



**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
MENGUNAKAN *HORIZONTAL AXIS WIND TURBIN* UNTUK  
WILAYAH PANTAI SELATAN PUGER (BAGIAN SISTEM *TAIL*)**

**PROYEK AKHIR**

Oleh:

**LAMBANG WISNU AJI  
161903101014**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
MENGUNAKAN *HORIZONTAL AXIS WIND TURBIN*  
UNTUK WILAYAH PANTAI SELATAN PUGER (BAGIAN  
SISTEM *TAIL*)**

**PROYEK AKHIR**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (DIII) dan mencapai gelar akhir Ahli Madya.

Oleh:

**Lambang Wisnu Aji**

**161903101014**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya Bapak Poniman dan Ibu Siti Muani, terimakasih atas pengorbanan, doa, dukungan, kasih sayang, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
2. Saudara dan kerabat dekat, terimakasih atas bantuan, motivasi, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis;
3. Guru yang telah mangajarkan saya di SDN Mayangan 02, SMPN 1 Gumukmas, SMK Pgri 05 kencong, serta Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Terimakasih atas ilmu dan didikan yang telah diberikan kepada penulis;
4. Teman dan sahabat dari masa sekolah saya yang telah memberikan bantuan, dukungan dan motivasi kepada penulis;
5. Teman-teman saya di Fakultas Teknik Universitas Jember, khususnya DIII Teknik Mesin angkatan 2016, yang memberikan pengalaman hidup yang sangat berharga bagi penulis selama masa perkuliahan;
6. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

**HALAMAN MOTTO**

“Jangan pernah menunggu waktunya tidak akan pernah tepat.”

(Napoleon Hill)

“Mulailah dari manapun anda berada.

Gunakan apa yang anda miliki lakukan apa yang anda bias”



**HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lambang Wisnu Aji

NIM : 161903101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbin* Untuk Wilayah Pantai Selatan Puger Bagian *Tail*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 30 Juli 2019

Yang menyatakan,

Lambang Wisnu Aji

161903101014

**PROYEK AKHIR**

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU  
MENGUNAKAN *HORIZONTAL AXIS WIND TURBIN*  
UNTUK WILAYAH PANTAI SELATAN PUGER (BAGIAN  
SISTEM *TAIL*)**

Oleh

Lambang Wisnu Aji

161903101014

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi s, M.Sc

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Agus Triono S.T M.T

**HALAMAN PENGESAHAN**

Proposal berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbin* Untuk Wilayah Pantai Selatan Puger (Bagian Sistem *Tail*)” telah disetujui pada :

Hari, tanggal : Selasa, 30 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Ir. Digo Listyadi s, M.Sc  
NIP. 196806171995011001

Dr. Agus Triono S.T., M.T  
NIP. 197008072002121001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T  
NIP. 19711114 199903 1 002

Hari Arbiantara B. S.T., M.T  
NIP. 196709241994121001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr.Ir.Entin Hidayah, M.U.M  
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

**Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbin* Untuk Wilayah Pantai Selatan Puger (Bagian Sistem *Tail*) :**

Lambang Wisnu aji. 161903101014 : Progam Studi Diploma 3 Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan unggulan untuk mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Kincir bayu merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi bayu. Kincir bayu berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Sebuah turbin bayu umumnya terdiri dari 5 komponen utama yaitu sudu, generator, ekor dan orientasi, menara, dan sistem pengisian. Komponen yang berfungsi sebagai pengendali turbin yaitu *tail/ekor* yang fungsinya mengarahkan muka turbin pada kecepatan angin normal.

Proyek akhir ini meliputi proses perancangan dan pengujian sistem *tail* Untuk proses perancangan terdapat beberapa tahap yaitu perancangan bentuk *vane*, lengan dan dudukan dari sistem *tail* kemudian dilakukan pembuatan setelah jadi sistem *tail* di rakit menjadi satu rangkaian.

Pengujian sitem *tail* dilakukakan di Pantai Pancer Puger, Kab jember. Proses pengujian ini berhasil di buktikan dari putaran kincir angin mampu berputar pada kecepatan angin rendah yaitu 2,2 m/s dan mampu menghindari kecepatan angin yang berlebih yaitu 6,8 m/s. Kemudian pembangkit listrik tenaga bayu ini dapat menghasilkan daya listrik sekitar 300 watt.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbin* Untuk Wilayah Pantai Selatan Puger (Bagian Sistem *Tail*)” Laporan proyek akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan diploma tiga (DIII) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan proyek akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara B. S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
3. Bapak Ir Digdo Listyadi s M,Sc selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan proyek akhir ini.
4. Bapak Agus Triono, S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan proyek akhir ini.
5. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik. S,T., M.T selaku dosen penguji I yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan proyek akhir ini.
6. Bapak Hari Arbiantara B, S.T., M.T selaku dosen penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan proyek akhir ini.
7. Bapak Boy Arief Fachri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, kritik dan saran kepada penulis.
9. Bapak Poniman dan Ibu Siti Muani yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam mendidik, memberi nasehat demi kehidupan penulis menjadi lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan serta doa yang selalu dihaturkan setiap saat untuk penulis .

10. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin 2016 terutama DIII Teknik Mesin angkatan 2016 yang telah memberikan pengalaman hidup, serta cerita semasa kuliah.
11. Semua pihak yang telah membantu,  
Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan proyek akhir ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 20 Juli 2019

Penulis



**DAFTAR ISI**

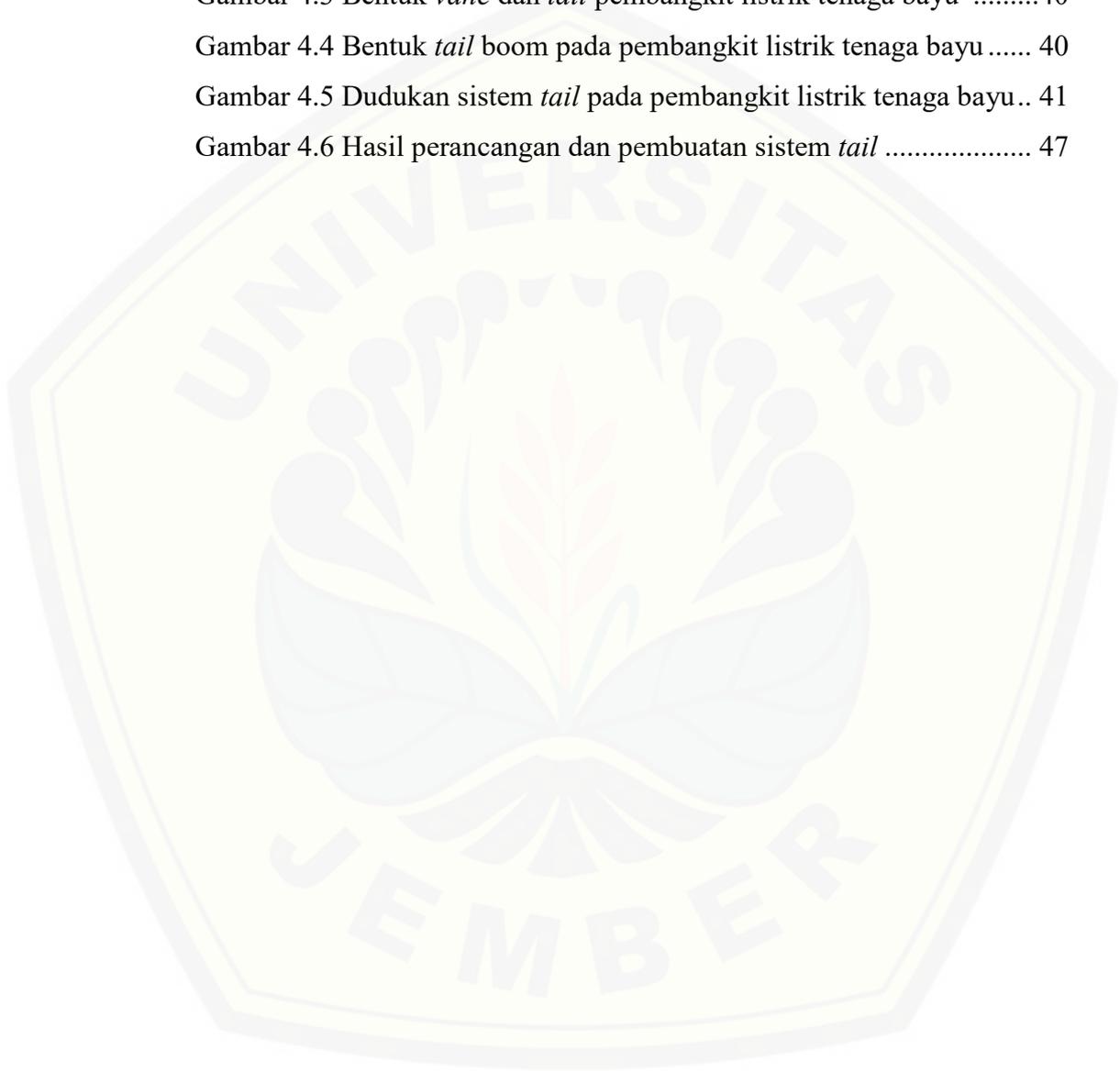
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Energi Angin .....	5
2.2 Kincir Angin .....	6
2.3 Klasifikasi Kincir Angin .....	7
2.3.1 Kincir Angin Poros Horizontal .....	8
2.3.2 Kekurangan Dan Kelebihan Kincir Angin Poros Horizontal.....	9
2.3.3 Kincir Angin Poros Vertikal .....	9
2.3.4 Kekurangan Dan Kelebihan Kincir Angin Poros Vertikal.....	10
2.4 Furling Sistem .....	11
2.4.1 Pengertian Umum Furling Sistem.....	11
2.4.2 Prinsip Kerja Furling.....	12
2.5 Pengelasan.....	21
2.5.1 Pengelasan SMAW ( <i>Shielded metal arc welding</i> ).....	22
2.5.2 Sambungan Las .....	24
2.5.3 Elektroda Terbungkus .....	25
2.6 Mesin Bor .....	27

2.6.1 Jenis – jenis Mesin Bor .....	27
<b>BAB 3. METODOLOGI PELAKSANAAN KEGIATAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	29
3.1.1 Alat .....	29
3.1.2 Bahan .....	29
3.2 Waktu dan Tempat .....	30
3.2.1 Waktu .....	30
3.2.2 Tempat .....	30
3.3 Perancangan dan Pembuatan .....	30
3.3.1 Proses Perancangan Sistem <i>Tail</i> .....	31
3.3.2 Proses Pembuatan Sistem <i>Tail</i> .....	32
3.3.3 Proses Pembuatan Dudukan Sistem <i>Tail</i> .....	33
3.3.4 Perakitan Sistem <i>Tail</i> .....	35
3.4 Pengujian Alat.....	37
3.5 Penyempurnaan Alat.....	37
3.6 Pembuatan Laporan .....	37
3.7 Diagram Alir .....	38
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil perancangan dan Pembuatan .....	39
4.2 Cara kerja pembangkit listrik tenaga bayu tipe horisontal.....	39
4.3 Hasil Perancangan.....	40
4.3.1 Analisis hasil perancangan dan perhitungan sistem <i>tail</i> .....	40
4.4 Perhitungan parameter perancangansistem <i>tail</i> .....	41
4.5 Data hasil pengujian.....	45
4.6 Pembahasan .....	46
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	48

**DAFTAR GAMBAR**

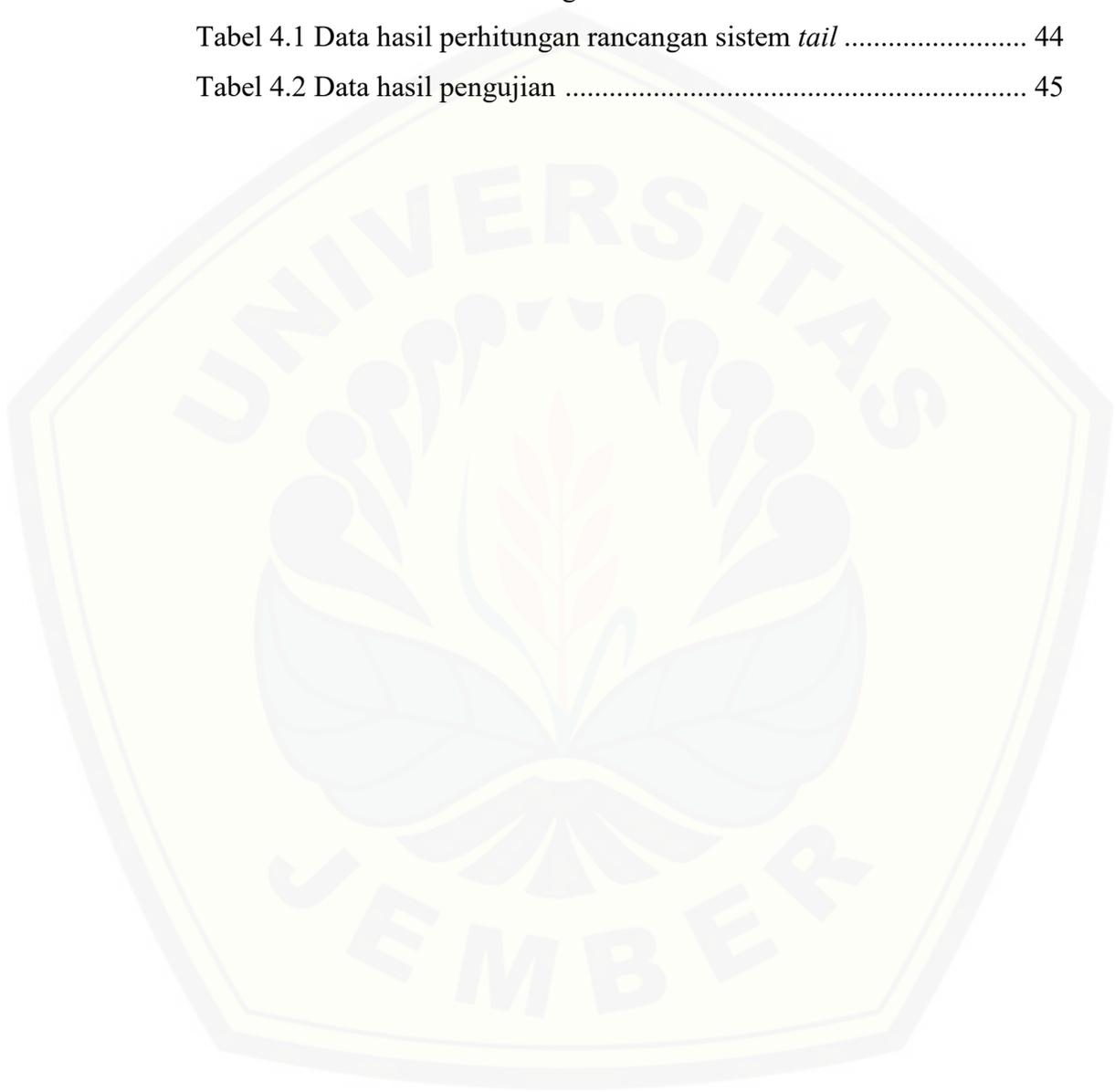
Gambar 2.1 Kincir Angin Horizontal.....	8
Gambar 2.2 Kincir Angin Vertikal.....	10
Gambar 2.3 Kontruksi Sistem <i>Tail</i> .....	12
Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Terbuka .....	13
Gambar 2.5 Sistem <i>Furling</i> Pada Keadaan Normal.....	14
Gambar 2.6 Sistem <i>Furling</i> Pada Keadaan <i>Medium Wind</i> .....	14
Gambar 2.7 Sistem <i>Furling</i> Bekerja Sepenuhnya Pada Angin Badai.....	14
Gambar 2.8 Tampak Samping dan Tampak Atas Dari Sistem <i>Furling</i> .	15
Gambar 2.9 Konsep Gravitasi yang digunakan untuk <i>Furling</i> .....	16
Gambar 2.10 Diagram Cp dan Ct Sebagai fungsi TSR.....	17
Gambar 2.11 Skema Sistem Furling Kincir Angin .....	19
Gambar 2.12 Sistem Ketika Kecepatan Angin Tinggi.....	19
Gambar 2.13 Tampak Belakang Sistem Ketika Posisi Normal .....	20
Gambar 2.14 Las Busur dengan Elektroda Terbungkus.....	25
Gambar 2.15 Macam- macam Sambungan Las .....	25
Gambar 2.16 Elektroda Terbungkus .....	26
Gambar 3.1 Gambar Sistem <i>Tail</i> Pada Kincir Angin .....	31
Gambar 3.2 Dudukan <i>Tail</i> .....	31
Gambar 3.3 <i>Tail</i> .....	32
Gambar 3.4 Pemotongan pipa <i>stainlees</i> .....	32
Gambar 3.5 Pembentukan <i>vane</i> menggunakan plat <i>pvc</i> .....	33
Gambar 3.6 Pembuatan besi penyangga sistem <i>tail</i> .....	33
Gambar 3.7 Proses pengeboran besi plat dudukan sistem <i>tail</i> .....	34
Gambar 3.8 Hasil pemotongan dan pengeboran besi plat dudukan <i>tail</i> ..	34
Gambar 3.9 Penentuan titik sudut kemiringan .....	34
Gambar 3.10 Proses pengelasan.....	35
Gambar 3.11 Dudukan sistem <i>tail</i> .....	35
Gambar 3.12 <i>Vane</i> pada lengan sistem <i>tail</i> .....	36

Gambar 3.13 Pemasangan lengan <i>tail</i> padaudukan sistem <i>tail</i> .....	36
Gambar 3.14 Pemasangan sisitem <i>tail</i> pada turbin .....	37
Gambar 4.1 Pembangkit listrik tenaga bayu .....	39
Gambar 4.2 Bentuk sistem <i>tail</i> pembangkit listrik tenaga bayu .....	40
Gambar 4.3 Bentuk <i>vane</i> dan <i>tail</i> pembangkit listrik tenaga bayu .....	40
Gambar 4.4 Bentuk <i>tail</i> boom pada pembangkit listrik tenaga bayu .....	40
Gambar 4.5 Dudukan sistem <i>tail</i> pada pembangkit listrik tenaga bayu..	41
Gambar 4.6 Hasil perancangan dan pembuatan sistem <i>tail</i> .....	47



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda .....	26
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksana Kegiatan .....	30
Tabel 4.1 Data hasil perhitungan rancangan sistem <i>tail</i> .....	44
Tabel 4.2 Data hasil pengujian .....	45



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan unggulan untuk mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Pengkajian energi ini mutlak dilakukan agar tidak terjadi krisis energi. Melalui kajian mesin konversi energi maka energi terbarukan di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk kebutuhan energi di dalam menunjang keberlangsungan pembangunan dan kebutuhan manusia di bidang energi. Energi terbarukan yang ada di Indonesia antara lain energi matahari, air laut pasang, panas bumi, air, biomassa dan angin. (Archie, 1991)

Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi bayu. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan. Perkembangan energi bayu di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan bayu rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan bayu rendah, yaitu berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi bayu di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. (Daryanto, 2007)

Kincir bayu merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi bayu (SKEA). Kincir bayu berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik. Desain dari kincir/turbin bayu sangat banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, kincir angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin

bayu sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*). (Daryanto, 2007)

Sebuah turbin bayu umumnya terdiri dari 5 komponen utama yaitu sudu, generator, ekor dan orientasi, menara, dan sistem pengisian. Sudu berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi kinetik putar. Generator berfungsi untuk mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik. Ekor dan orientasi berfungsi untuk mengatur arah sumbu rotor. Menara berfungsi sebagai penyangga sudu, generator dan ekor. Pengisian berfungsi untuk mengatur pemasukan listrik dari dari generator ke beban atau penyimpanan energi listrik. (Freries, 1990)

Gerak ekor dan orientasi secara umum dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

1. Gerakan horisontal (*yaw oriented*)
2. Gabungan gerakan vertical dan horizontal (*Pitch-yaw oriented*)

Gerakan berbasis horisontal *yaw oriented* berarti ekor bergerak memutar ke kanan dan kekiri. Perpaduan antara keduanya disebut sebagai *Pitch-yaw oriented*

Ekor dan orientasi berbasis *yaw oriented* juga dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu dengan dan tanpa pegas atau peredam kejut. Ekor pada sistem peredam kejut akan selalu menghadap kearah bayu. Arah sumbu rotor terhadap arah bayu sangat dipengaruhi oleh tekanan dan sudut peredam kejut. Ekor pada sistem orientasi tanpa peredam kejut akan selalu searah dengan sumbu rotor. Arah sumbu rotor terhadap arah bayu dipengaruhi oleh jarak eksentrisitas, yaitu jarak antara sumbu menara dan titik berat generator

Kedua tahap tersebut akan menghasilkan jarak eksentrisitas, panjang batang ekor, bentuk dan dimensi ekor yang sama. Yang membedakan adalah susut ekor.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan di atas, terdapat rumusan masalah yang akan dipaparkan antara alain :

- a. Bagaimana cara merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga bayu tipe horisontal untuk wilayah pantai selatan puger?
- b. Bagaimana cara merancang konstruksi sistem ekor/*tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal untuk wilayah pantai selatan puger?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam proses merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga bayu perlu adanya batasan masalah yang perlu diuraikan antara lain :

- a. Perancangan yang dijelaskan nantinya hanya bagian statis dan dinamis pada pembangkit listrik tenaga bayu, sebagai berikut :
  - 1) Perancangan kontruksi poros ekor/*tail*
  - 2) Perancangan sambungan poros ekor/*tail* terhadap bilah ekor/*tail*
  - 3) Perancangan bilah ekor/*tail*
- b. Turbin bayu yang dirancang adalah tipe *horizontal*.

## 1.4 Tujuan

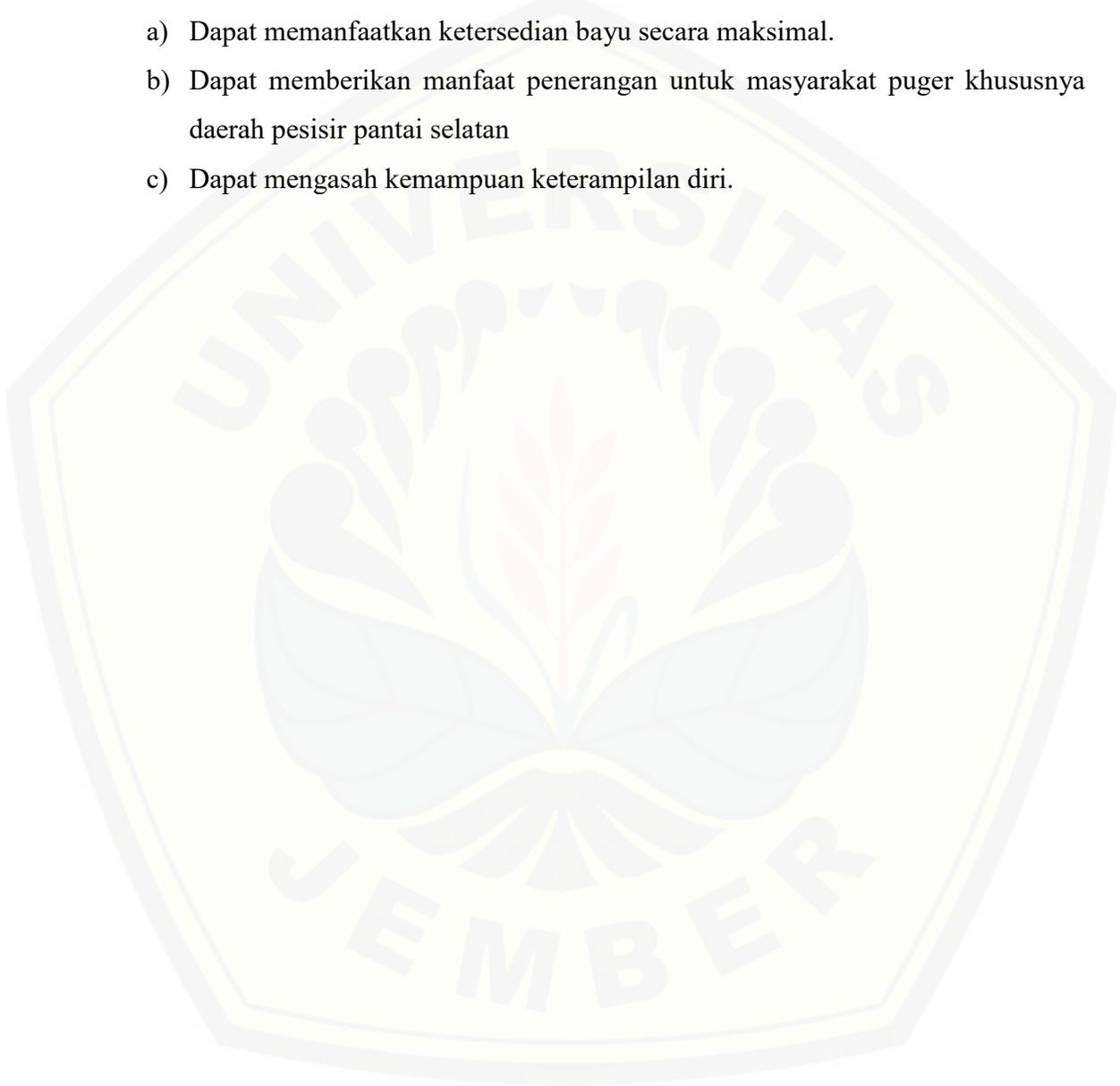
Tujuan dari pembuatan pembangkit listrik tenaga bayu antara lain :

- a) Merancang dan menguji pembangkit listrik tenaga bayu tipe *horizontal*
- b) Merancang dan menguji kontruksi sistem ekor/*tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu

### 1.5 Manfaat

Dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga bayu tipe horisontal terdapat beberapa manfaat yang dapat penulis uraikan, antara lain :

- a) Dapat memanfaatkan ketersediaan bayu secara maksimal.
- b) Dapat memberikan manfaat penerangan untuk masyarakat puger khususnya daerah pesisir pantai selatan
- c) Dapat mengasah kemampuan keterampilan diri.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Angin

Angin adalah aliran dalam jumlah yang besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. 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 di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi. (Rahmat Nanang, 2013)

Tenaga angin merupakan pengumpulan energi yang berguna dari angin. Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Pada kincir angin energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik untuk melakukan kerja fisik, seperti menggiling "*grain*" atau memompa air. Tenaga angin digunakan dalam ladang angin skala besar untuk penghasilan listrik nasional dan juga dalam turbin individu kecil untuk menyediakan listrik di lokasi yang terisolir. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak terbatas, tersebar luas, bersih. . (Rahmat Nanang, 2013)

#### 1. Faktor Terjadinya Angin

Dalam proses terjadinya angin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang menyebabkan angin dapat ada dan muncul antara lain sebagai berikut.

- Gradien Barometris, adalah bilangan yang menampilkan adanya perbedaan tekanan udara dari 2 isobar pada jarak 111 km. dimana semakin besar gradien barometris, maka semakin cepat juga tiupan angin.

- Letak tempat, adalah angin lebih cepat yang berada/dekat di garis khatulistiwa, dari pada yang jauh dari khatulistiwa.
- Tinggi tempat, tinggi rendahnya tempat/lokasi dapat mempengaruhi karena semakin tinggi tempat tersebut, maka semakin kencang angin bertiup, dan sebaliknya, Hal ini dapat terjadi karena disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan yang tidak merata seperti gunung, pohon dan tempat lainnya memberikan gaya gesekan yang besar.
- Waktu, Disiang hari angin bergerak lebih cepat dari pada di malam hari.

## 2. Sifat-Sifat Angin

Angin memiliki beberapa sifat antara lain sebagai berikut..

- Angin mempercepat pendingin dari benda panas
- Angin menimbulkan tekanan dari permukaan yang menentang atau menghalangi arah angin tersebut.
- Kecepatan angin bervariasi dari suatu tempat ke tempat lain, dan dari waktu ke waktu.

### 2.2. Kincir Angin

Kincir angin adalah sebuah alat yang di gerakan oleh tenaga angin sehingga menghasilkan energi mekanik atau gerak. Kincir angin ini awalnya dibuat untuk mengakomodasikan kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain lain. Kincir angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lain yang lebih dikenal dengan Windmill. Kini kincir angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan adanya prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat dipengaruhi oleh angin. (Zadid. M, 2012 )

Walaupun sampai saat ini pembangunan kincir angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (seperti PLTD, PLTU, PLTG, dan lain

lain), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tak terbarui seperti batubara, minyak bumi, gas alam, sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik

### 2.3 Klasifikasi Kincir Angin

Berdasarkan sumbu putaran rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu *vertical axis wind turbine* (VAWT) dan *horizontal axis wind turbine* (HAWT). Sedangkan apabila dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag yang mana memanfaatkan gaya hambat sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor (Dewi, 2010).

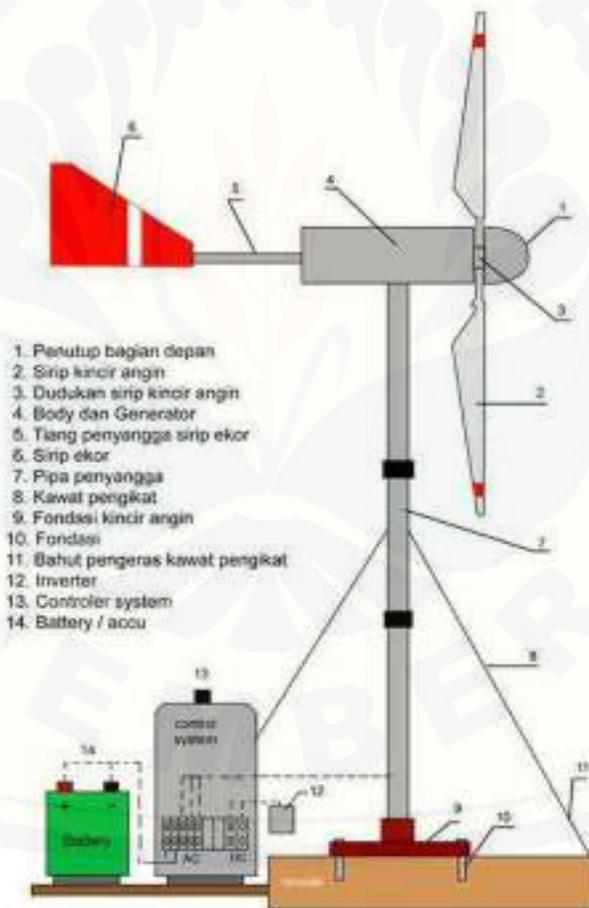
Turbin tipe HAWT memiliki sirip pengarah pada bagian belakang yang berguna untuk mengarahkan rotor agar senantiasa tegak lurus dengan arah angin. Berbeda dengan konstruksi HAWT, VAWT didesain agar tidak terpengaruh arah angin, dalam artian VAWT mampu untuk menangkap angin dari arah manapun. Selain itu, tipe VAWT ini juga dikenal memiliki tingkat kebisingan rendah serta memiliki keunggulan dalam hal perawatan karena generator dapat diletakkan di bagian bawah. Akan tetapi, untuk skala besar, konstruksi poros VAWT ini sangat sulit dibuat karena harus mampu menahan beban yang besar hanya dengan satu poros vertikal saja.

Secara teori turbin angin poros vertikal (VAWT) memiliki efisiensi yang sama dengan turbin angin poros horizontal (HAWT) jika turbin-turbin tersebut bekerja pada kecepatan angin yang konstan. Namun, pada prakteknya turbin yang masuk dalam kategori VAWT seringkali memiliki efisiensi yang lebih rendah dari turbin-turbin tipe HAWT. Hal ini dikarenakan adanya variasi kecepatan angin yang meningkat seiring dengan naiknya ketinggian. Namun, turbin jenis VAWT ini akan lebih menunjukkan keunggulan jika dibuat dalam skala kecil karena variasi angin terhadap ketinggian kecil.

### 2.3.1 Kincir Angin Poros Horizontal

Kincir angin poros horizontal atau propeler adalah kincir angin yang memiliki poros utama yang sejajar dengan tanah dan arah poros utama sesuai dengan arah angin. Kincir angin poros horizontal ini memiliki jumlah bilah lebih dari dua, kincir angin ini dapat berputar dikarenakan gaya aerodinamis yang bekerja pada suatu kincir

Beberapa jenis kincir angin poros horizontal yang telah banyak dikenal diantaranya ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Kincir Angin Poros Horizontal

(Sumber : Daryanto, 2007)

### 2.3.2 Kekurangan dan Kelebihan Kincir Angin Poros Horizontal :

- 1) Kelebihan kincir angin poros horizontal
  - a) Mampu mengkonversi energi angin pada kecepatan tinggi
  - b) Memiliki faktor keamanan yang lebih baik karena posisi sudu yang berada di atas menara
  - c) Tidak memerlukan karakteristik angin karena arah angin langsung menuju rotor
  - d) Banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan skala besar
- 2) Kekurangan kincir angin poros horizontal
  - a) Kontruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat (*Gearbox* dan *Generator*)
  - b) Perlu adanya mekanisme tambahan untuk menyesuaikan dengan arah angin (ekor pengarah atau sensor elektrik)

### 2.3.3 Kincir Angin Poros vertikal

Turbin Angin Sumbu Vertikal / tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. (Aditya indra 2012)

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu

menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.



Gambar 2.2 Kincir Angin Poros Vertikal

(Sumber : Daryanto, 2007)

#### 2.3.4 Kekurangan dan Kelebihan Kincir Angin poros Vertikal :

- 1) Kelebihan kincir angin poros vertikal
  - a) Dapat menerima arah angin dari segala arah
  - b) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
  - c) Dapat bekerja pada putaran rendah
  - d) Memiliki torsi yang besar pada putaran rendah
  - e) Tidak mengatur sudut-sudut untuk mengarahkan sebuah generator

- 2) Kekurangan kincir angin poros vertikal
  - a) Bekerja pada putaran rendah, sehingga energi yang di hasilkan kecil
  - b) Hanya dapat mengkonvensi energy angin 50% dikarenakan adanya gaya drag tambahan
  - c) Dipasang di tempat rendah maka factor keselamatan perlu diperhatikan

## 2.4 Furling Sistem

### 2.4.1 Pengertian Umum Furling

Side furling adalah mekanisme pengaman turbin angin pada kecepatan angin tinggi. Jika kecepatan angin sangat tinggi. Ada beberapa bahaya yang mengancam turbin angin diantaranya:

1. Putaran rotor yang tinggi member gaya sentrifugal yang besar
2. Putaran rotor yang tinggi menyebabkan vibrasi yang tinggi
3. Angin yang besar menyebabkan gaya dorong yang besar pada struktur

Karena alasan-alasan tersebut. Perlu dibuat mekanisme pengaman turbin angin saat terjadi kecepatan sangat tinggi. Pada saat ini sudah ada beberapa cara yang dikembangkan untuk mengatasi kecepatan angin yang terlampaui tinggi diantaranya dengan menggunakan mekanisme pengatur sudut pitch yang bekerja berdasarkan gaya sentrifugal dan dengan menggunakan side furling.

Sistem pengendali dalam sistem ini menggunakan *tail* ( Ekor ) sebagai controler. *Tail* berfungsi menjaga *Blade* (sudu) tetap pada arah datangnya angin dan menghindarkan turbin dari angin yang berlebihan. Tail merupakan bagian sistem mekanik dari turbin angin ketika terjadi proses *yawing* dan *furling* .Sistem *furling* akan mencegah kerusakan pada bagian bagian turbin angin seperti pada sudu (rotor) dan generator pada saat angin bertiup kencang . Secara efektif membuat lebih aman dan memberikan pengaturan daya output turbin angin tersebut.

Sistem *Furling* manual yang akan dirancang menggunakan sebuah tuas atau lengan dan sayapnya yang bekerja secara manual untuk memutar turbin menjauhi angin yang sangat kencang. Dalam operasinya sistem furling mekanik

memanfaatkan gabungan gravitasi dan gaya dorong angin untuk memutar ekor (*furling*) dan memutar turbin (*yawing*) secara bersamaan. Pada pangkal ekor terdapat sumbu *pivot* yang bekerja seperti sebuah engsel sederhana.



Gambar 2.3 Kontruksi Sistem *Tail*

#### 2.4.2 Prinsip Kerja *Furling*

*Side furling* dirancang dengan memberikan eksentrisitas pada sumbu rotasi rotor. Artinya sumbu rotasi rotor tidak berpotongan dengan sumbu *yaw mechanism*. Eksentrisitas ini diberikan agar ketika kecepatan angin cukup besar dan gaya *thrust* yang terjadi juga besar maka turbin angin akan mendapat momen dan gaya *thrust* dikalikan dengan jarak eksentrisitas yang diberikan.

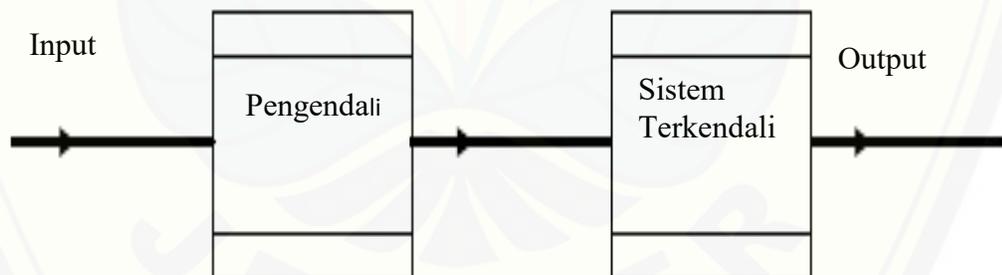
Besarnya eksentrisitas yang diberikan dipengaruhi oleh beberapa factor diantaranya :

1. Pada kecepatan angin berapa turbin angin harus *side furling*
2. Besarnya gaya pada ekor oleh kecepatan angin pada sudut tertentu
3. Sudutnya yang diinginkan untuk *side furling*

Faktor-faktor tersebut perlu diperhitungkan dengan beberapa kali iterasi agar mendapat nilai eksentrisitas yang sesuai. Jika nilai eksentrisitas terlampaui tinggi maka turbin angin akan mengalami *side furling* sebelum kecepatan angin kritis. *Side*

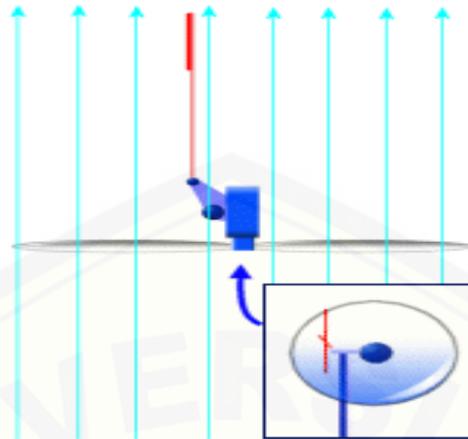
furling yang terlalu dini menimbulkan kerugian karena turbin angin tidak maksimal menyerap energi saat side furling. Namun side furling yang terlambatkan membahayakan turbin angin. artinya side furling terjadi setelah kecepatan angin lebih tinggi dan kecepatan kritis dan dapat menyebabkan turbin angin mengalami kerusakan sebelum melakukan side furling. Yang dimaksud dengan kecepatan angin kritis dalam hal ini adalah kecepatan angin yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada turbin angin. Side furling memerlukan perhitungan yang tidak sederhana. Pada tulisan ini. penyusun tidak melakukan perhitungan detail untuk mendapatkan nilai eksentrisitas. Tetapi mengambil contoh dan turbin angin yang sudah ada yang menggunakan metode side furling untuk memberi perlindungan pada turbin angin pada kecepatan angin tinggi.

Pada pengendali kincir angin ini menggunakan teknik kendali loop terbuka, Pada sistem kendali loop terbuka gambar diagram bloknya dapat digambarkan sebagai berikut :

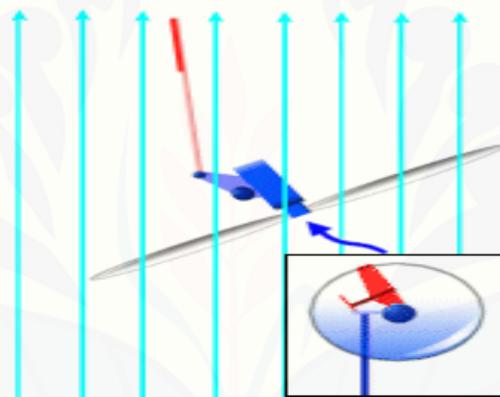


Gambar 2.4 Diagram blok sistem terbuka  
(Sumber : Purwanto, 2014)

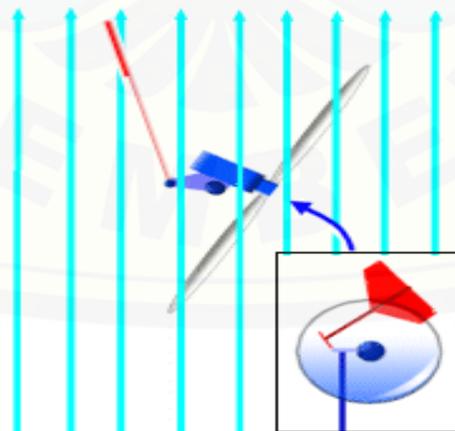
Sistem loop terbuka ini dapat diibaratkan seperti seseorang yang bekerja dengan mata tertutup, sehingga keakuratan dan ketelitian yang akan diperoleh akan sangat minimum sekali, karena pada sistem ini elemen input yang masuk adalah tidak dipengaruhi oleh elemen output, sehingga hasil / output yang akan didapatkan adalah tergantung kepada elemen input yang masuk kepada sistem pengendali.



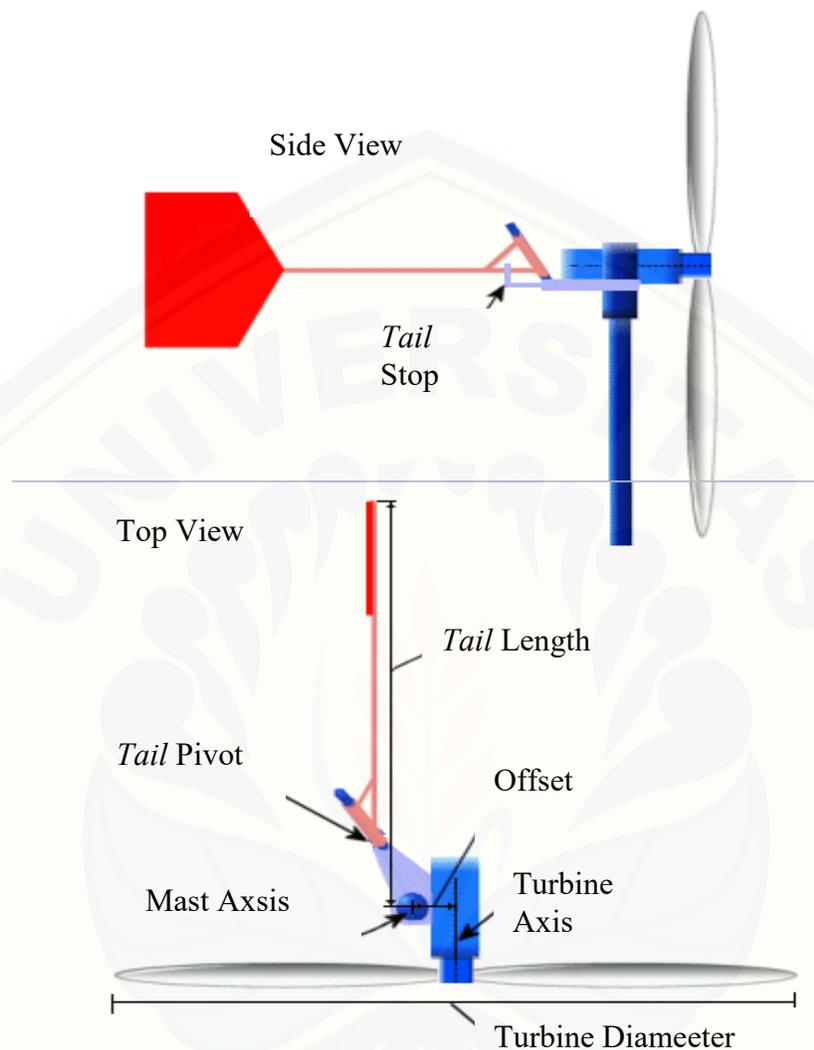
Gambar 2.5 Sistem furling pada keadaan angin normal  
(Sumber : Purwanto, 2014)



Gambar 2.6 Sistem furling pada keadaan medium wind  
(Sumber : Purwanto, 2014)



Gambar 2.7 Sistem furling bekerja sepenuhnya pada angin badai  
(Sumber : Purwanto, 2014)

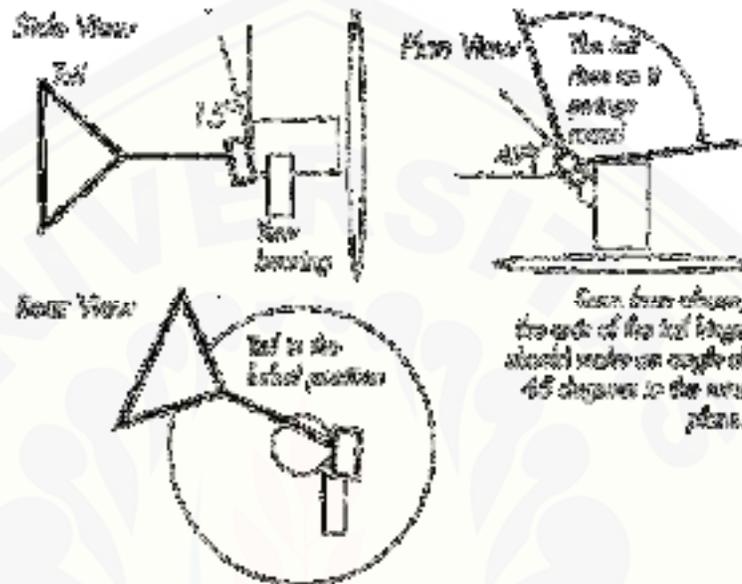


Gambar 2.8 Tampak samping dan tampak atas dari sistem furling

(Sumber : Purwanto, 2014)

Terdapat beberapa nama dalam kelompok sistem *furling* yaitu '*autofurl*', '*furlmatic*' atau '*hinged vane safety system*'. Pada dasarnya prinsip kerja yang digunakan sama saja, dengan memanfaatkan gaya dorong dari angin. Ketika kecepatan angin normal, rotor akan selalu menghadap arah datang angin dan berpaling jika kecepatan angin sangat tinggi sebagai upaya proteksi.

Agar dapat berpaling dari arah datang angin, sumbu rotor digeser dari *yaw axis*. Panjang penggeseran yang dimaksud disebut dengan ‘*offset*’, Momen untuk *yawing* akan timbul sebesar *thrust* dikalikan dengan *offset*.



Gambar 2.9 Konsep gravitasi yang digunakan untuk *furling*

(Sumber : Agus Suandi., 2017 )

Untuk membuat sistem bekerja secara otomatis dapat menggunakan pegas yang dibebankan pada ekor, namun penggunaan pegas tidak dapat bertahan lama akibat pengaruh cuaca dan kelelahan (*fatigue*). Cara yang lebih baik adalah dengan menggunakan gravitasi, yang mana ekor akan terangkat pada batas kecepatan angin tertentu dan normal kembali ketika kecepatan angin telah normal.

Merancang *furling* tidak bisa hanya dengan mengaplikasikan teori secara mentah, masih diperlukan *trial and error*. Berikut adalah tips dalam merancang *furling* untuk kincir angin skala mikro:

1. *Offset* (jarak antara sumbu rotor dan *yaw axis*) minimal 4% dari diameter sapuan bilah

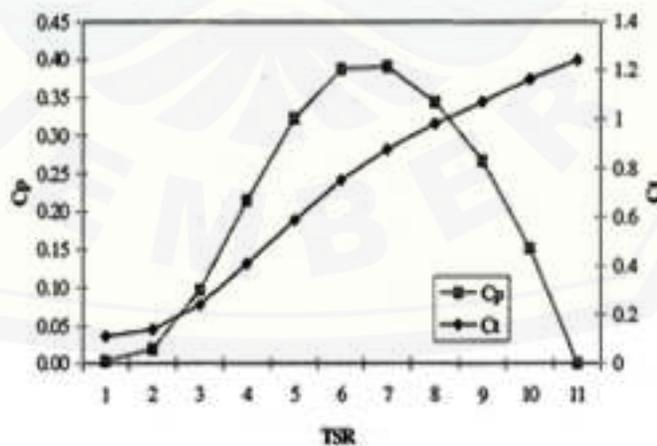
2. Besar luas penampang ekor seharusnya berada antara 5% dan 10% dari luas sapuan
3. Dengan luas penampang ekor sekitar 10% dari luas sapuan, ekor ditekuk 20% berlawanan dengan arah *offset* untuk memberikan momen yang seimbang akibat adanya *offset*
4. Panjang batang ekor (*tail boom*) setidaknya sebesar panjang satu bilah atau setengah dari diameter sapuan
5. Bentuk sirip ekor tidak terlalu berpengaruh namun tinggi (*span*) mempengaruhi gaya yang diterima

Hukum Newton kedua menjadi dasar persamaan untuk menentukan gaya dorong yang diberikan angin terhadap rotor *thrust force* adalah

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{m}{dt} \cdot dv = \dot{m} v = \rho \cdot A \cdot v^2$$

$$F_{thrust} = \rho \cdot A_{swept} \cdot v^2 \cdot C_t$$

Dimana  $C_t$  adalah koefisien gaya dorong (gaya aksial) yang bisa diketahui dengan melihat diagram  $C_p - C_t - TSR$  seperti pada gambar



Gambar 2.10 Diagram  $C_p$  dan  $C_t$  sebagai fungsi TSR[

(Sumber : Agus Suandi., 2017 )

Sedangkan gaya yang diberikan angin terhadap penampang ekor adalah:

$$F_{vane} = \rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha$$

Akibat adanya *offset* timbul momen yang disebut *thrust moment* ( $M_{thrust}$ ) dengan *yaw axis* sebagai pusatnya, untuk menyeimbangkannya diperlukan momen pada ekor  $M_{restoring}$  yang sama besar. Persamaan keseimbangan momen berlaku dalam sistem keseimbangan ini.

$$\Sigma M_{yaw} = 0$$

$$\Sigma M_{yaw} = M_{thrust} - M_{vane} = 0$$

$$M_{thrust} - M_{vane} = 0$$

$$M_{thrust} = M_{vane}$$

$M_{thrust}$  adalah hasil kali  $F_{thrust}$  dengan  $\ell_{offset}$ ,  $M_{vane}$  adalah hasil kali  $F_{vane}$  pada dengan panjang ekor  $\ell_{tail}$ . Sehingga untuk mengetahui panjang ekor yang digunakan:

$$M_{thrust} = M_{vane}$$

$$F_{thrust} \cdot \ell_{offset} = F_{vane} \cdot \ell_{tail}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_{swept} \cdot C_t \cdot \ell_{offset} = \rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha \cdot \ell_{tail}$$

$$\rho \cdot v^2 \cdot A_{swept} \cdot C_t \cdot \ell_{offset}$$

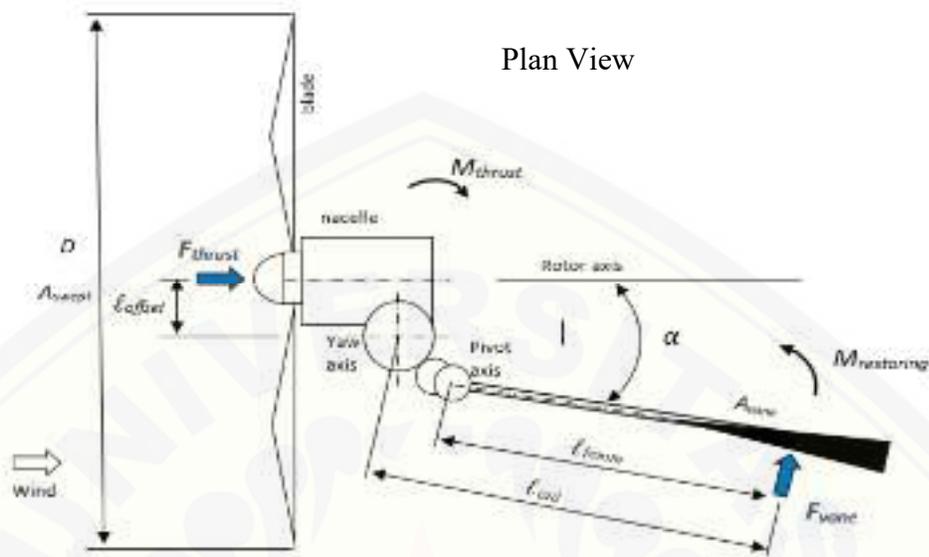
$$\ell_{tail} = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot A_{swept} \cdot C_t \cdot \ell_{offset}}{\rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha}$$

$$\rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha$$

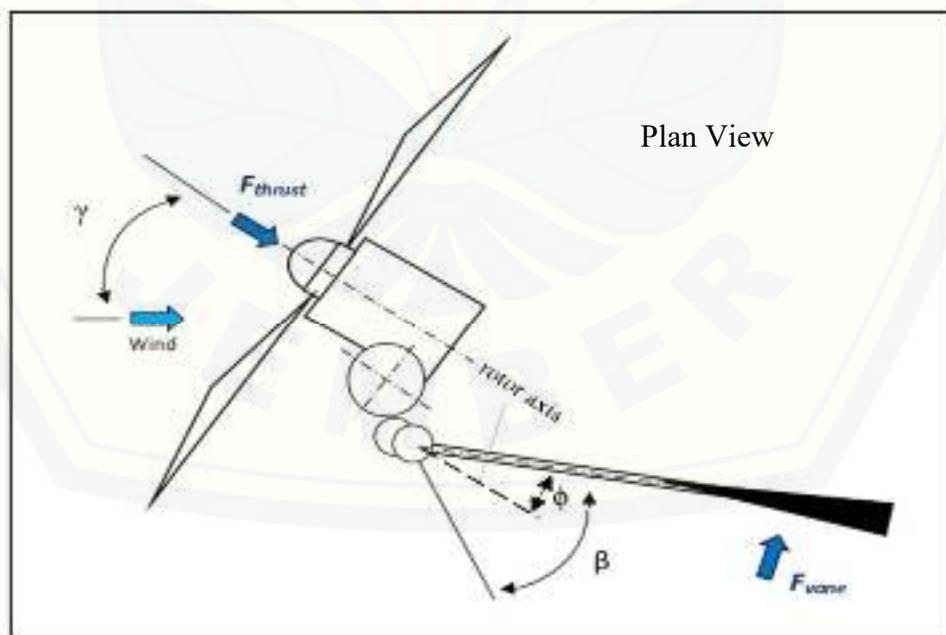
$$M_{thrust}$$

$$\ell_{tail} = \frac{M_{thrust}}{\rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha}$$

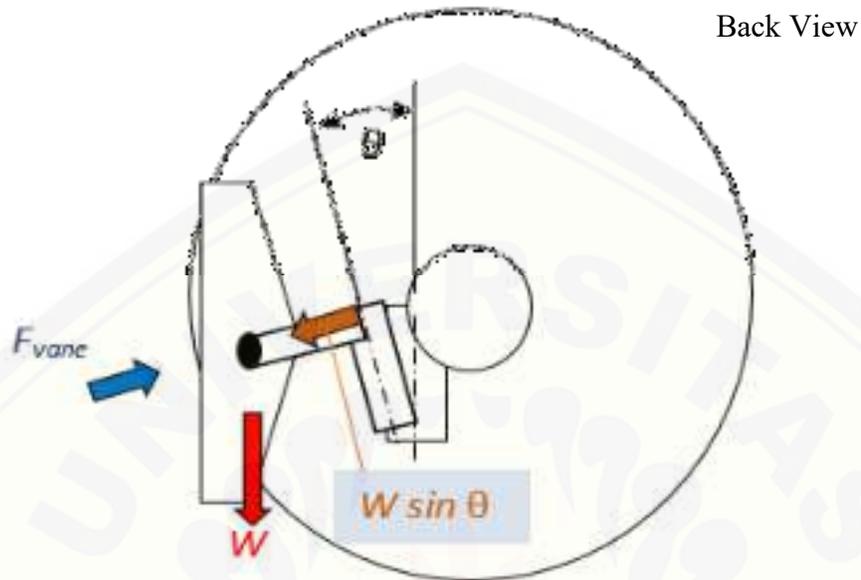
$$\rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha$$



Gambar 2.11 Skema sistem *furling* kincir angin  
(Sumber : Agus Suandi, 2017 )



Gambar 2.12 Sistem ketika kecepatan angin tinggi (*furled position*)  
(Sumber : Agus Suandi, 2017 )



Gambar 2.12 Tampak belakang sistem ketika posisi normal  
(Sumber : Agus Suandi,. 2017 )

Agar ekor dapat melipat pada kecepatan angin yang diinginkan, jumlah momen yang bekerja pada sumbu pivot harus sama dengan nol pada kecepatan angin tersebut. Momen yang bekerja pada sumbu pivot yaitu momen yang disebabkan oleh gaya aerodinamika pada ekor ( $M_{vane}$ ) dan momen yang disebabkan gaya berat pada ujung batang ekor ( $M_{weight}$ ), dimana pusat penampang ekor pada sumbu horisontalnya terletak pada ujung ekor. Dengan demikian persamaan keseimbangannya adalah:

$$\Sigma M_{pivot} = 0$$

$$\Sigma M_{pivot} = M_{vane} - M_{gravity} = 0$$

$$M_{vane} - M_{gravity} = 0$$

$$M_{vane} = M_{gravity}$$

sehingga massa ujung ekor adalah:

$$\begin{aligned}
 M_{vane} &= M_{gravity} \\
 F_{vane} \cdot \ell_{boom} &= F_g \cdot \ell_{boom} \\
 \rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha \cdot \ell_{boom} &= m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \ell_{boom} \\
 m &= \frac{\rho \cdot v^2 \cdot A_{vane} \cdot \sin \alpha \cdot \ell_{boom}}{g \cdot \sin \theta \cdot \ell_{boom}}
 \end{aligned}$$

Ketika kecepatan angin meningkat hingga gaya pada penampang ekor  $F_{vane}$  lebih besar daripada gaya yang melawan arah putaran ekor  $F_g$  maka ekor akan berputar, besarnya gaya yang tersisa itu disebut dengan gaya *furling*  $F_{furl}$

$$F_{furl} = F_{vane} - F_g$$

## 2.5 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. (Wiryosumarto, 2004).

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan *bimetal* adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan *bimetal* mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda

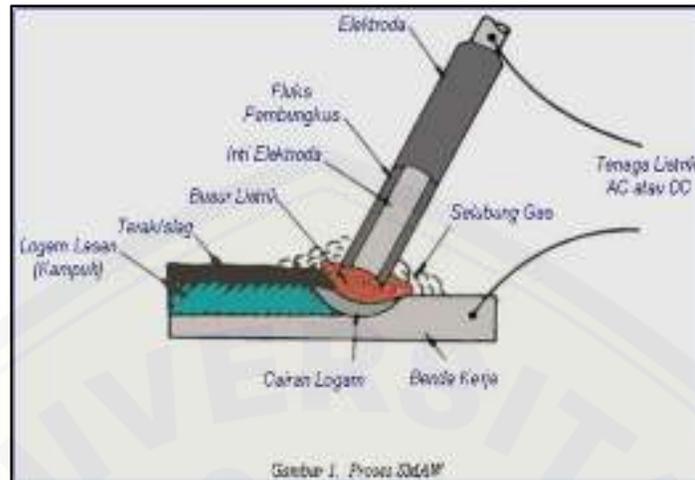
yang sesuai, pengaturan heat input yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat.

### **2.5.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)**

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk seperti ditunjukkan pada gambar 1. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama (Wiryosumarto, 2004).

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 2.13 Las busur dengan elektroda terbungkus  
(Sumber :Wirjosumarto, 2004).

Las SMAW terdiri dari beberapa bagian peralatan yang disusun atau dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai suatu unit alat untuk pengelasan. Satu unit las SMAW terdiri dari (Bintoro, 1999)

a) Mesin pembangkit tenaga listrik/mesin las

Mesin las terdiri dari dua macam yaitu: mesin las arus bolak balik (mesin las AC) dan mesin las arus searah (mesin las DC). Pada mesin las AC terdapat *transformator* atau trafo yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, kebanyakan trafo yang digunakan pada peralatan las adalah jenis trafo *step-down*, yaitu trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Sedangkan pada mesin las DC terdapat *receifer* atau penyearah arus yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC).

b) Kabel las

Kabel las digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke elektroda dan massa. Arus yang besar harus dapat dialirkan melalui kabel

tanpa banyak mengalami hambatan, sehingga perlu dipilih kabel yang sesuai dengan arus yang dialirkan.

c) Elektroda

Berdasarkan selaput pelindungnya, elektroda dibedakan menjadi dua macam, yaitu elektroda polos dan elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti yang berfungsi sebagai *filler metal* dan zat pelindung atau *fluks* yang berfungsi untuk:

- 1) Melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja yang dilas dari udara luar. Udara luar mengandung oksigen yang dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas.
- 2) Memungkinkan dilakukannya posisi pengelasan yang berbeda-beda.
- 3) Memberikan sifat-sifat khusus pada hasil pengelasan dengan cara menambah zat-zat tertentu pada selaput elektroda dan lain sebagainya

d) Pemegang elektroda

Pemegang elektroda berfungsi sebagai penjepit/pemegang ujung elektroda yang tidak berselaput, dan juga berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari kabel ke elektroda.

e) Tang penghubung kabel massa

Tang penghubung kabel massa berfungsi untuk menghubungkan kabel massa dengan benda kerja yang akan dilas.

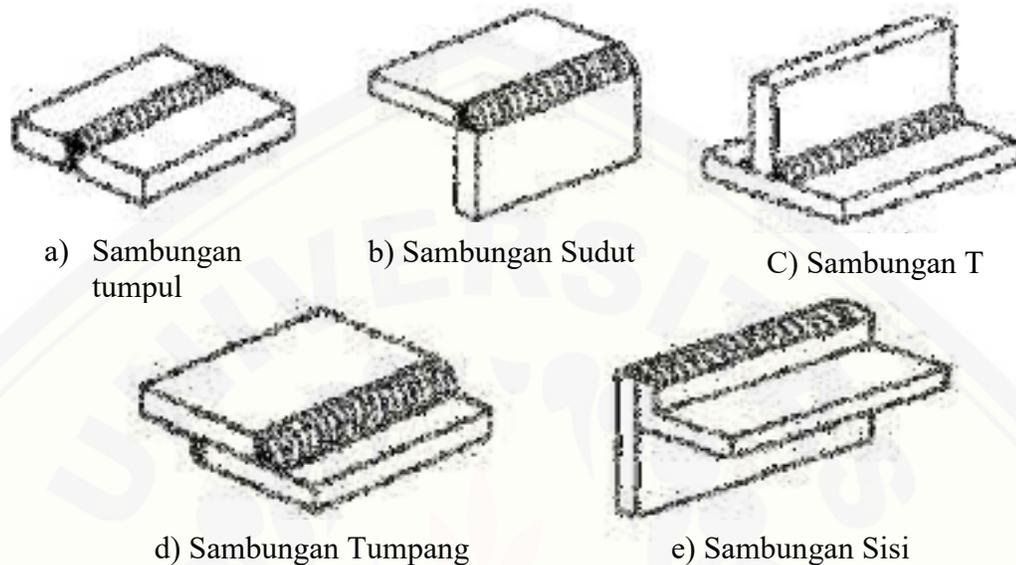
f) Alat bantu

Alat bantu sifatnya tidak mutlak harus ada. Fungsinya adalah sebagai pembantu untuk mempermudah dalam pengelasan. Alat bantu yang umum digunakan contohnya: palu terak, tang untuk memegang benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan sebagainya.

### 2.5.2 Sambungan Las

Sambungan las pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan

dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



Gambar 2.14 Las busur dengan elektroda terbungkus  
(Sumber : Wiryosumarto, 2004)

### 2.5.3 Elektroda Terbungkus

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah.

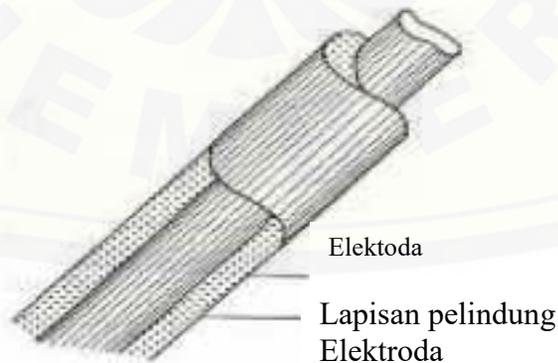
Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur. Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan kuat arus dari elektroda untuk *carbon steel* dan *stainless steel* berdasarkan diameter yang digunakan, terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda (Nikko Steel index, 1994).

Diameter mm	Tipe elektroda dan <i>Ampere</i> yang digunakan			
	E 309-16	E 309L-16	E 309LMo-16	E 309Nb-16
2.0	50 – 70	35 – 80	35 – 80	35 – 80
2.6	70 – 110	65 – 100	65 – 100	65 – 100
3.2	110 – 130	80 – 125	80 – 125	80 – 125
4.0	120 – 150	120 – 170	120 – 170	120 – 170
5.0	160 – 210	160 – 210	160 – 210	160 – 210

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip, 1989). Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E 309-16 menurut ESAB (*handbook of elektrode*) adalah:

- E = Elektroda las listrik.
- 309 = Kandungan spesifik komposisi elektroda
- 1 = Posisi pengelasan
- 6 = Menunjukkan jenis selaput fluks selulosa,
- 16 = Menunjukkan arus yang digunakan berjenis AC atau DCEP.



Gambar 2.15 Elektroda Terbungkus

(Sumber : Arifin, 1997)

## 2.6 Mesin Bor

Mesin bor adalah suatu jenis mesin gerakanya memutarakan alat pemotong yang arah pemakanan mata bor hanya pada sumbu mesin tersebut (pengerjaan pelubangan). Sedangkan Pengeboran adalah operasi menghasilkan lubang berbentuk bulat dalam lembaran-kerja dengan menggunakan pemotong berputar yang disebut bor.

### 2.6.1 Jenis – jenis Mesin Bor

#### 1. Mesin bor meja

Mesin bor meja adalah mesin bor yang diletakkan diatas meja. Mesin ini digunakan untuk membuat lobang benda kerja dengan diameter kecil (terbatas sampai dengan diameter 16 mm). Prinsip kerja mesin bor meja adalah putaran motor listrik diteruskan ke poros mesin sehingga poros berputar. Selanjutnya poros berputar yang sekaligus sebagai pemegang mata bor dapat digerakkan naik turun dengan bantuan roda gigi lurus dan gigi rack yang dapat mengatur tekanan pemakanan saat pengeboran.

#### 2. Mesin bor tangan (pistol)

Mesin bor tangan adalah mesin bor yang pengoperasiannya dengan menggunakan tangan dan bentuknya mirip pistol. Mesin bor tangan biasanya digunakan untuk melubangi kayu, tembokmaupun pelat logam. Khusus Mesin bor ini selain digunakan untuk membuat lubang juga bisa digunakan untuk mengencangkan baut maupun melepas baut karena dilengkapi 2 putaran yaitu kanan dan kiri. Mesin bor ini tersedia dalam berbagai ukuran, bentuk, kapasitas dan juga fungsinya masing-masing.

#### 3. Mesin bor Radial

Mesin bor radial khusus dirancang untuk pengeboran benda-benda kerja yang besar dan berat. Mesin ini langsung dipasang pada lantai, sedangkan meja mesin telah terpasang secara permanen pada landasan atau alas mesin.. Pada mesin ini benda kerja tidak bergerak. Untuk mencapai proses pengeboran terhadap benda kerja, poros

utama yang digeser kekanan dan kekiri serta dapat digerakkan naik turun melalui perputaran batang berulir.

#### 4. Mesin Bor Tegak (Vertical Drilling Machine)

Digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan ukuran yang lebih besar, dimana proses pemakanan dari mata bor dapat dikendalikan secara otomatis naik turun. Pada proses pengeboran, poros utamanya digerakkan naik turun sesuai kebutuhan. Meja dapat diputar 3600 , mejanya diikat bersama sumbu berulir pada batang mesin, sehingga mejanya dapat digerakkan naik turun dengan menggerakkan engkol.

#### 5. Mesin bor koordinat

Mesin bor koordinat pada dasarnya sama prinsipnya dengan mesin bor yang lainnya. Perbedaannya terdapat pada sistem pengaturan posisi pengeboran. Mesin bor koordinat digunakan untuk membuat/membesarkan lobang dengan jarak titik pusat dan diameter lobang antara masing-masingnya memiliki ukuran dan ketelitian yang tinggi. Untuk mendapatkan ukuran ketelitian yang tinggi tersebut digunakan meja kombinasi yang dapat diatur dalam arah memanjang dan arah melintang dengan bantuan sistem optik. Ketelitian dan ketepatan ukuran dengan sisitem optik dapat diatur sampai mencapai toleransi 0,001 mm.

#### 6. Mesin bor rantai

Mesin bor rantai adalah mesin bor yang dipasang pada rantai. Mesin bor rantai disebut juga mesin bor kolom. Jenis lain mesin bor rantai ini adalah mesin bor yang mejanya disangga dengan batang pendukung. Mesin bor jenis ini biasanya dirancang untuk pengeboran benda-benda kerja yang besar dan berat.

#### 7. Mesin bor berporos (mesin bor gang)

Mesin bor ini mempunyai lebih dari satu spindel, biasanya sebuah meja dengan empat spindel. Mesin ini digunakan untuk melakukan beberapa operasi sekaligus, sehingga lebih cepat. Untuk produksi massal terdapat 20 atau lebih spindel dengan sebuah kepala penggerak.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan Sistem *tail* sebagai berikut :

##### 3.1.1 Alat

- a. Gerinda tangan
- b. Pelindung mata
- c. Masker pelindung
- d. Jangka sorong
- e. Meteran
- f. Penggores
- g. Mesin bor duduk
- h. Tang
- i. Obeng + -
- j. Palu
- k. Busur
- l. Las Listrik
- m. Kunci 22
- n. Ragum

##### 3.1.2 Bahan

- a. Lembar PVC 40 cm x 40 cm dengan tebal 5 mm
- b. Pipa stainless berdiameter 2,54 cm
- c. Mur dan Baut ukuran 12 mm
- d. Besi pipa berdiameter 15 mm tebal 1 mm dan panjang 10 cm
- e. Besi silinder pejal berdiameter 14,5 mm dan panjang 15 cm

### 3.2 Waktu dan Tempat

#### 3.2.1 Waktu

Waktu yang diperlukan mulai dari analisis, perancangan, pembuatan dan pengujian alat dilaksanakan selama kurang lebih 3 bulan berdasarkan pada jadwal yang ditentukan.

#### 3.2.2 Tempat

Tempat pelaksanaan dalam perancangan dan pembuatan sistem *tail* bertempat di Jember, Jawa Timur dan untuk pengujian alat dilaksanakan di Pantai Pancer, Puger, Jember, Jawa Timur.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan											
		Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Judul	■											
2	Pembuatan Proposal		■										
3	Pembuatan Studi Pustaka			■									
4	Seminar Proposal				■								
5	Pengerjaan Alat					■	■						
6	Pengujian Alat							■	■	■			
7	Alat Selesai							■	■	■			
8	Seminar Hasil										■	■	
9	Sidang Proyek Akhir												■

Keterangan :



: Pelaksanaan kegiatan

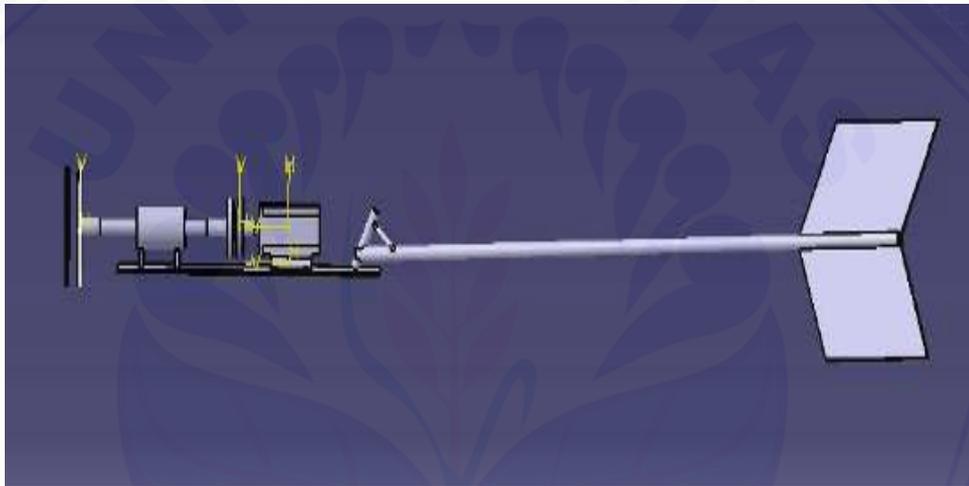
### 3.3 Perancangan dan Pembuatan

Setelah melakukan pencarian data dan pembuatan konsep yang didapat dari studi literatur, studi lapangan dan konsultasi maka dapat direncanakan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan *tail* turbin angin. Dalam proyek akhir ini proses yang akan dirancang adalah :

- a. Perancangan sistem *tail*
- b. Proses pembuatan sistem *tail*
- c. Proses perakitan sistem *tail*

### 3.3.1 Proses Perancangan Sistem *Tail*

Sebelum masuk ke proses pembuatan *tail* terlebih dahulu kita desain sistem *tail* yang akan kita buat, supaya pada saat proses pembuatan tidak ada kesulitan dalam memilih bahan dan bentuk yang ditentukan. Berikut ini adalah gambar dari sistem *tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal.



Gambar 3.1 Sistem *tail* pada turbin angin



Gambar 3.2 Dudukan sistem *tail*

### 3.3.2 Proses Pembuatan Sistem *Tail*

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pembuatan sistem *tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal yaitu :

- a Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- b Menyiapkan profil sistem *tail*



Gambar 3.3 *Tail*

- c Memotong besi pipa *stainless* dengan berdiameter 2,54 cm dan panjang 160 cm kemudian membuat lubang dengan menggunakan mesin bor duduk sebanyak 3 lubang dibagian ujung pipa dengan jarak 5 cm dari ujung dan jarak antara lubang yaitu 5 cm



Gambar 3.4 Pemotongan pipa *stainless*

- d Selanjutnya memotong lembar PVC dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 40 cm dan tebal 5 mm



Gambar 3.5 Pembentukan *Vane* menggunakan lembar *PVC*

- e. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan penyangga pipa *stainless* dengan bahan besi pipa dan besi silinder pejal, potong besi pipa dengan panjang 15 cm dan besi silinder pejal dengan panjang 10 cm, kemudian dilakukan pengelasan dengan menggunakan mesin las listrik dengan menggunakan elektroda 2 mm. Penyangga ini berfungsi untuk menahan beban dari pipa *stainless* dan *vane*, serta sebagai unit mekanisme gerak putar.



Gambar 3.6 Pembuatan besi penyangga dari sistem *tail*

### 3.3.3 Proses Pembuatan Dudukan Sistem *Tail*

Berikut ini adalah langkah-langkah proses pembuatan dudukan sistem *tail* pada kincir angin tipe *horizontal* yaitu :

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- b. Langkah pertama yaitu memotong plat besi dengan tebal 4 mm, panjang 12 cm dan lebar 10

- c. Selanjutnya mengebor sejumlah 5 lubang, 4 lubang yang berdiameter 12 mm dan 1 lubang sebagai titik sumbu *tail* yang berdiameter 17 mm



Gambar 3.7 Proses pengeboran besi plat duduan *tail*



Gambar 3.8 Hasil pemotongan dan pengeboran besi plat duduan *tail*

- d. Kemudian dilakukan proses pengelasan pada besi pejal dengan diameter 14,5 mm dan mengatur sudut kemiringannya dengan sudut yaitu  $15^\circ$



Gambar 3.9 Penentuan titik sudut kemiringan



Gambar 3.10 Proses pengelasan

#### 3.3.4 Perakitan Sistem *Tail*

Berikut ini merupakan tahap perakitan sistem *tail* sebelum pengujian.

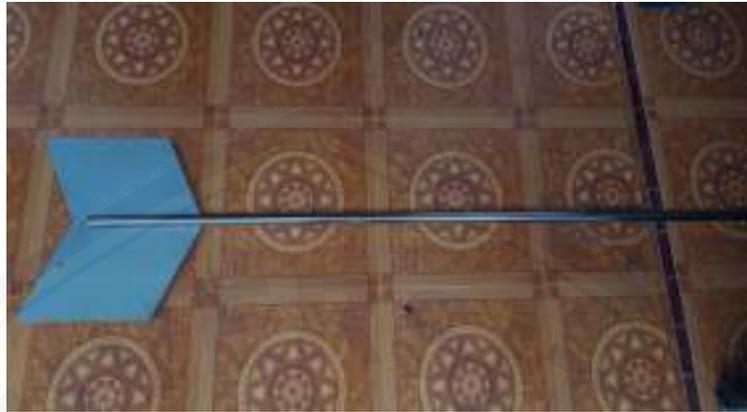
- a. Menyiapkan alat dan bahan berupa kunci pas, grease, obeng +/-, ring, mur dan baut, dudukan *tail*, *vane* dan *tail boom*/lengan *tail*
- b. Memasang dudukan sistem *tail* pada plat dudukan generator



Gambar 3.11 Dudukan sistem *tail* pada dudukan generator.

- c. Memasang mur dan baut 12 mm sejumlah 4 pada dudukan sistem *tail* kemudian dikencangkan dengan kunci pas 12
- d. Memasang *vane* pada bagian ujung lengan *tail* yang sudah dibelah sesuai dengan panjang *vane*, dan dilakukan penguncian dengan baut dan mur 10

mm sejumlah 3 kemudian dikencangkan dengan obeng + agar pada saat pengujian vane tidak berubah posisinya.



Gambar 3.12 *Vane* pada lengan sistem *tail*.

- e. Memasang lengan *tail* pada dudukan *tail* dan dikunci dengan mur 17 mm supaya tidak lepas dan dapat berputar dengan lancar maka diberikan pelumasan pada dudukan *tail* berupa grease.



Gambar 3.13 Pemasangan Lengan *tail* Pada dudukan sistem *tail*.

- f. Setelah komponen sistem *tail* telah terpasang semua. Pastikan tidak ada komponen yang tertinggal atau mur dan baut yang longgar yang dapat menghambat kinerja sistem *tail* pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 3.14 Pemasangan sistem *tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu tipe *horizontal*

### 3.4 Pengujian Alat

Pengujian sistem *tail* ini dilakukan bertujuan untuk melihat dan mengetahui sistem *tail* dapat bekerja dengan maksimal serta melihat apakah pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal dapat berputar dan bekerja secara maksimal.

### 3.5 Penyempurnaan Alat

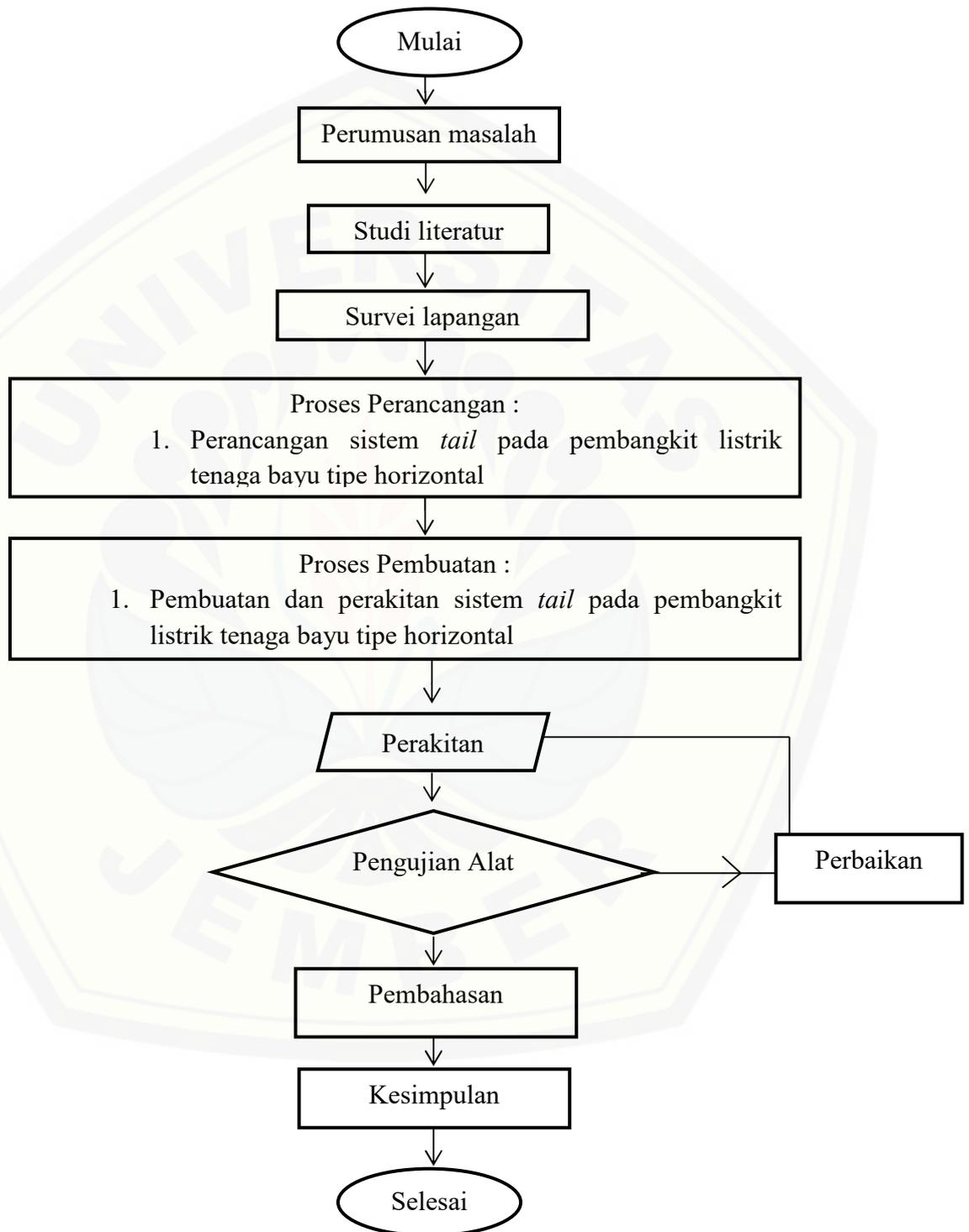
Penyempurnaan alat dilakukan apabila pada tahap pengujian terdapat masalah atau kekurangan, sehingga dengan adanya penyempurnaan ini alat dapat berfungsi dengan baik sesuai prosedur, tujuan dan perancangan yang telah direncanakan.

### 3.6 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan proyek akhir ini dilakukan secara bertahap dari awal survei lapangan, desain, perancangan dan pembuatan sistem tail pada pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal.

### 3.7 Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir dalam proses pembuatan sistem *Tail* pada kincir angin tenaga bayu tipe *horizontal*



Gambar 3.15 Diagram Alir

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan sistem *tail* pada pembangkit listrik tenaga bayu dengan menggunakan tipe horizontal, maka dapat disimpulkan :

- a. Sistem *tail* dengan panjang 160 cm, berbahan *stainless* dan lembar *pvc* dengan menggunakan mekanisme *furling*, mampu bekerja dengan baik pada kecepatan minimum 2,2 m/s dan dapat menghindari kecepatan angin berlebih yaitu 8,6 m/s.
- b. Pembangkit listrik tenaga bayu tipe horizontal ini mampu menghasilkan daya listrik sekitar 300 watt.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk laporan tugas akhir ini :

- a. Sebelum melakukan proses pembuatan pemilihan bahan sangat penting dan ukuran bahan material harus diperhitungkan
- b. Pembuatan bentuk/model dari *vane* diharapkan dapat lebih bagus atau dapat memiliki nilai estetika yang baik
- c. Mekanisme putar pada sistem *tail* perlu dilakukan pengecekan dan perawatan minimal 1 minggu sekali, supaya fungsi dari sistem *tail* dapat maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi, P. 2014. Diklat kuliah teknik kendali. Teknik Kendali (*control engineering*).
- Atmadi, S. 2017. Rancang sistem orientasi ekor turbin angin 50 KW. Jurnal Peneliti Pusat Teknologi Terapan, LAPAN. : 113 – 117.
- Bintoro, G.A. 1999. Dasar-Dasar Pekerjaan Las. Jilid 1. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Culp, Archie W. 1991. Prinsip-Prinsip Konversi Energi. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: *Principles of Energy Conversion*. : 44
- Daryanto. 2007, Kajian Potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga bayu” Balai PPTAGG-UPT-LAAG, Yogyakarta.
- Dewi, M. 2010. Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin, (Online), (<http://eprints.uns.ac.id/8109/1/144401308201009461.pdf>, diakses 1 November 2016).
- Freris, L. 1990 *wind energy conversion system*, Prentice
- Indra, A. 2012. Desain vertical axis wind turbin tipe savonius optimasi kecepatan angin rendah.
- Muhlis. 2015. Jenis-jenis turbin angin. diakses 29 Januari 2018. <http://www.satuenergi.com>.
- Nanang R. 2013. Study Eksperimental Berbagai Macam Jenis Sudu Turbin Angin Sumbu Horisontal Skala Laboratorium :1 - 11

Nuryan. 2016. Turbin angin. diakses 29 Januari 2018. <http://www.getsttpln.com>

Piggott., H 1995 .Windpower. diakses 30 Januari 2018.

Purwanto, Adi, 2014, Diktat kuliah Teknik Kendali, *Teknik Kendali ( Control Engineering )*.

Suandi, A., 2017. Perancangan Mekanisme *Furling Control* untuk Kincir Angin Skala Mikro.

Wiryo Sumarto, H. 2004. Teknologi Pengelasan Logam. Cet. 9. Penerbit Pradnya Paramita. Jakarta.

Zadid. M. 2012. Desain Dan Implementasi Test Bench Turbin Angin Untuk Mengetahui Karakteristik Turbin Angin. *Jurnal Teknik Pomits*.

LAMPIRAN



