

SKRIPSI

**PENGUKURAN POTENSI ENERGI ANGIN DI DAERAH
PESISIR PANTAI PUNAGA KABUPATEN TAKALAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**MOH. FEBRIANSYAH EVENDI
D091171012**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGUKURAN POTENSI ENERGI ANGIN DI WILAYAH
PESISIR PANTAI PUNAGA KABUPATEN TAKALAR**

Disusun dan diajukan oleh

**MOH. FEBRIANSYAH EVENDI
D091171012**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Studi Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Maret 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.
NIP. 19810211 200501 1 003


Ir. Syerly Klara., M.T
NIP. 19640501 199002 2 001

Ketua Departemen


Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.
NIP. 19810211 200501 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Moh. Febriansyah Evendi
NIM : D091171012
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PENGUKURAN POTENSI ENERGI ANGIN DI WILAYAH PESISIR PANTAI
PUNAGA KABUPATEN TAKALAR**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karyasaya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Moh. Febriansyah Evendi

ABSTRAK

MOH. FEBRIANSYAH EVENDI. *Pengukuran Potensi Energi Angin di Wilayah Pesisir Pantai Punaga Kabupaten Takalar* (dibimbing oleh Faisal Mahmuddin dan Syerly Klara)

Takalar merupakan salah satu Kabupaten di Sulawesi Selatan yang memiliki area pantai yang cukup luas yang selama ini dimanfaatkan sebagai destinasi pariwisata, padahal area pesisir pantai di daerah Kabupaten Takalar juga kaya akan angin yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Penelitian ini berisi tentang potensi energi angin di wilayah pesisir Takalar dan pengembangan data logger kecepatan angin. Metode yang digunakan merupakan metode eksperimental, dimana sebelum melakukan pengambilan data dirancang alat ukur yang dapat digunakan mengukur dan menyimpan data kecepatan angin. Dalam perancangan alat dilakukan kalibrasi dengan membandingkan alat ukur rancangan dengan alat ukur digital dengan masing-masing berjarak 2 meter, 4 meter, dan 6 meter. Penelitian ini menunjukkan bahwa pesisir pantai Punaga di Kabupaten Takalar berpotensi sebagai pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik dengan kecepatan rata-rata sebesar 3,91 m/s dan rata-rata daya yang dihitung selama 1 bulan sebesar 51 watt.

Kata kunci : Energi angin, Kecepatan Angin, Anemometer

ABSTRACT

MOH. FEBRIANSYAH EVENDI. Measurement of Wind Energy Potential in the Punaga Coastal Area of Takalar Regency (supervised by Faisal Mahmuddin. and Syerly Klara)

Takalar is one of the regencies in South Sulawesi which has a fairly large beach area that has been used as a tourism destination, even though the coastal area in Takalar Regency is also rich in the wind which can be used for power generation. This research contains the potential of wind energy in the Takalar coastal area and the development of a wind speed data logger. The method used is an experimental method, where before carrying out data collection a measuring instrument is designed that can be used to measure and store wind speed data. In the design of the tool, calibration is carried out by comparing the design measuring instrument with a digital measuring instrument with a distance of 2 meters, 4 meters, and 6 meters respectively. This study shows that the Punaga coast in Takalar Regency has the potential to utilize wind energy for electrical energy with an average speed of 3.91 m/s and an average calculated power for 1 month of 51 watts.

Keyword : Wind energy, Wind speed, Anemometer

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan penelitian	2
1.5 Manfaat penelitian	2
1.6 Sistematika penulisan.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Angin	4
2.2 Asal Energi Angin	5
2.3 Skala Beaufort	7
2.4 Proses Pemanfaatan Energi Angin.....	8
2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin	9
2.6 Energi Kinetik Angin.....	12
2.7 Mikroprosesor Arduino.....	13
2.7 Pengukuran Data Lapangan	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	20
3.2 Tahapan Penelitian.....	20
3.3 Alat dan Bahan	21

3.4	Rangkaian Alat	24
3.5	Kerangka penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Gambaran umum	26
4.2	Kalibrasi Alat	27
4.3	Hasil Pengukuran.....	28
4.4	Perbandingan Data Pengukuran Dengan Data Satelit.....	41
4.5	Perhitungan Daya	41
BAB 5 PENUTUP		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		44

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter permukaan tanah	7
Tabel 2 Skala beaufort	8
Tabel 3 Alat dan bahan	21
Tabel 4 Spesifikasi turbin angin horizontal.....	24
Tabel 5 Perbandingan anemometer rancangan dan anemometer digital.....	27
Tabel 6 Kecepatan angin rata-rata minggu pertama	28
Tabel 7 Kecepatan angin rata-rata minggu kedua	31
Tabel 8 Kecepatan angin rata-rata minggu ketiga	33
Tabel 9 Kecepatan angin rata-rata minggu keempat	36
Tabel 10 Kecepatan angin rata-rata minggu kelima	38
Tabel 11 Kecepatan angin rata-rata selama 1 bulan	40
Tabel 12 Perhitungan daya	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sketsa turbin angin (Ashory, 2019).....	8
Gambar 2 Turbin tash (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)	10
Gambar 3 Turbin TASV tipe darrieus (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)	11
Gambar 4 Turbin TASV tipe savonius (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)	11
Gambar 5 Turbin TASV tipe hybrid darrieus-savonius (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)	11
Gambar 6 Arduino uno (B. Gustomo, 2015).....	14
Gambar 7 Program Arduino (B. Gustomo, 2015)	15
Gambar 8 Peta pantai Punga Kabupaten Takalar (Google earth, 2022)	20
Gambar 9 Rangkaian alat ukur kecepatan angin	24
Gambar 10 Turbin angin horizontal.....	24
Gambar 11 Kerangka penelitian	25
Gambar 12 Rancangan alat ukur kecepatan angin`	26
Gambar 13 Kalibrasi alat ukur	27
Gambar 14 Kecepatan angin rata-rata minggu pertama.....	30
Gambar 15 Kecepatan angin rata-rata minggu kedua.....	32
Gambar 16 Kecepatan angin rata-rata minggu ketiga.....	35
Gambar 17 Kecepatan angin rata-rata minggu keempat	37
Gambar 18 Kecepatan angin rata-rata minggu kelima	39
Gambar 19 Kecepatan angin 1 bulan	41
Gambar 20 Daya selama 1 bulan	42

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
PLTB	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
BBM	Bahan Bakar Minyak
C _p	Efisiensi turbin
ω	Kecepatan sudut turbin
TASH	Turbin Angin Sumbu Horizontal
TASV	Turbin Angin Sumbu Vertikal
r	Jari-jari (m)
E	Energi kinetik (joule)
m	Massa (kg)
v	Kecepatan udara (m/s)
V	Volume udara (m ³)
A	Luas penampang (m ²)
P _w	Daya angin (watt)
ρ	Densitas udara (1.225 kg/m ³)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
SPI	<i>Serial Pheripheral Interface</i>
TWI	<i>Two Wire Interface</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh perhitungan kecepatan rata-rata harian	45
Lampiran 2. Kode program anemometer	55
Lampiran 3. Dokumentasi proses pengambilan data	59

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamiin puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Berbagai macam kendala telah penulis lewati dalam proses penyelesaian skripsi ini, namun dapat terselesaikan dengan baik berkat pertolongan dan hidayah-Nya.

Penelitian ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi yang berjudul “Pengukuran Potensi Energi Angin di Daerah Pesisir Takalar” ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan di dalamnya. Namun, terlepas dari segala kekurangan tersebut penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dan segala pertolongan-Nya.
2. Rasulullah Muhammad SAW. Sebagai pedoman hidup dalam menjalani kehidupan
3. Mustafa Evendi dan Sumaeni selaku orang tua yang senantiasa memberikan doa, dukungan materi, dan segala hal yang pada akhirnya membuat penulis bisa menjalankan perkuliahan dengan baik.
4. Ahmad Mauladi Evendi, Intan Alisyah Evendi, dan Moh. Iqbal Evendi selaku saudara penulis.
5. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. selaku pembimbing 1 dan Ibu Ir. Syerly Klara, M.T. selaku pembimbing 2 yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing dan memberikan arahan terkait penelitian ini.
6. Bapak Ir. Zulkifli, M.T. selaku dosen Teknik Sistem Perkapalan yang telah banyak memberikan dukungan dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh teman-teman MIDSHIP 2017 yang telah mendukung, mensupport dan membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

9. Serta pihak-pihak yang telah berjasa dan telah membantu penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis berharap dengan segala kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini bisa menjadi pembelajaran untuk penelitian di masa yang akan datang agar menjadi lebih baik lagi. Tentu saja penulis masih sangat membutuhkan kritik dan saran dari para pembaca untuk bisa menjadi bahan bagi penulis dalam proses pembenahan diri.

Gowa, 16 Maret 2023

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu komponen terpenting dalam perkembangan teknologi saat ini. Ketergantungan terhadap ketersediaan daya listrik semakin hari semakin meningkat yang mengakibatkan krisis listrik di Indonesia. Perkembangan jumlah penduduk di suatu daerah berbanding lurus dengan kebutuhan energi listrik di daerah tersebut, namun hal tersebut berbanding terbalik dengan penyediaan energi listrik. Saat ini sebagian besar energi yang digunakan rakyat Indonesia berasal dari bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan telah menimbulkan beragam permasalahan, diantaranya masalah lingkungan, kesehatan, ekonomi, bahkan berpotensi menimbulkan konflik akibat adanya sengketa pengelolaan lahan-lahan yang kaya akan energi fosil.

Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan bahan bakar minyak, Pemerintah Indonesia telah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi sebagai pengganti bahan bakar fosil. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Indonesia yang berada pada garis katulistiwa merupakan daerah lintasan pergerakan udara sebagai akibat dari perbedaan tekanan udara pada kedua belahan bumi ini yang dikenal sebagai angin muson. Angin muson secara bergantian bergerak melintasi wilayah Indonesia sepanjang tahun dengan periode enam bulan yakni bulan April hingga September (angin muson timur) dan Oktober hingga Maret (angin muson barat). Fenomena angin muson yang kemudian ditunjang dengan letak wilayah Indonesia pada daerah khatulistiwa serta keadaan geografis yang terdiri dari 70% wilayah perairan menyebabkan Indonesia memiliki potensi energi angin yang besar.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, kecepatan angin di beberapa kawasan timur berpotensi menghasilkan tenaga listrik. Misalnya Oelbuluk (NTT) dengan kecepatan rata-rata sebesar 6,1 m/s, Sidrap (Sulawesi Selatan) dengan kecepatan rata-rata 6,43 m/s, dan Jenepono (Sulawesi Selatan) dengan kecepatan rata-rata 7,96 m/s (Iqbal dan Adinandra, 2018).

Takalar merupakan salah satu Kabupaten di Sulawesi Selatan yang memiliki area pantai yang cukup luas yang selama ini dimanfaatkan sebagai destinasi pariwisata, padahal area pesisir pantai di daerah Kabupaten Takalar juga kaya akan angin yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Maka dari itu, penelitian ini akan berfokus pada pengukuran potensi energi angin di pesisir Pantai Punga Kabupaten Takalar. Sedangkan untuk pengukuran yang dilakukan menggunakan alat ukur Anemometer yang telah dirancang sehingga dapat menyimpan data pengukuran dalam rentang waktu tertentu.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana mengembangkan data logger pengukur kecepatan angin?
2. Bagaimana potensi energi angin di wilayah Takalar?

1.3 Batasan masalah

1. Penelitian ini hanya berfokus pengukuran energi angin di pesisir daerah Pantai Punaga
2. Penelitian ini hanya membahas mengenai energi angin

1.4 Tujuan penelitian

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan utama sebagai berikut :

1. Mengetahui cara mengembangkan data logger pengukur kecepatan angin.
2. Mengetahui potensi energi angin di wilayah Takalar

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menambah dalam mengetahui potensi energi angin suatu daerah
2. Dapat mempermudah dalam penentuan pelaksanaan pembangunan sistem energi terbarukan
3. Hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pendidikan dalam ilmu energi terbarukan

1.6 Sistematika penulisan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi dan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang dasar teori dari energi angin, asal energi angin, proses pemanfaatan energi angin, dan jenis-jenis turbin angin.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan lokasi penelitian, tahapan penelitian, peragkain alat dan kerangka penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimental.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil perhitungan data dari pengukuran potensi energi angin di daerah pesisir pantai Punga kabupaten Takalar menggunakan alat anemometer. Agar tersusun dengan baik diklasifikasikan menjadi hasil penelitian dan pembahasan.

BAB V. PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan saat ini adalah energi angin. Angin sebagai sumber energi terbarukan, tidak menimbulkan polusi udara dan menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca (Ihwan dan Sota, 2017).

Angin merupakan udara yang bergerak yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Adanya perbedaan suhu udara ini karena adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Pada dasarnya angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi karena adanya penerimaan radiasi surya yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Daerah yang menerima lebih banyak penyinaran matahari, akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya (Habibie dkk, 2011).

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi terbarukan sebagai sumber energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumber relatif mudah didapat, dapat diperoleh gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu secara global, dan tidak terpengaruh dari kenaikan harga bahan bakar (Daryanto, 2007).

PLTB adalah pembangkit listrik tenaga bayu (angin) yaitu memanfaatkan energi angin sebagai sumber energinya. Pemanfaatan energi angin ini yaitu menggunakan kincir angin lalu dihubungkan menggunakan generator ataupun turbin. Setelah itu proses yang dilakukan akan menghasilkan tenaga listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Lalu apa sebenarnya definisi angin itu sendiri energi angin merupakan bentuk yang jauh berkelanjutan bebas dengan polusi energi.

Salah satu pemanfaatan energi angin ini dapat dilihat pada kincir angin. Namun contoh pada kincir angin ini cukup klasik karena sudah dilakukan sejak awal penggunaan energi angin. Untuk contoh moderennya yaitu dapat dilihat pada pembangkit listrik tenaga angin dan juga pompa air pemanfaatan energi angin tidak hanya diterapkan pada masa-masa modern saja, tetapi sudah dimanfaatkan sejak jaman dahulu.

Popularitas pemanfaatan energi angin semakin hari semakin meningkat, pemanfaatan energi angin ini tidak selamanya meningkat sejak kemunculannya, bahkan sempat mengalami naik turun. Ketika harga BBM naik maka energi angin ini banyak di manfaatkan begitu juga sebaliknya . (Daryanto, 2007).

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi 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, dan sebaliknya.

2.2 Asal Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara, dimana angin bergerak dari udara bertekanan rendah ke udara bertekanan tinggi, dengan kata lain angin bergerak dari udara bersuhu tinggi ke udara yang bersuhu rendah Sebagaimana yang diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan energi antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa yang panas, yaitu pada bujur 0° , udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin misalnya daerah kutub. Sebaliknya di daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu putaran udara, berupa perpindahan udara dari kutub Utara ke garis Khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya, suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub Utara, melalui lapisan udara

yang lebih tinggi. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energy yang dapat diperbaharui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya dapat menghasilkan listrik (Sudarto, dkk 2010).

Udara dingin yang lebih berat turun mengisi kekurangan udara di daratan, maka terjadilah aliran udara yang disebut angin dari lautan ke daratan tepi pantai. Di malam hari peristiwa yang sebaliknya terjadi, angin di permukaan laut mengalir dari pantai ke tengah lautan dan peristiwa inilah yang dimanfaatkan oleh para nelayan untuk mencari ikan di lautan. Angin di lereng gunung juga terjadi demikian. Pada sekitar puncak pegunungan lebih dulu panas dibandingkan dengan daerah lembah. Karena perbedaan panas ini sehingga menimbulkan perbedaan tekanan yang akhirnya timbul angin.

Arah angin adalah arah dari mana angin berhembus. Umumnya angin diberi nama dengan arah darimana angin tersebut bertiup, misalnya angin yang berhembus dari utara maka angin utara. Kecepatan angin adalah kecepatan dari menjalarnya angin dan dinyatakan dalam knot atau kilometer per jam maupun dalam meter per detik. Karena kecepatan angin umumnya berubah-ubah dalam menentukan kecepatan angin diambil kecepatan rata-ratanya dalam periode waktu selama sepuluh menit dengan dibulatkan dalam harga satuan kecepatan.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter dapat dilihat seperti pada Tabel 1 berikut.

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik (Habibie, dkk 2011).

Tabel 1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter permukaan tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

Sumber : Habibie, dkk (2011)

2.3 Skala Beaufort

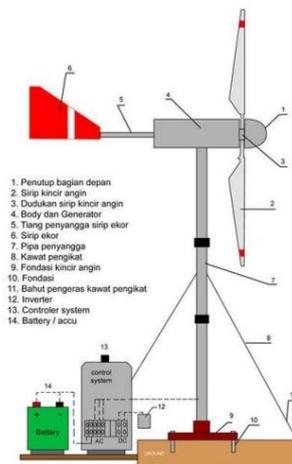
Skala Beaufort digunakan untuk mengategorikan kecepatan angin yang diperoleh. Skala ini mengukur kecepatan angin dengan mendeskripsikan pengaruhnya. Skala ini diperkenalkan pertama kali oleh Admiral F. Beaufort. Semakin besar angka skala Beaufort, maka semakin kencang angin berhembus dan bahkan bisa semakin merusak. Skala Beaufort dimulai dari angka 0 untuk embusan angin yang paling tenang sampai angka 12 untuk embusan angin yang dapat menyebabkan kehancuran. Skala Beaufort tetap berguna dan dipakai sampai sekarang.

Tabel 2 Skala beaufort

Skala Beaufort	Kategori angin	Kecepatan angin (m/s)
0	Tenang	0 – 0,2
1	Udara ringan	0,3 – 1,5
2	Hembusan lemah	1,6 – 3,3
3	Hembusan lembut	3,4 – 5,4
4	Hembusan sedang	5,5 – 7,9
5	Hembusan segar	8,0 – 10,7
6	Hembusan kuat	10,8 – 13,8
7	Angin ribut lemah	13,9 – 17,1
8	Angin ribut	17,2 – 20,7
9	Angin ribut kuat	20,8 – 24,4
10	Badai	24,5 – 28,4
11	Badai amuk	28,5 – 32,6
12	Siklon	$\geq 32,7$

Sumber : Abdy dan Wahidah Sanusi (2020)

2.4 Proses Pemanfaatan Energi Angin



Gambar 1 Sketsa turbin angin (Ashory, 2019)

Pembangkit listrik tenaga angin melakukan konversi terhadap energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya yaitu, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan

kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Umumnya ketinggian turbin angin dinyatakan pada spesifikasi melalui tinggi hub atau penutup bagian depannya, Pada bagian nomor 1. Oleh karena itu apabila tinggi hub turbin angin adalah 20 meter, maka jarak hub ke tanah adalah sejauh 20 meter (Sumiati dan Ruzita 2014).

2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu turbin angin horizontal dan turbin angin vertikal. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angin terbagi atas dua Jenis, yaitu:

1 Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin merupakan suatu bagian dari sistem pembangkit tenaga angin dimana berperan sebagai penangkap energi angin untuk ditransformasikan menjadi energi gerak untuk memutar generator. Ada banyak tipe dari turbin angin menurut bentuknya. Antara lain jenis propeller, darrieus, sailwing, fan-type, savious, tipe vertikal dan horizontal (Hidayatullah 2016).

Setiap sistem pasti memiliki suatu tingkat efisiensi kerja karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya turbin angin ini. Oleh karena itu, untuk mendapatkan Energi Mekanik dari hasil turbin ini maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi turbin (C_p). Nilai efisiensi ini sudah ditentukan dari awal mula sistem (turbin angin) ini didesain. Energi mekanik dari turbin ini berupa kecepatan sudu bilah turbin (ω) dan torsi (T) (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/blade) (Hidayatullah 2016).

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. TASV sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan

turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017).



Gambar 2 Turbin tash (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)

2 Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) merupakan turbin yang memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna ditempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017).



Gambar 3 Turbin TASV tipe darrieus (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)



Gambar 4 Turbin TASV tipe savonius (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)



Gambar 5 Turbin TASV tipe hybrid darrieus-savonius (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, di menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin

sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat yang ingin diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal (Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017).

2.6 Energi Kinetik Angin

Angin merupakan udara yang bergerak. Oleh karena itu, angin memiliki parameter massa, rapat jenis, dan kecepatan, sehingga angin memiliki energi kinetik dan energi potensial. Dalam kasus angin, energi yang dihasilkan paling dipengaruhi oleh kecepatan angin. Semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin besar energi yang dihasilkan. Perpindahan molekul udara memiliki energi kinetik, sehingga jumlah molekul udara yang melewati suatu penampang akan menentukan besarnya daya yang dihasilkan. Penampang ini bukanlah luas permukaan bumi, tetapi diumpamakan sebagai suatu bidang.

Menurut (Nakhoda & Saleh, n.d.) Udara memiliki massa (*m*) dan kecepatan (*v*) yang menghasilkan energi kinetik (*Ek*).

$$E = 1/2 m.v^2 \dots\dots\dots(1)$$

volume udara (*V*) persatuan waktu (debit) akan bergerak dengan kecepatan (*v*) yang melewati daerah seluas *A*.

$$V = v.A \dots\dots\dots(2)$$

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(3)$$

massa udara akan bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ .

$$m = \rho.V = \rho.v.A \dots\dots\dots(4)$$

energi angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin).

$$\begin{aligned} P_w &= 1/2(\rho.A.v) (v^2) \\ &= 1/2 \rho.A.v^3 \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Dimana:

P_w = Daya angin (watt)

ρ = Densitas udara ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas penampang (m^2)

r = jari-jari turbin (m)

v = Kecepatan udara (m/s)

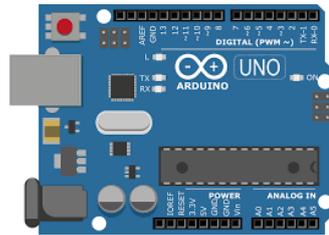
2.7 Mikroprosesor Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan software dan bahasa sendiri.

1. Hardware

Hardware dalam arduino memiliki beberapa jenis, yang mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam setiap papannya. Penggunaan jenis arduino disesuaikan dengan kebutuhan, hal ini yang akan mempengaruhi dari jenis prosessor yang digunakan. Jika semakin kompleks perancangan dan program yang dibuat, maka harus sesuai pula jenis kontroler yang digunakan. Yang membedakan antara arduino yang satu dengan yang lainnya adalah penambahan fungsi dalam setiap boardnya dan jenis mikrokontroler yang digunakan. Dalam tugas akhir ini, jenis arduino yang digunakan adalah arduino uno. Hardware dalam arduino memiliki beberapa jenis, yang mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam setiap papannya. Penggunaan jenis arduino disesuaikan dengan kebutuhan, hal ini yang akan mempengaruhi dari jenis prosessor yang digunakan. Jika semakin kompleks perancangan dan program yang dibuat, maka harus sesuai pula jenis kontroler yang digunakan. Yang membedakan antara arduino yang satu dengan yang lainnya adalah penambahan fungsi dalam setiap boardnya dan jenis mikrokontroler yang digunakan. Dalam tugas akhir ini, jenis arduino yang digunakan adalah arduino uno.

2. Arduino uno



Gambar 6 Arduino uno (B. Gustomo, 2015)

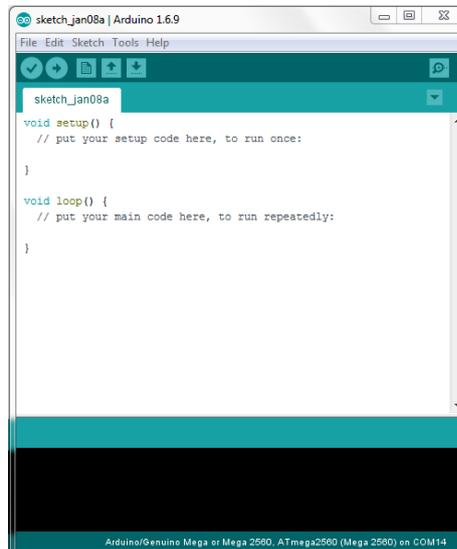
Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel arduino yang sebenarnya adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328 (sebuah keping yang secara fungsional bertindak seperti sebuah komputer). Piranti ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan berukuran relatif kecil ini. Bahkan dengan penambahan komponen tertentu, piranti ini bisa dipakai untuk pemantauan kondisi pasien di rumah sakit dan pengendalian alat-alat di rumah (B. Gustomo, 2015).

3. Pemrograman Arduino

Arduino IDE (Gambar 2.6) adalah *software* yang tersedia di situs arduino.cc berfungsi untuk menulis *sketch* yang digunakan sebagai program di papan Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) berarti bentuk alat pengembangan program yang terintegrasi sehingga berbagai keperluan disediakan dan dinyatakan dalam bentuk antarmuka berbasis menu. Kita dapat menulis *sketch*, memeriksa ada kesalahan atau tidak di *sketch*, dan kemudian mengunggah *sketch* yang sudah terkompilasi ke papan Arduino dengan menggunakan Arduino IDE.

Lingkungan pemrograman Arduino disebut IDE (*Integrated development Environment*). Perangkat lunak Arduino IDE adalah aplikasi *cross-platform* ditulis dengan bahasa programan java dan dan berasal dari IDE untuk bahasa pemrograman *wiring project*, hal ini dirancang untuk memudahkan pengguna yang baru mempelajari mikrokontroler dengan software development, termasuk di dalam perangkat lunak dengan kode

editor dan fitur seperti sintaks, brace pencocokan, dan identasi otomatis, serta mampu compile dan upload program dengan sekali perintah klik.



Gambar 7 Program Arduino (B. Gustomo, 2015)

Gambar 7 menunjukkan perangkat lunak Arduino IDE versi Perangkat lunak Arduino IDE dilengkapi dengan *library* C/C++, membuat operasi *input/output* jauh lebih mudah dipahami. Pengguna hanya perlu mendefinisikan dua fungsi untuk membuat program dapat dijalankan ketika dieksekusi pada papan Arduino Uno. Fungsi tersebut diantaranya:

1. Setup(), fungsi berjalan satu kali pada awal dari sebuah program yang dapat menginisialisasi masukan dan keluaran pada papan mikrokontroler Arduino Uno.
2. Loop(), fungsi yang dieksekusi berulang kali sampai papan mikrokontroler Arduino dinon-aktifkan.

Bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C++, dengan dukungan berkas *library* yang dapat menyederhanakan proses *coding*. C++ mendefinisikan beberapa jenis data yang berbeda. *Sign variable* memungkinkan mengolah data negatif dan positif, sedangkan *unsigned variable* hanya memungkinkan data positif. Tipe data yang digunakan dalam *coding* Arduino adalah void, boolean, char, unsigned char, byte, int, unsigned int, word, long, unsigned long, short, float, double, array, string- (*char array*), dan String-(*object*). Tipe data string memungkinkan

penggunaan untuk memanipulasi teks string dalam cara yang lebih kompleks seperti melakukan penggabungan string, penambahan string, mengganti substring, dan lain sebagainya.

4. Komunikasi Serial Arduino

Komunikasi serial Arduino Uno Rev3 pada dasarnya terletak pada pin serial 0 (Rx) dan 1 (Tx) pada papan Arduino Uno Rev3 yang terhubung ATmega328. Komunikasi yang disediakan adalah UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) TTL (5 volt). Papan Arduino Uno Rev3 dilengkapi mikrokontroler ATmega16U2 yang memungkinkan komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai *COM Port Virtual* (pada komputer) sehingga papan Arduino Uno Rev3 dapat berinteraksi dengan perangkat komputer (*Personal Computer*). Firmware ATmega16U2 menggunakan *driver* standar USB COM dan tidak membutuhkan driver eksternal. Fitur *serial monitor* pada perangkat lunak Arduino IDE memungkinkan data tekstual sederhana dikirimkan ke dan dari papan Arduino. LED Rx dan Tx yang tersedia pada papan akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui *chip USB-to-serial*. Berkas *library* SoftwareSerial memungkinkan komunikasi serial pada beberapa pin digital Arduino Uno Rev3. IC ATmega328 pada Arduino Uno Rev3 juga mendukung *I2C Two Wire Interface* (TWI) menggunakan berkas *library* Wire dan komunikasi *Serial Peripheral Interface* (SPI) menggunakan berkas *library* SPI.

Fungsi komunikasi merupakan instruksi dalam sket program yang digunakan untuk menjalankan program. Beberapa instruksi program yang digunakan dalam komunikasi serial Arduino adalah `if(Serial)`, `available()`, `availableForWrite()`, `begin()`, `end()`, `find()`, `findUntil()`, `flush()`, `parseFloat()`, `parseInt()`, `peek()`, `print()`, `println()`, `read()`, `readBytes()`, `readBytesUntil()`, `readString()`, `readStringUntil()`, `setTimeout()`, `write()`, `serialEvent()`. Beberapa instruksi yang umumnya dipakai dalam komunikasi serial arduino adalah instruksi `begin()` digunakan untuk mengatur *baudrate* atau kecepatan komunikasi umumnya bernilai 9600, instruksi `available()` digunakan untuk mendapatkan jumlah karakter atau

byte yang telah diterima diserial port, instruksi `read()`, digunakan untuk membaca data yang telah diterima diserial port, instruksi `println()` sama seperti instruksi `print()` dengan penambahan enter, dan instruksi `readStringUntil()`, digunakan untuk membaca data dengan tipe data string sampai karakter yang ditentukan misalnya (“\n”) karakter enter.

2.7 Pengukuran Data Lapangan

Hal-hal yang perlu di perhatikan dalam pengukuran data di lapangan antara lain:

1. Pengukuran

Serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (kuantitatif). Jadi mengukur adalah suatu proses mengaitkan angka secara empirik dan obyektif pada sifat-sifat obyek atau kejadian nyata sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek atau kejadian yang diukur. Atau secara Umum (sederhana) adalah : Membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui harganya dengan besaran lain yang telah diketahui nilainya. Alat ukur digunakan untuk keperluan pengukuran. Pengukuran akan memberikan arti penting bagi manusia untuk menggambarkan berbagai fenomena alam dalam bentuk kuantitatif atau angka.

2. Alat ukur

Alat untuk mengetahui harga suatu besaran atau suatu variabel. Prinsip kerja alat ukur harus dipahami agar alat ukur dapat digunakan dengan cermat dan sesuai dengan pemakaian yang telah direncanakan. Contoh alat ukur untuk :

- (1) Demensi PANJANG : Meteran Pengaris/Mistar , Roll Meter, Caliper, dll ;
- (2) Demensi BOBOT / MASSA : Timbangan Pegas, Timbangan Skala, Timbangan Balance, dll ;
- (3) Demensi SUHU : Termometer ;
- (4) Demensi WAKTU : Jam tangan , Stop Watch, dll.

3. Ketelitian (*accuracy*)

Kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari obyek yang diukur. Definisi lain dari Ketelitian adalah harga terdekat suatu pembacaan instrumen dari variabel yang diukur terhadap harga sebenarnya sehingga tingkat kesalahan pengukuran menjadi lebih kecil. Ketelitian berkaitan dengan alat ukur yang digunakan pada saat pengukuran.

Secara umum akurasi sebuah alat ukur ditentukan dengan cara kalibrasi pada kondisi operasi tertentu dan dapat diekspresikan dalam bentuk plus-minus atau presentasi dalam skala tertentu atau pada titik pengukuran yang spesifik. Semua alat ukur dapat diklasifikasikan dalam tingkat atau kelas yang berbeda-beda, tergantung pada akurasinya.

4. Ketepatan (*precision*) :

Kedekatan nilai-nilai pengukuran individual yang didistribusikan sekitar nilai rata-ratanya atau penyebaran nilai pengukuran individual dari nilai rata-ratanya. Alat ukur yang mempunyai presisi yang bagus tidak menjamin bahwa alat ukur tersebut mempunyai akurasi yang bagus.

Definisi lain dari Ketepatan adalah tingkat kesamaan nilai pada sekelompok pengukuran atau sejumlah nilai dimana pengukuran dilakukan secara berulang-ulang dengan instrumen yang sama. Dalam hal ini yang harus diperhatikan adalah cara melakukan pengukuran.

5. Repeatabilitas (*repeatability*)

Kemampuan alat ukur untuk menunjukkan hasil yang sama dari proses pengukuran yang dilakukan berulang-ulang dan identik.

6. Sensitivitas (*sensitivity*)

Perbandingan antara sinyal keluaran/respon instrumen terhadap perubahan variabel masukan yang diukur.

7. Resolusi (*resolution*)

Besar pernyataan dari kemampuan peralatan untuk membedakan arti dari dua tanda harga atau skala yang paling berdekatan dari besaran yang ditunjukkan. Atau dengan kata lain adalah perubahan terkecil pada nilai yang diukur dari respon suatu instrumen.

8. Ketidakpastian Pengukuran (*uncertainty*)

Perkiraan atau taksiran rentang dari nilai pengukuran dimana nilai sebenarnya dari besaran obyek yang diukur (*measurand*) terletak.

9. Kalibrasi (*calibration*)

Serangkaian kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional penunjukan alat ukur atau menunjukkan nilai yang diabadikan bahan ukur dengan cara membandingkannya dengan standar ukur yang tertelusuri ke standar nasional dan/atau internasional (Koes Sulistiadji & joko pitoyo, 2009).