$\tau_b = \frac{Mb}{Wb} \longrightarrow \tau_b : \text{Tegangan Bengkok (kg/mm}^2\text{)}$$

Mb : Momen Bengkok (kg.mm)

Wb : Wearstan Bengkok (mm³)

Sebelum mendapatkan nilai tegangan bengkok maka terlebih dahulu mencari nilai werstan bengkok (Wb) dan momen bengkok (Mb) dengan uraian sebagai berikut :

$$Wb = \frac{I}{1/2 h} = \frac{\frac{1}{12} b h^3}{1/2 h} = \frac{1}{6} b \cdot h^2 \longrightarrow Wb : \text{Werstan Bengkok (mm}^2\text{)}$$

$$Wb = \frac{1}{6} 10 \cdot (15)^2 \qquad b : \text{panjang Tuas (mm)}$$

$$Wb = 375 \text{ mm}^3 \qquad h : \text{tinggi Tuas (mm)}$$

Sebelum menentukan nilai dari Mb , dilakukan pengujian beban pada tuas sebanyak 16 kali dalam 2 waktu.

Table 4.2 Pengujian Beban

Sudu ke	beban pergeseran tuas (kg)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	14,2	14,4	14,2	14,4	14	14,6	14,4	14,2	14,2	14,2	14,4	14,2	14	14	14	14,2
2	14,4	14,2	14,4	14,2	14,4	14	14,2	14	14	14,2	14,6	14,4	14,2	14,6	14	14,4
3	14,2	14,4	14,2	14,4	14,2	14	14,2	14,4	14,2	14	14,6	14,2	14	14,4	14,2	14,6

Mencari torsi pada tuas:

$$T = F \cdot r = 14,2 \cdot 15$$

$$= 213 \text{ kg.mm}$$

Kemudian mencari nilai Mb didapat dari pengujian torsi (τ) sebanyak 8 kali pengambilan data (Tabel 4.3)

Table 4.3 Pengujian torsi (τ)

Uji ke	Sudu 1	Sudu 2	Sudu 3
1	213	216	213
2	216	213	216
3	213	216	213
4	216	213	216
5	210	216	213
6	219	210	210
7	216	213	213
8	216	210	216
Rata - rata	215,25	213,37	213,75

Sehingga didapatkan nilai torsi (τ) rata-rata setiap sudu dibagi jumlah percobaan :

- Sudu 1 : 215,25 kg.mm
- Sudu 2 : 213,37 kg.mm
- Sudu 3 : 213,75 kg.mm

Karena nilai Wb dan Mb masing-masing sudu sudah diketahui, maka tegangan bengkok tuas 1,2, dan 3 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\tau_{b1} = \frac{Mb}{Wb} = \frac{215,25}{375} = 0,574 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_{b2} = \frac{Mb}{Wb} = \frac{213,37}{375} = 0,568 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_{b3} = \frac{Mb}{Wb} = \frac{213,75}{375} = 0,57 \text{ kg/mm}^2$$

Hasil dari tegangan bengkok pada tiap-tiap sudu dibandingkan dengan tegangan bengkok yang diijinkan yaitu :

Tegangan bengkok yang diijinkan ST 40 dengan angka keamanan 2.

ST 40 $\longrightarrow$ AISI 1020 dengan kekuatan Tarik 394,7 Mpa sama dengan 40,28 kg/mm²

$$\sigma = \frac{40}{2} = 20 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_b = 0,6 \times \sigma = 0,6 \times 20 = 12 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan bengkok tuas aman digunakan karena tegangan bengkok tuas tidak melebihi tegangan bengkok yang di ijinan.

Alasan memakai tegangan tarik dikarenakan pada standart pengujian, uji Tarik menghasilkan nilai kekuatan yang maksimal pada suatu bahan baku .

Tegangan Geser Tuas

Nama Merk	Barang
Type	Motor Gir
Nomor Model	LA-03-100
Efisiensi	IE 3
Konstruksi	Magnet Permanen
Fitur Proteksi	Anti Air
Arus	2.3 A
Daya Keluaran	18 Watt
Torsi	Maks 1000 N
Stroke	100 mm

F : Torsi Tuas (1000 N= 102 kg)

P : Panjang Tuas (30 mm)

L : Lebar Tuas (15 mm)

$$\tau_s = \frac{F}{A}$$

$$\tau_s = \frac{102}{p.l}$$

$$\tau_s = \frac{102}{30.15}$$

$$= 0,22 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan bengkok yang diijinkan ST 40 dengan angka keamanan 2.

ST 40 $\longrightarrow$ AISI 1020 dengan kekuatan Tarik 394,7 Mpa sama dengan 40,28 kg/mm²

$$\sigma = \frac{40}{2} = 20 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_b = 0,6 \times \sigma = 0,6 \times 20 = 12 \text{ kg/mm}^2$$

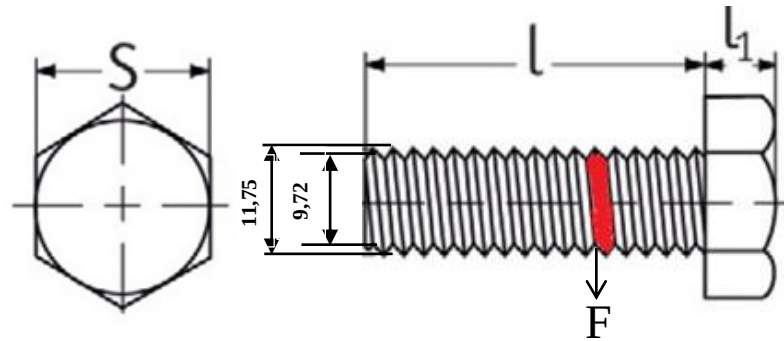
Tegangan bengkok tuas aman digunakan karena tegangan bengkok tuas tidak melebihi tegangan bengkok yang di iijinkan.

Alasan memakai tegangan tarik dikarenakan pada standart pengujian, uji Tarik menghasilkan nilai kekuatan yang maksimal pada suatu bahan baku .

4.1.2 Perhitungan Kekuatan Baut Flens

Baut ini digunakan untuk proses penyambungan antara flens bushing dan flens sudu, sambungan baut ini merupakan sambungan tidak tetap artinya sewaktu-waktu sambungan ini dapat dibuka apabila nantinya terdapat perbaikan

atau kerusakan pada baut flens. Baut-baut ini menahan beban 3 sudu, hub, main shaft yang berat sebesar 300 kg. Karena hal tersebut maka untuk memastikan kekuatan pada baut-baut tersebut dilakukan perhitungan tegangan geser yang sangat mungkin terjadi pada penampang kritis suatu baut (Gambar 4.2).



Gambar 4.2. Penampang baut

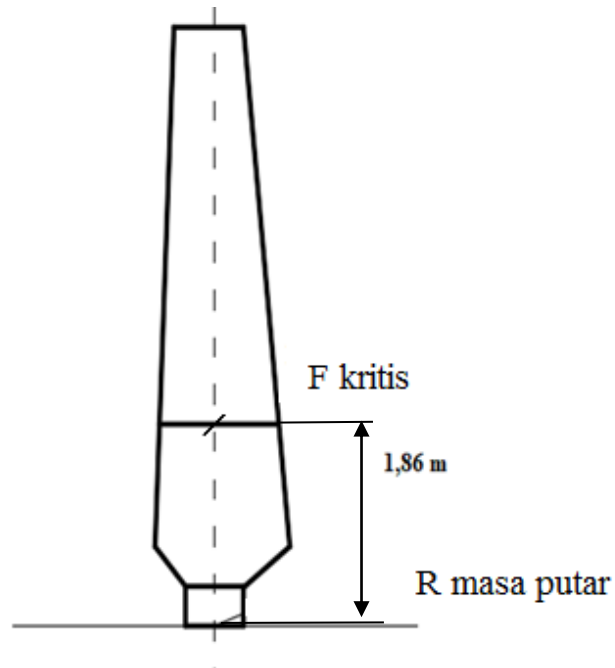
(Sumber : <https://datadesain.wordpress.com/sambungan-ulir/baut-kepala-inbus/>)

Keterangan → S : Diameter Kepala Baut (mm)

F : Gaya Kritis Baut (Kg)

L1 : Tebal Kepala Baut (mm)

Sebelum mencari kekuatan tegangan geser baut pada penampang kritis, maka dilakukan asumsi perhitungan percepatan tangensial terlebih dahulu untuk menjamin baut tetap kuat pada saat terjadi beban maksimal. Harga nilai percepatan tangensial (a) dari 100 rpm berubah menjadi 0 rpm dalam waktu 0,5 detik, nilai ini ditentukan dengan asumsi sudu mengalami *stop working* atau *trip*.



Gambar 4.3. Penampang sudu

Setelah menentukan putaran harga percepatan tangensial, maka menghitung kecepatan tangensial sudu pada jari-jari masa putar dengan asumsi putaran sudu maksimal yaitu 100 rpm rpm menjadi 0 rpm dalam waktu 0,5 detik. Kecepatan tangensial sudu (v) adalah :

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{2\pi r \cdot n}{60} \\
 &= \frac{2.3,14.2,23.100}{60} \\
 &= 23,35 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung kecepatan tangensial maka menghitung percepatan tangensial untuk mencari nilai gaya (F).

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{v_1 - v_2}{\Delta t} \\
 a &= \frac{23,35 - 0}{0,5} \\
 &= 46,7 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan hasil dari nilai percepatan tangensial maka mencari nilai gaya ekstrim dengan rumus hukum newton 2, yaitu :

$$\begin{aligned}
 F &= m \cdot a \longrightarrow m = \text{massa hub} = 121 \text{ kg} \\
 &= 250 \cdot 46,7 &= \text{massa 3 buah sudu} = 129 \text{ kg} \\
 &= 11.675 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai gaya ekstrim (F kritis) yang telah ditentukan digunakan untuk setiap baut dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{baut}} &= \frac{11.675}{54} \\
 &= 216,2 \text{ N} = 22,04 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Hasil dari F kritis baut dengan diameter baut flens M12 dapat digunakan untuk mencari tegangan geser baut (τ_s) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \tau_s &= \frac{F}{A} \\
 &= \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \\
 &= \frac{22,04}{0,785 \cdot 9,72^2} \\
 &= 0,297 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Mencari tegangan geser yang diijinkan ST-40 dengan indeks angka faktor keamanan 2 sampai 3.⁶

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{40}{2} = 20 \text{ kg/mm}^2 \\
 \sigma &= 0,6 \times \sigma = 0,6 \times 20 = 12 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

⁶ <http://www.elemenmesinbyatikawahyuningsih.com/2012/02/tegangan-ijin.html>

Sehingga tegangan geser baut aman digunakan karena tegangan geser baut tidak melebihi tegangan geser yang di iijinkan yaitu sebesar 12 kg/mm^2 .

4.1.3 Perhitungan Kekuatan Roda Gigi *Yaw drive*

Roda gigi pada mekanisme *yaw drive* berbahan dasar ST-37 memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Modul (M) : 2

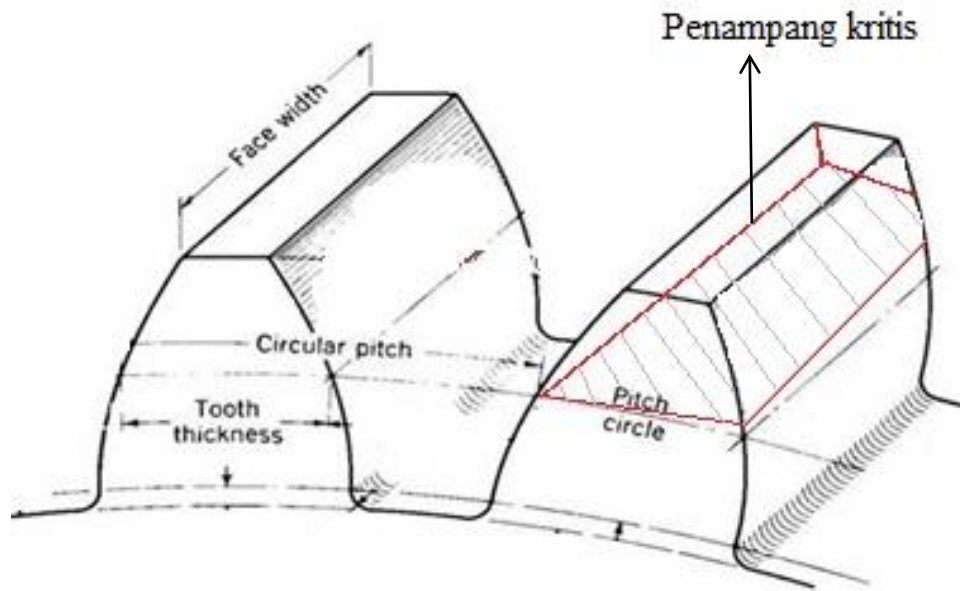
Jumlah Gigi (T) : 188

Roda gigi didalam mekanisme *yaw drive* memiliki beban yang sangat tinggi karena menompang komponen-komponen pada *mainshaft* dan mekanisme pitch blade control yaitu memiliki beban sekitar 300 kg. Beban yang tinggi akan mempengaruhi pada kekuatan roda gigi itu sendiri karena dapat menyebabkan patahan pada penampang kritis roda gigi (Gambar 4.4). Pentingnya mengetahui nilai tegangan geser roda gigi sebelum digunakan untuk memastikan bahwa tegangan geser roda gigi pada mekanisme *yaw drive* sesuai dengan tegangan geser yang diijinkan supaya dapat meminimalisir terjadinya patahan di penampang kritis roda gigi tersebut.

Tabel 4.3 Standart proporsi sistem roda gigi

S. No.	Particulars	$14^{1/2^\circ}$ composite or full depth involute system	20° full depth involute system	20° stub involute system
1.	Addendum	1 m	1 m	0,8 m
2.	Dedendum	1,25 m	1,25 m	1 m
3.	Working depth	2 m	2 m	1,60 m
4.	Minimum total depth	2,25 m	2,25 m	1,80 m
5.	Tooth thickness	1,5708 m	1,5708 m	1,5708 m
6.	Minimum clearance	0,25 m	0,25 m	0,2 m
7.	Fillet radius at root	0,4 m	0,4 m	0,4 m

(Sumber : e-book spur gears)



Gambar 4.4. Dimensi roda gigi

Ket : τ_D = Tegangan Geser (kg/mm^2)

F = Beban (kg)

A = Luasan (mm^2)

b = Tebal gigi / face width (mm)

h = Lebar gigi / tooth thickness (mm)

Adapun untuk menghitung nilai tegangan geser roda gigi didalam mekanisme yaw drive yaitu dengan cara sebagai berikut :

$$\tau_s = \frac{F}{A} \longrightarrow A = b \cdot h$$

$$A = 12 \cdot 3,14$$

$$A = 37,68 \text{ mm}^2$$

Sebelum mencari tegangan geser maka menghitung beban rata-rata pada pengujian gaya yang telah dilakukan terdapat pada (table 4.4)

Tabel 4.4 Pengujian gaya yaw drive

Pengujian gaya Ke-	Yaw drive
1	12,6
2	12,8
3	12,6
4	12,6
5	12,8
6	12,6
7	12,8
8	12,8
9	12,6
10	12,8
11	12,8
12	12,8
13	12,8
14	13
15	12,8
16	12,6
Rata-rata	12,74

Setelah mendapat beban rata-rata selanjutnya kita menghitung tegangan geser

(τ_s) dengan rumus sebagai berikut :

$$\tau_s = \frac{F}{A}$$

$$\tau_s = \frac{12,74}{37,68}$$

$$\tau_s = 0,338 \text{ kg/mm}^2$$

Hasil dari tegangan geser pada roda gigi dibandingkan dengan tegangan geser yang diijinkan yaitu :

Tegangan bengkok yang diijinkan ST-37 dengan angka keamanan 2.

$$\sigma = \frac{37}{2} = 18,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_s = 0,6 \times \sigma = 0,6 \times 18,5 = 11,1 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan geser roda gigi aman digunakan karena tegangan geser roda gigi tidak melebihi tegangan geser yang di ijin.

4.1.4 Perhitungan Tegangan Puntir pada Mainshaft

Perhitungan pipa sch-60 dilakukan untuk mencari perencanaan kekuatan puntir pada diameter pipa horizontal.

Mencari tegangan ijin puntir bahan dengan angka keamanan 3,

$$\sigma_p = \frac{\sigma \times 0,6}{3} \longrightarrow \text{Tegangan geser sch 60} = 45 \text{ ksi}$$

$$= 31,65 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_p = \frac{31,65 \times 0,6}{3} = 6,33 \text{ kg/mm}^2$$

Lalu mencari tegangan puntir poros horisontal

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau_p}{r} \longrightarrow T = F \cdot r = 1190 (1860+120+250)$$

$$= 276080 \text{ kg.mm}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)$$

$$r = \frac{1}{2} d_o$$

$$\tau_p = \frac{T \cdot \frac{1}{2} d_o}{J}$$

$$\tau_p = \frac{T \cdot \frac{1}{2} d_o}{\frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)}$$

$$\tau_p = \frac{T \cdot d_o}{\frac{\pi}{16} (d_o^4 - d_i^4)}$$

$$\tau_p = \frac{276080 \cdot 87}{\frac{\pi}{16} (87^4 - 67^4)}$$

$$\tau_p = 3,28 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan puntir dinyatakan aman karena tidak melebihi nilai tegangan yang diijinkan.

4.2. Hasil Perhitungan Analisis Kuantitatif

Perhitungan analisis kuantitatif yang dilakukan adalah uji reliabilitas torsi sudu. Perhitungan perlu dilakukan dengan tujuan untuk menjamin bahwa sistem kontrol pengaturan sudut sudu menghasilkan reliabilitas yang baik. Uji reliabilitas dilakukan menggunakan rumus korelasi *Product Momen* dengan analisis lanjut rumus *Spearman Brown*. Langkah pengujian dilakukan dengan diawali langkah pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan cara dua tahap yaitu Tahap I dan Tahap II. Setiap tahap dilakukan pengukuran sebanyak 8 kali, selanjutnya ditetapkan bahwa nilai $n = 8$. Pengujian antara Tahap I dan Tahap II diberi jeda waktu yaitu dua minggu. Pengukuran torsi dilakukan menggunakan alat yaitu dinamometer. Data yang didapat dicantumkan dalam Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil pengukuran torsi sudu tahap I dan tahap II

Uji Ke	Torsi Tahap I (kg)			Torsi Tahap II (kg)		
	Sudu I	Sudu II	Sudu III	Sudu I	Sudu II	Sudu III
1	14,2	14,4	14,2	14,4	14,2	14,4
2	14,2	14,4	14,2	14,4	14,2	14,4
3	14	14,4	14,2	14,6	14	14
4	14,4	14,2	14,2	14,2	14	14,4
5	14,2	14	14,2	14,2	14,2	14
6	14,4	14,6	14,6	14,2	14,4	14,2
7	14	14,2	14	14	14,6	14,4
8	14	14,0	14,2	14,2	14,4	14,6

Hasil pengukuran Tahap I diberi nama (i) dan hasil pengukuran Tahap II diberi nama (j). Data pada setiap tahapan dipisahkan dan dihitung jumlah skor dan diberi nama Total Skor. Kedua data masing masing dicantumkan dalam Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan total skor data torsi tahap I

Uji Ke	Tahap I (i)			Total Skor (i)
	Sudu I	Sudu II	Sudu III	
1	14,2	14,4	14,2	42,8
2	14,2	14,4	14,2	42,8
3	14	14,4	14,2	42,6
4	14,4	14,2	14,2	42,8
5	14,2	14	14,2	42,4
6	14,4	14,6	14	43
7	14	14,2	14	42,2
8	14	14,0	14,2	42,2

Tabel 4.7 Perhitungan total skor data torsi tahap II

Uji Ke	Tahap II (j)			Total Skor (j)
	Sudu I	Sudu II	Sudu III	
1	14,2	14,2	14,2	42,6
2	14,4	14,2	14,4	43
3	14,6	14,2	14	42,8
4	14,2	14	14,4	42,6
5	14,2	14,2	14,2	42,6
6	14,2	14,4	14,2	42,8
7	14	14,4	14,2	42,6
8	14,2	14,4	14	42,6

Kedua nilai Total Skor Tahap I dan Tahap II selanjutnya menjadi input pada tabel kerja pengolahan data analisis reliabilitas. Untuk total skor data Tahap I diberi nama (i) sedangkan total skor data Tahap II diberi nama (j).

Tabel 4.8 Tabel kerja korelasi produk momen
Data yang didapat dari tabel kerja selanjutnya menjadi input pada rumus korelasi

Uji Kecepatan	Total Skor (i)	Total Skor (j)	i x j	i^2	j^2
1	42,8	42,6	1823,28	1831,84	1814,76
2	42,8	43	1840,4	1831,84	1849
3	42,6	42,8	1823,28	1814,76	1831,84
4	42,8	42,6	1823,28	1831,84	1814,76
5	42,4	42,6	1806,24	1797,76	1814,76
6	43	42,8	1840,4	1849	1831,84
7	42,2	42,6	1797,72	1780,84	1814,76
8	42,2	42,6	1797,72	1780,84	1814,76
Total (Σ)	340,8	341,6	14552,32	14518,72	14586,48

Produk Momen pada persamaan berikut ini :

$$r = \frac{n\sum i.j - (\sum i)(\sum j)}{\sqrt{(n\sum i^2 - (\sum i)^2)(n\sum j^2 - (\sum j)^2)}}$$

$$r = \frac{8 \times 14552,32 - (340,8)(341,6)}{\sqrt{(8 \times 14518,72 - (340,8)^2)(8 \times 14586,48 - (341,6)^2)}}$$

$$r = 0,6531$$

Angka hitung korelasi sebesar 0,6531 selanjutnya diolah dalam rumus *Spearman Brown* untuk menghitung nilai r dari reliabilitas sampel. Seperti ditunjukkan dalam perhitungan berikut ini :

$$r_i = \frac{2r}{1+r}$$

$$r_i = \frac{2 \times 0,6531}{1 + 0,6531}$$

$$r_i = 0,7902$$

Nilai r_i hasil perhitungan di atas selanjutnya dikonsultasikan terhadap nilai r pada tabel korelasi (table 3.1) untuk $n = 8$ yaitu sebesar 0,7887 untuk tingkat signifikansi 2 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa :

$$r_i = 0,7902 \geq 0,7887.$$

Oleh karena itu torsi gaya pada sudu turbin reliabel dengan tingkat signifikansi 2%.

BAB V

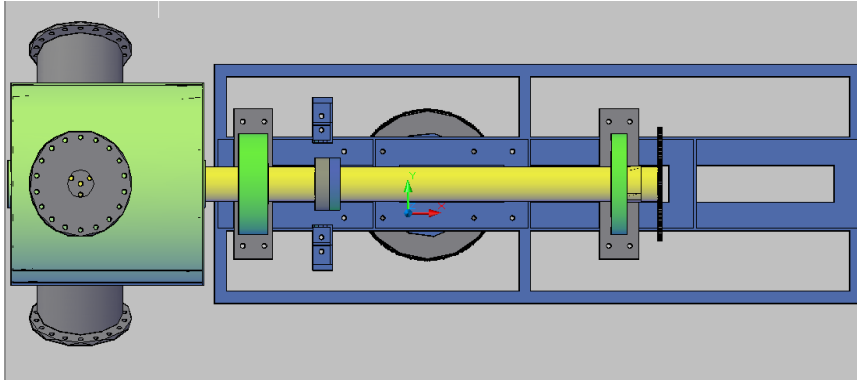
KESIMPULAN

1. *Pitch blade control* bekerja dengan sensor *anemometer* yang memberikan sinyal ke sistem turbin angin yang akan diteruskan oleh kontrol untuk memerintah aktuator agar merubah sudut *blade* sehingga kecepatan putar *blade* konstan. Untuk *yaw drive control* memiliki cara kerja yang sama dengan menggunakan sensor *wind direction* agar sudut atau arah poros sesuai arah angin.
2. Pembuatan *pitch blade control* dan *yaw drive control*, meliputi proses pemotongan, pengeboran, pembubutan, pengelasan, dan pengecatan. Pembuatan alat utama yaitu *main shaft* vertikal,udukan horisontal, *main shaft* horisontal, rumah *tapper and ball bearing*, *hub*, *bushing*, dan roda gigi.
3. Uji kekuatan tuas dihasilkan ialah telah memenuhi syarat karena tidak melebihi tegangan bengkok izin bahan.
4. Uji kekuatan baut flens dihasilkan harga $0,195 \text{ kg/mm}^2$ ialah memenuhi syarat karena tidak melebihi tegangan geser izin bahan.
5. Uji kekuatan roda gigi *yaw drive* dihasilkan harga $0,338 \text{ kg/mm}^2$ ialah memenuhi syarat karena tidak melebihi tegangan geser izin bahan.
6. Berdasarkan uji coba dan perhitungan, maka didapat hasil yang memenuhi analisa kuantitatif uji reliabilitas. Nilai hasil uji reliabilitas adalah 0.7902, harga ini lebih besar dari harga pada Tabel 3.1 Tabel Kolerasi nilai reliabilitas r dengan tingkat signifikansi 2% dengan $df = 6$ sebesar 0.7887.

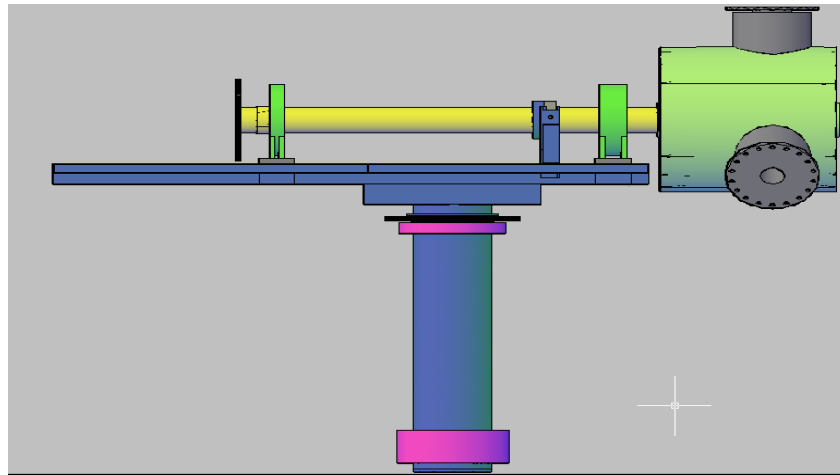
DAFTAR PUSTAKA

1. Pratama, Denny Putra, 2011, Rancang Bangun Sistem Pengendali Blade Pitch Angle Pada Prototipe Turbin Angin Berbasis Neuro-Fuzzy, FTI ITS Surabaya.
2. Ramadhan Arie, 2017, Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Poros Horizontal Sebagai Penggerak Generator, Bandung, Politeknik Negeri Bandung.
3. Yapie, Ali Muhammad, 2018, Rancang Bangun Rotor Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan *Airfol* NACA 4415 dengan Bahan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP), Semarang, Universitas Diponegoro, 2018
4. https://id.wikipedia.org/wiki/Skala_Beaufort diunduh tanggal 22 Agustus 2018
5. <http://www.getsttpln.com/2014/03/komponen-pltb.html> diunduh pada tanggal 22 Agustus 2018
6. <http://www.ishaqmadeamin.com/2013/06/reliabilitas-tes-objektif-dengan-fungsi.html> diunduh pada tanggal 6 Agustus 2018
7. https://fischer-barometer.de/katalog/dokumente/meteo/E451211_12.pdf diunduh tanggal 6 Agustus 2018
8. <http://www.elemenmesinbyatikawahyuningsih.com/2012/02/tegangan-ijin.html> diunduh tanggal 6 Agustus 2018

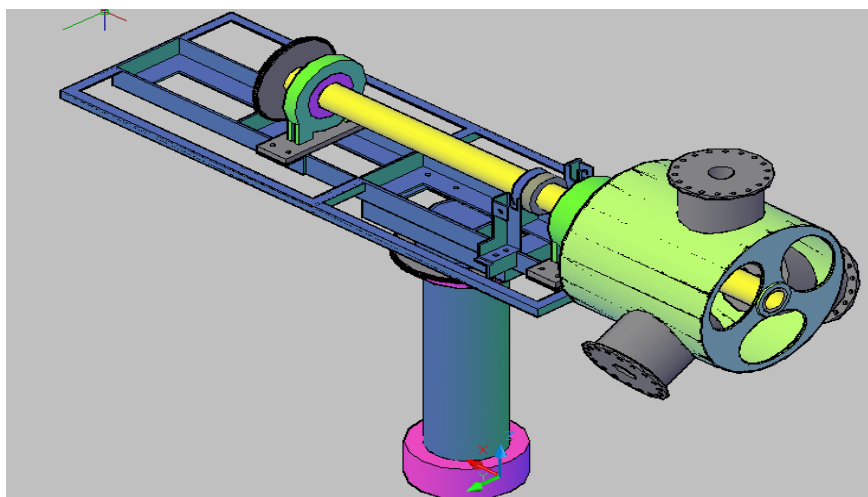
LAMPIRAN-LAMPIRAN



Gambar 1. *Assembly tampak atas*



Gambar 2. *Assembly tampak samping*



Gambar 3. *Assembly*