

**PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU
TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS
TIPE L**



SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang**

IKA DAMAYANTI 442 13 008

BRIAN FERDINAND BANGUN 442 13 014

**PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR**

2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L” oleh Ika Damayanti 442 13 008 dan Brian Ferdinand Bangun 442 13 014 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, November 2017

Pembimbing I,



Ir. Andreas Pangkung, M.T.
NIP. 19620828 198903 1 003

Pembimbing II,



Dr. Jamal, S.T., M.T.
NIP. 19730228 200012 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi,



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP. 19601231 199003 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Kamis tanggal 14 Desember 2017, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa. Ika Damayanti 442 13 008 dan Brian Ferdinand Bangun 442 13 014, dengan judul “PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L”.

Makassar, 14 Desember 2017

Tim ujian sidang

- | | | |
|---------------------------------|-----------------|---|
| 1. Ir. Remigius.T, M.Eng. Sc. | (Ketua) | () |
| 2. Sukma Abadi, S.T., M.T. | (Sekretaris) | () |
| 3. Abdul Rahman, S.T., M.T. | (Anggota) | () |
| 4. Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. | (Anggota) | () |
| 5. Ir. Andreas Pangkung, M.T. | (Pembimbing I) | () |
| 6. Dr. Jamal, S.T., M.T. | (Pembimbing II) | () |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis skripsi ini yang berjudul “ PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terimah kasih dan penghargaan kepada:

1. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang: Dr.Hamzah Yusuf, S.T., M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin: Dr. Jamal, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi: Ir. La Ode Musa, M.T.
4. Bapak Ir. Andreas Pangkung, M.T. sebagai pembimbing I dan Dr. Jamal, S.T.,M.T. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi.

Ucapan terimah kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada keluarga terkhususnya kepada kedua orang tua kami yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan bantuan baik berupa materi maupun berupa doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Juga kepada sahabat-sahabat kami yang banyak memberikan bantuan dan dorongan agar cepat selesai dan ikut membantu kami dalam mencari data selama penelitian ini dilakukan, dan rekan-rekan lainnya yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu pada kesempatan ini, harapan kami semoga apa yang telah dibantukan selama ini secara moril maupun materil mendapatkan imbalan amal

dari Allah SWT dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.



Makassar,.....

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
SURAT PERNYATAAN	x
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Angin.....	5
2.2 Turbin Angin.....	8
2.3 Turbin Angin Savonius	13
2.4 Gaya Aerodinamika Turbin	15
2.4.1 Aerodinamik Hambatan (drag).....	16
2.4.2 Aerodinamik Angkat (lift)	17
2.5 Generator DC	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Metode Perancangan.....	19
3.3 Alat dan Bahan.....	20

3.4 Metode Pengujian.....	21
3.5 Langkah Pembuatan	21
3.6 Teknik Analisa Data.....	26
3.7 Diagram Alir	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Tabel Hasil Pengujian Data Mekanik	30
4.2 Analisa Data Mekanik.....	36
4.3 Pembahasan.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Hubungan C_p dan λ dengan batas Betz (Betz limit).....	7
Gambar 2.2 Skema Udara bergerak ke arah turbin angin.....	8
Gambar 2.3 Variasi jumlah blade pada HAWT (Daryanto,2007).....	10
Gambar 2.4 Turbin angin sumbu tegak (Mittal,2001).....	11
Gambar 2.5 Komponen turbin angin (mittal,2001).....	12
Gambar 2.6 Rotor Savonius.....	13
Gambar 2.7 Berbagai tipe Rotor Savonius.....	14
Gambar 2.8 (a) Rotor Savonius U, dan (b) Rotor Savonius L (Soelaiman,2006)..	15
Gambar 2.9 Kondisi aliran dan gaya aerodinamis pada turbin jenis drag. (sumber:Hau,2006).....	16
Gambar 2.10 Profil kecepatan untuk rotor tipe drag (Rosidin,2007).....	17
Gambar 2.11 Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara. (sumber: Manwell.2002).....	18
Gambar 3.1 Desain Turbin angin savonius Tipe L menggunakan 3 sudu.....	19
Gambar 3.2 Turbin Savonius Tipe L (a) 20° , (b) 15° , (c) 10°	20
Gambar 3.3 Desain Rangka Utama.....	21
Gambar 3.4 sudu turbin Savonius tipe L.....	23
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran terhadap gaya.....	41
Gambar 4.2 Hubungan antara efisiensi terhadap gaya.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.....	47
Lampiran 2.....	49
Lampiran 3.....	60



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

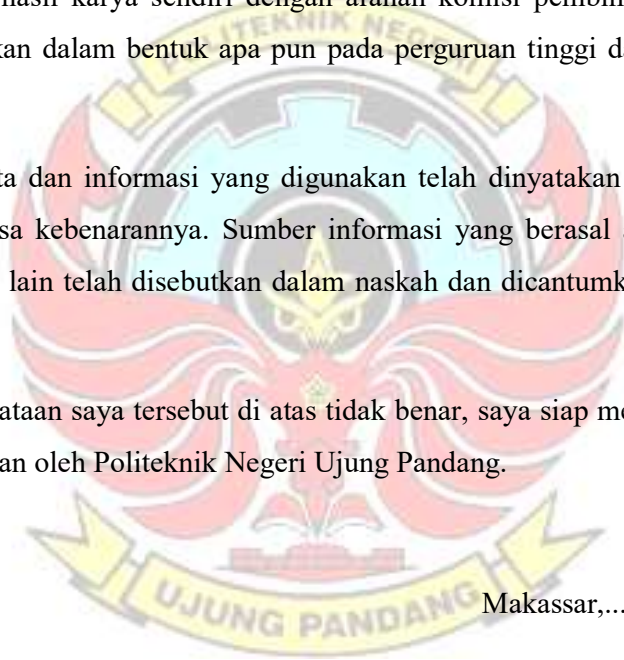
Nama : Ika Damayanti

NIM : 44213008

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L” merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.



Makassar,.....

(bermaterai 6000)

Ika Damayanti
NIM 44213008

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Brian Ferdinand Bangun

NIM : 44213014

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L” merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,.....



Brian Ferdinand Bangun
NIM 44213014

ABSTRAK

(Ika Damayanti dan Brian Ferdinand Bangun). Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L, dibimbing oleh Ir. Andreas Pangkung, M.T. dan Dr. Jamal, S.T., M.T.

Menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbarukan (*nonrenewable*) serta penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan memerlukan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang terbarukan (*renewable*). Karena angin yang bertiup di Indonesia khususnya di Sulawesi Selatan hanya memiliki kecepatan 2 – 4 m/s, maka diperlukan modifikasi rotor Savonius agar putaran rotor bertambah. Turbin Savonius banyak mengalami pengembangan desain. Salah satunya adalah desain rotor Savonius tipe L.

Bentuk dari rotor Savonius L merupakan kombinasi profil datar dan lengkungan yang umumnya berbentuk seperempat lingkaran. Rotor Savonius L ini memiliki kelebihan dari Savonius U, yaitu pada Savonius L angin yang menumbuk rotor lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di pusat turbin, sehingga memberikan energi tambahan pada bilah rotor ini. Pada penelitian sebelumnya didapatkan hasil analisis bahwa semakin kecil sudut kelengkungan maka semakin besar pula kecepatan yang dihasilkan oleh turbin. Namun penelitian tersebut memiliki beberapa kekurangan yaitu menggunakan kipas angin sebagai media untuk menguji kecepatan putar turbin angin savonius sehingga hasilnya tidak konstan dan variasi kecepatan yang digunakan lebih sedikit sehingga karakteristik masing-masing turbin tidak terlihat jelas.

Untuk memperbaiki penelitian tersebut maka dilakukan pengembangan dengan modifikasi pada rotor savonius L. Modifikasi dilakukan menggunakan turbin angin Savonius dengan variasi sudut kelengkungan sudu antara 20°, 15°, dan 10°.

Penelitian dilakukan di Kecamatan Mangara Bombang, Kabupaten Takalar. Adapun data yang dihasilkan dalam pengujian yaitu data mekanik. Setelah melakukan penelitian, dapat disimpulkan bahwa, turbin yang memiliki putaran paling besar adalah turbin dengan sudut kelengkungan sebesar $\Theta = 15^\circ$ dan putaran paling kecil adalah turbin dengan sudut kelengkungan sebesar $\Theta = 10^\circ$.

Kata Kunci : Turbin, Angin, Savonius, Sudut

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbarukan (*nonrenewable*) serta penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan memerlukan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang terbarukan (*renewable*). Sumber energi tak terbarukan yang banyak digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara).

Energi angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energinya. Karena sifatnya yang ramah lingkungan sumber energi angin mulai dikembangkan untuk mengantisipasi terjadinya krisis energi. Dalam rangka pengembangan teknologi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA), telah dilakukan banyak penelitian untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara optimal.

Di Indonesia kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 – 7 m/s. Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) di pulau Jawa kecepatan angin rata-rata berkisar 2,5 – 4,0 m/s (LAPAN, 2005). Sedangkan energi angin di Sulsel kecepatannya sedang berkisar 2 - 4 m/s. Pada beberapa daerah tertentu seperti Takalar, Bulukumba, Sidrap dan Selayar kecepatan anginnya lebih dari 4 m/s, sehingga cukup memadai untuk pembangkit listrik skala kecil yang sesuai dipasang di daerah pedesaan (Departemen Energi Sumber Daya Mineral, 2011).

Turbin yang sesuai untuk kecepatan angin rendah adalah turbin Savonius. Turbin ini memiliki torsi awal yang besar pada kecepatan angin rendah (Kamal, 2008). Turbin Savonius termasuk turbin tipe sumbu tegak (vertical axis) yang rotornya dapat berputar untuk semua arah angin. Karena angin yang bertiup di Indonesia khususnya di Sulawesi Selatan hanya memiliki kecepatan 2 – 4 m/s, maka diperlukan modifikasi rotor Savonius agar putaran rotor bertambah. Selain itu dibutuhkan komponen pendukung untuk menunjang kinerja turbin angin poros vertikal.

Sejak ditemukan oleh Sigurt J. Savonius pada tahun 1922 hingga saat ini, turbin Savonius banyak mengalami pengembangan desain. Salah satunya adalah desain rotor Savonius tipe L. Bentuk dari rotor Savonius L merupakan kombinasi profil datar dan lengkungan yang umumnya berbentuk seperempat lingkaran. Rotor Savonius L ini memiliki kelebihan dari Savonius U, yaitu pada Savonius L angin yang menumbuk rotor lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di pusat turbin, sehingga memberikan energi tambahan pada bilah rotor ini (Soelaiman, 2006).

Selain itu pemanfaatan turbin angin dapat juga digunakan untuk menggerakkan pompa untuk mengisi kolam-kolam penghasil garam dan penggerak pada sistem aerasi seperti penelitian sebelumnya pada uji eksperimen turbin angin Savonius sebagai penggerak aerator tambak Ikan (Naufal, 2016).

Dewi (2010), melakukan penelitian mengenai variasi sudut kelengkungan sudu turbin Savonius, masing-masing sebesar, 20° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 70° ,

dan 80° . Didapatkan hasil analisis bahwa semakin kecil sudut kelengkungan maka semakin besar pula kecepatan yang dihasilkan oleh turbin. Namun penelitian tersebut memiliki beberapa kekurangan yaitu menggunakan kipas angin sebagai media untuk menguji kecepatan putar turbin angin savonius sehingga hasilnya tidak konstan dan variasi kecepatan yang digunakan lebih sedikit sehingga karakteristik masing-masing turbin tidak terlihat jelas.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dikembangkanlah penelitian tersebut dengan melakukan modifikasi pada rotor savonius L. Modifikasi dilakukan menggunakan turbin angin Savonius dengan variasi sudut kelengkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kelengkungan turbin terhadap kinerja turbin Savonius tipe L ?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap kinerja turbin Savonius tipe L dengan variasi sudut kelengkungan turbin ?
3. Bagaimana cara merancang turbin Savonius tipe L dengan variasi sudut kelengkungan turbin ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

1. Variasi sudut kelengkungan yang digunakan sebanyak 3 variasi, masing-masing sebesar, 10° , 15° , dan 20°
2. Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Mangara Bombang, Kabupaten Takalar.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut kelengkungan turbin terhadap kinerja turbin Savonius tipe L.
2. Mengetahui pengaruh pembebanan terhadap kinerja turbin savonius tipe L dengan variasi sudut kelengkungan turbin.
3. Dapat merancang turbin Savonius tipe L dengan variasi sudut kelengkungan turbin

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian diharapkan dapat mengetahui pengaruh variasi sudut kelengkungan turbin terhadap kinerja turbin Savonius tipe L, mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja turbin savonius tipe L dengan variasi sudut kelengkungan turbin, sehingga diketahui desain turbin mana yang mempunyai kinerja turbin maksimum. Secara umum penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam pengembangan energi terbarukan khususnya pengembangan turbin angin yang mampu beroperasi secara efisien pada kecepatan angin rendah.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi yang tersedia pada angin pada dasarnya adalah energi kinetik dengan massa yang besar bergerak diseluruh permukaan bumi. Blade/sudu pada turbin angin menyerap energi kinetik ini, yang kemudian di transformasikan dalam bentuk mekanikal atau elektrik, tergantung pada akhir penggunaan energi tersebut. Efisiensi mengubah angin ke bentuk energi lain yang berguna sangat bergantung pada efisiensi dimana rotor saling berhubungan dengan aliran angin. Angin merupakan massa udara yang bergerak. Pergerakan massa udara ini diakibatkan oleh perbedaan tekanan udara antara satu tempat dengan tempat yang lain, hal ini dapat diakibatkan karena perbedaan distribusi energi radiasi matahari, tutupan awan serta dinamika disekitarnya. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin atau turbin angin. Oleh karena itu, turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Energi kinetik untuk suatu massa m yang bergerak dengan kecepatan V yang nanti dapat diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut. (Eric Hau, 2005).

$$E_K = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

\dot{m} = laju massa udara (kg/s)

v = kecepatan rata-rata angina (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor.

Dengan menganggap suatu penampang melintang A, dimana udara dengan kecepatan v mengalami perpindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan:

$$V = vA \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

V = laju aliran (m^3/s)

v = kecepatan angin (m/s)

A = Luas area sapuan rotor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara ρ sebagai :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

ρ = densitas udara (kg/m^3)

A = luas daerah sapuan sudu (m^2)

Untuk menentukan massa jenis udara dapat menggunakan tabel sifat udara.

Persamaan di atas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu sudu penampang melintang A sebagai energi P yang di tunjukkan dengan persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

P = daya mekanik (W)

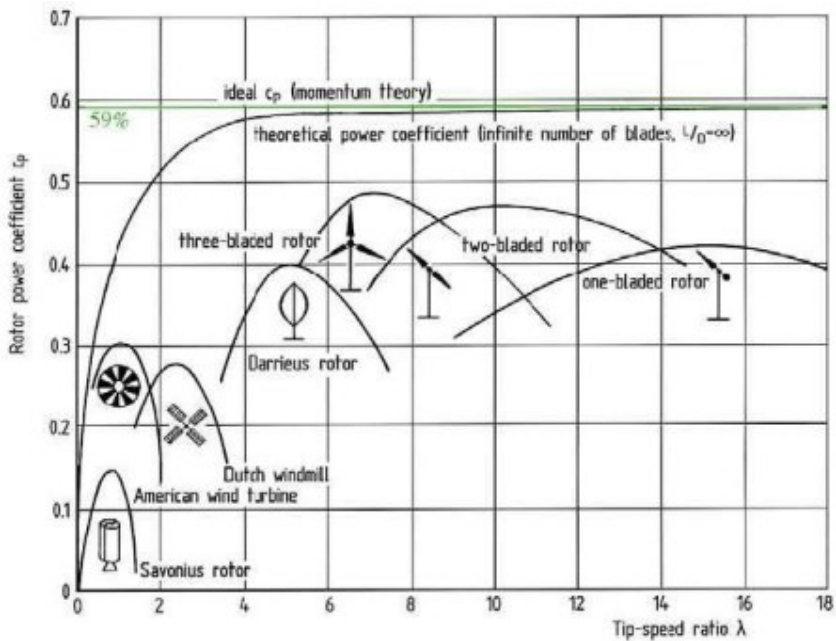
v = kecepatan angin (m/s)

ρ = densitas udara (kg/m^3)

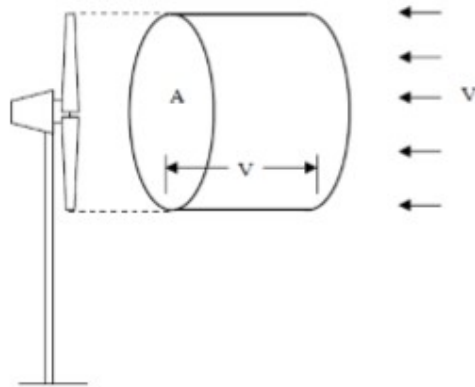
Perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritiknya, yang biasa disebut sebagai faktor daya (C_p) adalah:

$$C_p = \frac{P_T}{P_W} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(v_1+v_2)(v_1^2-v_2^2)}{\frac{1}{2}\rho A v_1^3} = \frac{16}{27} \dots \dots \dots (2.5)$$

Angka 16/27 (=59,259%) ini disebut faktor Betz, faktor Betz menunjukkan nilai maksimum semua alat konversi energi angin.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan C_p dan λ dengan batas Betz (Betz limit)



Gambar 2.2 Skema udara bergerak ke arah turbin angin
(Sumber : Mathew, 2006).

2.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi mengubah 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 atau menggerakkan pompa untuk pengairan.

Pemanfaatan energi angin telah dilakukan sejak lama. Pertama kali digunakan untuk menggerakkan perahu di sungai Nil sekitar 5000 SM. Penggunaan kincir sederhana telah dimulai sejak permulaan abad ke-7 dan tersebar di berbagai Negara seperti Persia, Mesir, dan Cina dengan berbagai desain. Di Eropa, kincir angin mulai dikenal sekitar abad ke-11 dan berkembang pesat saat revolusi industri pada awal abad ke-19 (Ajao dan Mahamood, 2009). Berdasarkan fungsi gaya aerodinamis, rotor terbagi menjadi dua, yaitu rotor tipe *drag* dan rotor tipe *lift*.

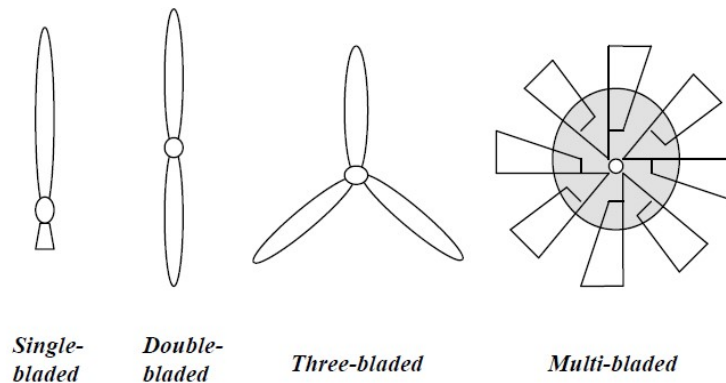
1. Rotor tipe *drag*, memanfaatkan efek gaya hambat atau *drag* sebagai gaya penggerak rotor.
2. Rotor tipe *lift*, memanfaatkan efek gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) (Daryanto, 2007).

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

Horizontal Axis Wind Turbine merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada *blade* yang ditimbulkan oleh aliran angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

Jumlah *blade* pada HAWT bervariasi, mulai dari satu *blade*, dua *blade*, tiga *blade*, dan banyak *blade* (*multi blade*) yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi angin. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin.

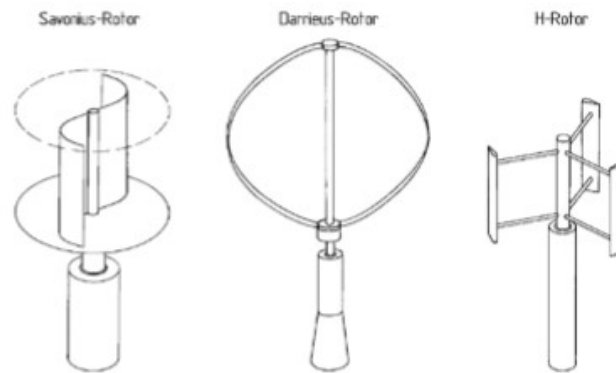


Gambar 2.3 Variasi jumlah blade pada HAWT (Daryanto, 2007)

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin selain itu penempatan dinamo atau generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower.

2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

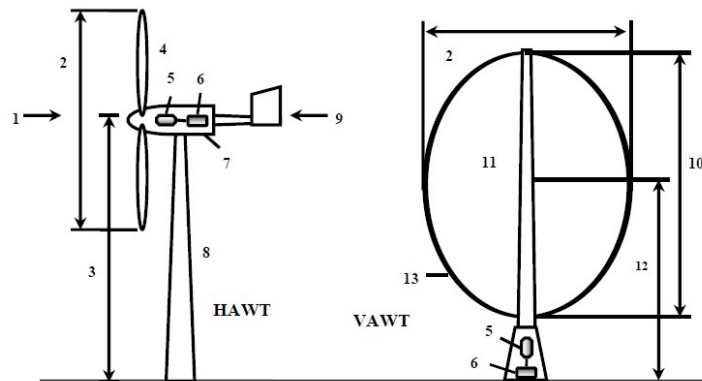
Vertical Axis Wind Turbine merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*.



Gambar 2.4 Turbin angin sumbu tegak (Mittal, 2001)

Sama halnya seperti HAWT, VAWT juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo atau generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak bising, dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan HAWT.

Desain turbin angin yang ada saat ini secara umum terbagi menjadi dua, yaitu turbin angin sumbu mendatar (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT). Bagian-bagian turbin dapat dilihat pada Gambar 2.5.



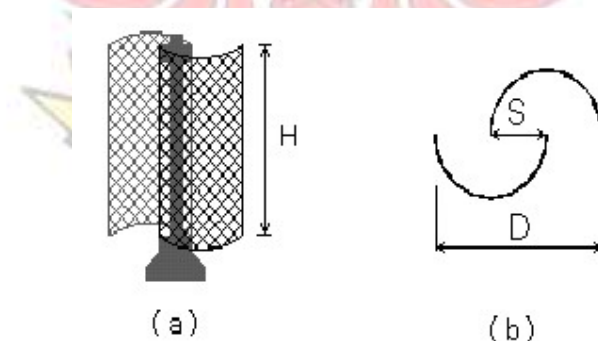
Gambar 2.5 Komponen turbin angin (Mittal, 2001)

Keterangan Gambar:

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Arah angin pada HAWT tipe upwind 2. Diameter rotor 3. Hub Height 4. Rotor Blade 5. Gear box 6. Generator 7. Nacelle | <ol style="list-style-type: none"> 8. Tower pada HAWT 9. Arah angin pada HAWT tipe down wind 10. Tinggi rotor 11. Tower pada VAWT 12. Equator height 13. Fixed-pitch rotor blade |
|--|--|

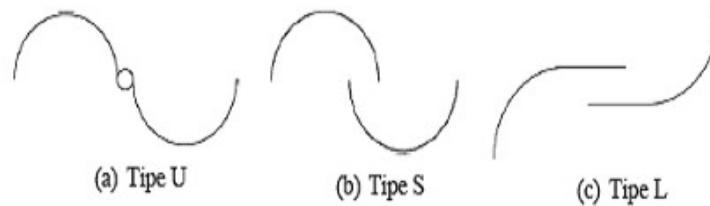
2.3 Turbin Angin Savonius

Rotor Savonius didesain oleh insinyur Prancis S. J. Savonius pada tahun 1922. Ide dasarnya adalah menggabungkan dua silinder yang telah dibelah menjadi dua. Desain ini sangat mudah dan sederhana untuk diaplikasikan. Tipe Savonius bekerja karena gaya *drag* dari angin, satu sisi memiliki gaya *drag* yang lebih besar dari pada sisi yang lainnya sehingga terjadi perputaran. Tipe ini memiliki efisiensi yang rendah karena gaya angin yang mengenai sebuah bidang ditransformasikan menjadi gaya *drag* yang lebih besar daripada gaya angkat. Menurut penelitian koefisien tenaganya (C_p) tidak lebih dari 30%, sehingga cocok untuk penghasil daya yang rendah dengan kecepatan angin kecil, tetapi menghasilkan torsi yang cukup besar. Rotor Savonius merupakan jenis rotor untuk turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer.



Gambar 2.6 Rotor Savonius

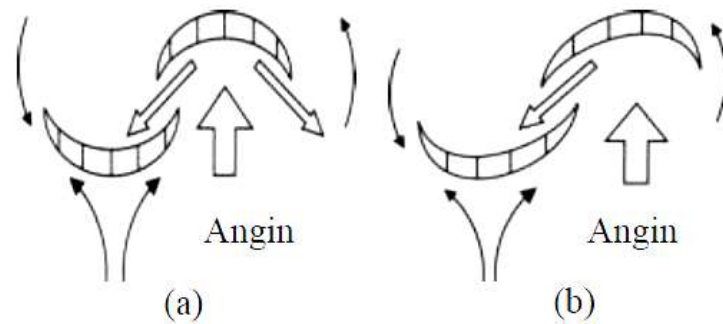
Dalam perkembangannya rotor Savonius ini mengalami perubahan bentuk rotor, seperti Gambar 2.7 di bawah:



Gambar 2.7 Berbagai tipe rotor Savonius

Keunggulan dari ketiga rotor di atas adalah;

- a. Rotor Savonius tipe-U memiliki kecepatan putar tinggi karena angin dapat disirkulasikan terpusat ditengah atau pusat batang, tetapi kurang efisien dibandingkan dua tipe lainnya.
- b. Rotor Savonius tipe-S dapat dirancang dengan mudah dari drum. Desain ini lebih efisien dari Savonius U karena beberapa aliran udara dibelokkan oleh kedua sudu lalu keluar pada salah satu sisinya dengan kata lain aliran udara sama besar pada kedua bilah sudu.
- c. Rotor Savonius tipe-L ini adalah desain yang paling efisien dari kincir angin Savonius. Savonius tipe-L tidak hanya memiliki keunggulan dari udara yang dibelokkan menjadi dua kali tetapi juga sebagian *vanes* bertindak seperti sebuah airfoil ketika berada di tepi, membuat efek gaya angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi. Selain itu, aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar daripada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran (Soelaiman, 2006) seperti gambar 7 di bawah ini.

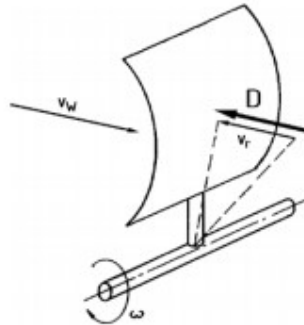


Gambar 2.8 (a) Rotor Savonius U, dan (b) Rotor Savonius L
(Soelaiman, 2006)

2.4 Gaya Aerodinamika Turbin

Teori momentum Betz's menunjukkan nilai yang ideal untuk daya yang di ekstrak dari aliran udara tanpa mempertimbangkan desain dari rotor turbin itu sendiri. Gaya aerodinamis yang digunakan rotor sangat mempengaruhi daya mekanik yang dihasilkan. Ada dua macam gaya yang menggerakkan rotor pada turbin angin, yaitu gaya *lift* dan drag. Gaya *lift* adalah gaya pada arah tegak lurus arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda yang berpenampang *airfoil*. Jika penampang airfoil menyapu udara dengan kecepatan tertentu maka tekanan udara pada bagian atas sayap akan lebih kecil dari bagian bawah sayap, hal ini menyebabkan adanya gaya angkat pada sayap tersebut yang disebut gaya *lift*. Sedangkan gaya drag adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.

2.4.1 Aerodinamik Hambatan (*drag*)

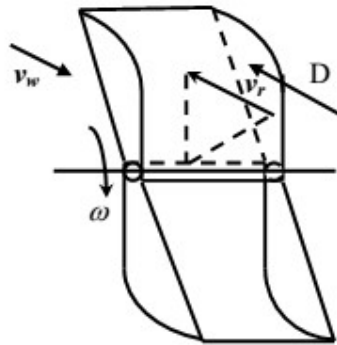


Gambar 2.9 Kondisi aliran dan Gaya Aerodinamis pada Turbin Jenis Drag (Sumber : Hau, 2006)

Menurut Hau (2006) jenis yang paling sederhana dalam mengkonversi energi dapat dicapai dengan cara penerapan hambatan atau *drag* murni pada suatu permukaan seperti pada Gambar 2.9, udara dengan kecepatan v_w akan menepa permukaan rotor dengan luasan A . Daya P yang diperoleh dari gaya drag dengan kecepatan v adalah $P=Dv_r$, dengan $v_r = v_w - v$ yang menunjukkan kecepatan efektif pada area drag. Gaya drag (D) dapat dirumuskan dengan :

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D (v_w - v_r)^2 A \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan C_D merupakan koefisien hambat (tanpa dimensi). Gaya ini bekerja pada permukaan rotor. Komponen gaya aerodinamiknya sejajar dan searah dengan arah angin (Rosidin, 2007).



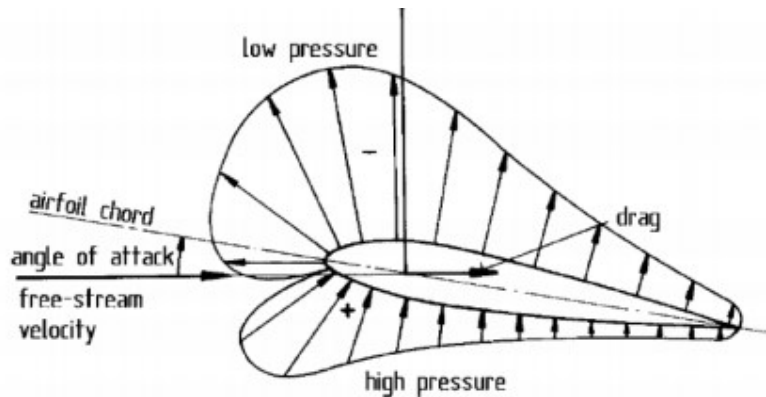
Gambar 2.10 Profil kecepatan untuk rotor tipe *drag* (Rosidin, 2007)

Penyebab dari perbedaan nilai putaran turbin (rpm) terdapat pada perbedaan dimensi turbin, dimana semakin besar sudut kelengkungan turbin, semakin besar pula jari-jari turbin. Setiap turbin mengalami penambahan panjang jari-jari sejalan dengan penambahan sudut kelengkungan. (Dewi, 2010:30)

Dengan adanya perubahan dimensi, gaya hambat yang bekerja pada turbin juga mengalami perubahan. Menurut Persamaan (2.15) besarnya gaya hambat dipengaruhi oleh luas permukaan turbin yang diterpa angin. Jadi, semakin besar jari-jari turbin, semakin besar pula luasan turbin yang bergesekan dengan udara sehingga menyebabkan gaya hambat semakin besar sehingga putaran turbin menjadi semakin berkurang.

2.4.2 Aerodinamik Angkat (lift)

Jika bentuk sudu rotor memungkinkan pemanfaatan aerodinamis *lift*, koefisien daya yang lebih tinggi dapat dicapai. Analog dengan kondisi yang ada dalam kasus pesawat airfoil, pemanfaatan gaya *lift* sangat meningkatkan efisiensi (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara.
(Sumber: Manwell, 2002)

2.5 Generator dc

Generator dc merupakan mesin dc yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator adalah salah satu mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator berdasarkan pada teori induksi medan elektromagnetik. Bagian utama generator terdiri dari kumparan medan dan kumparan jangkar yang diletakkan di rotor dan stator. Rotor adalah bagian generator yang berputar sedangkan stator adalah bagian generator yang diam (Mustofa, 2014).

Untuk mendapatkan daya output pada generator satu-fasa dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_G = V \times I \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

P_G = daya output generator (watt)

V = tegangan keluaran generator (volt)

I = arus generator (ampere)

BAB III

METODE PENELITIAN

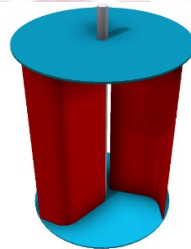
a. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Kecamatan Mangara Bombang, Kabupaten Takalar. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2017. Meliputi persiapan penelitian, pengerjaan penelitian, pengumpulan data dan pengolahan data.

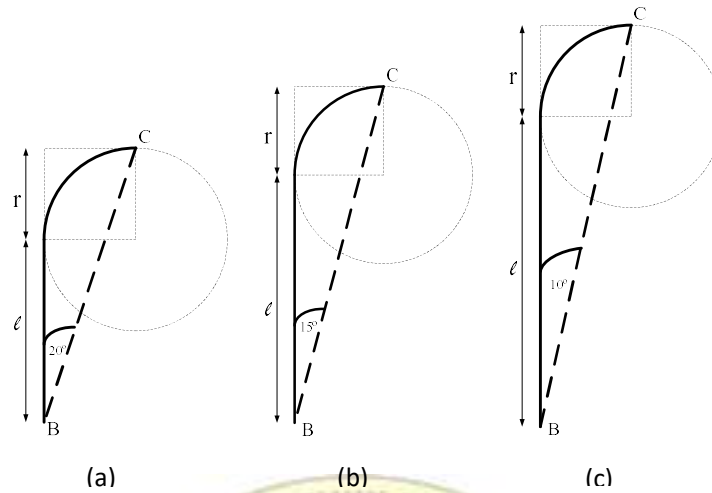
b. Metode Perancangan

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan pengembangan . Metode yang dipakai yaitu melakukan pengujian dengan 3 sudu dan variasi sudut kelengkungan turbin sebagai parameter untuk meningkatkan kinerja turbin Savonius tipe L

Desain turbin angin Savonius tipe L dengan modifikasi sudut kelengkungan



Gambar 3.1 Desain turbin angin Savomius tipe L menggunakan 3 sudu



Gambar 3.2 Turbin Savonius Tipe L (a) 20° , (b) 15° , (c) 10° .

c. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan dan pengujian Turbin Angin Savonius adalah sebagai berikut :

3.3.1. Peralatant yang akan digunakan

- a. Digital Tachometer
- b. Anemometer
- c. Mesin Las
- d. Gergaji Besi
- e. Mesin bor
- f. Mesin Gurinda
- g. Kunci pas
- h. Kunci inggris
- i. Palu

3.3.2 Bahan Yang digunakan

- a. Besi Poros Stainless
- b. Bearing
- c. Plat aluminium
- d. Besi siku
- e. Baut dan Mur
- f. Paku Keling

3.4 Metode Pengujian

Pengujian turbin savonius ini dilakukan di Takalar-Mangarabombang selama 1 hari dengan mengambil data mekanik dan data elektrik.

3.5 Langkah Pembuatan

3.5.1. Pengerjaan Rangka Utama



Gambar 3.3 Desain Rangka Utama

1) Bentuk rangka yang akan dibuat

Rangka dibuat sekuat mungkin yang berbentuk segitiga yaitu dari besi siku dengan tinggi 2 meter.

2) Langkah pengerjaan

- Mempersiapkan alat dan bahan yang akan di gunakan seperti gerinda, las listrik, gergaji besi, palu, dan mesin bor.
- Memotong besi L sesuai ukuran yang telah ditentukan.
- Apabila bekas besi potongan telah di potong kemudian haluskan dengan menggunakan mesin gurinda agar tidak kasar.
- Membuat penyangga horizontal dengan mengelasnya sebagai tempat dudukan turbin.
- Menyusun kerangkanya sesuai dengan yang telah di rencanakan kemudian las bagian - bagian yang ingin di satukan sehingga membentuk suatu kerangka segitiga.

3.5.2. Pengerjaan Komponen Utama

1) Poros

- Mempersiapkan alat terlebih dahulu seperti las gurinda, bor, baut mur.
- Potong besi poros sesuai ukuran yang telah disiapkan yang berfungsi sebagai poros turbin.
- Mengebor dudukan turbin untuk dudukan turbin savonius.
- Kemudian haluskan besi dengan menggunakan gurinda.

2) Sudu

- Siapkan aluminium, profil seperempat lingkaran dengan jari-jari 6 cm, gunting plat dan gurinda.
- Kemudian potong aluminium dengan menggunakan gunting plat sesuai dengan profil yang telah dibuat sebelumnya.
- Haluskan bekas potongan aluminium dengan menggunakan mesin gurinda atau amplas agar tidak kasar.
- Bentuk sudu turbin savonius tipe L:



Dalam menentukan dimensi sudu menggunakan rumus :

a) Untuk sudut 10° :

$$\tan \theta = \frac{r}{l+r}$$

$$\tan 10 = \frac{6}{l+6}$$

$$l \approx 28 \text{ cm}$$

Diameter turbin:

$$D = \left(\frac{r+l}{\cos \theta} \times 2 \right) + \text{diameter poros}$$

$$D = 71 \text{ cm}$$

b) Untuk sudut 15° :

$$\tan \theta = \frac{r}{l+r}$$

$$\tan 15 = \frac{6}{l+6}$$

$$l \approx 16.5 \text{ cm}$$

Diameter turbin:

$$D = \left(\frac{r+l}{\cos \theta} \times 2 \right) + \text{diameter poros}$$

$$D = 49 \text{ cm}$$

c) Untuk sudut 20°

$$\tan \theta = \frac{r}{l+r}$$

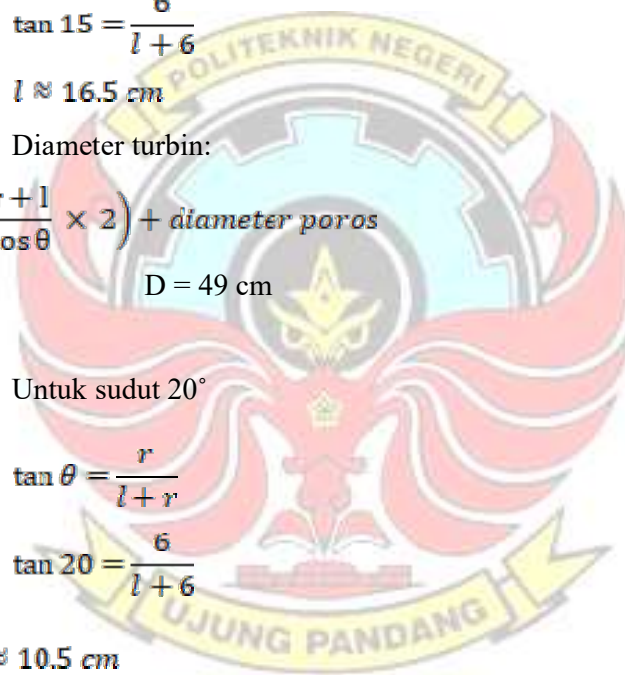
$$\tan 20 = \frac{6}{l+6}$$

$$l \approx 10.5 \text{ cm}$$

Diameter turbin:

$$D = \left(\frac{r+l}{\cos \theta} \times 2 \right) + \text{diameter poros}$$

$$D = 37 \text{ cm}$$



3) Bantalan

Bantalan yaitu untuk menumpu sebuah poros turbin savonius agar dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan.

3.5.3. Proses Perakitan

Proses perakitan merupakan suatu proses penggabungan komponen - komponen mesin atau bahan menjadi suatu kesatuan dengan memperhatikan urutan yang telah ditentukan, sehingga menjadi suatu mesin yang siap digunakan sesuai yang diperhitungkan dan tujuan yang telah di rencanakan. Langkah awal yang harus diperhatikan adalah melakukan pengecekan ulang terhadap komponen-komponen yang hendak dirakit, kemudian siapkan alat dan bahan yang hendak digunakan.

a. Alat Perakitan

- 1) Kunci ring
- 2) Baut mur
- 3) Kunci inggris
- 4) Palu
- 5) Cat

b. Langkah Perakitan

Adapun langkah perakitan turbin angin savonius yaitu:

- 1) Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan yang akan dirakit.
- 2) Siapkan kerangkanya yang telah di rakit tadi.
- 3) Memasang poros turbin ke kedudukan yang telah direncanakan.

- 4) Memasang poros turbin untuk mentransmisikan energi turbin menuju motor dc.
- 5) Apabila telah selesai, dan cat untuk memperindah tampilan. Dan alat ini siap untuk di ujicobakan.

3.6 Teknik Analisa Data

3.6.1. Analisa Data Mekanik

1. Daya input (P_{in})

Dengan persamaan,

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

dimana, $\dot{m} = \rho V \rightarrow V = vA$

Keterangan:

ρ = densitas udara ($\rho = 1,255 \text{ kg/m}^3$)

\dot{m} = massa udara (kg/s)

v = kecepatan angin (m/s)

A = luas penampang turbin (m^2)

2. Torsi

Dengan persamaan

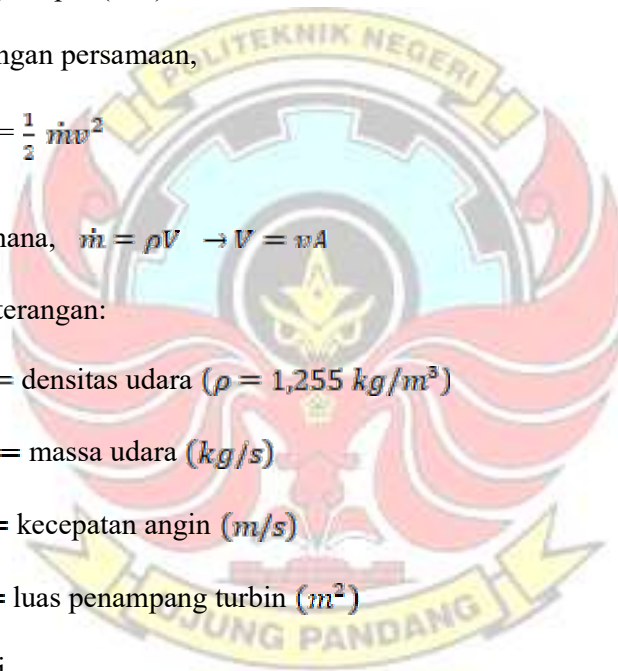
$$T = \frac{F(r+l)}{\cos \theta}$$

Keterangan:

F = gaya

r = jari-jari profil lengkung

L = panjang profil datar



3. Daya Ouput (P_{out})

$$P_{out} = \frac{2\pi T}{60}$$

Keterangan

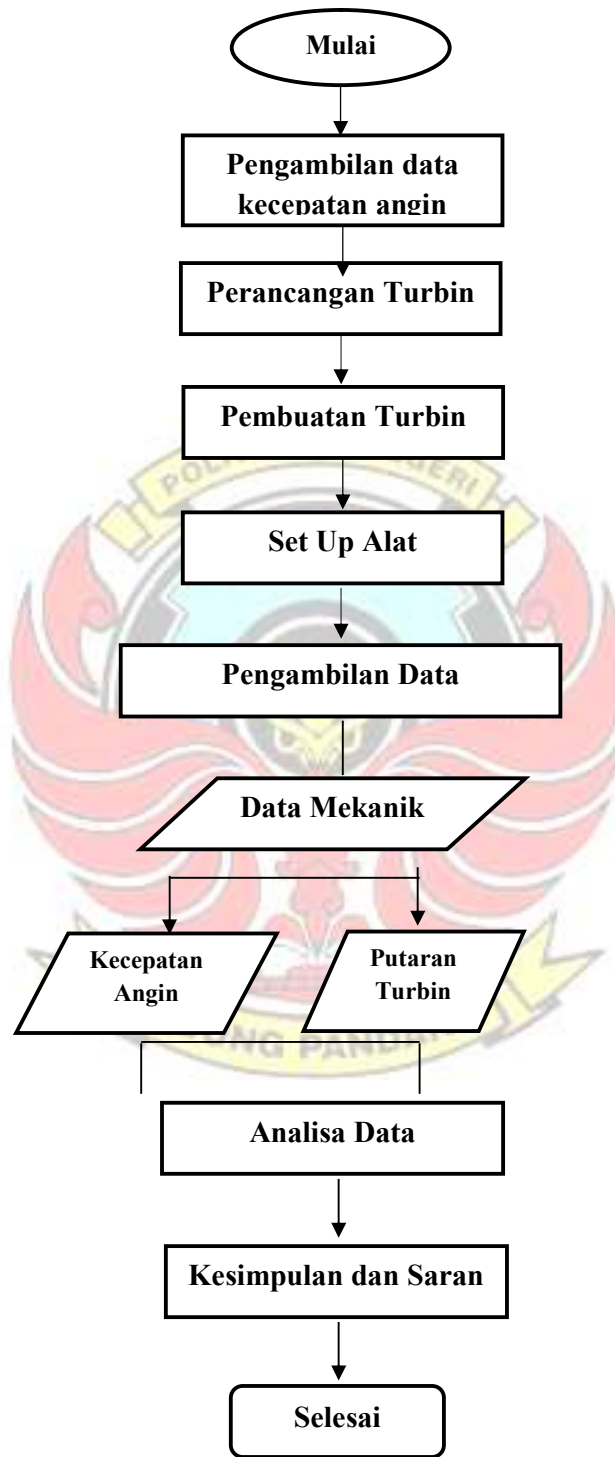
T = torsi

4. Efisiensi (η)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$



3.7 Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.

3.8 Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Mei				Juni				Agustus				Oktober				November			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengambilan data angina																				
Pembuatan Alat																				
Pengujian Alat																				
Pembuatan Laporan Hasil																				



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tabel Hasil Pengujian Data Mekanik

4.1.1 Waktu pengambilan data tanggal Sabtu, 21 Oktober 2017 13.30

13.45 WITA.

Tabel 4.1 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 20°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	386	5.9	2.6
2	355	7.7	2.2
4	335	6	1.9
6	323	6.1	1.6
8	334	5.9	1.7
10	376	7	1.9

Tabel 4.2 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 15°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	425	6.7	2.4
2	380	6	2.3
4	391	5.9	2.2
6	329	6.4	2
8	309	6.1	2.1
10	302	7.2	1.9

Tabel 4.3 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 10°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	261	6.8	2.4
2	254	6.5	2
4	284	7.2	3.2
6	255	6.5	2.7
8	263	6.6	2.5
10	274	6.2	2.5

4.1.2 Waktu pengambilan data tanggal Sabtu, 21 Oktober 2017 13.45 – 14.00 WITA

Tabel 4.4 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 20°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	339	5.1	2.6
2	378	6.1	2.8
4	351	6.1	3.2
6	377	6.3	3.4
8	345	5.7	2.8
10	331	4.8	1.8

Tabel 4.5 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 15°

F	n	V_1	V_2
---	---	-------	-------

(N)	(rpm)	(m/s)	(m/s)
0	374	6.7	2.6
2	363	6.8	1.5
4	337	6.3	1.3
6	321	5.3	1.6
8	319	5.2	1.5
10	301	6.5	2.4

Tabel 4.6 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 10°

F	n	V_1	V_2
(N)	(rpm)	(m/s)	(m/s)
0	246	7.2	5.3
2	217	7.5	4.7
4	291	7.4	3.6
6	294	6.4	4.3
8	253	6.5	3.5
10	246	5.6	3.7

4.1.3 Waktu pengambilan data tanggal Sabtu, 21 Oktober 2017 14.15 – 14.30 WITA

Tabel 4.7 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 20°

F	n	V_1	V_2
(N)	(rpm)	(m/s)	(m/s)
0	309	5.2	3.3
2	343	4.5	2
4	386	5.4	2.1
6	254	4.1	1.8

8	338	5	2
10	399	5.6	2.3

Tabel 4.8 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 15°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	370	6.8	2.5
2	361	6.7	1.5
4	336	6.2	1.2
6	325	5.2	1.5
8	319	5.1	1.2
10	315	6.4	2.1

Tabel 4.9 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 10°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	254	7	1.4
2	268	7.4	1.5
4	269	7.6	2.4
6	267	6.5	1.7
8	294	7	2.4
10	293	6.2	2.2

4.1.4 Waktu pengambilan data tanggal Sabtu, 21 Oktober 2017 14.30 - 14.45 WITA

Tabel 4.10 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 20°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	340	6	1.6
2	358	5.2	1.5
4	367	6.1	2.3
6	352	5.5	1.6
8	343	5.1	2
10	348	5.9	2.3

Tabel 4.11 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 15°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	364	6.3	2.1
2	359	6.2	1.5
4	337	5.5	1.3
6	319	5.2	1.2
8	321	5.1	1.5
10	305	5.5	2.4

Tabel 4.12 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 10°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	234	5.3	1.9
2	301	6.8	2.5

4	267	6.1	2.4
6	260	4.9	1.7
8	250	5.4	1.8
10	288	5.5	1.5

4.1.5 Waktu pengambilan data tanggal Sabtu, 21 Oktober 2017 14.45 – 15.00 WITA

Tabel 4.13 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 20°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	238	7.3	2.2
2	287	5.5	1.8
4	237	4.7	1.7
6	233	5.4	1.5
8	223	3	0.4
10	232	3.8	1.7

Tabel 4.14 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 15°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	372	6.5	2.3
2	362	6.2	1.5
4	354	5.5	1.3
6	319	5.2	1.2
8	315	5.1	1.1
10	309	6.5	2.4

Tabel 4.15 Hasil pengambilan data untuk sudut Turbin 10°

F (N)	n (rpm)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)
0	266	5.6	2.5
2	267	5.4	2
4	224	5.2	1.9
6	245	5.4	1.9
8	276	6.5	2.3
10	252	6	2.1

4.2 Analisa Data Mekanik

Setelah melakukan pengujian dan telah memperoleh data, selanjutnya data dianalisis dengan berbagai acuan teori yang ada. Contoh analisa data mekanik pada turbin angin dengan sudut 10°, 15°, 20° (t= 13.30 – 13.45 WITA) yaitu sebagai berikut :

Diketahui :

1. Untuk sudu turbin 10°

$$v_1 = 6.5 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2 \text{ m/s}$$

$$n = 254 \text{ rpm}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1.225 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = 1 \text{ m} \times 0.71 \text{ m} = 0.71 \text{ m}^2$$

$$F = 2 \text{ Newton}$$

Ditanyakan: 1. $\dot{m} = \dots?$ (kg/s)

2. $P_{in} = \dots?$ (watt)

3. $T = \dots?$ (Nm)

4. $P_{out} = \dots?$ (watt)

5. $\eta = \dots?$ (%)

1) $\dot{m} = \rho \times A \times v_1$
 $= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.71 \text{ m}^2 \times 6.5 \text{ m/s}$
 $= 5.65 \text{ kg/s}$

2) $P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$
 $= \frac{1}{2} 5.65 \text{ kg/s} \times 6.5^2 \text{ m/s}$
 $= 119.42 \text{ watt}$

3) $T = \frac{F(r+l)}{\cos \theta}$
 $\frac{F(6 + 10.5)}{\cos 10}$
 $= 0.69 \text{ N/m}$

4) $P_{out} = \frac{2\pi NT}{60}$
 $= 18.36 \text{ watt}$

5) $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$
 $= 15.37 \%$



2. Untuk sudu turbin 15°

$$v_1 = 6 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2.3 \text{ m/s}$$

$$n = 380 \text{ rpm}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1.225 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = 1 \text{ m} \times 0.49 \text{ m} = 0.49 \text{ m}^2$$

$$F = 2 \text{ Newton}$$

Ditanyakan: 1. $\dot{m} = \dots?$ (kg/s)

2. $P_{\text{in}} = \dots?$ (watt)

3. $T = \dots?$ (Nm)

4. $P_{\text{out}} = \dots?$ (watt)

5. $\eta = \dots?$ (%)

$$\begin{aligned} 1) \dot{m} &= \rho \times A \times v_1 \\ &= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.49 \text{ m}^2 \times 6 \text{ m/s} \\ &= 3.6 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \\ &= \frac{1}{2} 3.6 \text{ kg/s} \times 6^2 \text{ m/s} \\ &= 51.44 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$3) T = \frac{F(r+l)}{\cos \theta}$$

$$\frac{F(6 + 10.5)}{\cos 15}$$

$$= 0.46 \text{ N/m}$$

$$4) P_{\text{out}} = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$= 64.82 \text{ watt}$$

$$5) \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

$$= 28.59 \%$$

3. Untuk sudu turbin 15°

$$v_1 = 6 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2.3 \text{ m/s}$$

$$n = 380 \text{ rpm}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1.225 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = 1 \text{ m} \times 0.49 \text{ m} = 0.49 \text{ m}^2$$

$$F = 2 \text{ Newton}$$

Ditanyakan: 1. $\dot{m} = \dots?$ (kg/s)

2. $P_{\text{in}} = \dots?$ (watt)

3. $T = \dots?$ (Nm)

4. $P_{\text{out}} = \dots?$ (watt)

5. $\eta = \dots?$ (%)



$$1) \dot{m} = \rho \times A \times v_1$$

$$= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.37 \text{ m}^2 \times 7.7 \text{ m/s}$$

$$= 2.7 \text{ kg/s}$$

$$2) P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

$$= \frac{1}{2} 2.7 \text{ kg/s} \times 7.7 \text{ m/s}$$

$$= 51.44 \text{ watt}$$

$$3) T = \frac{F(r+l)}{\cos \theta}$$

$$\frac{F(6 + 10.5)}{\cos 20}$$

$$= 0.35 \text{ N/m}$$

$$4) P_{out} = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$= 13.05 \text{ watt}$$

$$5) \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= 25.37 \%$$

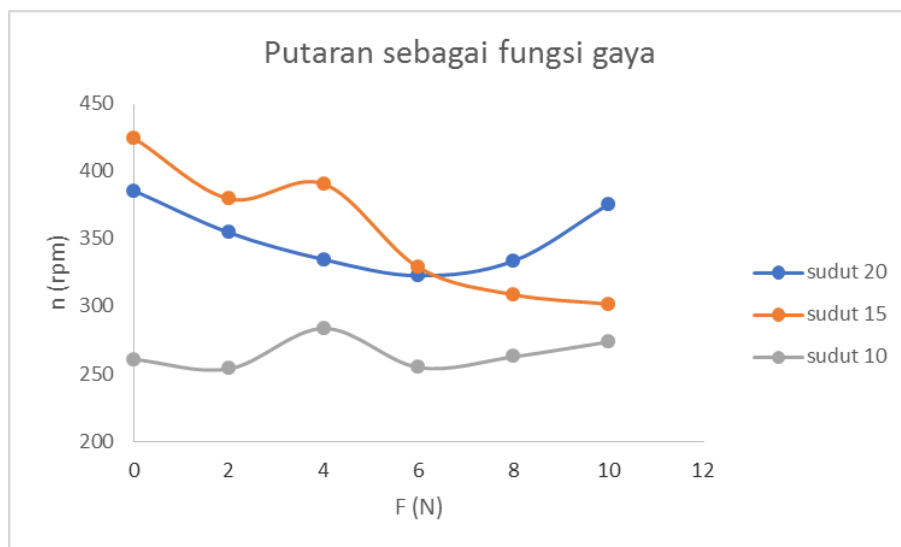
Berdasarkan perhitungan diatas semakin besar sudut turbin maka, semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan, tetapi semakin besar sudut turbin maka, torsi yang didapatkan akan semakin kecil, dan semakin besar luas permukaan turbin semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan tiap sudut turbin, tetapi torsi yang didapatkan akan semakin kecil.

Untuk analisa data hasil mekanik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan dan setelah menganalisa data hasil pengujian, variasi sudut sudu turbin sangat mempengaruhi kinerja turbin angin.

Terlihat pada grafik dibawah ini, memperlihatkan bahwa variasi sudut sudu turbin mempengaruhi kinerja turbin angin Savonius.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran terhadap gaya

Pada gambar 4.1 Hubungan antara putaran terhadap gaya, pada percobaan tanpa pembebanan, putaran turbin tertinggi pada sudut turbin 15° dengan putaran sebesar 425 rpm, kemudian pada sudut turbin 20° dengan putaran sebesar 386 rpm, dan putaran terendah pada percobaan tanpa pembebanan pada sudut turbin 10° sebesar 261 rpm.

Pada percobaan pembebanan 2 Newton, putaran turbin tertinggi pada sudut 15° dengan putaran sebesar 380 rpm, kemudian pada sudut turbin 20° dengan

putaran sebesar 355 rpm, dan putaran terendah pada percobaan pembebanan 2 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 254 rpm.

Pada percobaan pembebanan 4 Newton, putaran turbin tertinggi pada sudut 15° dengan putaran sebesar 391 rpm, kemudian pada sudut turbin 20° dengan putaran sebesar 391 rpm, dan putaran terendah pada percobaan pembebanan 4 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 284 rpm.

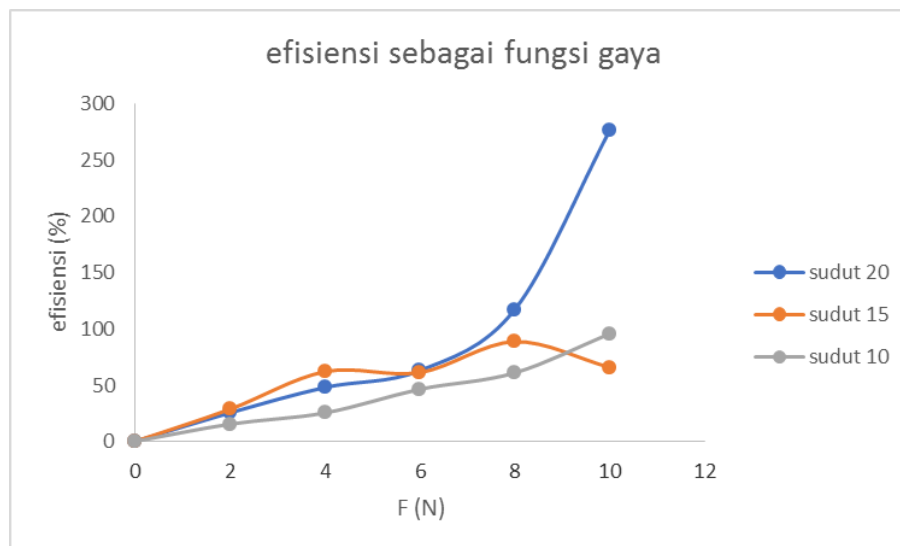
Pada percobaan pembebanan 6 Newton, putaran turbin tertinggi pada sudut 15° dengan putaran sebesar 329 rpm, kemudian pada sudut turbin 20° dengan putaran sebesar 323 rpm, dan putaran terendah pada percobaan pembebanan 6 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 255 rpm.

Pada percobaan pembebanan 8 Newton, putaran turbin tertinggi pada sudut 20° dengan putaran sebesar 334 rpm, kemudian pada sudut turbin 15° dengan sebesar 309 rpm, dan putaran terendah pada percobaan pembebanan 8 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 263 rpm.

Pada percobaan pembebanan 10 Newton, putaran turbin tertinggi pada sudut 20° dengan putaran sebesar 376 rpm, kemudian pada sudut turbin 15° dengan putaran sebesar 302 rpm, dan putaran terendah pada percobaan pembebanan 10 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 274 rpm.

Berdasarkan data hasil pada gambar 4.1 terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan ke turbin maka putarannya semakin menurun. Tetapi ada beberapa data yang mengalami kenaikan kecepatan contohnya pada data sudut 15° dengan pembebanan 4 newton dimana sebelumnya, pada pembebanan 2 newton kecepatan yang dihasilkan sebesar 380 rpm tetapi pada

pembebanan 4 newton kecepatan yang dihasilkan sebesar 391 rpm. Hal ini dipengaruhi karena pada saat pengambilan data posisi pegas newton yang digunakan berubah-ubah.



Gambar 4.2 Hubungan antara efisiensi terhadap gaya

Pada gambar 4.2 Hubungan antara efisiensi terhadap gaya, pada percobaan pembebanan 2 Newton, efisiensi turbin tertinggi pada sudut 15° dengan efisiensi sebesar 28.59 % , kemudian pada sudut turbin 20° dengan efisiensi sebesar 25.38 % , dan efisiensi terendah pada percobaan pembebanan 2 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 15.38 %.

Pada percobaan pembebanan 4 Newton, efisiensi turbin tertinggi pada sudut 15° dengan efisiensi sebesar 61.9 % , kemudian pada sudut turbin 20° dengan efisiensi sebesar 47.9 % , dan efisiensi terendah pada percobaan pembebanan 4 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 25.3 % .

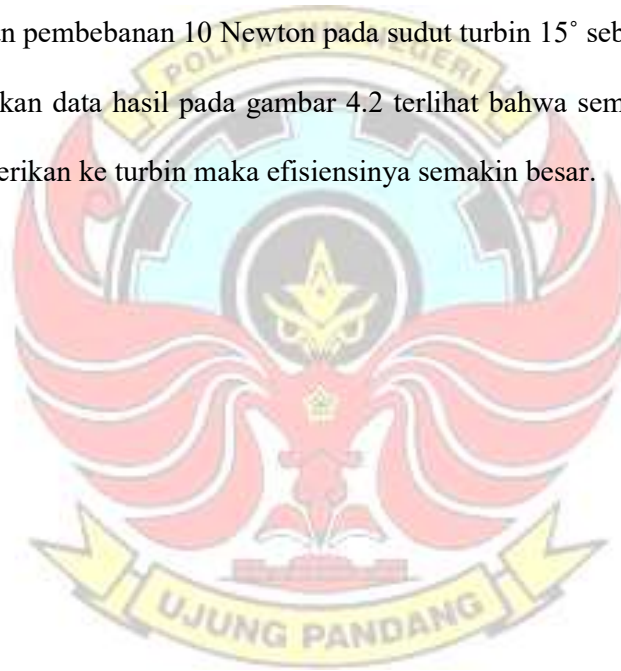
Pada percobaan pembebanan 6 Newton, efisiensi turbin tertinggi pada sudut 20° dengan efisiensi sebesar 62.9 % , kemudian pada sudut turbin 15° dengan

efisiensi sebesar 61.2 %, dan efisiensi terendah pada percobaan pembebanan 6 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 46.31 % .

Pada percobaan pembebanan 8 Newton, efisiensi turbin tertinggi pada sudut turbin 15° dengan efisiensi sebesar 88.51 %, dan efisiensi terendah pada percobaan pembebanan 8 Newton pada sudut turbin 10° sebesar 60.84 % .

Pada percobaan pembebanan 10 Newton, efisiensi turbin tertinggi pada sudut turbin 10° dengan efisiensi sebesar 95.6 %, dan efisiensi terendah pada percobaan pembebanan 10 Newton pada sudut turbin 15° sebesar 65.8 % .

Berdasarkan data hasil pada gambar 4.2 terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan ke turbin maka efisiensinya semakin besar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

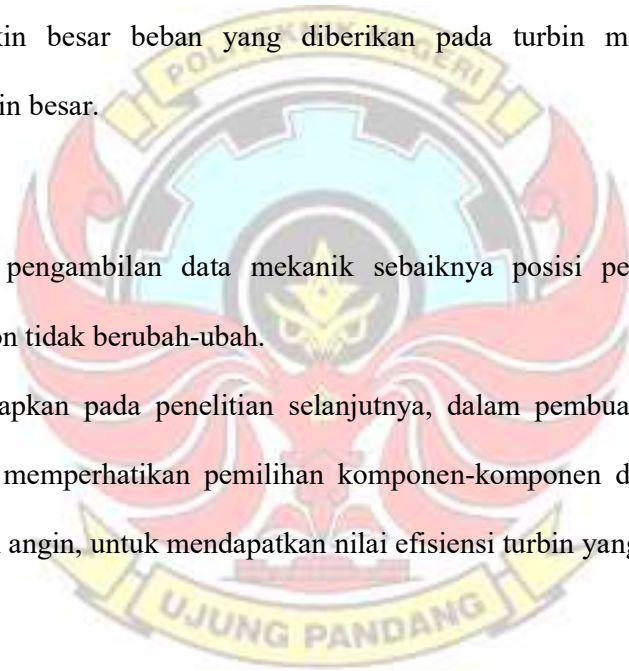
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kecepatan turbin terbesar dialami oleh turbin dengan $\theta = 15^\circ$ dan putaran terkecil dialami oleh turbin dengan $\theta = 10^\circ$.
2. Semakin besar beban yang diberikan pada turbin maka efisiensinya semakin besar.

5.2 Saran

1. Pada pengambilan data mekanik sebaiknya posisi penempatan pegas newton tidak berubah-ubah.
2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya, dalam pembuatan turbin angin lebih memperhatikan pemilihan komponen-komponen dalam pembuatan turbin angin, untuk mendapatkan nilai efisiensi turbin yang lebih besar.



DAFTAR PUSTAKA

- Ajao, K.R., dan Mahamood, M.R., 2009. *Wind Energy Conversion System: The Past, The Present And The Prospect*. Journal of American Science. Volume 5, No. 6, pp 17-22.
- Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT-LAGG.
- Departemen Energi Sumber Daya Mineral (DESDM). 2005. "Rasio Cadangan Dibanding Produksi Minyak Bumi di Indonesia dalam Kurun Waktu 18 Tahun". Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Departemen Energi Sumber Daya Mineral (DESDM). 2011. "Potensi Energi Terbarukan di Sulawesi Selatan". Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kamal, Faizul M., 2008. Aerodynamics Characteristics of A Stationary Five Bladed Vertical Axis Vane Wind Turbine. Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME39, No. 2, pp. 95-99
- LAPAN. 2005. "Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa". Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde.
- Naufal, dkk. 2016 Uji Experimen Turbin Angin Savonius Sebagai Penggerak Aerator Tambak Ikan. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol*; Bandung. ITB.



LAMPIRAN 1

Lampiran 1. Data Kecepatan Angin

No.	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Temperatur (°C)
1	12.00	3,2	32
2	12.15	3,4	31
3	12.30	3,4	30
4	12.45	3,8	30
5	13.00	4,3	29
6	13.15	4,1	30
7	13.30	3,9	30
8	13.45	4,1	30
9	14.00	4,9	30
10	14.15	3,9	30
11	14.30	4	30
12	14.45	4,1	30
13	15.00	5,6	30
14	15.15	5,4	31
15	15.30	5	30
16	15.45	4,2	30
17	16.00	4,1	29





LAMPIRAN 2

Lampiran 2. Data Pengujian Mekanik Turbin Angin Savonius

Waktu pengambilan data pukul 13.30 – 13.45 WITA

➤ Sudut 20°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	386	5.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.311575	30.06203	0	0	0
2	355	6.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.764825	51.43957	0.351179	13.05525	25.37978
4	335	6.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.764825	51.43957	0.702357	24.63948	47.89986
6	323	6.3	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.855475	56.6669	1.053536	35.63531	62.88558

➤ Sudut 15°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	m (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	425	6.7	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.021675	90.2665	0	0	0
2	380	6	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.6015	64.827	0.465874	18.53877	28.5973
4	391	5.9	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.541475	61.63937	0.931749	38.15084	61.89362
6	329	6.4	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.8416	78.67597	1.397623	48.15202	61.20296
8	309	6.1	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.661525	68.12267	1.863497	60.29979	88.51648
10	302	7.2	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.3218	112.0211	2.329371	73.66722	65.76194

➤ Sudut 10°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	m (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	261	6.8	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.9143	136.7386	0	0	0
2	254	6.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.653375	119.4275	0.69049	18.36622	15.37855
4	284	7.2	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.2622	162.3162	1.38098	41.07092	25.30303
6	255	6.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.653375	119.4275	2.07147	55.31558	46.31727
8	263	6.6	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.74035	125.0248	2.76196	76.06797	60.84229
10	274	6.2	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.39245	103.6429	3.45245	99.0619	95.58002

Waktu pengambilan data pukul 13.45 – 14.00 WITA

➤ Sudut 20°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	339	5.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.311575	30.06203	0	0	0
2	378	6.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.764825	51.43957	0.351179	13.90108	27.0241
4	351	6.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.764825	51.43957	0.702357	25.81629	50.18761
6	377	6.3	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.855475	56.6669	1.053536	41.59291	73.39896



➤ Sudut 15°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	374	6.7	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.021675	90.2665	0	0	0
2	363	6.8	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.0817	94.3689	0.465874	17.70941	18.76614
4	337	6.3	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.781575	75.04536	0.931749	32.88193	43.81607

➤ sudut 10°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	246	7.2	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.2622	162.3162	0	0	0
2	217	7.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.523125	183.4629	0.69049	15.69083	8.552588
4	291	7.4	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.43615	176.2218	1.38098	42.08323	23.88083
6	294	6.4	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.5664	113.9999	2.07147	63.77562	55.94358
8	253	6.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.653375	119.4275	2.76196	73.17565	61.272

Waktu pengambilan data pukul 14.15-14.30 WITA

➤ Sudut 20°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	309	5.2	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.3569	31.86529	0	0	0
2	343	4.5	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.039625	20.6512	0.351179	12.61394	61.08091
4	386	5.4	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.44755	35.68528	0.702357	28.39057	79.5582



➤ Sudut 15°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	370	6.8	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.0817	94.3689	0	0	0
2	361	6.7	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	4.021675	90.2665	0.465874	17.61183	19.51093
4	336	6.2	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.72155	71.52819	0.931749	32.78435	45.83417

➤ Sudut 10°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	254	7	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.08825	149.1621	0	0	0
2	268	7.4	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.43615	176.2218	0.69049	19.37853	10.99667
4	269	7.6	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.6101	190.8997	1.38098	38.90168	20.37807
6	267	6.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.653375	119.4275	2.07147	57.91867	48.49691
8	294	7	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	6.08825	149.1621	2.76196	85.03415	57.00787

Waktu pengambilan data pukul 14.30-14.45 WITA

➤ Sudut 20°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	340	6	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.7195	48.951	0	0	0
2	358	5.2	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.3569	31.86529	0.351179	13.16557	41.31635
4	367	6.1	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.764825	51.43957	0.702357	26.9931	52.47537

➤ Sudut 15°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	364	6.3	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.781575	75.04536	0	0	0
2	359	6.2	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.72155	71.52819	0.465874	17.51426	24.48581
4	337	5.5	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.301375	49.9333	0.931749	32.88193	65.8517

➤ Sudut 10°

F	N	V1	ρ	D	r	L	t	A	\dot{m}	P_{in}	T	P_{out}	Eff
(N)	(rpm)	(m/s)	(kg/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(kg/s)	(watt)	(N/m)	(watt)	(%)
0	234	5.3	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	4.609675	64.74289	0	0	0
2	301	6.8	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.9143	136.7386	0.69049	21.76469	15.91701
4	267	6.1	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.305475	98.70836	1.38098	38.61245	39.11771



Waktu pengambilan data pukul 14.45-15.00 WITA

➤ Sudut 20°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	338	7.3	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	3.308725	88.16098	0	0	0
2	287	5.5	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.492875	37.70473	0.351179	10.55452	27.99257
4	237	4.7	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.130275	23.52889	0.702357	17.43151	74.08558
6	233	5.4	1.225	0.37	0.06	0.105	1	0.37	2.44755	35.68528	1.053536	25.70597	72.03521



➤ Sudut 15°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	372	6.5	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.901625	82.42183	0	0	0
2	362	6.2	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.72155	71.52819	0.465874	17.66062	24.69043
4	354	5.5	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.301375	49.9333	0.931749	34.54066	69.1736
10	309	6.5	1.225	0.49	0.06	0.165	1	0.49	3.901625	82.42183	2.329371	75.37474	91.44998

➤ Sudut 10°

F (N)	N (rpm)	V1 (m/s)	ρ (kg/m ³)	D (m)	r (m)	L (m)	t (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	P _{in} (watt)	T (N/m)	P _{out} (watt)	Eff (%)
0	266	5.6	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	4.8706	76.37101	0	0	0
2	267	5.4	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	4.69665	68.47716	0.69049	19.30622	28.19367
4	224	5.2	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	4.5227	61.1469	1.38098	32.39396	52.97727
6	245	5.4	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	4.69665	68.47716	2.07147	53.14635	77.61179
8	276	6.5	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.653375	119.4275	2.76196	79.82798	66.84218
10	252	6	1.225	0.71	0.06	0.28	1	0.71	5.2185	93.933	3.45245	91.10802	96.99256



LAMPIRAN 3



Pengambilan Data Kecepatan Angin di Kecamatan Mangara Bombang, Kabupaten

Takalar



Proses Melengkungkan Sudu Turbin



Pembuatan Turbin Savonius Tipe L



Perakitan Turbin dengan Poros



Pembuatan Rangka Turbin



Perakitan Turbin, Poros, dan Rangka





Pengambilan Data



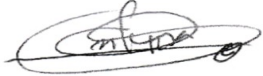
PROSEDUR KOTER / TUGAS AKHIR

NAMA : BRIAN FERDINAND / IKA DAMAYANTI
 STAMBUK : 14213014 / 94243008

Catatan Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Abdul Rahnan, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki penulisan: judul pd sampul, dll - Nilai efisiensi yang dicantumkan pd abstrak dan kesimpulan adalah kondisi keberagaman - Perbaiki tujuan pustaka - cari rata-rata kec. angin - cantumkan data yg bisa dibandingkan dari variasi sudut 	 9/12/2018
2.	Musrady Mulyadi, S.S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Ganti sampul ✓ - Perbaiki daftar isi ✓ - Teliti lebih lanjut hub. antara sudut dan luas permukaan turbin ✓ - Jelaskan keganjilan data hub. antara F dan n ✓ - Hapus saran no. 2 ✓ - Data yg tidak valid pd bag. lampiran dihapus saja atau diganti ✓ 	 14/2018

Makassar, 14 Desember 2017
 Ketua / Sekretaris Penguji Ujian Sidang,


SUKMA ABADI, S.T., M.T
 NIP.

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