

# RANCANG BANGUN DATA LOGGER KECEPATAN ANGIN UNTUK 4 LEVEL KETINGGIAN BERBASIS ARDUINO

Awang Bagaskoro<sup>1)</sup>, Antonius Rajagukguk<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Elektro  
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email: awang.bagaskoro3715@student.unri.ac.id

## ABSTRACT

*Wind energy is one of the renewable energy sources that can be used as a power plant to meet the needs of electrical energy in an area. The potential for wind energy in an area can be determined based on the wind speed. Each area has a wind speed that varies, depending on the shape of the wind trajectory and the obstacles in the area. Therefore, information about wind speed is needed to see the potential for wind energy in an area. This study tries to design a tool that can record wind speed (data logger) with 4 variations in altitude based on the Arduino microcontroller, where the measurement results from the tool will be stored on the SD Card. Measurement of wind speed with altitude variations aims to see at what altitude level wind energy can be utilized. This research was conducted in the Riau University area starting on March 30 - April 5, 2021. The average percentage error of Final Project anemometer readings is 3% compared to standard anemometer readings. The results of measurements in the Riau University area found that the highest average wind speed was 1.80 m/s. While the maximum wind speed during the study was 6.51 m/s. The highest wind potential occurs on Friday with a power of 11.02 W and wind energy of 140.25 Wattday.*

*Keyword : Energy, Wind Speed, Anemometer, Data logger*

## PENDAHULUAN

Angin terbentuk sebagai hasil dari gerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Menurut hukum Buys Ballot "Udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi (maksimum) ke daerah bertekanan rendah (minimum), di belahan bumi utara berbelok ke kanan sedangkan di belahan bumi selatan berbelok ke kiri". Jika tidak ada gaya lain yang mempengaruhi, maka angin akan bergerak secara langsung dari udara bertekanan tinggi ke udara bertekanan rendah (Wijayanti et al., 2015).

Kecepatan angin akan terus meningkat sejalan meningkatnya ketinggian suatu tempat. Apabila topografi suatu tempat tinggi maka tekanan udaranya akan menurun, karena angin bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah, sehingga pada dataran tinggi kecepatan angin akan semakin kencang atau tinggi (Napitupulu, 2014).

Kecepatan angin di daratan akan berbeda jika di dibandingkan dengan kecepatan angin yang berada di laut. Hal ini dikarenakan pada setiap daerah memiliki kecepatan angin yang bervariasi, tergantung kepada bentuk lintasan angin dan penghalang yang berada pada daerah tersebut (Prasetyo, 2018).

Potensi energi angin di suatu daerah dapat diketahui berdasarkan kecepatan anginnya. Beberapa wilayah di Indonesia memiliki potensi menggunakan energi angin untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Penggunaan energi angin sebagai sumber energi listrik memiliki kelebihan, diantaranya adalah bebas polusi dan dapat terbaharukan (Pesma et al., 2013).

Angin merupakan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai penggerak turbin angin pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Oleh karena itu dibutuhkan informasi mengenai kecepatan angin agar

penempatan turbin angin bisa tepat (Suwarti et al., 2017).

Dari pemaparan di atas, maka diperlukan suatu alat yang dapat mencatat kecepatan angin dengan variasi ketinggian yang berbeda-beda sehingga diperoleh data/informasi kecepatan angin dari lokasi yang ingin dijadikan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Penelitian ini berusaha merancang sebuah alat yang dapat mencatat kecepatan angin dengan 4 variasi ketinggian berbasis mikrokontroler Arduino, dimana hasil pengukuran dari alat tersebut akan disimpan di *SD Card*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Angin

Sistem Angin merupakan pergerakan udara yang memiliki arah dan kecepatan dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah.

Pengaruh perputaran bumi terhadap arah angin disebut pengaruh *Coriolis (coriolis effect)*. Pengaruh *coriolis* menyebabkan angin bergerak searah jarum jam mengitari daerah bertekanan rendah di belahan bumi selatan dan sebaliknya bergerak dengan arah yang berlawanan dengan arah jarum jam mengitari daerah bertekanan rendah di belahan bumi utara

Kecepatan angin adalah kecepatan udara yang bergerak secara horizontal yang dipengaruhi oleh letak tempat, tinggi tempat, dan keadaan topografi suatu tempat. Untuk satuan kecepatan angin dalam meter per detik, kilometer per jam atau knot ( $1 \text{ m/s} = 1,9438 \text{ knots} = 3,6 \text{ km/jam}$ ) (Wijayanti et al., 2015).

### Potensi Angin

Potensi angin pada suatu daerah akan berbeda-beda dengan daerah lainnya. Hal ini dikarenakan berbagai macam faktor, salah satunya perbedaan topografi daerah. Potensi energi angin yang cukup besar, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik pada daerah tersebut.

Indonesia adalah suatu negara yang dikarunia potensi alam yang begitu besar, salah satunya angin. Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan

sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali (Bachtiar et al., 2018).

Energi angin merupakan energi kinetik yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk memutar sudu kincir angin pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Karena energi angin merupakan energi kinetik maka energi angin dapat dihitung menggunakan persamaan 1 (Yunginger & Nawir, 2015).

$$E = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (1)$$

Dimana :

E : Energi kinetik (Joule)

m : Massa udara (kg)

v : Kecepatan angin (m/s)

Untuk mendapatkan massa udara dapat menggunakan persamaan 2 (Yunginger & Nawir, 2015).

$$m = A \times v \times \rho \quad (2)$$

Dimana :

m : Massa udara yang mengalir (kg/det)

A : Penampang ( $\text{m}^2$ )

v : Kecepatan angin (m/s)

$\rho$  : Kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

Dari persamaan 2 dapat di hitung besar daya yang dihasilkan dari energi angin menggunakan persamaan 3 (Yunginger & Nawir, 2015).

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

Dimana :

P : Daya yaitu energi per satuan waktu (watt)

A : Luas daerah sapuan rotor ( $\text{m}^2$ )

v : Kecepatan angin (m/s)

$\rho$  : Kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

Tidak semua kecepatan angin dapat di manfaatkan untuk menghasilkan daya pada pembangkit listrik tenaga angin.

Kecepatan angin minimum dimana turbin mulai menghasilkan daya disebut dengan kecepatan *cut-in*. kecepatan *cut-in* setiap turbin berbeda-beda, tergantung pada fitur desainnya. Namun secara umum kecepatan *cut-in* turbin

angin berada pada kecepatan 3 sampai 5 m/s (Mathew, 2006).

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

**Tabel 1.** Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter Di Atas 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 plumping 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

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 et al., 2011).

### Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin, merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan oleh balai cuaca seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) (Yusuf, 2015).

Anemometer mangkok merupakan salah satu jenis anemometer umum digunakan. Pada saat tertiup angin, mangkok anemometer akan bergerak. Semakin besar kecepatan angin mengenai mangkok tersebut, semakin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok tersebut. Oleh karena itu, biasanya anemometer diletakkan di daerah yang terbuka.

Pada penelitian ini, anemometer yang digunakan adalah anemometer jenis *cup* dengan 3 mangkok. Di dalam anemometer tersebut terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin. Sensor yang digunakan pada anemometer ini berupa *optocoupler* yang mendeteksi putaran piringan yang memiliki celah. Output sensor *optocoupler* akan diolah oleh Arduino. Perhitungan kecepatan angin dirancang dengan menggunakan rumus kecepatan putaran *Rotation per Minute* (RPM) dari *rotary encoder*. Perhitungan tersebut dapat dituliskan pada persamaan 4 (Mahar et al., 2018).

$$\text{RPM} = \frac{\text{Jumlah pulsa yang terbaca}}{\text{jumlah celah rotary encoder}} \times 60 \quad (4)$$

Dari persamaan 4, maka dapat diperoleh nilai kecepatan angin menggunakan persamaan 5 (Mahar et al., 2018).

$$v = \frac{\text{RPM}}{60} \times 2 \times \pi \times r \quad (5)$$

Dimana :

$v$  = Kecepatan angin (m/s)

$r$  = Jari-jari baling-baling (m)

### Optocoupler

Pada penelitian ini, alat anemometer menggunakan sistem *rotary encoder* dimana sensor yang digunakan yaitu *optocoupler* yang akan mendeteksi putaran pada sebuah piringan yang memiliki celah. *Optocoupler* sendiri merupakan gabungan dari sebuah LED dan *phototransistor*. Dimana pada prinsipnya sensor *optocoupler* ini akan bernilai *high* jika dalam keadaan terhalang sedangkan akan bernilai *low* jika dalam kondisi tidak terhalang (Wijayanti et al., 2015).

### Arduino

Arduino uno adalah *board mikrokontroler* yang dengan *mikrokontroler* jenis AVR ATmega328. Desain dari *hardware* arduino terdiri dari 8 bit Atmel AVR *mikrokontroler* dimana desain tersebut bersifat terbuka (*open source hardware*). IC *mikrokontroler* Atmega 328p pada arduino dapat diprogram dengan

menggunakan *software* bernama *Integrated Development Environment (IDE)*.

### SD Card Module

*Data logger* merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mencatat data secara berkala. Perangkat ini dapat diaplikasikan pada sistem-sistem yang memerlukan pencatatan ataupun perekaman data secara otomatis.

Sesuai fungsinya *data logger* memerlukan memori untuk menyimpan data. Beberapa *data logger* di implementasikan menggunakan mikrokontroler yang terhubung dengan memori eksternal jenis *SD Card*. *SD Card* sendiri digunakan sebagai media penyimpan data dari sejumlah parameter hasil pengukuran.

### LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD digunakan sebagai perangkat antarmuka dimana perangkat ini berfungsi untuk menampilkan suatu simbol, angka maupun huruf. LCD yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 20x4 yang berarti dapat menampilkan dua puluh karakter dengan empat baris. Pada penelitian ini LCD berfungsi untuk menampilkan data pembacaan kecepatan angin dari pembacaan anemometer. Data input LCD berupa 8 bit data yang diterima terlebih dahulu di dalam mikrokontroler pada LCD yang berguna untuk mengatur data input sebelum ditampilkan dalam LCD.

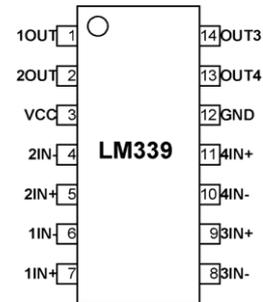
### RTC (*Real Time Clock*)

*Real Time Clock (RTC)* yaitu sebuah modul yang berfungsi sebagai penghitung waktu yang dirancang menggunakan komponen elektronik yang mampu melakukan proses kerja seperti jam pada umumnya, seperti melakukan perhitungan detik, menit, dan jam. Modul ini mengupdate tanggal dan waktu secara berkala.

### IC Komparator LM339

IC LM339 digunakan sebagai komparator tegangan, dimana salah satu pin *non-inverting* dihubungkan ke sumber tegangan variabel atau rangkaian pembagi tegangan yang berfungsi sebagai tegangan referensi. Sedangkan pin

*inverting* dihubungkan dengan tegangan masukan dari sensor anemometer yang ingin dibandingkan. Gambar dari IC LM339 dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Komponen IC LM339

### Uji Linearitas

Uji linieritas digunakan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linier atau tidak secara signifikan. Uji linearitas dalam penelitian ini menggunakan persamaan regresi linier sederhana. Persamaan regresi linier sederhana merupakan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) dengan satu variabel tak bebas/ *response* (Y), yang biasanya digambarkan dengan garis lurus.

Persamaan regresi linier sederhana secara matematik diekspresikan pada persamaan 6 (Yuliara I Made, 2016).

$$\hat{Y} = a + bX \quad (6)$$

Dimana :

- $\hat{Y}$  = Garis regresi/ *variable response*
- X = Variabel bebas/ *predictor*
- a = Konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal
- b = Konstanta regresi (*slope*)

Besarnya konstanta a (intersep) dapat dihitung menggunakan persamaan 7 (Yuliara I Made, 2016).

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (7)$$

Apabila diketahui jumlah data sebanyak-n, maka nilai b dapat ditentukan menggunakan persamaan 8 (Yuliara I Made, 2016).

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (8)$$

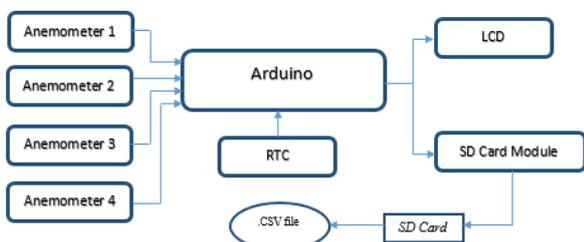
### Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin

Tabel distribusi frekuensi disusun bila jumlah data yang akan disajikan cukup banyak. Suatu nilai frekuensi dari kecepatan angin rata-rata dapat dihitung dan dianalisis menggunakan fungsi distribusi. Fungsi distribusi yang digunakan adalah distribusi probabilitas relatif. Rumus distribusi probabilitas relatif dapat menggunakan persamaan 9 (Rachman, 2012).

$$0 \leq p(x) \leq 1, \sum p(x) = 1 \quad (9)$$

### METODOLOGI

Perancangan sistem *data logger* ini memiliki beberapa bagian. Dimulai dari mengukur kecepatan angin hingga menyimpan data kecepatan angin. Blok diagram perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Perancangan Sistem

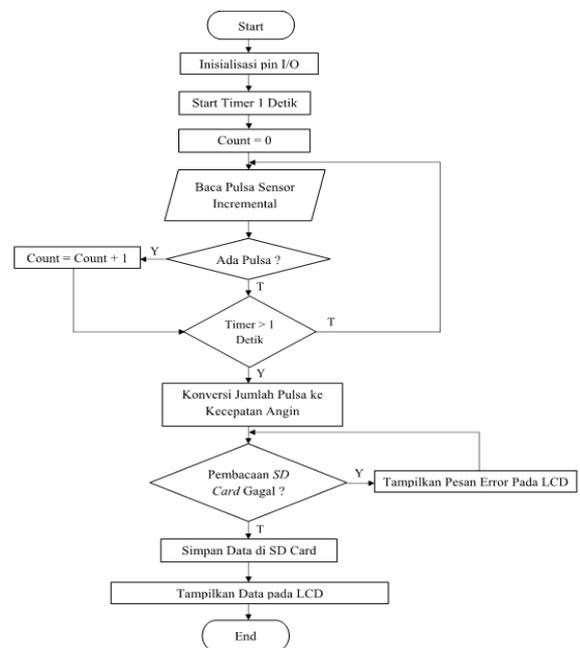
### Diagram Alir Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem dibutuhkan perangkat lunak. Perancangan perangkat lunak ini dimuat pada sebuah *flowchart*. *Flowchart* tersebut digunakan dalam membangun sebuah algoritma program yang nantinya akan di aplikasikan ke dalam sistem.

Input arduino digunakan untuk membaca pulsa yang merupakan *output* dari sensor anemometer. Arduino akan membaca banyaknya pulsa yang diterima selama 1 detik (1000 ms). Jika timer sudah lebih dari 1 detik maka arduino akan mengkonversi jumlah pulsa ke kecepatan angin. Data yang telah diperoleh

akan di simpan ke dalam *SD Card*, namun jika pembacaan *SD Card* gagal maka akan muncul pesan error pada LCD. Jika pembacaan *SD Card* berhasil, maka data akan di tampilkan di LCD.

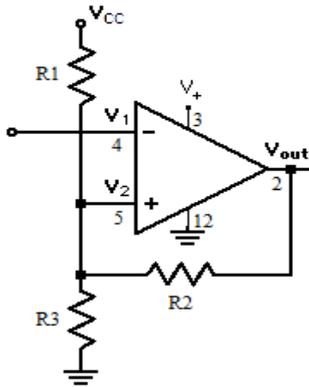
Flowchart algoritma dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Algoritma

### Rangkaian Komparator

Rangkaian komparator yang digunakan merupakan komparator tipe *inverting* karena input dimasukkan pada pin *inverting* pada IC. Komparator memiliki dua buah tegangan referensi, yaitu *Vref low* dan *Vref high*. *Vref low* merupakan tegangan referensi saat kondisi *output* komparator bernilai *low* atau 0 volt, sedangkan *Vref high* adalah tegangan referensi saat kondisi *output* komparator bernilai *high* atau 5 volt. Rangkaian komparator yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4.** Rangkaian Dasar Komparator

Nilai resistor yang digunakan pada rangkaian komparator adalah 10 Kilo ohm. Nilai tegangan referensi ( $V_2$ ) pada saat keadaan *output* komparator bernilai *low* ( $V_{out} = 0V$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 10 (Priyambodo & Uno, 2018).

$$V_{ref\ low} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \times V_{cc} \quad (10)$$

$$V_{ref\ low} = \frac{10.000 \parallel 10.000}{10.000 + 10.000 \parallel 10.000} \times 5$$

$$V_{ref\ low} = 1.67\ \text{volt}$$

Sedangkan nilai tegangan referensi ( $V_2$ ) pada saat keadaan *output* komparator bernilai *high* ( $V_{out} = 5V$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 11 (Priyambodo & Uno, 2018).

$$V_{ref\ high} = \frac{R_3}{R_3 + R_1 \parallel R_2} \times V_{cc} \quad (11)$$

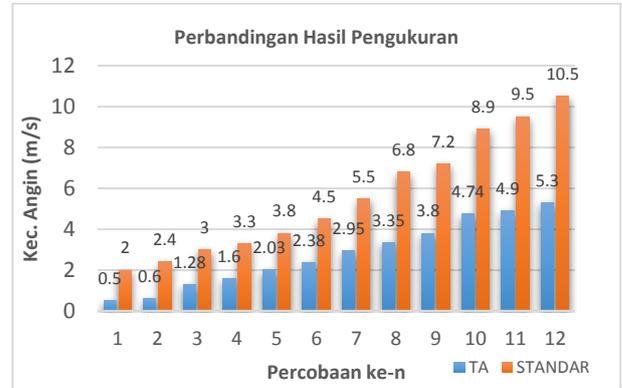
$$V_{ref\ high} = \frac{10.000}{10.000 + 10.000 \parallel 10.000} \times 5$$

$$V_{ref\ high} = 3.33\ \text{volt}$$

Saat kondisi *output* komparator bernilai 5 volt dan tegangan  $V_1$  mencapai  $V_{ref\ high}$ , maka kondisi *output* akan berubah menjadi *low* dan tegangan referensi berubah menjadi  $V_{ref\ low}$ . Sedangkan saat kondisi *output* komparator bernilai 0 volt dan tegangan  $V_1$  mencapai  $V_{ref\ low}$ , maka *output* komparator akan berubah menjadi *high* dan tegangan referensi berubah menjadi  $V_{ref\ high}$ .

**Menentukan Model Matematis Kalibrasi Rancangan**

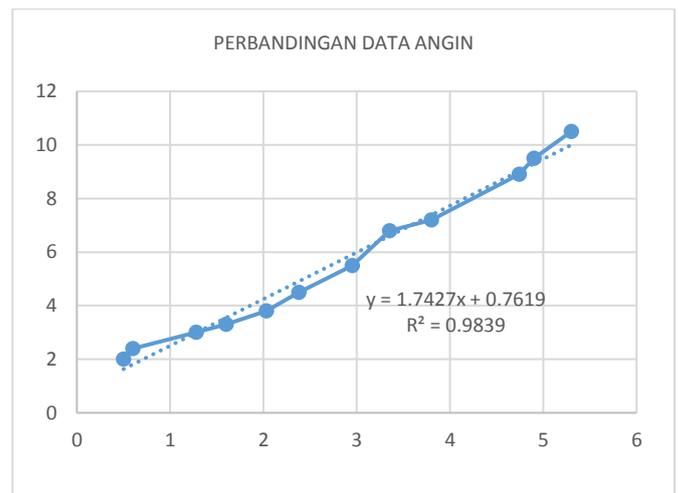
Perbandingan hasil pembacaan anemometer tugas akhir dan anemometer standar berguna untuk mengetahui keakuratan pembacaan anemometer tugas akhir. Hasil pembacaan anemometer tugas akhir dan anemometer standar tersebut dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil Pengukuran Anemometer Standar dengan Tugas Akhir

Pada gambar 5 menunjukkan adanya perbedaan pembacaan antara anemometer tugas akhir dengan anemometer standar. Sehingga perlu dilakukan uji linearitas untuk mendapatkan persamaan hubungan antara kedua hasil pembacaan alat tersebut.

Pengujian linearitas dapat menggunakan bantuan *Microsoft Excel* seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



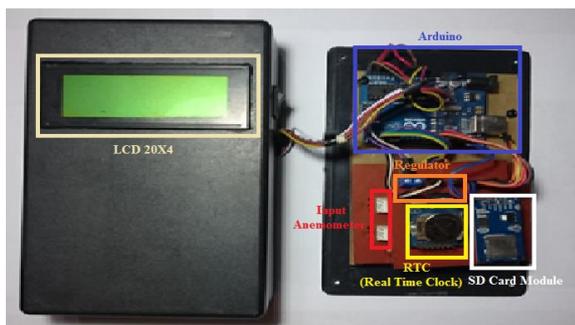
**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Data Angin

Terlihat dari gambar 6 bahwa nilai  $R^2 = 0.9839$  dengan persamaan linier yang diperoleh dari grafik  $y = 1.7427x + 0.7619$ .

persamaan ini akan dimasukkan ke program arduino IDE.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan alat penelitian terdiri dari anemometer, rangkaian elektronika dan baterai sebagai sumber daya. Hasil pengukuran anemometer didapatkan dari hasil pengambilan data lapangan yang dilakukan selama 7 hari di kawasan Universitas Riau. Di mulai pada hari Selasa 30 Maret 2021 sampai hari Senin 5 April 2021. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan tiang yang di pasang anemometer di setiap ketinggian 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m. Pengambilan data dilakukan dengan waktu interval 5 menit, dimana setiap 5 menit sekali akan dilakukan pengambilan data angin dan disimpan di *data logger*. Hasil rangkaian elektronik perancangan alat diperlihatkan pada gambar 7.



**Gambar 7.** Hasil Rangkaian Elektronik Perancangan Alat

### Pengukuran Kecepatan Angin pada Level Ketinggian 3 Meter

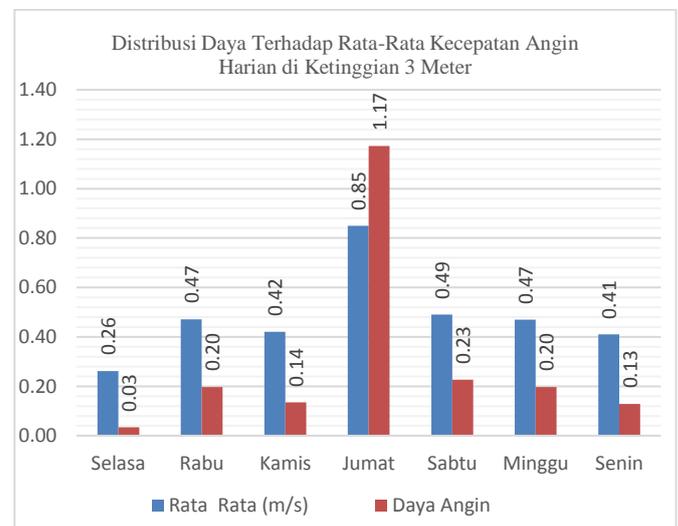
Hasil pengukuran kecepatan angin pada level ketinggian 3 meter dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Rata-Rata Kecepatan Angin Harian dan Maksimum Pada Ketinggian 3 Meter

Hari	Rata-Rata (m/s)	Nilai Maksimum (m/s)
Selasa	0.26	2.57
Rabu	0.47	3.49
Kamis	0.42	4.31
Jumat	0.85	3.77
Sabtu	0.49	3.82
Minggu	0.47	3.65
Senin	0.41	3.06

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa kecepatan angin maksimum pada level ketinggian 3 meter selama pengukuran terjadi pada hari kamis dengan nilai 4.31 m/s. Kecepatan angin rata-rata harian terbesar terjadi pada hari jum'at dengan nilai sebesar 0.85 m/s.

Dari data pada tabel 2, maka dapat diperhitungkan daya angin per-hari dengan menggunakan persamaan 3. Jika di asumsikan jari-jari turbin sebesar 1 m dan kerapatan udara ( $\rho$ ) sebesar  $1.2 \text{ kg/m}^3$  maka hasil distribusi daya terhadap kecepatan angin per-hari dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8.** Distribusi Daya Terhadap Rata-Rata Kecepatan Angin Harian di Ketinggian 3 Meter

### Pengukuran Kecepatan Angin pada Level Ketinggian 6 Meter

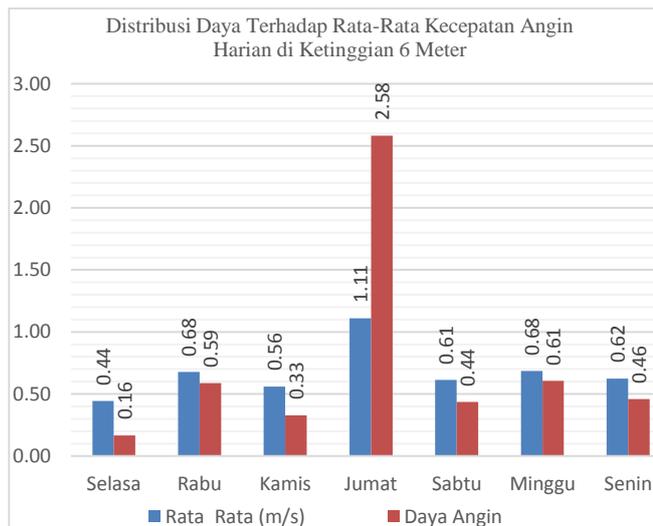
Hasil pengukuran kecepatan angin pada level ketinggian 6 meter dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Rata-Rata Kecepatan Angin Harian dan Maksimum Pada Ketinggian 6 Meter

Hari	Rata-Rata (m/s)	Nilai Maksimum (m/s)
Selasa	0.44	2.62
Rabu	0.68	3.11
Kamis	0.56	5.52
Jumat	1.11	4.75
Sabtu	0.61	4.14
Minggu	0.68	3.98

Senin	0.62	3.77
-------	------	------

Dari tabel 3 dapat diketahui kecepatan angin maksimum di ketinggian 6 meter terjadi pada hari kamis dengan nilai 5.52 m/s. Sedangkan kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi pada hari Jumat sebesar 1.11 m/s. Hasil distribusi daya terhadap kecepatan angin per-hari dapat dilihat pada gambar 9.



**Gambar 9.** Distribusi Daya Terhadap Rata-Rata Kecepatan Angin Harian di Ketinggian 6 Meter

### Pengukuran Kecepatan Angin pada Level Ketinggian 9 Meter

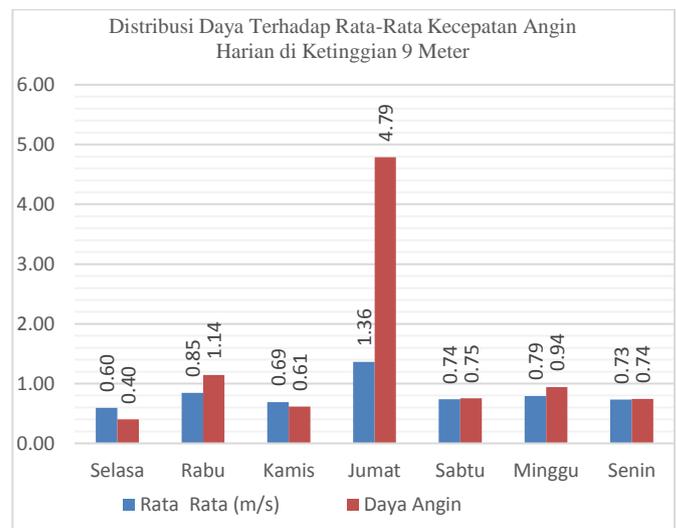
Hasil pengukuran kecepatan angin pada level ketinggian 9 meter dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Rata-Rata Kecepatan Angin Harian dan Maksimum Pada Ketinggian 9 Meter

Hari	Rata-Rata (m/s)	Nilai Maksimum (m/s)
Selasa	0.60	2.95
Rabu	0.85	4.14
Kamis	0.69	5.52
Jumat	1.36	5.85
Sabtu	0.74	5.36
Minggu	0.79	5.62
Senin	0.73	3.77

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi pada hari Jumat dengan 1.36 m/s dengan nilai maksimum kecepatan angin pada hari tersebut sebesar

5.85 m/s. Hasil distribusi daya terhadap kecepatan angin per-hari dapat di lihat pada gambar 10.



**Gambar 10.** Distribusi Daya Terhadap Rata-Rata Kecepatan Angin Harian di Ketinggian 9 Meter

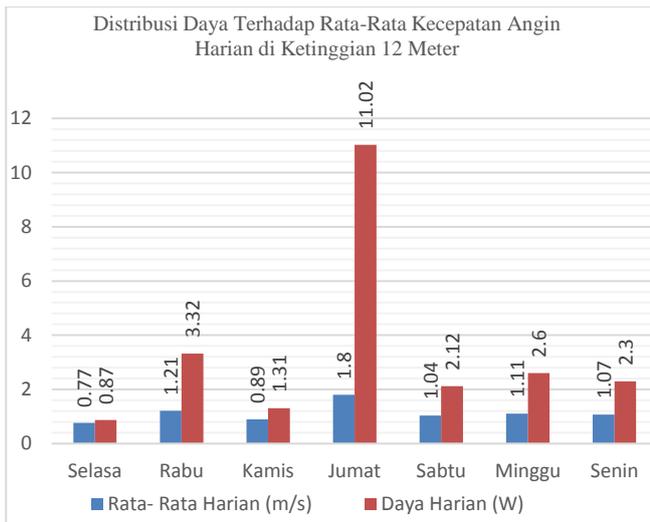
### Pengukuran Kecepatan Angin pada Level Ketinggian 12 Meter

Hasil pengukuran kecepatan angin pada level ketinggian 12 meter dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Rata-Rata Kecepatan Angin Harian dan Maksimum Pada Ketinggian 12 Meter

Hari	Rata-Rata (m/s)	Nilai Maksimum (m/s)
Selasa	0.77	3.72
Rabu	1.21	5.41
Kamis	0.89	6.51
Jumat	1.80	5.41
Sabtu	1.04	5.85
Minggu	1.11	6.44
Senin	1.07	4.80

Dari tabel 5 dapat diketahui bahwa rata-rata angin tertinggi sebesar 1.80 m/s dengan nilai maksimum kecepatan pada hari tersebut sebesar 5.41 m/s. Hasil distribusi daya terhadap kecepatan angin per-hari dapat dilihat pada gambar 11.



**Gambar 11.** Distribusi Daya Terhadap Rata-Rata Kecepatan Angin Harian di Ketinggian 12 Meter

### Analisa Potensi Energi Angin

Pada grafik kecepatan angin harian dapat diketahui bahwa nilai rata-rata kecepatan angin yang terbesar berada pada ketinggian 12 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pada ketinggian tersebut energi angin lebih besar dibandingkan dengan level ketinggian lainnya.

Berdasarkan tabel 1, nilai kecepatan angin minimal yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik adalah 1.6 m/s. Sedangkan kecepatan angin diketinggian 12 meter tidak setiap waktu tergolong berpotensi. Beberapa waktu tertentu saja yang kondisi anginnya berada di atas 1.6 m/s. Untuk menghitung nilai kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dapat menggunakan distribusi probabilitas pada persamaan 9.

Untuk menghitung potensi energi harian, maka daya angin di kali dengan distribusi probabilitas dan waktu (24 jam).

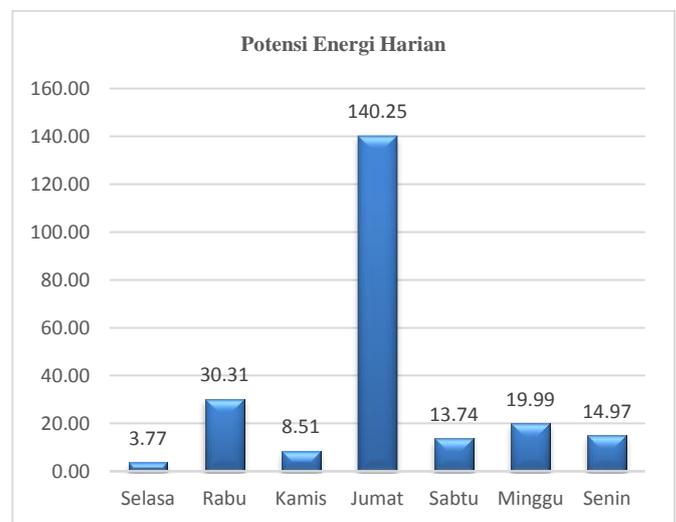
Hasil distribusi probabilitas dan energi angin setiap hari pada ketinggian 12 meter dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6.** Distribusi Probabilitas Kecepatan Angin dan Energi Angin

Hari	Frequensi > 1.6 m/s (%)	Energi Angin (Wattday)
Selasa	18	3.77
Rabu	38	30.31

Kamis	27	8.51
Jumat	53	140.25
Sabtu	27	13.74
Minggu	32	19.99
Senin	27	14.97

Dari tabel 6 dapat diketahui bahwa tidak setiap kecepatan angin dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Dari hasil penelitian berlangsung, energi angin dengan persentase tertinggi terjadi pada hari Jumat dengan nilai 53%. Grafik dari potensi energi per-hari diperlihatkan pada gambar 12.



**Gambar 12.** Potensi Energi Angin per-Hari

Grafik energi angin per-hari pada gambar 12 memperlihatkan bahwa potensi energi terbesar selama penelitian berlangsung terdapat pada hari Jumat dengan energi sebesar 140.25 *Wattday*. Sedangkan energi terendah terdapat pada hari Selasa dengan nilai sebesar 3.77 *Wattday*. Kecepatan angin yang dapat dihitung berpotensi untuk menghasilkan energi listrik adalah kecepatan di atas 1.6 m/s, sehingga tidak semua kecepatan angin dapat menghasilkan energi listrik. Rata-rata kecepatan angin yang diperoleh selama pengukuran tergolong rendah. Namun demikian, tetap ada kecepatan angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.

### Pengujian Validasi Alat

Hasil pembacaan anemometer tugas akhir dan anemometer standar akan dibandingkan untuk mengetahui keakuratan pembacaan

anemometer tugas akhir. Perbandingan hasil pembacaan anemometer TA dan standar dapat dilihat pada tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Pembacaan Anemometer TA dan Standar

TA (m/s)	Standar (m/s)	Error (%)
0.86	1.0	14.00%
1.85	1.9	2.63%
2.95	3.0	1.67%
4.21	4.0	5.25%
4.80	4.7	2.13%
6.23	6.0	3.83%
7.16	7.0	2.29%
8.03	8.1	0.86%
9.40	9.2	2.17%
10.33	10.2	1.27%
11.21	11.4	1.67%
12.30	12.4	0.81%
13.45	13.3	1.13%
14.40	14.2	1.41%
14.70	15.0	2.00%
<b>Rata-rata error</b>		<b>3%</b>

Dari 15 kali pengujian dapat dilihat bahwa nilai *error* sudah lebih kecil dibandingkan percobaan sebelumnya. Persentase *error* yang besar terdapat pada kecepatan 0.86 m/s dengan nilai *error* sebesar 14%. Dimana anemometer tugas akhir hanya membaca 0.86 m/s saat angin berkecepatan 1.0 m/s.

Dari persentase *error* yang tergolong kecil maka dapat disimpulkan bahwa pembacaan alat ukur anemometer tugas akhir ini dapat bekerja dengan baik.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengujian semakin tinggi level ketinggian pengukuran maka semakin besar potensi energi anginnya. Pada penelitian ini level ketinggian 12 meter dipilih untuk dilakukan analisa perhitungan potensi energi angin dikarenakan pada ketinggian tersebut rata-rata kecepatan angin harian paling besar di bandingkan kecepatan angin pada level ketinggian yang lain.

Dari hasil pengujian di lapangan selama 1 minggu didapatkan potensi energi angin tertinggi sebesar 140.26 *Wattday*. Sedangkan potensi energi angin terendah sebesar 3.77 *Wattday*.

Alat ukur anemometer tugas akhir sudah divalidasi dengan cara membandingkan hasil bacaannya dengan anemometer standar. Dari hasil pembacaan tersebut didapatkan bahwa persentase *error* pembacaan anemometer tugas akhir sebesar 3%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, A., & Hayyatul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), 34–45.
- Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Study Of Wind Energy Potency In Sulawesi And Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(2), 181–187.
- Mahar, M. L., Al Tahtawi, A. R., & Sudrajat, S. (2018). Perancangan dan Realisasi Anemometer Digital untuk Aplikasi Sistem Peringatan Dini. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 91-96
- Mathew, S. (2006). Sathyajith Mathew Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics. In *Wind Energy*.
- Napitupulu, S. S. (2014). Pengaruh Orientasi Bangunan Dan Kecepatan Angin Terhadap Bentuk Dan Dimensi Filter Pada Fasad Bangunan Rumah Susun. *E-Journal Graduate Unpar*, 1(2), 192–198.
- Pesma, R., -, W., & Taufiq, I. (2013). Rancang Bangun Alat Ukur Kelajuan Dan Arah Angin Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Menggunakan Sistem Sensor Cahaya. *Jurnal Fisika Unand*, 2(4), 238–247.
- Prasetyo, A. (2018). Rancang Bangun Anemometer Sistem Counter Berbasis Arduino dan Bluetooth. *Skripsi*.
- Priyambodo, B., & Uno, A. (2018). *The Design of Speed and Direction (Velocity) Measuring Instruments Based On Arduino Uno*.

- Rachman, A. (2012). *Analisis Dan Pemetaan Potensi Energi Angin Di Indonesia*. 64.
- Suwarti, Mulyono, Prasetyo, B., Rifa'i, A., Diastiara, I. R., Indriyani, L., & Putro, W. P. (2017). Pembuatan Monitoring Kecepatan Angin Dan Arah Angin Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Seminar Nasional Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 05(01), 56–64.
- Wijayanti, D., Rahmawati, E., & Sucahyo, I. (2015). Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 150–156.
- Yuliara I Made. (2016). Modul Regresi Linier Sederhana. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana*, 1–10.
- Yunginger, R., & Nawir, N. S. (2015). Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Di Gorontalo. *Universitas Negeri Gorontalo*, 15, 1–15.
- Yusuf, M. (2015). Rancang Bangun Thermal Anemometer Dengan Kontrol Proposional Integral. *Ecotipe*, 2.