

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL AXIS SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK KAPASITAS RENDAH KONFIGURASI LIMA BLADE

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

YUDO BHASKARA
1507230284P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yudo Bhaskara
NPM : 1507230284P
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Sebagai
Pembangkit Listrik Kapasitas Rendah Konfigurasi Lima
Blade
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

H. Muharnif, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II

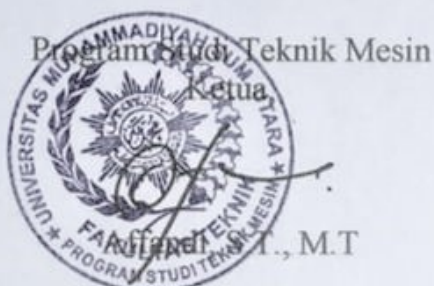
Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III

Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV

Chandra A. Siregar, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Yudo Bhaskara
Tempat /Tanggal Lahir : Palembang/27 April 1989
NPM : 1507230284P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Sebagai Pembangkit Listrik Kapasitas Rendah Konfigurasi Lima Blade”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2021



Saya yang menyatakan,

Yudo Bhaskara

ABSTRAK

Produksi listrik di Indonesia saat ini masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil (DEN, 2019). Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui sehingga jumlahnya akan habis dan dapat menimbulkan risiko krisis energi listrik dimasa yang akan datang. Untuk itu diperlukan sumber energi alternatif terbarukan yang salah satunya adalah energi angin, yang dapat digunakan untuk memutar turbin pembangkit listrik. Turbin angin memiliki dua tipe yaitu vertical axis dan horizontal axis. Vertical axis memiliki keunggulan yaitu dapat memanfaatkan tenaga angin dari segala arah serta tidak menggunakan struktur menara, namun memiliki kelemahan yaitu hanya sedikit energi angin yang dapat dimanfaatkan. Sedangkan horizontal axis dapat menggunakan struktur menara sehingga energi angin yang dapat dimanfaatkan lebih banyak dan sangat baik untuk digunakan sebagai turbin angin pembangkit listrik. Adapun metode yang digunakan yaitu dengan mengukur potensi energi angin pada area atap gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan melakukan perhitungan desain serta uji simulasi dengan menggunakan software perancangan. Hasil dari pengukuran menunjukkan potensi kecepatan angin rata-rata sebesar 4,9m/s dengan perhitungan desain yaitu daya turbin 166,75 watt, diameter poros 0,9 meter, Tip Speed Ratio 2,512, putaran rotor 251, 3 rpm, rotor solidity 0,26, momen puntir poros turbin angin 775,94 Kg.mm dan diameter poros 13 mm. Berdasarkan simulasi aliran fluida dan distribusi tekanan angin menunjukkan bahwa blade turbin mampu berputar akibat adanya gaya dorong (Drag force) dan gaya angkat (Lift force).

Kata kunci: Energi Angin, Blade, Turbin Angin, Desain, Tip Speed Ratio

ABSTRACT

Electricity production in Indonesia is currently still dominated by fossil fuel power plants (DEN, 2019). Fossil fuels are a non-renewable energy source, so their numbers will run out and can pose a risk of an electrical energy crisis in the future. For this reason, alternative renewable energy sources are needed, one of which is wind energy, which can be used to rotate power generation turbines. There are two types of wind turbines, namely the vertical axis and the horizontal axis. The vertical axis has the advantage that it can utilize wind power from all directions and does not use a tower structure, but it has the disadvantage that only a small amount of wind energy can be utilized. Meanwhile, the horizontal axis can use a tower structure so that more wind energy can be utilized and is very good for being used as a wind turbine for power generation. The method used is to measure the potential of wind energy in the roof area of the building at the Faculty of Engineering, Muhammadiyah University of North Sumatra and perform design calculations and simulation tests using design software. The results of the measurement show the potential average wind speed of 4.9m / s with design calculations, namely 166.75 watt turbine power, 0.9 meter shaft diameter, 2.512 Tip Speed Ratio, 251 rotation, 3 rpm, rotor solidity 0,26, torsional moment is 775.94 Kg.mm and the shaft diameter is 13 mm. Based on the simulation of fluid flow and wind pressure distribution, it shows that the turbine blade is capable of rotating due to the drag force and lift force.

Keywords: Wind Energy, Blade, Wind Turbine, Design, Tip Speed Ratio

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Sebagai Pembangkit Listrik Kapasitas Rendah Konfigurasi Lima Blade” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.


Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar A. Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak A. Marabdi Siregar S.T., M.T., selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
7. Keluarga penulis Riyani (Istri) dan Alya Kalila Bhaskara (Anak) yang telah memberikan doa dan dukungan penuh kepada penulis.

8. Orang tua penulis: Irlandi (Alm) & Nurzullah dan Lukman Panji (Alm) & Nuraini yang telah memberikan doa dan dukungan penuh kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Teknik Mesin.

Medan, April 2021



Yudo Bhaskara

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Energi Angin	4
2.2. Turbin Angin	5
2.2.1. Kapasitas Turbin Angin	10
2.2.2. Prinsip Kerja Turbin Angin	11
2.3. Perancangan <i>Blade</i> Turbin Angin	14
2.4. Pemilihan Bahan	20
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1 Tempat dan Waktu Perancangan	24
3.2 Bahan dan Alat	24
3.3 Bagan Alir	27
3.4 Prosedur Perancangan <i>Blade</i> Turbin Angin	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Perhitungan Turbin Angin	32
4.1.1 Daya turbin dan luas area <i>rotor</i>	33
4.1.2 Penentuan diameter <i>rotor</i>	33
4.1.3 <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	33
4.1.4 <i>Rotor Solidity</i>	33
4.1.5 Diameter Poros	34
4.1.6 Perhitungan Bantalan Poros	35
4.2 Desain <i>Blade</i> Turbin Angin	36
4.3 Simulasi <i>Blade</i> Turbin Angin	40
4.3.1 Simulasi Pembebanan <i>Blade</i> Turbin Angin	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44

5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	44

DAFTAR PUSTAKA	45
-----------------------	-----------

LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Perancangan Turbin Angin	24
Tabel 3.2 Spesifikasi Komputer	26
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Software</i> Perancangan	27
Tabel 3.4 Data Kecepatan dan Temperatur Angin	29
Tabel 4.1 Sifat <i>Properties</i> Udara	32
Tabel 4.2 Sifat-Sifat Bahan Bantalan Luncur	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin Angin <i>Darrieus</i>	6
Gambar 2.2	Turbin Angin <i>Savonius</i>	7
Gambar 2.3	Ilustrasi Perbedaan <i>Drag Coefficient</i> Antara	7
Gambar 2.4	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>	8
Gambar 2.5	Gaya Aerodinamik Rotor Turbin Angin	8
Gambar 2.6	Jenis Turbin Angin Horizontal	9
Gambar 2.7	Efisiensi Kerja Turbin Angin	9
Gambar 2.8	Perkembangan Kapasitas Turbin Angin	10
Gambar 2.9	Konfigurasi Turbin Angin Horizontal Axis	11
Gambar 2.10	<i>Tip Speed Ratio</i>	16
Gambar 2.11	Kurva Grafik Hubungan TSR & Cp	16
Gambar 2.12	Kurva Aliran	19
Gambar 2.13	Penentuan Sudut Inklinasi	20
Gambar 2.14	<i>Fiberglass Performs</i>	22
Gambar 3.1	Bahan Komposisi <i>Blade</i> Turbin Angin	25
Gambar 3.2	Pipa Besi	25
Gambar 3.3	Anemometer	26
Gambar 3.4	<i>Software</i> Perancangan	27
Gambar 3.5	Diagram Alir	28
Gambar 3.6	Posisi Pemasangan Turbin	28
Gambar 3.7	Pengambilan Data Kecepatan Angin	29
Gambar 3.8	Penggunaan <i>Software</i> Desain	31
Gambar 3.9	Proses Simulasi	31
Gambar 4.1	Tampilan Awal Lembar Kerja Gambar	36
Gambar 4.2	Perancangan Sketsa <i>Blade</i> Turbin Angin	36
Gambar 4.3	Pembuatan Sumbu <i>Blade</i>	37
Gambar 4.4	Sketsa Ujung <i>Blade</i>	37
Gambar 4.5	Perancangan <i>Solid Part Blade</i>	38
Gambar 4.6	Perancangan <i>Blade Holder</i>	38
Gambar 4.7	Perancangan <i>Solid Part Blade Holder</i>	38
Gambar 4.8	Sketsa Baut <i>Blade Holder</i>	39
Gambar 4.9	Sketsa Lubang Baut <i>Blade Holder</i>	39
Gambar 4.10	Desain <i>Blade</i> Turbin Angin	39
Gambar 4.11	Analisa Aliran Fluida Pada <i>Blade</i>	40
Gambar 4.12	Turbulensi pada <i>Blade</i>	41
Gambar 4.13	Distribusi Tekanan pada <i>Blade Airfoil</i>	41
Gambar 4.14	Dist. Tekanan pada <i>Blade Airfoil</i> dengan <i>Holder</i>	42
Gambar 4.15	Distribusi Aliran Tekanan pada <i>Blade</i>	42
Gambar 4.16	Dist. Aliran Tekanan pada <i>Blade</i> dengan <i>Holder</i>	43
Gambar 4.17	Simulasi Uji Pembebanan pada <i>Blade</i>	43

DAFTAR NOTASI

E_k	= Energi kinetik (j)
m	= Massa Udara (kg)
v	= Kecepatan Angin (m/s)
ρ	= Densitas udara (kg/m ³)
A	= luas penampang turbin (m ²)
C_p	= Konstanta turbin angin (0,592)
n	= Putaran (Rpm)
P	= Daya (Watt)
η	= Efisiensi (%)
D	= Diameter <i>rotor</i> (m)
τ	= Torsi (N.m)
R	= Jari-jari <i>rotor</i> (m)
kg	= Kilogram (Kg)
f_c	= Faktor koreksi
T	= Momen puntir (kg.mm)
F	= Gaya (N)
σ_a	= Kekuatan tarik bahan (kg/mm ²)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Energi Angin	4
2.2. Turbin Angin	5
2.2.1. Kapasitas Turbin Angin	10
2.2.2. Prinsip Kerja Turbin Angin	11
2.3. Perancangan <i>Blade</i> Turbin Angin	14
2.4. Pemilihan Bahan	20
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1 Tempat dan Waktu Perancangan	24
3.2 Bahan dan Alat	24
3.3 Bagan Alir	27
3.4 Prosedur Perancangan <i>Blade</i> Turbin Angin	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Perhitungan Turbin Angin	32
4.1.1 Daya turbin dan luas area <i>rotor</i>	33
4.1.2 Penentuan diameter <i>rotor</i>	33
4.1.3 <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	33
4.1.4 <i>Rotor Solidity</i>	33
4.1.5 Diameter Poros	34
4.1.6 Perhitungan Bantalan Poros	35
4.2 Desain <i>Blade</i> Turbin Angin	36
4.3 Simulasi <i>Blade</i> Turbin Angin	40
4.3.1 Simulasi Pembebanan <i>Blade</i> Turbin Angin	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44

5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	44

DAFTAR PUSTAKA	45
-----------------------	-----------

LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Perancangan Turbin Angin	24
Tabel 3.2 Spesifikasi Komputer	26
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Software</i> Perancangan	27
Tabel 3.4 Data Kecepatan dan Temperatur Angin	29
Tabel 4.1 Sifat <i>Properties</i> Udara	32
Tabel 4.2 Sifat-Sifat Bahan Bantalan Luncur	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin Angin <i>Darrieus</i>	6
Gambar 2.2	Turbin Angin <i>Savonius</i>	7
Gambar 2.3	Ilustrasi Perbedaan <i>Drag Coefficient</i> Antara	7
Gambar 2.4	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>	8
Gambar 2.5	Gaya Aerodinamik Rotor Turbin Angin	8
Gambar 2.6	Jenis Turbin Angin Horizontal	9
Gambar 2.7	Efisiensi Kerja Turbin Angin	9
Gambar 2.8	Perkembangan Kapasitas Turbin Angin	10
Gambar 2.9	Konfigurasi Turbin Angin Horizontal Axis	11
Gambar 2.10	<i>Tip Speed Ratio</i>	16
Gambar 2.11	Kurva Grafik Hubungan TSR & Cp	16
Gambar 2.12	Kurva Aliran	19
Gambar 2.13	Penentuan Sudut Inklinasi	20
Gambar 2.14	<i>Fiberglass Performs</i>	22
Gambar 3.1	Bahan Komposisi <i>Blade</i> Turbin Angin	25
Gambar 3.2	Pipa Besi	25
Gambar 3.3	Anemometer	26
Gambar 3.4	<i>Software</i> Perancangan	27
Gambar 3.5	Diagram Alir	28
Gambar 3.6	Posisi Pemasangan Turbin	28
Gambar 3.7	Pengambilan Data Kecepatan Angin	29
Gambar 3.8	Penggunaan <i>Software</i> Desain	31
Gambar 3.9	Proses Simulasi	31
Gambar 4.1	Tampilan Awal Lembar Kerja Gambar	36
Gambar 4.2	Perancangan Sketsa <i>Blade</i> Turbin Angin	36
Gambar 4.3	Pembuatan Sumbu <i>Blade</i>	37
Gambar 4.4	Sketsa Ujung <i>Blade</i>	37
Gambar 4.5	Perancangan <i>Solid Part Blade</i>	38
Gambar 4.6	Perancangan <i>Blade Holder</i>	38
Gambar 4.7	Perancangan <i>Solid Part Blade Holder</i>	38
Gambar 4.8	Sketsa Baut <i>Blade Holder</i>	39
Gambar 4.9	Sketsa Lubang Baut <i>Blade Holder</i>	39
Gambar 4.10	Desain <i>Blade</i> Turbin Angin	39
Gambar 4.11	Analisa Aliran Fluida Pada <i>Blade</i>	40
Gambar 4.12	Turbulensi pada <i>Blade</i>	41
Gambar 4.13	Distribusi Tekanan pada <i>Blade Airfoil</i>	41
Gambar 4.14	Dist. Tekanan pada <i>Blade Airfoil</i> dengan <i>Holder</i>	42
Gambar 4.15	Distribusi Aliran Tekanan pada <i>Blade</i>	42
Gambar 4.16	Dist. Aliran Tekanan pada <i>Blade</i> dengan <i>Holder</i>	43
Gambar 4.17	Simulasi Uji Pembebanan pada <i>Blade</i>	43

DAFTAR NOTASI

E_k	= Energi kinetik (j)
m	= Massa Udara (kg)
v	= Kecepatan Angin (m/s)
ρ	= Densitas udara (kg/m ³)
A	= luas penampang turbin (m ²)
C_p	= Konstanta turbin angin (0,592)
n	= Putaran (Rpm)
P	= Daya (Watt)
η	= Efisiensi (%)
D	= Diameter <i>rotor</i> (m)
τ	= Torsi (N.m)
R	= Jari-jari <i>rotor</i> (m)
kg	= Kilogram (Kg)
f_c	= Faktor koreksi
T	= Momen puntir (kg.mm)
F	= Gaya (N)
σ_a	= Kekuatan tarik bahan (kg/mm ²)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi listrik saat ini masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batubara (DEN, 2019). Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui sehingga pada masa yang akan datang jumlahnya akan mengalami penurunan. Adanya risiko krisis sumber energi bahan bakar ini menjadikan kegiatan terkait dengan pengembangan Energi Baru Terbarukan Konversi Energi (EBTKE) menjadi sesuatu yang mendesak untuk segera dilakukan.

Perkembangan EBTKE di Indonesia masih tergolong lambat walaupun sebagian peranannya dalam bauran energi nasional sudah lama dimanfaatkan. Potensi energi baru terbarukan di Indonesia cukup besar, namun pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal. Dirjen EBTKE berupaya meningkatkan pemakaian EBT hingga 25% pada tahun 2025 (EBTKE, 2012).

Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan adalah energi angin, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan generator untuk dapat menghasilkan listrik. Terdapat dua jenis turbin angin yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Adapun keunggulan dari jenis turbin angin *vertical axis* yaitu dapat memanfaatkan tenaga angin dari segala arah, dan jenis turbin ini juga tidak menggunakan struktur menara besar sehingga konstruksinya lebih sederhana. Kelemahan turbin jenis *vertical axis* yaitu jarak konstruksinya yang dekat dengan tanah sehingga hanya sedikit energi angin yang dapat dimanfaatkan. Ditambah lagi dengan aliran udara yang dekat dengan tanah, mampu menciptakan aliran yang bergejolak sehingga kurang cocok untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, yang membutuhkan energi angin serta putaran turbin yang tinggi. Untuk jenis turbin angin *Horizontal Axis* memiliki keunggulan yaitu dapat menggunakan struktur menara yang tinggi sehingga mempermudah akses energi angin yang lebih baik untuk memutar turbin generator dalam usaha menghasilkan daya listrik.

Kecepatan angin yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan listrik berkisar antara 1.6m/s – 17.1m/s untuk jarak 10 meter dari permukaan tanah (Nugrohoadi,

2008). Potensi kecepatan angin rata-rata pada area atap gedung (*roof top*) Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) adalah sebesar 4,9m/s. Sebagai contoh untuk dapat menghasilkan daya listrik sebesar 2 MW sebuah pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan rotor turbin sepanjang 116 meter dengan panjang *blade* 56,9 meter pada kecepatan angin rata-rata 8m/s (GE, 2018). Dalam hal memproduksi listrik berkapasitas besar tentunya akan membutuhkan lahan yang luas dan tidak dapat dilakukan pada area atap gedung fakultas teknik yang memiliki area terbatas ($\pm 100\text{m}^2$). Berdasarkan keterbatasan lokasi dan potensi kecepatan angin pada atap gedung Fakultas Teknik UMSU, maka estimasi daya yang dihasilkan berkisar kurang dari 100kW yang secara umum, berdasarkan contoh klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air bahwa pembangkit listrik berkapasitas rendah adalah pembangkit listrik dengan *output* daya kurang dari 100kW (Firman, 2014).

Generator turbin angin tipe *horizontal axis* kapasitas rendah yang tersedia di pasaran saat ini adalah dengan konfigurasi tiga dan lima *blade*, sehingga sebagai upaya dalam memaksimalkan penyerapan tenaga angin maka dipilihlah turbin angin dengan konfigurasi lima *blade*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka masalah yang dapat dirumuskan adalah bagaimana merancang *blade* turbin angin tipe *horizontal axis* konfigurasi lima *blade* sebagai pembangkit listrik berkapasitas rendah pada atap gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

1.3. Ruang Lingkup

Dari permasalahan yang telah dikemukakan sebelumnya, maka untuk batasan masalah pada perancangan ini akan difokuskan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Perancangan difokuskan pada *blade* turbin angin tipe *horizontal axis* berkonfigurasi lima *blade*.
2. Rencana daya listrik yang akan dihasilkan generator yang diputar oleh *blade* turbin angin yang dirancang adalah sebesar 100watt.
3. Tempat uji coba pada area atap gedung Fakultas Teknik Kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Ketinggian tempat uji coba sesuai dengan ketinggian gedung fakultas teknik UMSU yaitu ± 30 meter.
5. Diameter *blade* yang akan dirancang sebesar ± 1 meter.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang daya poros turbin angin, luas area rotor *blade* turbin, diameter poros turbin, nilai *tip speed ratio*, putaran *rotor* turbin, nilai *rotor solidity* dan momen puntir poros turbin.
2. Untuk mendapatkan gambar dan analisa simulasi *blade* turbin angin tipe *horizontal axis* konfigurasi lima *blade*.

1.5. Manfaat

Perancangan turbin angin ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain sebagai berikut:

1. Untuk memberikan informasi potensi energi angin di area atap gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Mendukung kegiatan dalam pengembangan energi alternatif.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan udara. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, sedangkan temperatur yang rendah akan memiliki tekanan yang tinggi.

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkitan listrik, pengeringan atau pencacah hasil panen, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut.

Pemanfaatan energi angin selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, diharapkan juga dapat meningkatkan produktifitas masyarakat pertanian. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana saja, daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan guna mengidentifikasi daerah-daerah berpotensi. Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

$$Ek = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \tag{2.1}$$

Dimana:

Ek = energi kinetik (*joule*)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Massa udara (m) yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan (ρ) yaitu:

$$m = \rho \cdot Q = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.2)$$

Dimana:

M = massa Udara (kg)

Q = volume udara (debit)

ρ = densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = luas penampang turbin (m^2)

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$Pa = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot v^3) Cp \quad (2.3)$$

Dimana:

Pa = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

Cp = konstanta turbin angin (0,592)

2.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan turbin yang berputar dengan tenaga yang diperoleh dari energi angin. Pergerakan turbin angin ini dapat dimanfaatkan sebagai penggerak mekanik atau penggerak generator untuk menghasilkan listrik. Turbin angin terdiri dari beberapa macam tipe antara lain:

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

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Turbin angin vertikal mempunyai keunggulan antara lain:

1. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
2. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
3. Konstruksi turbin sederhana.

4. Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin Angin *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin *Darrieus* merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin.

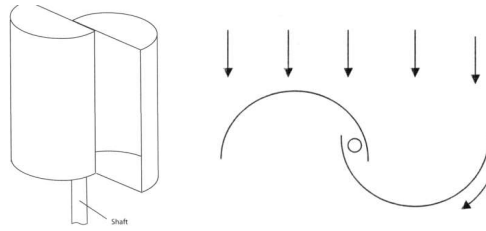
Rotor turbin angin *Darrieus* pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin *Darrieus* disebut dengan turbin angin H.



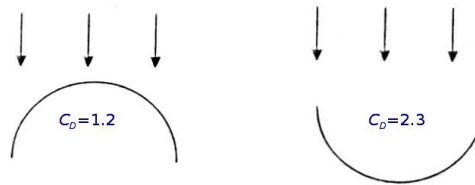
Gambar 2.1. Turbin Angin Darrieus (Thomas, 2015)

2. Turbin Angin *Savonius*

Rotor Savonius dikembangkan pertama kali oleh J. Savonius pada tahun 1920an. Konsep awal *Savonius* sendiri pertama kali dikembangkan oleh Flettner. *Savonius* banyak digunakan sebagai sebuah *rotor*, dimana bentuknya dibuat dari sebuah silinder yang dipotong pada sumbu bidang sentral menjadi dua bagian dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S.



Gambar 2.2 Turbin Angin *Savonius* (Thomas, 2015)



Gambar 2.3 Ilustrasi Perbedaan *Drag Coefficient* (Thomas, 2015)

Seperti tampak gambar, Geometri dari *rotor Savonius* memungkinkan aliran fluida mengalir tegak lurus terhadap bidang sudu bagian cembung dan bagian cekung. Dimana koefisien *drag* untuk aliran tegak lurus dengan bidang cembung sebesar 1.2, sementara koefisien *drag* untuk sisi cekung hampir sebesar dua kalinya yaitu 2.1. Karena gaya *drag* yang dihasilkan pada bagian cekung lebih besar, hal ini akan mempengaruhi torsi putaran *Savonius*. *Rotor* yang bekerja dibawah pengaruh gaya *drag* umumnya mempunyai torsi awal yang besar tetapi memiliki efisiensi yang lebih kecil bila dibandingkan dengan *rotor* yang bekerja dengan gaya *lift*.

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

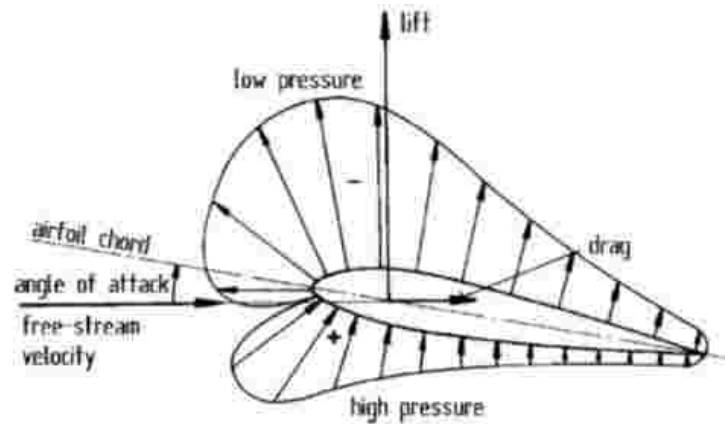
Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling – baling angin sederhana sedangkan turbin

angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin.



Gambar 2.4 *Horizontal Axis Wind Turbine* (Thomas, 2015)

Berdasarkan prinsip aerodinamis, ketika fluida melewati *blade* turbin pada sudut serang (*angle of attack*) sesuai dengan bentuk *airfoil blade* maka akan timbul gaya angkat (*lift*) dan gaya dorong (*drag*). Jika kecepatan fluida di bagian bawah *airfoil* lebih rendah dari bagian atas *airfoil*, maka tekanan pada bawah *airfoil* akan naik dan menimbulkan gaya angkat (*lift force*) sehingga rotor turbin angin dapat berputar.

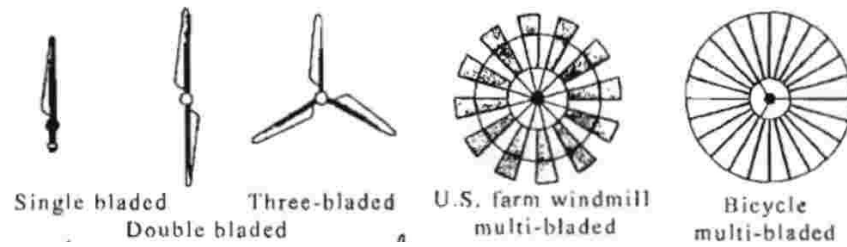


Gambar 2.5 Gaya Aerodinamik *Rotor Turbin Angin* (Anonim, 2017)

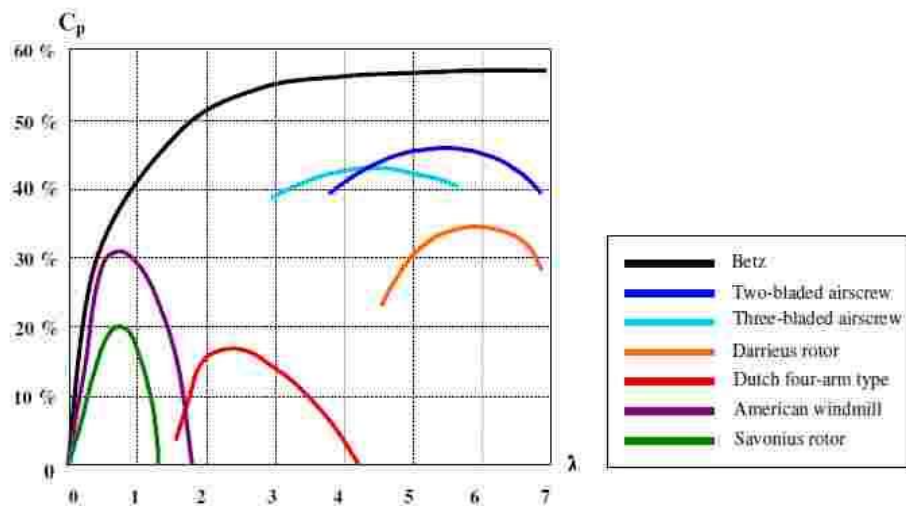
Dilihat dari jumlah *blade*, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*)
2. Turbin angin dua sudu (*double blade*)

3. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
4. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Gambar 2.6 Jenis Turbin Angin Horizontal (Anonim, 2017)



Gambar 2.7 Efisiensi Kerja Turbin Angin (Anonim, 2017)

Pada Gambar 2.7 menunjukkan kurva hubungan antara rasio perbandingan *power* turbin dengan *power* angin (C_p), sebagai fungsi dari *speed ratio* λ atau perbandingan kecepatan turbin angin dengan kecepatan angin. Kurva tersebut menunjukkan bahwa turbin angin sumbu horizontal (*two-or three-bladed airscrew*) memiliki efisiensi terbaik dibandingkan dengan turbin angin lainnya, di lain sisi turbin *savonius* sumbu vertikal memiliki efisiensi yang lebih rendah, yaitu pada nilai λ 1.0 dihasilkan C_p 0.2.

Adapun keuntungan dan kerugian dari turbin angin *horizontal axis* antara lain sebagai berikut:

Keuntungan

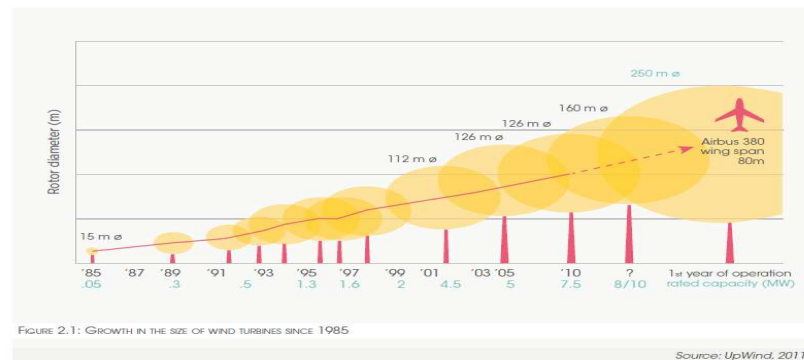
1. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%, serta dapat dibangun pada area lepas pantai sehingga tidak memerlukan pembebasan lahan.

Kerugian

1. Menara yang tinggi serta *blade* yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut, HAWT yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang terampil, konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga *blade* yang berat, *gearbox*, dan *generator*, HAWT yang tinggi bisa memengaruhi *radar airport*, ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap, berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi, HAWT membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

2.2.1. Kapasitas Turbin Angin

Dari masa ke masa kapasitas turbin angin semakin diperbesar dan menghasilkan daya yang lebih besar. Dari yang berkapasitas 100Watt hingga yang terbesar saat ini yaitu 12 Megawatt. Berikut merupakan gambar perkembangan turbin angin:



Gambar 2.8 Perkembangan Kapasitas Turbin Angin (UpWind, 2011)

Secara umum turbin angin berkapasitas rendah adalah turbin angin dengan output daya kurang dari 100kW dan lebih banyak dimanfaatkan pada pemakaian rumah tangga.

2.2.2. Prinsip Kerja Turbin Angin

2.2.2.1. Konfigurasi Turbin Angin

Turbin angin *horizontal axis* lebih banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit karena memiliki efisiensi yang lebih baik dari tipe turbin angin lainnya. Secara umum pembangkit listrik dengan turbin angin *horizontal axis* memiliki konfigurasi seperti sebagai berikut:



Gambar 2.9. Konfigurasi Turbin Angin *Horizontal Axis* (Abdul dkk, 2016)

1. *Blade* (Baling-baling/sudu)

Rotor turbin angin terdiri atas baling-baling berfungsi untuk menerima energi kinetik dari angin dan merubanya menjadi energi mekanik putar pada poros penggerak. Pada setiap turbin memiliki jumlah sudu yang bermacam-macam. Ada yang berjumlah satu, dua, tiga atau bahkan lebih dari itu.

2. *Rotor Hub*

Merupakan bagian dari rotor yang berfungsi untuk menghubungkan sudu atau baling-baling dengan poros utama.

3. *Pitch* (Kontrol *Pitch* Sudu)

Bagian yang dapat dikatakan sebagai pengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin baik angin yang terlalu tinggi ataupun rendah. Lebih tepatnya mengatur posisi sudut serang pada sudu turbin angin ketika angin bertiup pada turbin tersebut.

4. *Brake*

Fungsi utama *brake* adalah menjaga putaran poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena sebuah generator memiliki titik kerja aman dalam operasinya. Generator juga akan menghasilkan energy listrik maksimal pada saat bekerja di titik kerja yang telah ditentukan. Namun, jika angin berhembus kencang dan diluar dugaan, maka hal tersebut akan membuat poros berputar kencang. Apabila hal tersebut tidak diatasi maka akan merusak generator. Dampak dari kerusakan tersebut adalah, *overheat*, *rotor breakdown*, kawat pada generator putus (Romadoni, 2013).

5. *Low speed shaft*

Merupakan poros rotor yang berfungsi memindahkan daya dari *rotor* ke generator. Pemindahan daya dapat secara langsung ataupun melalui mekanisme transmisi *gearbox*. Selain itu juga berfungsi mengubah poros *rotor* kecepatan rendah sekitar 30-60 rpm.

6. *Gear Box*

Gear menghubungkan antara poros berkecepatan tinggi dengan poros berkecepatan rendah. Hal ini dikarenakan *rotor* hanya

mampu bergerak dengan kecepatan rendah sedangkan generator membutuhkan kecepatan yang tinggi untuk menghasilkan listrik. Seperti yang diketahui sebelumnya *rotor* berkecepatan rendah hanya berputar sekita 30-60 rpm, sedangkan kebutuhan putaran pada generator adalah 1000-1800 rpm.

7. Generator

Komponen utama dan terpenting dalam turbin angin. Hal ini dikarenakan fungsinya sebagai pengubah energi mekanik hasil putaran poros menjadi energi listrik. Alat ini bekerja pada induksi elektromagnetik untuk menghasilkan tegangan listrik atau arus listrik. Generator yang sederhana biasa terdiri atas konduktor dan magnet. Konduktor tersebut biasanya terlilit kawat melingkar. Dalam poros generator terhubung pada sekumpulan magnet permanen yang dikelilingi oleh magnet dan salah satu bagiannya berputar relatif terhadap yang lain dan menginduksi konduktor.

8. *Controller*

Alat pengontrol seluruh kinerja turbin. Alat ini mengontrol turbin dimulai dari angin dengan kecepatan 8-16 mph dan menutup mesin pada kecepatan angin sekitar 55 mph. alasan penutupan mesin tersebut karena dengan kecepatan yang melebihi 55 mph dapat merusak turbin angin.

9. *Anemometer*

Bagian yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan angin, sebagai inputan kepada *control system* untuk mengendalikan operasional pada kondisi optimum.

10. *Wind Vane (Wind Direction Sensor)*

Merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan arah angin. Biasanya juga terhubung dengan *yaw drive* untuk

menggerakkan turbin sesuai dengan kondisi arah angin yang telah terdeteksi.

11. *Nacelle*

Bagian yang berbentuk kotak besar yang duduk di menara turbin angin. Berfungsi sebagai rumah tempat seluruh komponen turbin angin seperti generator, *gear box*, *controller*, kabel, *yaw drive*, poros, dll.

12. *High speed shaft*

Poros rotor putaran tinggi yang berfungsi untuk memindahkan daya dari *gear box* ke generator.

13. *Yaw drive*

Rotor sistem putar berfungsi untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada di atas menara menghadap optimal terhadap arah angin mengikuti perubahan arah angin.

14. *Yaw motor*

Fungsi utamanya hanya sebagai penggerak *yaw drive*.

15. *Tower*

Menara berfungsi sebagai tiang penyangga yang fungsinya untuk menopang *rotor*, *nacelle*, dan semua komponen turbin angin. Menara dapat bertipekan latis atau pipa turbular, baik yang dibantu penopang tali pancang atau yang berdiri sendiri.

2.3 Perancangan *Blade* Turbin Angin

a. Penentuan daya turbin dan luas area *rotor* (*Swept Area*)

Dalam penentuan luas permukaan (*swept area*) turbin angin dilakukan perhitungan daya poros turbin dengan menggunakan asumsi efisiensi generator yang direncanakan dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{turbin} = P_{output} \times (100\% + (100\% - \eta_{Rencana})) \quad (2.4)$$

Dimana:

P_{turbin} = daya rotor turbin (Watt),

$P_{out generator}$ = daya generator (Watt),

$\eta_{Rencana}$ = efisiensi rencana penggunaan generator (%)

Berdasarkan teori *Betz* yang menyatakan bahwa tidak semua energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya pemutar turbin angin dan maksimal efisiensi yang diperoleh maksimal 60% (*Betz limit*) maka untuk perhitungan daya mekanik total yang terkonversi menjadi daya listrik berdasarkan *output* generator rencana menjadi:

$$P_{turbin} = P_{output} \times (100\% + (100\% - \eta_{Rencana})) \quad (2.5)$$

Dimana:

P_{turbin} = daya rotor turbin (Watt),

$P_{out generator}$ = daya generator (Watt),

$\eta_{Rencana}$ = efisiensi rencana turbin angin (%)

Dengan menggunakan tabel *properties* udara (terlampir) dan data kecepatan angin yang diperoleh selanjutnya memperhitungkan luas area rotor turbin angin dengan persamaan:

$$P = 0,5 \rho A v^3 \quad (2.6)$$

Dimana:

P = daya rotor turbin (Watt),

ρ = massa jenis udara (Kg/m³),

v = kecepatan angin (m/s)

A = luas area rotor (m²)

b. Penentuan diameter rotor

Berdasarkan luas area rotor, maka diameter rotor dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

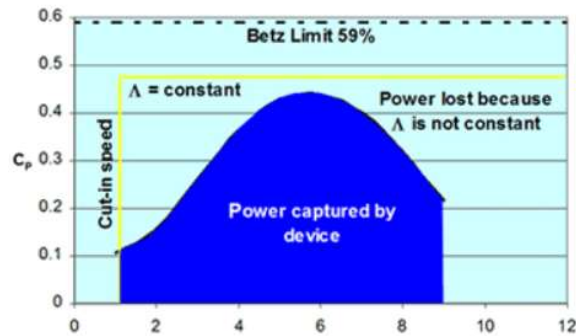
$$D = \frac{\sqrt{A}}{\left(\frac{\pi}{4}\right)} \quad (2.7)$$

Dimana:

D = Diameter rotor (m)

c. Penentuan *Tip Speed Ratio (TSR)*.

Perbandingan putaran geometri *blade* turbin dengan kecepatan angin disebut sebagai nilai *tip speed ratio* (λ) desain. Beberapa aspek seperti efisiensi, torsi, *mechanical stress* & suara harus diperhatikan dalam menentukan nilai *tip speed* yang tepat. Untuk mendapatkan nilai TSR yang ideal dengan menggunakan grafik TSR.



Gambar 2.10 *Tip Speed Ratio*

Untuk mendapatkan nilai maksimum TSR maka dilakukan perhitungan berdasarkan jumlah *blade* (n) yang akan digunakan:

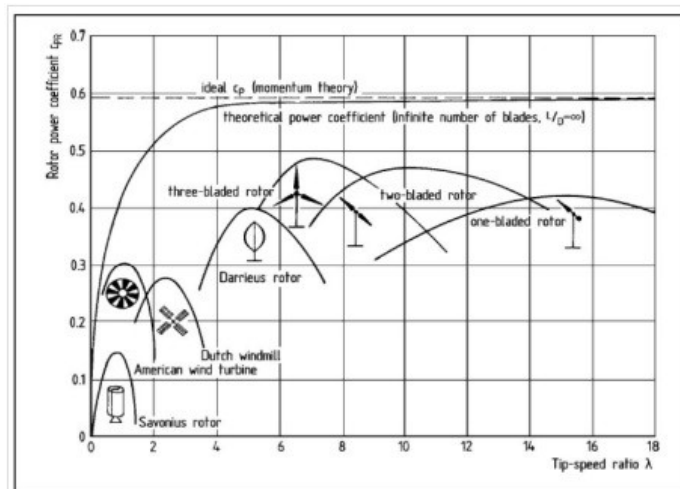
$$TSR = \frac{\pi \cdot A}{n} \quad (2.8)$$

Dimana:

TSR = *Tip Speed Ratio* (λ)

n = Putaran rotor (rad/s)

π = 3,14



Gambar 2.11 Kurva Grafik Hubungan TSR & Cp (Arfie, 2012)

Setelah nilai TSR diperoleh maka selanjutnya nilai putaran dapat dihitung dengan persamaan:

$$n = \frac{60.v.TSR}{\pi.D} \quad (2.9)$$

Dimana:

TSR = *Tip Speed Ratio* (λ)

n = Putaran rotor (rpm)

π = 3,14

v = Kecepatan angin (m/s)

D = diameter poros turbin (m)

d. Penentuan *Rotor Solidity*

Rotor solidity adalah perbandingan luas *blade* turbin dengan luas lintasan *blade* turbin. Nilai dari *rotor solidity* berpengaruh terhadap nilai torsi yang diterima oleh turbin. Jika *solidity* tinggi maka torsi yang dihasilkan juga tinggi, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Dengan asumsi lebar *airfoil* (C), jumlah *blade* n buah dan jari-jari (R) *rotor* (m) maka perhitungan *rotor solidity* yaitu sebagai berikut:

$$solidity = \frac{n.C}{2.\pi.R} \quad (2.10)$$

Dimana:

C = Lebar *airfoil*

n = Putaran rotor (rpm)

R = Jari-jari *rotor* (m)

e. Perhitungan Diameter dan Bantalan Poros

Dalam menentukan diameter poros diperlukan perhitungan kekuatan poros yang digunakan, yaitu:

$$P_d = f_c P \quad (2.11)$$

Dimana:

f_c = Faktor koreksi

P = Daya listrik rencana (kW)

Dengan data tegangan bahan poros pilihan (kg/mm^2) dan *safety factor* maka selanjutnya dilakukan perhitungan momen puntir:

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot Pd/n \quad (2.12)$$

$$\tau_a = \sigma b / (sf1 \cdot sf2) \quad (2.13)$$

Dimana:

τ_a = Tegangan bahan (kg/mm^2)

$sf1 / sf2$ = *Safety factor*

T = Momen puntir ($\text{kg}.\text{mm}$)

Setelah nilai momen puntir didapatkan kemudian dihitung besar diameter poros yang digunakan, sebagai berikut:

$$ds = (5,1 \cdot Kt \cdot Cb \cdot T / \tau_a)^3 \quad (2.14)$$

Dimana:

ds = Diameter poros (m)

Kt = Faktor koreksi tumbukan (1,5)

Cb = Faktor beban lentur (1,2-2,3)

Setelah nilai diameter poros diperoleh selanjutnya dilakukan perhitungan bantalan poros sebagai berikut:

$$\frac{l}{d} \leq \frac{\sqrt{1}}{5,1} + \frac{\sigma a}{Pa} \quad (2.15)$$

$$P = \frac{W}{l \cdot d} \quad (2.16)$$

Dimana:

σa = Tegangan geser bahan (kg/mm^2)

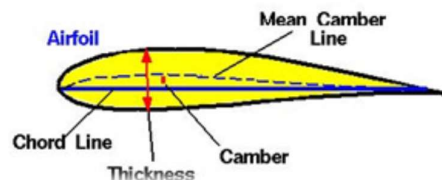
Pa = Kekuatan bahan bantalan (kg/mm^2)

f. Penentuan profil *blade* turbin (*Airfoil*)

Airfoil merupakan salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk memberikan gaya angkat terhadap bodi lainnya dengan bantuan penyelesaian matematis dan sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* sangat berpengaruh terhadap parameter gaya *lift* yakni CL.

Perkembangan *airfoil* ini telah ada sejak zaman perang dunia ke II. Namun, *airfoil* dengan hasil riset yang terkemuka hanya milik NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*). Hal ini dikarenakan pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan serta pengujian pada bilangan Reynold yang lebih tinggi daripada lainnya. Semua pengujian tersebut dirangkum dalam beberapa parameter yakni:

1. Permukaan atas (*upper surface*)
2. Permukaan bawah (*lower surface*)
3. *Mean camber line*, tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap *mean camber line* itu sendiri.
4. *Leading edge*, titik paling depan pada *mean camber line*, berbentuk lingkaran dengan jari-jari mendekati 0,02 c.
5. *Trailing edge*, titik paling belakang *mean camber line*.
6. *Camber*, jarak maks antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
7. *Thickness*, jarak antara permukaan atas dan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord* (repository.usu.ac.id, 2011: 10)

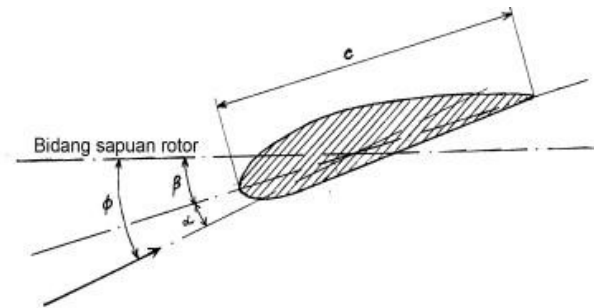


Gambar 2.12 Kurva aliran (Arfie, 2012)

g. Perhitungan *chord blade & blade setting*
 Perhitungan *chord* dan penempatan *blade* (*blade setting*) dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Membagi *blade* turbin menjadi beberapa bagian.
2. Tiap penampang mempunyai jarak r terhadap sumbu *rotor*. *Local speed ratio* (λ_t) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$(\lambda_t) = \frac{r}{R} \lambda \quad (2.17)$$



Gambar 2.13 Penentuan Sudut Inklandasi (Arfie, 2012)

3. Nilai *local speed ratio* di atas dipergunakan dalam persamaan berikut untuk mendapatkan sudut inklandasi (θ) untuk tiap penampang *blade* turbin.

$$\theta = \frac{2}{3} \text{arc tg } \frac{1}{\lambda_t} \quad (2.18)$$

4. Nilai *chord* (c) untuk tiap penampang diperoleh dengan persamaan berikut:

$$c = \frac{8 \cdot \pi \cdot r (1 - \cos \theta)}{B \cdot c_l} \quad (2.19)$$

5. Dimana B adalah jumlah *blade* turbin dan c_l adalah *coefficient lift*.
6. Dengan persamaan berikut, didapatkan *blade setting* dengan sudut $\beta = \theta - \alpha$, dimana α adalah sudut serang.

2.4 Pemilihan Bahan

Banyak material yang digunakan untuk membuat turbin angin. Dua jenis material yang sering digunakan secara umum adalah baja dan komposit. Komposit yang digunakan biasanya terdiri dari *fiberglass* atau kayu yang menggunakan

matriks *polyester* atau *epoxy*. Berikut jenis-jenis bahan yang sering digunakan dalam pembuatan turbin angin:

a) Baja

Baja merupakan satu dari kebanyakan material yang digunakan untuk fabrikasi turbin angin. Baja digunakan pada komponen struktur pada tower, hub, rangka utama, poros, roda gigi dan *cover* roda gigi serta dikuatkan pada beton pondasi.

b) Komposit

Komposit merupakan material gabungan antara dua atau lebih material yang berbeda, biasa digunakan material *fiber* yang dikuatkan oleh *matrix*. Komposisi penggunaan bahan komposit dapat memudahkan dalam memenuhi kebutuhan aplikasi turbin angin yang akan dibuat. Pada umumnya, bahan dasar pembentuk komposit yang digunakan pada turbin angin antara lain *fiberglass*, *carbon fiber* dan kayu. Untuk material pengikat komposit pada turbin angin biasa digunakan *polyester*, *epoxy* dan *vinyl ester*. Pada turbin angin, material komposit ini digunakan pada proses manufaktur sudu turbin, namun terkadang digunakan juga pada pembuatan komponen mesin lainnya seperti *nacelle cover*. Keunggulan pada penggunaan material *composite* adalah

- 1) Ketahanan dan kekakuan yang tinggi terhadap *weight ratio*,
- 2) Tahan terhadap korosi,
- 3) Bersifat *electrical insulation*,

Berikut penjabaran bahan komposit yang sering digunakan pada pembuatan turbin angin.

1. *Glass fibers*

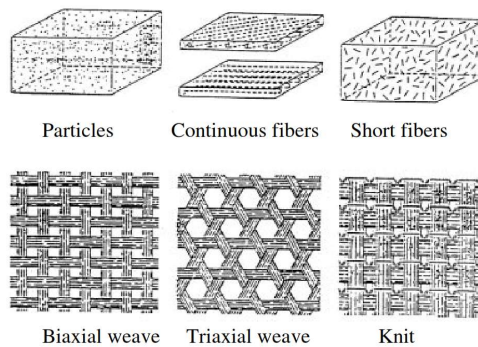
Glass fibers dibentuk dari kaca yang diputar menjadi benang yang panjang. Material umum *glass fibers* dikenal dengan sebutan *E-glass*. Material ini merupakan material yang murah, dengan kekuatan tarik yang baik. *Fiber* biasanya digunakan langsung namun lebih banyak dikombinasikan dengan bahan lainnya (*Preforms*). *Fibers* dapat dibentuk menjadi serat cincang dan bentuk lainnya untuk mendapatkan kekuatan Tarik sesuai yang diinginkan.

2. *Matrix (Binder)*

Ada tiga jenis resin yang biasanya digunakan pada matriks campuran komposit. Material tersebut antara lain unsaturated *polyesters*, *epoxies*, *vinyl*

esters. Ketiga material ini berbentuk cairan yang digunakan sebagai pelapis material utama komposit. Ketika resin ini kering maka akan menjadi padatan yang memiliki sifat rapuh, dan pemilihan resin akan mempengaruhi komposisi komposit yang dibuat.

Polyesters menjadi bahan yang sering digunakan pada turbin angin karena cepat mengering dan harganya yang murah. Proses pengeringannya dapat berlangsung beberapa jam jika menggunakan suhu ruangan, namun dapat dipercepat menjadi hitungan menit ketika menggunakan suhu yang lebih tinggi.



Gambar 2.14 *Fiberglass performs* (JF Manwell, 2002)

Epoxy merupakan bahan yang kuat, tahan terhadap reaksi kimia, daya rekat yang baik dan penyusutan yang rendah. Namun, material *epoxy* ini memiliki harga yang cukup mahal jika dibandingkan dengan bahan *polyester*.

Ester vinil adalah resin berbasis *epoxy* yang belakangan ini sering digunakan secara umum. Resin ini memiliki sifat mirip *epoxy*, tetapi agak lebih murah dalam hal biaya dan memiliki tingkat pengeringan yang relative singkat. Bahan ini agak lebih murah dan memiliki waktu pengeringan yang singkat. Resin ini merupakan bahan yang ramah lingkungan dan banyak digunakan pada bidang kelautan.

3. *Carbon fiber reinforcing*

Serat karbon memiliki ketahanan yang kuat dan lebih kaku, namun harganya lebih mahal daripada *glass fibers*. Cara termudah untuk mengurangi biaya penggunaan serat karbon adalah dengan mengkombinasikan dengan *glass* pada pembuatan komposit.

4. *Wood-epoxy laminates*

Kayu digunakan sebagai pengganti *synthetic* fiber pada beberapa penggunaan komposit. Dalam hal ini kayu dibentuk menjadi lembaran dan bukan sebagai serat maupun kain berbasis serat. Secara umum kayu memiliki ketahanan yang baik terhadap rasio berat dan kelelahan material (*Fatigue*). Salah satu ciri penting dari kayu adalah anisotropinya yang kuat dalam kekuatan Tarik. Penggunaan kayu bersama dengan pengikat epoksi dikembangkan untuk pembuatan turbin angin. Aplikasi ini berdasarkan pengalaman sebelumnya dari pembuatan kapal berperforma tinggi pada industri kelautan.

c) *Copper*

Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang sangat baik dan untuk alasan itu tembaga digunakan di hampir semua peralatan listrik pada turbin angin, terutama pada generator daya.

d) *Concrete*

Concrete atau beton coran merupakan bahan yang digunakan untuk fondasi turbin angin dan juga sebagai bahan untuk pembangunan *tower* turbin angin.

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu Perancangan

3.1.1 Tempat

Pengambilan data dan perancangan turbin angin dilakukan untuk area atap (*roof top*) gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Proses pengambilan data dan perancangan dilaksanakan mulai bulan Juni 2020. Berikut jadwal pelaksanaan Perancangan Turbin Angin Tipe *Horizontal Axis* Konfigurasi Lima *Blade*.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Perancangan Turbin Angin.

No	Kegiatan	Bulan ke-												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Pengajuan Judul Tugas Akhir	■	■											
2	Pengambilan Data Kecepatan Angin		■	■	■	■								
3	Perancangan Turbin Angin				■	■	■	■						
4	Desain Turbin Angin						■	■	■					
5	Simulasi Rancangan Turbin Angin									■	■			
6	Perhitungan Diameter dan Bantalan Poros										■	■		
7	Penyelesaian Tugas Akhir										■	■		
8	Seminar Tugas Akhir												■	■
9	Sidang Tugas Akhir													■

3.2 Bahan & Alat

Adapun bahan dan alat yang akan digunakan dalam proses perancangan turbin angin antara lain:

1. Bahan

1) Material *blade*/sudu

Material *blade* yang dirancang menggunakan bahan komposit *fiber glass*.



Gambar 3.1 Bahan Komposisi *Blade* Turbin Angin

2) *Body* turbin

Body turbin menggunakan material yang sudah tersedia dipasaran yang menggunakan bahan *cast* aluminium.

3) Tiang penyangga turbin angin

Menggunakan bahan besi galvanis yang tersedia umum dipasaran dengan ukuran *2,5inch* dengan tambahan *sling* baja untuk memperkuat dudukan turbin angin. Tiang penyangga nantinya akan dipasang di atap gedung dimana posisinya diperhitungkan dari sisi aerodinamis dan sisi keamanan pengoperasian turbin angin.



Gambar 3.2 Pipa Besi

2. Alat

1) Anemometer

Anemometer merupakan alat untuk pengukur kecepatan dan temperatur angin. Kecepatan diukur pada posisi yang ideal dan memiliki potensi sumber daya sehingga turbin angin dapat beroperasi secara optimal.



Gambar 3.3 Anemometer

2) Komputerisasi dengan program

Digunakan untuk mengkalkulasi perhitungan dan perancangan turbin angin melalui *software*/perangkat lunak perancangan. Pengambilan data yang sudah dilakukan di lokasi rencana perancangan turbin angin selanjutnya akan diolah pada *software* melalui perangkat komputer. Perangkat computer yang digunakan menggunakan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi Komputer

No.	Item	Spesifikasi
1	Operating System	Windows 10 Pro (64-bit)
2	Processor	Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz 64 Bit
3	Memori	8 GB DDR4-2400
4	Rom	750 Gigabyte

3) Software perancangan.

Merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk merancang turbin secara langsung berdasarkan data-data yang diperoleh dalam lingkup perencanaan turbin angin. Dengan menggunakan *software* ini maka proses perancangan

dapat lebih cepat dilaksanakan dengan tambahan simulasi terkait gaya-gaya yang bekerja pada turbin angin yang dirancang. *Software* yang digunakan antara lain berupa *Autocad 2016*, *Catia V5* dan *Solidwork 2017* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.3 Spesifikasi *Software* Perancangan

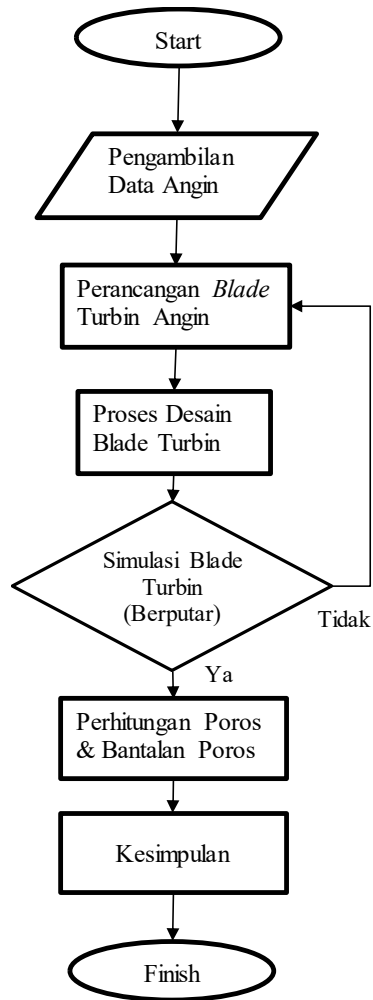
No.	Item	Spesifikasi		
		Catia V5	Solidwork 2017	Autocad 2016
1	Operating System	Microsoft Windows 7 or Windows 10 (64-bit)	Windows 10 64-bit	Microsoft Windows 7 or 10 (64-bit)
2	Processor	Multi-core, 64-bit processor (ex. Intel i5, i7 or Xeon)	Intel Core i5 with high processor speed	Intel® Pentium® 4 or AMD Athlon™ 64
3	RAM	4GB - 8GB or more	8 GB	32-bit: 2 GB. 64-bit: 4 GB
4	ROM	10 GB	20 GB	6 GB



Gambar 3.4 *Software* Perancangan

3.3. Bagan Alir

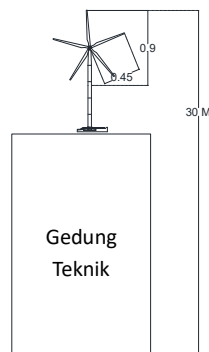
Berikut adalah bagan alir perancangan turbin angin tipe *horizontal axis* konfigurasi lima *blade* sebagai pembangkit listrik kapasitas rendah yang ditunjukkan pada gambar:



Gambar 3.5 Diagram Alir

3.4. Prosedur Perancangan *Blade* Turbin Angin

Blade turbin angin yang dirancang diletakkan pada posisi atap gedung teknik dengan skema sebagai berikut:



Gambar 3.6 Posisi Pemasangan Turbin

Dalam pelaksanaan perancangan turbin angin *horizontal axis* ini terdapat prosedur atau tahapan yang antara lain meliputi:

1. Pengambilan Data Kecepatan Angin

Pada proses perancangan *blade* turbin angin dibutuhkan data energi angin pada area yang direncanakan. Data tersebut berupa tanggal, kecepatan angin berikut temperatur udara sekitar yang terdapat pada lokasi pengambilan data. Pengambilan data dilakukan selama empat hari pada area atap gedung Fakultas Teknik UMSU dengan menggunakan anemometer.



Gambar 3.7 Proses Pengambilan Data Kecepatan Angin

Tabel 3.4 Data Kecepatan dan Temperatur Angin

No.	Tanggal	Kecepatan Angin (m/s)	Temperatur udara sekitar (°C)
1	12 Juni 2020	5,0	34
2	13 Juni 2020	6,2	34
3	14 Juni 2020	4,4	34
4	15 Juni 2020	4	34
	Nilai rata-rata	4,9	34

2. Perancangan *blade* turbin angin

Pada proses perancangan *blade* turbin angin *horizontal axis* ini terdapat beberapa tahapan spesifik yang harus dilakukan antara lain:

1. Perhitungan daya turbin dan luas area *rotor*

Berdasarkan hasil pengukuran data angin selanjutnya dilakukan perhitungan daya turbin dan luas area rotor turbin yang mengacu pada asumsi efisiensi yang akan digunakan dalam proses perancangan. Asumsi maksimum

efisiensi output daya generator yang digunakan sebesar 85% dan daya mekanik turbin sebesar 55% (Anonymous, 2016).

2. Penentuan diameter *rotor*

Berdasarkan hasil perhitungan luas area *rotor* turbin angin, maka selanjutnya dilakukan perhitungan diameter rotor (m)

3. Penentuan *tip speed ratio (TSR)*.

Nilai *Tip speed ratio* dihitung secara optimal dengan acuan jumlah *blade* (n) yang digunakan pada proses perancangan ini. *Blade* yang dirancang dengan konfigurasi lima *blade* turbin angin.

4. Penentuan *rotor solidity*

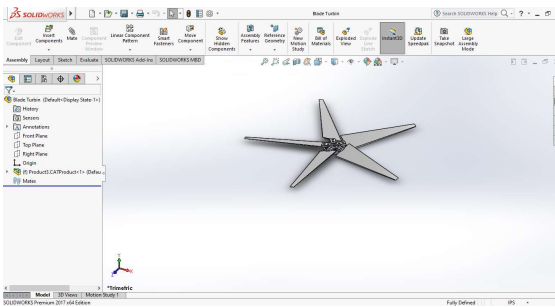
Rotor solidity dihitung berdasarkan perbandingan luas *blade* turbin dengan luas lintasan *blade* turbin. Pada perhitungan *rotor solidity* akan menggunakan asumsi lebar *airfoil* (C) 0,15 (Piggot, 2003) dan jumlah *blade* lima buah.

5. Perhitungan diameter dan bantalan poros

Diameter poros dihitung berdasarkan bahan yang digunakan yaitu besi ST60 yang memiliki tegangan tarik 60 kg/mm^2 dengan *safety factor* 1 (S_{f1}) 6,0 dan *safety factor* 2 (S_{f2}) 2,0. Untuk bantalan poros yang digunakan adalah tipe bantalan luncur dengan bahan perunggu dan tekanan maksimum (Pa) $1,8 \text{ kg/mm}^2$ dan $l = 20 \text{ mm}$ (Anonymous, 2016).

6. Proses desain *turbine blade*

Proses desain menggunakan *software* dengan memasukkan data yang perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya. Data yang digunakan seperti luas area *rotor*, panjang *blade*, diameter poros dan lain sebagainya. Untuk *airfoil* yang digunakan mengikuti standar *blade* model FB1.2-200 (CE & TUV, 2019).

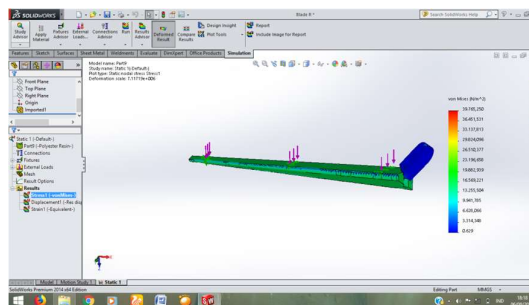


Gambar 3.8 Penggunaan *Software* Desain

7. Simulasi *Blade* Turbin Angin

Bentuk *blade* yang sudah dibuat pada proses desain selanjutnya dilakukan analisa melalui simulasi aliran fluida dan tekanan yang melalui *blade*, untuk mengetahui apakah *blade* dapat berputar ketika mendapat aliran dan tekanan udara. Simulasi ini dilakukan dengan rancangan *blade* langsung maupun dengan *blade* yang dilengkapi *holder blade*. *Holder blade* adalah pegangan *blade* yang terhubung pada hub turbin angin.

Kemudian selanjutnya dilakukan simulasi pembebanan pada *blade* dengan beban sebesar 500 *Newton* (Anonymous, 2016) untuk mengetahui tegangan maksimal yang bekerja pada *blade* yang dirancang. Simulasi menggunakan software perancangan *catia* dan *solidwork*.



Gambar 3.9 Proses Simulasi

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Turbin Angin

4.1.1 Daya turbin dan luas area *rotor*

Untuk memproduksi listrik diharapkan turbin dapat menghasilkan daya sebesar 100 watt pada kecepatan angin sebesar 4,9 m/s. Asumsi penggunaan generator dengan efisiensi sebesar 85% maka:

$$\begin{aligned} P_{poros\ turbin} &= P_{output} \times (100\% + (100\% - \eta_{Rencana})) \\ &= 100 \times 115\% \\ &= 115 \text{ watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan teori *Betz* yang menyatakan bahwa tidak semua energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya pemutar turbin angin dan maksimal efisiensi yang diperoleh maksimal 60% (*Betz limit*). Maka dibuat asumsi efisiensi sebesar 55% maka daya yang dibutuhkan poros turbin angin yaitu:

$$\begin{aligned} P &= P_{output} \times (100\% + (100\% - \eta_{Rencana})) \\ &= 115 \times 145\% \\ &= 166,75 \text{ watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan data tabel udara pada tekanan 1 atm diperoleh nilai massa jenis udara (ρ) 1,145 kg/m³.

Tabel 4.1 Sifat *Properties* Udara

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683

Dengan kecepatan udara rata-rata pada (v) 4,9m/s maka dengan menggunakan persamaan daya angin dilakukan perhitungan luas area *rotor* sebesar:

$$P = 0,5 \rho A v^3$$

$$A = \frac{P}{0,5 \cdot \rho \cdot v^3}$$

$$A = \frac{166,75}{0,5 \cdot 1,145 \cdot 6,3^3}$$

$$A = 0,81m^2$$

4.1.2 Penentuan diameter rotor

Berdasarkan luas area rotor, maka diameter rotor dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \frac{\sqrt{A}}{\left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

$$D = \frac{\sqrt{0,81}}{\left(\frac{3,14}{4}\right)}$$

$$D = 0,93m = 0,9m$$

4.1.3 Tip Speed Ratio (TSR).

Untuk nilai maksimum *TSR* maka dihitung berdasarkan jumlah *blade* (*n*) yang akan digunakan yaitu:

$$TSR = \frac{\pi \cdot 4}{n}$$

$$TSR = \frac{3,14 \cdot 4}{5}$$

$$TSR = 2,512$$

Dengan nilai *TSR* 2,5 maka dihitung putaran rotor yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya maksimal.

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot TSR}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{60 \cdot 4,9 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 0,9}$$

$$n = 251,3 \text{ rpm}$$

Jadi untuk menghasilkan daya maksimal maka putaran turbin harus sebesar 251,3 rpm.

4.1.4 Rotor Solidity

Dengan asumsi lebar *airfoil* (C) 0,15 (Piggot, 2003), jumlah *blade* 5 buah dan jari-jari (R) rotor 0,45m maka perhitungan rotor solidity yaitu sebagai berikut:

$$Solidity = \frac{n \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

$$Solidity = \frac{5 \cdot 0,15}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,45}$$

$$Solidity = 0,26$$

4.1.5 Diameter Poros

Perhitungan poros dengan daya 100 watt, putaran poros turbin 251,3 rpm, dengan faktor koreksi 2,0. Asumsi bahan diambil baja batang St 60.

$$P = 100 \text{ watt} = 0,1 \text{ kW}$$

$$n = 251,3 \text{ rpm}$$

$$f_c = 2,0$$

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

Perhitungan diameter poros:

$$P_d = f_c \cdot P$$

$$P_d = 2,0 (0,1)$$

$$P_d = 0,2$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot P_d/n$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot 0,2/251,3$$

$$T = 775,94 \text{ Kg. mm}$$

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

$$\tau_a = \sigma b / (s f_1 \cdot s f_2)$$

$$\tau_a = 60 / (6 \cdot 2)$$

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

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

$$d_s = (5,1 \cdot K_t \cdot C_b \cdot T / \tau_a)^3$$

$$d_s = (5,1 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 775,94 / 5)^{1/3}$$

$$d_s = 12,99 \text{ mm}$$

Jadi diameter poros yang digunakan adalah $12,99 \approx 12,5 \text{ mm}$.

4.1.6 Perhitungan Bantalan Poros

Dengan diameter poros (d_s) sebesar 12,5 mm dan massa rotor (W) = 8 kg, Bahan poros besi St 60, $\sigma_b = 60 \text{ kg/mm}^2$, $S_{f1} = 6,0$; $S_{f2} = 2,0$, $n = 251,3 \text{ rpm}$.

Tabel. 4.2 Sifat-Sifat Bahan Bantalan Luncur

Bahan Bantalan	Kekeerasan Hn	Tekanan maksimum yang diperbolehkan (Kg/mm ²)	Temperatur Maksimal yang diperbolehkan (°C)
Besi Cor	160 -180	0,3 - 0,6	150
Perunggu	50-100	0,7 - 2,0	200
Kuningan	80-150	1,5 - 6,0	200
Perunggu fosfor	100-200	0,6 - 1,0	250
Logam Putih berdasarkan Sn	20-30	0,6 - 1,0	150
Logam Putih berdasarkan Pb	15-20	1,0 - 1,4	150
Paduan Cadmium	30-40	1,0 - 1,4	250
Kelmet	20-30	1,0 - 1,8	170
Paduan Alumunium	45-50	2,8	100 - 150
Perunggu Timah Hitam	40-80	2,0 - 3,2	220 - 250

Bahan bantalan poros besi perunggu $P_a = 1,8 \text{ kg/mm}^2$ ($0,7 - 2,0 \text{ kg/mm}^2$), $l = 20 \text{ mm}$.

$$\frac{l}{d} \leq \frac{\sqrt{1}}{5.1} + \frac{\sigma a}{P_a}$$

$$\frac{l}{d} \leq \frac{\sqrt{1}}{5.1} + \frac{5}{1,8}$$

$$P = \frac{W}{l \cdot d}$$

$$P = \frac{8}{20 \cdot 12,5}$$

$$P = 0,03 \text{ kg/mm}^2$$

$0,03 < 1,72$ (Dapat diterima)

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000}$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 13 \cdot 251,3}{60 \cdot 1000} = 0,17 \text{ m/s}$$

$$Pv(a) = 0,45 \cdot V$$

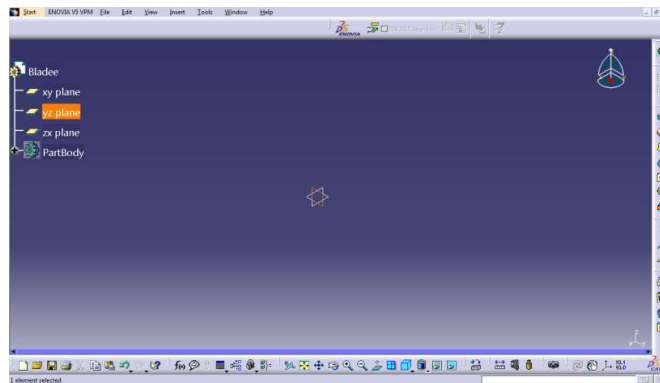
$$Pv(a) = 0,45 \cdot 0,17 = 0,07$$

Harga $(Pv)_a$ poros transmisi maksimal yang diijinkan $0,03 \text{ kg m/mm}^2 \text{ s}$ dimana Pv poros transmisi $0,2 \text{ kg m/mm}^2 \text{ s}$, maka $0,07 < 0,2$ sehingga dapat diterima.

4.2 Desain *Blade* Turbin Angin

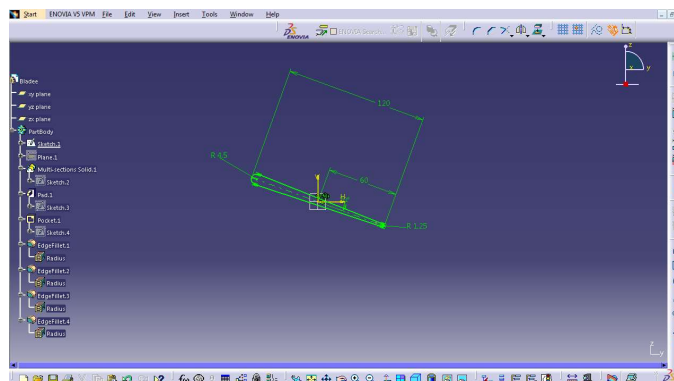
Desain *blade* turbin angin menggunakan tipe *airfoil* yang mengikuti standar *blade* model FB1.2-200. Adapun proses desain *blade* turbin angin dengan menggunakan *software* adalah sebagai berikut:

1. Pada tampilan awal lembar kerja gambar, pilih sumbu y-z sebagai acuan untuk utama untuk menggambar sudu atau *blade* turbin.



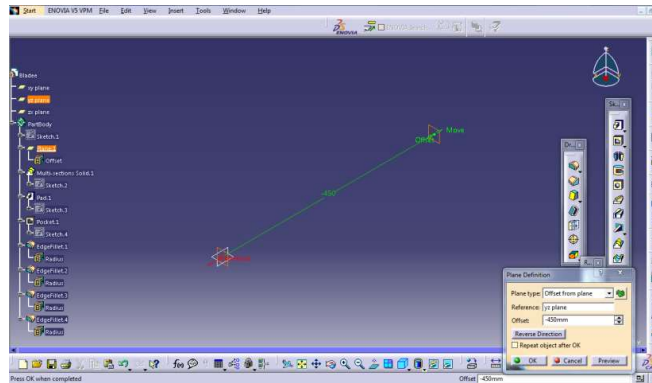
Gambar 4.1 Tampilan Awal Lembar Kerja Gambar

2. Setelah masuk di lembar kerja gambar sumbu y-z, berikutnya membuat sketsa *blade* yang terletak pada bagian pangkal *blade*, dengan acuan ukuran yang terdapat pada data perhitungan.



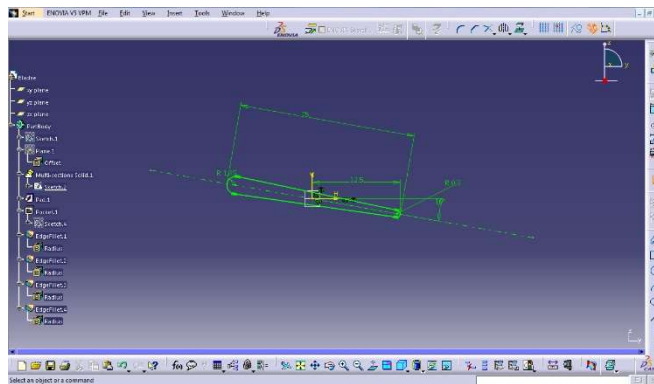
Gambar 4.2 Perancangan Sketsa *Blade* Turbin Angin

3. Setelah sketsa pangkal *blade* jadi, langkah selanjutnya adalah dengan membuat sumbu ataupun *plane* baru dengan jarak dari pangkal (sumbu y-z) sebesar 450mm.



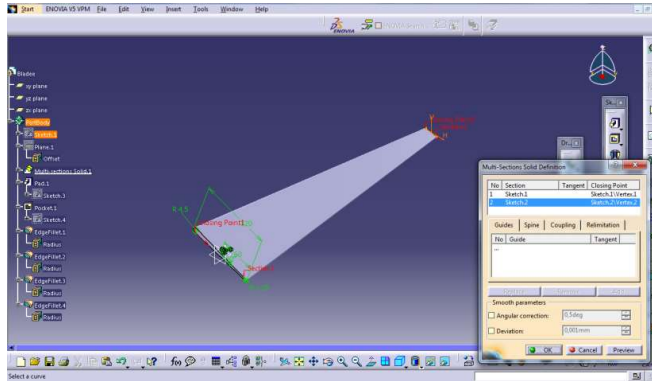
Gambar 4.3 Pembuatan Sumbu *Blade*

4. Setelah *plane* kedua dibuat, maka selanjutnya membuat sketsa yang menjadi ujung *blade* di *plane* tersebut, dengan acuan ukuran data perhitungan.



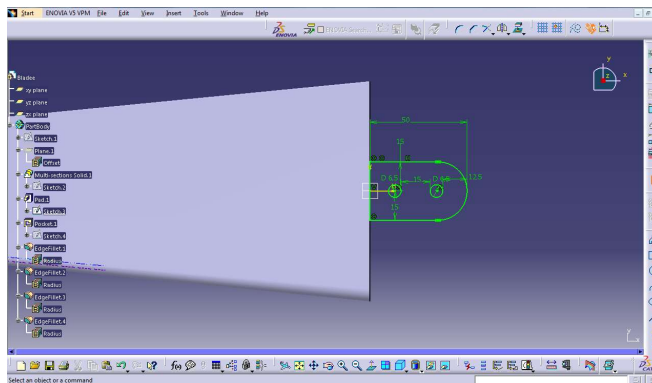
Gambar 4.4 Sketsa Ujung *Blade*

5. Setelah sketsa ujung *blade* selesai, keluar dr *workbench* dan memasukkan perintah *multi-section solid* untuk membuat sketsa dari pangkal *blade* dengan sketsa ujung *blade* tersebut menjadi suatu *part* yang *solid*.



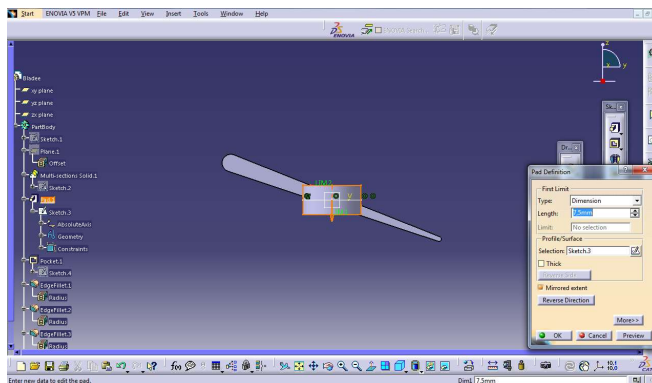
Gambar 4.5 Perancangan *Solid Part Blade*

- Setelah sketsa blade selesai, selanjutnya membuat sketsa untuk pegangan *blade* ke dudukan *blade*.



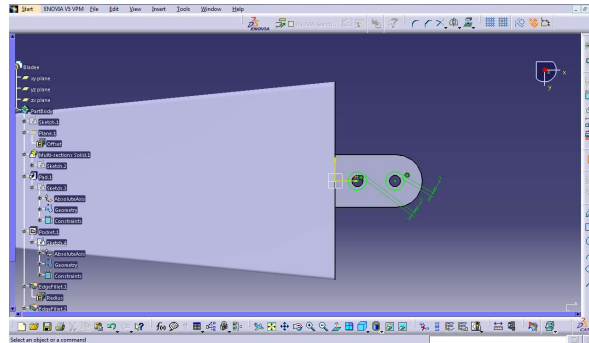
Gambar 4.6 Perancangan *Blade Holder*

- Setelah sketsa selesai, selanjutnya gunakan perintah *Pad* untuk membuat sketsa tersebut menjadi suatu *part* yang *solid*.



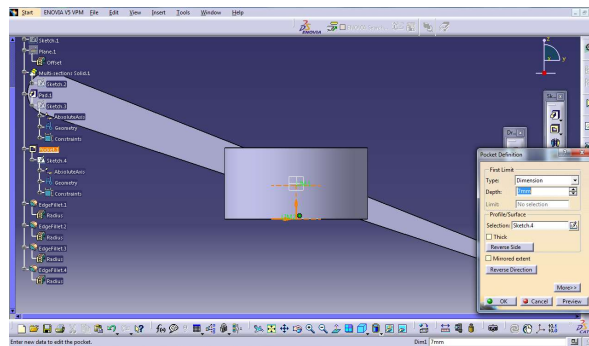
Gambar 4.7 Perancangan *Solid Part Blade Holder*

8. Setelah itu, membuat sketsa untuk dudukan baut untuk pegangan *blade* dengan dudukan *blade*.



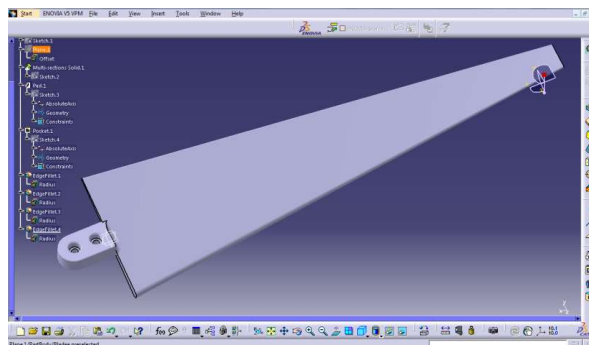
Gambar 4.8 Sketsa Baut *Blade Holder*

9. Setelah sketsa untuk lubang dudukan baut selesai selanjutnya membuat lubang pada sketsa yang digambar tadi.



Gambar 4.9 Sketsa Lubang Baut *Blade Holder*

10. Setelah semua proses selesai, maka diperoleh sebuah desain *blade* turbin angin seperti gambar dibawah ini.

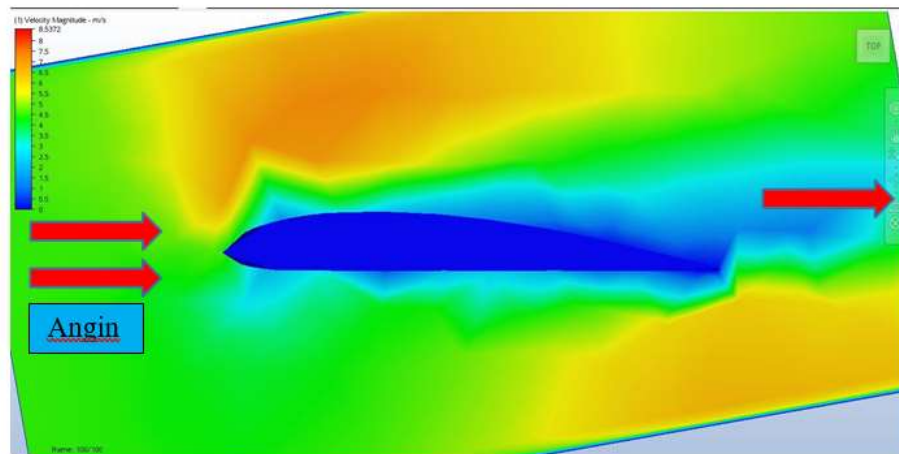


Gambar 4.10 Desain *Blade* Turbin Angin

4.3 Simulasi *Blade* Turbin Angin

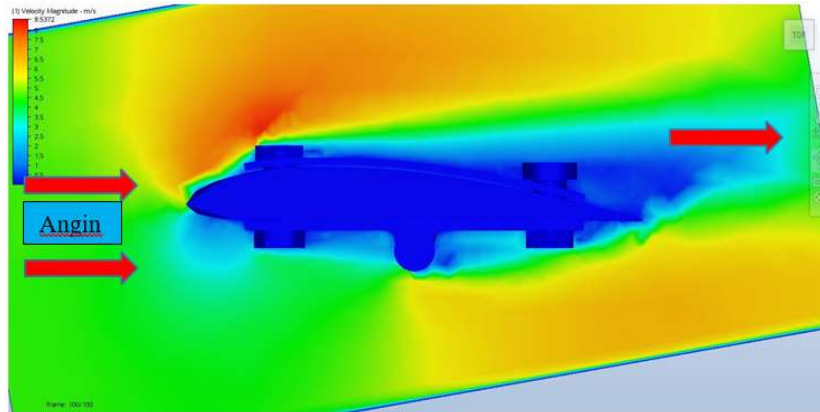
4.3.1. Analisa Desain

Desain *blade* yang sudah dibuat selanjutnya dianalisa dengan cara melakukan simulasi menggunakan *software* (Anonim, 2016). Proses simulasi dilakukan dengan tujuan mengetahui karakteristik dari *blade* turbin angin terhadap aliran fluida yang melaluinya, seperti ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut.



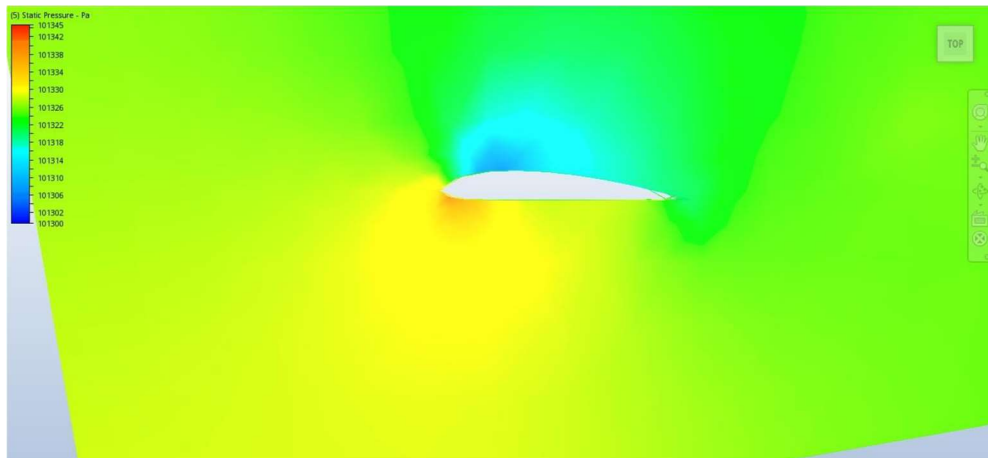
Gambar 4.11 Analisa Aliran Fluida Pada *Blade*

Pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 4,9 m/s belum terlihat adanya turbulensi pada bagian ujung *blade* turbin. Turbulensi pada *blade* dapat meningkatkan nilai gaya dorong (*drag force*) pada turbin angin. Gambar 4.11 menunjukkan fenomena aliran fluida yang melewati *blade*, warna biru menunjukkan kecepatan angin rendah dan warna kuning kemerahan menunjukkan kecepatan angin tinggi. Di bagian bawah *airfoil* menunjukkan warna biru dan hijau, yang menunjukkan bahwa kecepatan fluida di bagian bawah *airfoil* lebih rendah dari bagian atas *airfoil*. Karena kecepatan angin rendah maka tekanan pada bawah *airfoil* akan naik sehingga timbul gaya angkat (*lift force*). Gaya angkat inilah yang dimanfaatkan oleh *airfoil* untuk memutar turbin angin yang nantinya diubah oleh generator menjadi energi listrik.

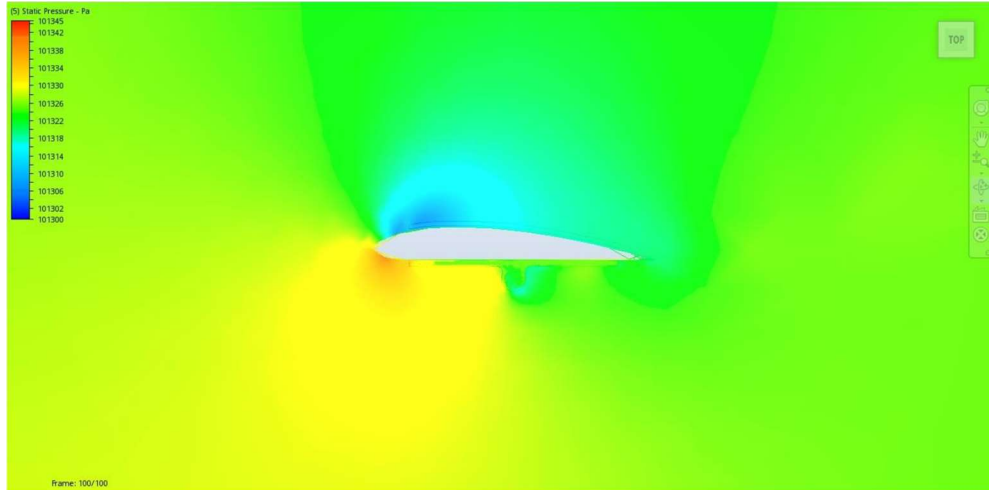


Gambar 4.12 Turbulensi pada *Blade*

Turbulensi terlihat pada bagian *blade* yang terhubung oleh *holder*, Hal ini terjadi karena bentuk *holder* yang menempel pada bagian bawah *blade*. Pada saat simulasi fenomena turbulensi ditunjukkan oleh adanya warna biru pada bagian belakang *holder* seperti pada gambar 4.12

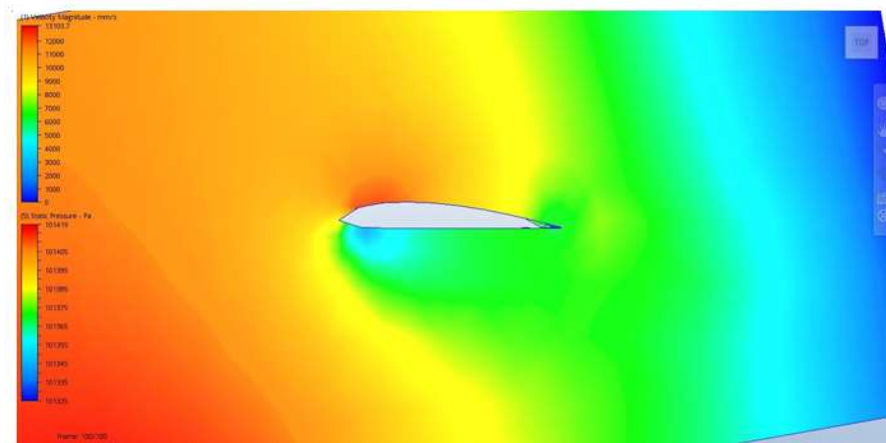


Gambar 4.13 Distribusi Tekanan pada *Blade Airfoil*

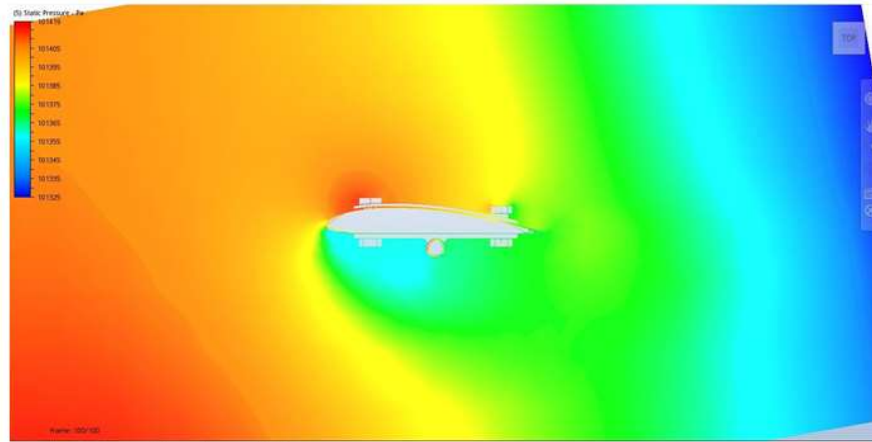


Gambar 4.14 Distribusi Tekanan pada *Blade Airfoil* yang Dipasangi *Holder*

Gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan distribusi tekanan yang diterima *airfoil blade* turbin angin. Dari gambar tersebut dapat dilihat perbedaan warna pada bagian atas dan bawah *airfoil*. Warna biru menunjukkan tekanan yang rendah sedangkan warna kuning menunjukkan tekanan yang lebih tinggi. Distribusi tekanan di atas menunjukkan tekanan bagian bawah *airfoil* lebih tinggi dibandingkan bagian atas, sehingga timbul gaya angkat (*lift force*).



Gambar 4.15 Distribusi Aliran Tekanan pada *Blade*

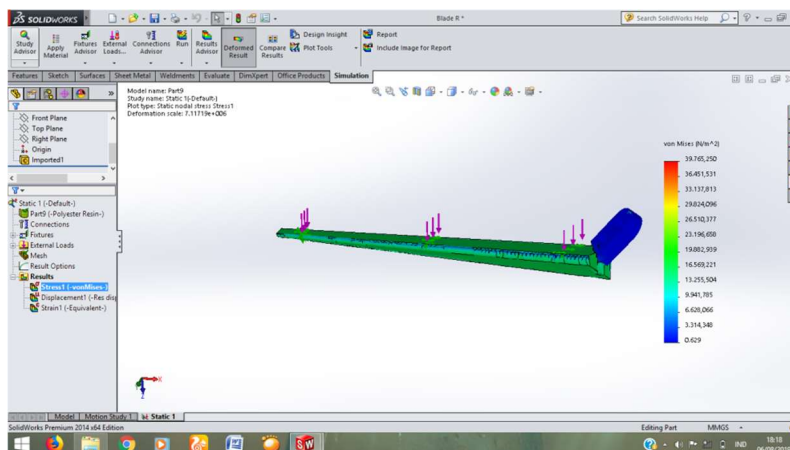


Gambar 4.16 Distribusi Aliran Tekanan pada *Blade* yang Dipasangi *Holder*

Dari gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat perbedaan warna pada bagian atas dan bawah *blade*. Warna biru menunjukkan tekanan yang rendah sedangkan warna kuning kemerahan menunjukan tekanan yang lebih tinggi. Berdasarkan gambar di atas tekanan pada bagian atas *blade* lebih tinggi dari pada bagian bawah *blade*. Tekanan yang lebih tinggi pada bagian atas *blade* membuat turbin berputar, putaran turbin kemungkinan akan searah jarum jam akibat tekanan yang ditimbulkan oleh angin.

4.3.1. Simulasi Pembebanan *Blade* Turbin Angin

Dari gambar 4.17 dapat diperoleh data hasil dari simulasi *blade* turbin angin dengan pembebanan pengujian sebesar 500 Newton, tegangan maksimal yang bekerja pada *blade* adalah sebesar 39.765 N/m^2 .



Gambar 4.17 Simulasi Uji Pembebanan pada *Blade* Turbin Angin

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada Perancangan Turbin Tipe *Horizontal Axis* Sebagai Pembangkit Listrik Kapasitas Rendah Berkonfigurasi Lima *Blade* dengan potensi kecepatan angin sebesar 4,9m/s adalah

- a. Daya poros turbin angin (P) = 166,75 Watt dengan luas area *rotor* turbin angin 0,81 m² dan Diameter poros turbin 0,93 m.
- b. *Tip Speed Ratio* turbin angin optimal sebesar 2,512 dengan putaran rotor 251,3 rpm dan Rotor Solidity sebesar 0,26.
- c. Momen puntir poros turbin angin yang dirancang dengan bahan St 60 sebesar 775,94 Kg.mm dengan diameter poros 12,5 mm.
- d. Berdasarkan hasil analisa simulasi turbin angin menunjukkan *blade* turbin mampu memiliki daya dorong (*Drag force*) dan daya angkat (*Lift force*) sehingga mampu memutar generator untuk menghasilkan daya listrik yang direncanakan.

5.2 Saran

1. Alat ukur anemometer harus dipastikan memiliki kalibrasi yang masih tepat sehingga pengambilan data menjadi semakin baik dan perhitungan menjadi lebih akurat.
2. Diperlukan pengukuran yang lebih lama dengan suhu bervariasi sehingga informasi data angin pada suatu dapat lebih detail.
3. Perlu dilakukan simulasi terhadap gaya-gaya yang bekerja pada turbin angin tersebut sebelum dilakukan permodelan maupun rancang bangun.

DAFTAR PUSTAKA

- Sularso dan Suga, Kiyokatsu. (1994) *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Siregar, Chandra A. dan Siregar, A Marabdi. *Reliability Test Prototype Wind Turbine Savonius Type Heical as An Alternative Electricity Generator*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik
- Himran, Syukri. (2019) *Energi Angin*. Yogyakarta: Andi
- Nation, Windy. (2010) *Tip Speed Ratio: How To Calculate and Apply TSR to Blade Section*. United Kingdom: windnation.com.
- Piggott, Hugh. (2005) *How to Build A Wind Turbine*. United State Of America.
- Manwell, J.F, Team. (2002) *Wind Energy Explained – Theory, Design and Application*. USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Mathew, Sathyajith. (2006) *Fundamentals, Resources Analysis and Economics*. Netherland: Springer.
- C. Corke, Thomas and C. Nelson, Robert. (2015) *Wind Energy Design*. Notre Dame: University of Notre Dame, Mechanical Engineering Department.
- Kalmikov, Alex and Dykes, Katherine. (2010) *Wind Power Fundamentals*. USA: MIT Mechanicals Engineering, Engineering Systems dan Urban Planning.
- Marten, David. (2015) *Qblade v0.9 Guidelines*. German: DFG.
- Gomes-Leon, Jonathan. (2015) *Wind Turbine Blade Analysis Using Blade Element Momentum Theory*. USA: Renssealer Polytechnic Institute.
- Ikhsan Firmansyah, Arfie dan Zulkarnain. (2012) *Perancangan Bilah Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT-Angin) Kapasitas 100kW Menggunakan Studi Aerodinamika*. Jakarta: Puslitbangtek.
- Andika Permana, Vito dan Haryanto, Ismoyo. (2015) *Perancangan Awal Sudu Turbin Angin dengan Kapasitas 3200 Watt*. Semarang: Universitas Diponegoro Fakultas Teknik.
- Aryanto, Firman, Mara, I Made dan Nuarsa, Made. (2013) *Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal*. Nusa Tenggara Barat: Universitas Negeri Mataram Fakultas Teknik.

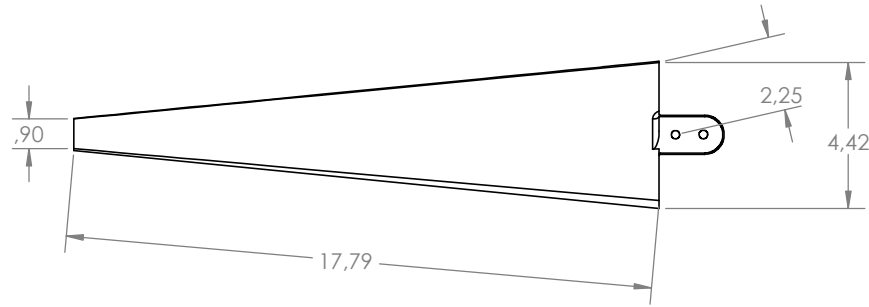
LAMPIRAN

4

3

2

1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE		
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		TITLE:	
		TOLERANCES:	CHECKED			
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.			
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.			
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		SIZE DWG. NO. REV	
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:			
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:				SCALE: 1:4 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
		MATERIAL				
NEXT ASSY	USED ON	FINISH				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING				

4

3

2

1

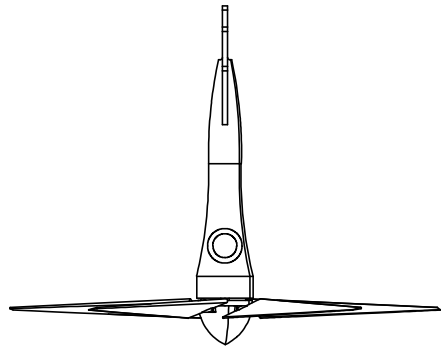
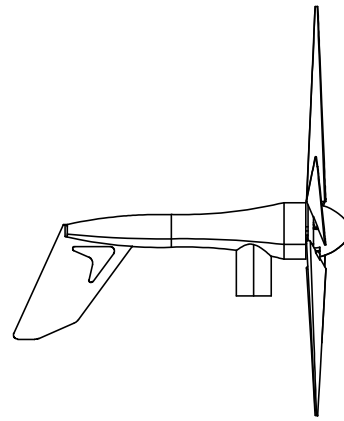
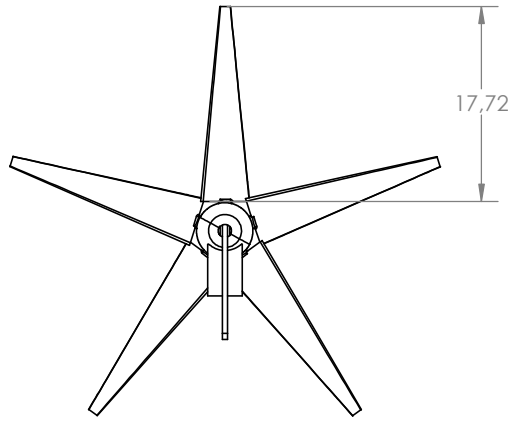
SIZE **B** DWG. NO. **Blade** REV
 SCALE: 1:4 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

4

3

2

1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE		
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		TITLE:	
		TOLERANCES:	CHECKED			
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.			
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.			
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		SIZE	DWG. NO.
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:		B	PLTB
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			REV	
		MATERIAL			SCALE: 1:12	WEIGHT:
NEXT ASSY	USED ON	FINISH				SHEET 1 OF 1
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING				

4

3

2

1

B

B

A

A

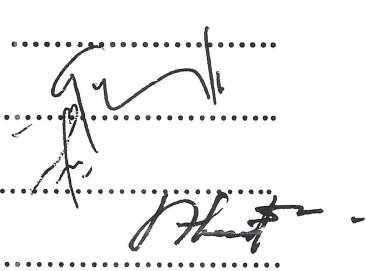
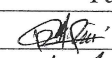

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Yuda Bhaskara

NPM : 1507230284-P

Judul Tugas Akhir : Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Kapasitas Rendah Konfigurasi Lima Blade.

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Munawar A Siregar.S.T.M.T	:	
Pembimbing – II	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	
Pemanding – I	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	:	
Pemanding – II	: Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230284	RISKY MULHAKMI MTD	
2	1507230024	ISMAIL	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 13 Sya'ban 1442 H
27 Maret 2021 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Affandi S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Yuda Bhaskara
NPM : 1507230284-P
Judul T.Akhir : Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Kapasitas Rendah
Konfigurasi Lima Blade.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
Lihat buku scraps.
.....
.....


3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 13 Sya'ban 1442H
27 Maret 2021M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I

H.Muharnif.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Yuda Bhaskara
NPM : 1507230284-P
Judul T.Akhir : Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal Axis Kapasitas Rendah
Konfigurasi Lima Blade.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 1. *perbaiki diagram alir*
 2. *perbaiki Metode & prosedur*
 3. *Dokumentasi prosedur*
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 13 Sya'ban 1442H
27 Maret 2021M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12

Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 241/11L3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 13 Februari 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : YUDA BHASKARA
Npm : 1507230284P
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : XI (SEBELAS)
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN TURBIN ANGIN HORIZONTAL AXIS LIMA BLADE
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK KAPASITAS RENDAH

Pembimbing -I : MUNAWAR ALFANSURY SIREGAR, ST, MT
Pembimbing -II : CHANDRA A SIREGAR, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

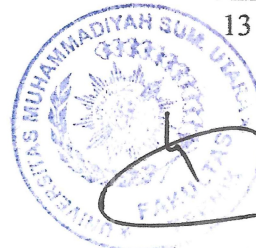
1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 1 Rajab 1442 H

13 Februari 2021 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT

NIDN: 0101017202



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PERANCANGAN TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL AXIS SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK KAPASITAS RENDAH KONFIGURASI LIMA BLADE

Nama : Yudo Bhaskara

NPM : 8911746Z

Dosen Pembimbing 1 : Munawar A. Siregar, S.T., M.T

Dosen Pembimbing 2 : Chandra A. Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Kegiatan	Paraf
1	Rabu/27 Okt 2018	Revisi	Bab 1	A
2	Rabu/21 Nov 2018	Revisi	Bab 1	A
3	Jumat/02 Des 2018	1. Latar Belakang 2. Rumusan Masalah	Revisi Bab 1	A
4	Rabu/19 Des 2018	1. Tabel pada latar belakang 2. Penambahan poin kompetensi tujuan khusus		A
5	Senin/07-01-2019	perbaiki format		A
6	Seminar 11-1-2019	perbaiki bab 1 dan bab 2		A
7	Selasa, 29/1-2019	Lanjutan bab 1		A
8	Jumat, 8/2-2019	Lanjutan perancangan		A
9	Sabtu, 27/2-2021	tambahkan desain perancangan		A
10	Seminar 8/3-2021	Ace semhas, kembali ke pembimbing 1		A

Ace ditandatangani oleh -

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Yudo Bhaskara
NPM : 1507230284P
Tempat/ Tanggal Lahir : Palembang, 27 April 1989
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Menikah
Alamat : Jl. P.R Selako No. 14
 Kel/Desa : Bukit Lama
 Kecamatan : Ilir Barat I
 Kab/Kota : Palembang
No. Handphone : 0852-6860-0081
Email : yudo.bhaskara@gmail.com
Nama Orang tua
 Ayah : Irlandi (Alm)
 Ibu : Nurzullah

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 1993 – 1999 : SD Negeri 125 Palembang
Tahun 1999 – 2003 : SMP Negeri 17 Palembang
Tahun 2003 – 2006 : SMA Negeri 12 Palembang
Tahun 2006 – 2009 : Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Tahun 2015 – 2021 : S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara