

## MODUL SIMULATOR TURBIN ANGIN UNTUK MEDIA PEMBELAJARAN DI LABORATORIUM SISTEM TENAGA LISTRIK

Aksan<sup>1)</sup>, Sulhan Bone<sup>1)</sup>, Satriani Said<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRAK

For the development of new and renewable energy, especially the development of wind conversion systems, the methods to be carried out in this study are experimental methods and the design of making wind turbine simulator modules, making 6 blade horizontal shaft type wind turbine simulator modules, analyzing test data and measurements with data logger that can display electricity voltage curves, electric current, electric power, room temperature, generator rotational speed and wind speed on a PC with the help of the DELPHI program. The wind turbine simulator module uses horizontal shaft type wind turbine blades with variations in the number of 6 blade blades .. as well as the wind speed variations exhaled from artificial fans (blowers) range from 5 m / s, 6 m / s, and 7 m / s at wind tunnel, The results obtained in this study were to obtain a simulator module and a horizontal shaft type wind turbine shape with wind tunnels that operate efficiently at low wind speeds (5-7 m / s) by displaying graphs and PC-based computer measurement results.

**Keywords:** *New and renewable energy, laboratories, modules, wind turbines, PC computers*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energy di dunia terus meningkat, hal ini disebabkan oleh penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energy yang semakin meningkat. Berdasarkan sumber Pengelolaan Energy Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan /produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Sementara tingginya kebutuhan migas tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya sehingga menyebabkan kelangkaan migas di hampir semua Negara. Oleh karena itu semua Negara berpacu untuk menciptakan / mengembangkan energy dari sumber energy baru dan terbarukan. Salah satu sumber energy baru dan terbarukan yang dipilih adalah energy angin.

Energy angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus-menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km. Indonesia memiliki potensi energy angin yang sangat besar sekitar 9,3 GW dan total Kapasitas yang baru terpasang saat ini baru sekitar 0,5 MW (Daryanto 2007)

Perkembangan energy angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah yaitu berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energy listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun sehingga memungkinkan untuk dikembangkan system pembangkit listrik skala kecil.

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan Udara yang 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 temperature yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperature berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah demikian sebaliknya.

Udara yang memiliki massa  $m$  dan kecepatan  $v$  akan menghasilkan energy kinetic sebesar :

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

Volume udara per satuan waktu (debit) bergerak dengan kecepatan  $v$  dan melewati daerah seluas  $A$  adalah :

$$V = v A \quad (2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$ , yaitu :

$$m = \rho V = \rho v A$$

sehingga energy kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Aksan, Telp 081244315151, aksansubarjo@yahoo.co.id

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho v A) (v^2) = \frac{1}{2} \rho v^2 A \tag{3}$$

Keterangan :

$P_w$  = Daya angin (watt)

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

$A$  = Luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan udara (m/s)

besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energy mekanik oleh turbin (Ajao dan Adeniyi, 2009)

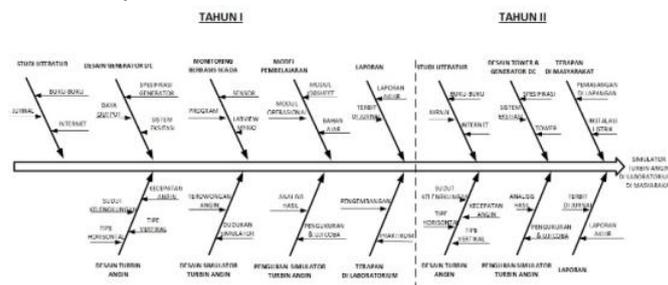
Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan pembuatan / rancang bangun simulator alat uji turbin angin dengan terowongan angin sebagai sumber angin buatan dari kipas angin turbo yang diarahkan dengan terowongan angin. Untuk optimalisasi keluaran generator AC maka digunakan penggerak dari jenis turbin angin yaitu turbin angin poros horizontal dengan jumlah *blade* digunakan sebanyak 6 bilah. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan angin yaitu 5 m/s, 6 m/s, dan 7 m/s. Dengan ketersediaan peralatan modul simulator alat uji turbin angina berbasis PC Komputer, maka motivasi dan minat mahasiswa untuk mempelajari dan mengembangkan pembangkit tenaga listrik baru dan terbarukan khususnya tenaga angin akan meningkat.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan dengan metode desain dan eksperimental yang akan ditekankan pada rancang bangun dan pengujian kinerja serta evaluasi hasil pengujian serta penerapan di laboratorium dan aplikasi di masyarakat.

### 2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian akan dilakukan secara bertahap yaitu dimulai dengan rancang bangun turbin tipe poros horizontal serta monitoring berbasis PC Komputer, dilanjutkan dengan pengujian kinerja hasil desain dan rancang bangun serta evaluasi hasil. Hasil dari pengujian ini akan diterapkan sebagai modul pembelajaran di laboratorium dan aplikasi di masyarakat.



Gambar 1. Fishbone diagram penelitian

#### 2.1.1. Rancang Bangun Turbin dan Sistem Pengujian

Perancangan dan pembuatan turbin angin tipe poros horizontal terbuat dari *blade* fiber dengan ketebalan 3 mm, dengan panjang sudu sebesar 25 cm, lebar bagian dalam 20 cm dan lebar bagian luar 10 cm. Fiber dipilih karena material ini mudah dibentuk, di varnis dan hambatannya kurang. Penyambungan blade pada poros turbin menggunakan plat aluminium 10 mm dan dibaut. Jumlah blade pada turbin angin sebanyak 6 bilah sehingga dapat dibandingkan untuk mendapatkan optimalisasi daya keluaran generator AC. Modifikasi sudut kelengkungan turbin angin dibentuk dari bentuk penyambungan blade pada poros generator AC. Adapun contoh bentuk dan model blade tipe poros horizontal yang dibuat ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk dan model blade Turbin tipe horisontal

#### 2.1.2. Pengujian Kinerja Turbin

Pengujian turbin tipe horizontal untuk mendapatkan besar kinerja turbin dengan variasi jumlah sudu turbin, sudut kelengkungan turbin dan kecepatan aliran udara. Kinerja turbin dapat dilihat dari besar

efisiensinya yang merupakan perbandingan daya keluaran terhadap daya masukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P}{P} \times 100\%$$

dengan :

Pt = Daya turbin (joule/s)

Pw = Daya angin (joule/s)

Daya input turbin diperoleh dari pengukuran laju aliran udara dan luas permukaan penampang turbin yang menerima aliran udara. Daya input akan divariasikan dengan memvariasikan laju aliran udara dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Ek = \frac{1}{2} mv^2$$

Dengan :

$$m = \rho \times A \times v$$

$$A = d \times h$$

Sehingga :

$$Pw = \frac{1}{2} C_p A v^3 \tag{4}$$

Daya output turbin yang akan diukur adalah daya mekanik yang diperoleh dari besar momen torsi dan pengukuran kecepatan putaran turbin, momen torsi akan diperoleh dengan mengukur besar beban gaya yang diberikan terhadap turbin dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_T = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T / 60$$

Dengan :

$$T = F \times r$$

Sehingga :

$$P_T = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot F \cdot r / 60 \tag{5}$$

**2.1.3. Evaluasi Hasil Pengujian**

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kinerja turbin tipe poros horizontal dengan jumlah variasi sudu turbin, sudut kelengkungan turbin dan kecepatan aliran udara serta variasi beban DC dan beban AC. Evaluasi dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dari monitoring berbasis PC Komputer, sehingga diperoleh besar efisiensi turbin pada setiap variasi pengujian. Evaluasi ini pada akhirnya akan menjadi dasar dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga angin atau penerapan sebagai modul pembelajaran di laboratorium system tenaga listrik

**III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**3.1.. Rancang Bangun Komponen Modul Simulator Turbin Angin**

**3.1.1..Modul Simulator Turbin Angin**

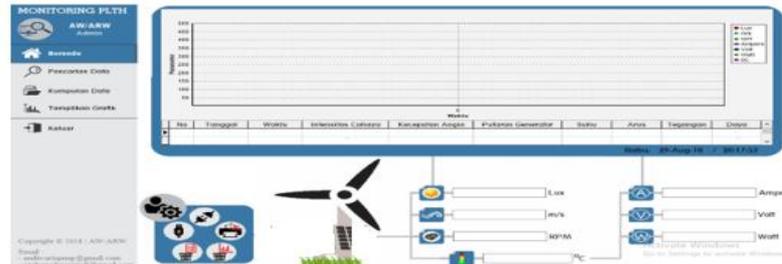
Modul simulator turbin angin yang telah dirancang bangun berbentuk terowongan angin, yang berfungsi sebagai pengarah angin terpusat guna memutar turbin angin sebagai penggerak generator turbin angin. Turbin angina yang digunakan adalah tipe horizontal seperti ditunjukkan pada gambar 3. Turbin ini dipasang langsung pada generator sebagai penggerak generator AC dengan didudukkan di dalam terowongan angin. Sumber angin yang dihembuskan untuk memutar turbin berasal dari kipas angin / blower dengan kecepatan angin sampai 7 m/s..



Gambar 3. Modul simulator turbin angin

Modul beban yang telah dirancang terdiri dari beban DC dan Beban AC. Beban ini disuplai dari sumber Accu dan Generator sinkron 3 phasa yang telah disearahkan. Modul inverter yang telah dirancang

akan digunakan sebagai pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 1 fasa yang dihubungkan dengan rangkaian unit control baterai (BCU) untuk gabungan antara baterai / aki dengan sumber DC dari simulator turbin angin. Monitoring keluaran modul simulator akan ditampilkan dengan menggunakan PC Komputer. Monitoring dengan computer akan menampilkan hasil pengukuran arus, tegangan , daya, suhu udara, kecepatan angin dan kecepatan putar turbin angin. Monitoring ini selain menampilkan dalam bentuk angka hasil pengukuran juga dapat menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut :



Gambar 4. Monitoring dengan PC Komputer

### 3.1.2.. Pengujian Hardware Modul Simulator

Pengujian *hardware* dilakukan untuk mengetahui tingkat kecocokan dan kesesuaian uji kelayakan dari alat ukur rancangan dengan alat ukur standar (multimeter, tachometer, dan anemometer). Sehingga untuk mendapatkan data yang akurat perlu dilakukan pengukuran dengan sistem *one by one* agar didapatkan hasil yang sesuai. Pengujian *hardware* meliputi:

#### 3.1.2.1..Pengujian Sensor Tegangan

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari penggunaan sensor tegangan yang digunakan, peneliti menerapkan metode regresi linier, dimana metode regresi linier adalah metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel faktor penyebab (X) terhadap variabel akibatnya (Y). Dengan adanya regresi linier, kita bisa memprediksi sebuah karakteristik yang mendekati dengan pola yang telah terbentuk. Sehingga untuk mendapatkan data yang diinginkan, perlu dilakukan pengujian terhadap sensor. Sehingga didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data Pengujian Sensor Tegangan

No.	Tegangan Input (VDC)	Tegangan Output			Persentase Kesalahan (%)
		Multimeter (VDC)	Sensor Tegangan ADC (bit)	Output (VDC)	
1.	0	0	0	0.00	0.00
2.	1	1	42	1.00	0.00
3.	2	2	83	1.99	0.50
4.	3	3	124	2.98	0.67
5.	4	4	166	3.99	0.25
6.	5	5	208	5.00	0.00
7.	6	6	249	5.99	0.17
8.	7	7	290	7.00	0.00
9.	8	8	332	7.98	0.25
10.	9	9	374	8.99	0.11
11.	10	10	416	10.00	0.00
12.	11	11	457	10.99	0.09
13.	12	12	498	11.98	0.17
		Jumlah			2.20
		Rata – Rata			0.17

#### 3.1.2.2. Pengujian Sensor Arus ACS712

Pada pengujian ini sensor arus yang digunakan adalah sensor arus ACS712 dengan kapasitas 20A serta memiliki sensitivitas 100 mV yang artinya yaitu setiap kenaikan 1 A maka tegangan *output* sensor arus ACS712 akan naik 66 mV. Sehingga untuk mendapatkan data yang diinginkan maka perlu dilakukan pengujian terhadap sensor. Hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Data Pengujian Sensor Arus ACS712

No.	Jenis Beban DC	Arus (Ampere)		Persentase Kesalahan (%)
		Multimeter	Sensor ACS712	
1.	Lampu TL	0.54	0.54	0.00
2.	Lampu Pijar	4.09	4.05	3.39
3.	Kipas	0.20	0.19	0.98
		Jumlah		4.37
		Rata – Rata		1.46

Karena keterbatasan pada penggunaan beban penguji sensor arus ACS712, yang dimana input tegangan yang dibolehkan dari beberapa jenis beban DC yaitu maksimal 12VDC, maka pengujian terhadap pengukuran variabel tegangan input beban hanya bisa dilakukan satu kali. Adapun diperoleh berupa hasil dari pengujian sensor arus ACS712 didapatkan rata-rata kesalahan sebesar 1.46%. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan sensor arus ACS712 sudah **baik**.

**3.1.2.3..Pengujian Sensor Suhu DHT22**

Sensor suhu DHT22 pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi suhu dalam sebuah ruangan dimana sensor tersebut diletakkan. Sehingga untuk mendapatkan data yang diinginkan maka perlu dilakukan pengujian terhadap sensor. Setelah dilakukan pengujian sensor arus dengan membandingkan hasil pengukuran sensor atau alat rancangan dengan multimeter atau alat ukur standar, sehingga didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Data Pengujian Sensor Suhu DHT22

No.	Tegangan Input Blower (Volt)	Suhu (°C)		Persentase Kesalahan (%)
		Termometer 'Ruangan: 29.5'	Sensor DHT22 'Ruangan: 29.1'	
1.	220	28.8	28.5	1.04
2.	200	28.9	28.6	1.04
3.	180	28.9	28.6	1.04
4.	160	28.9	28.6	1.04
5.	140	28.9	28.6	1.04
6.	120	29.0	28.7	1.03
Jumlah				6.23
Rata - Rata				1.04

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai *output* sensor dengan parameter tegangan *input blower* sebagai sumber angin yang diatur secara berbeda-beda. Dalam percobaan ini diperoleh hasil dengan perbedaan selisih yang sangat kecil. Diantaranya yaitu pada saat tegangan *input blower* 220 volt menunjukkan nilai suhu 28.5°C, sedangkan pada saat diberi tegangan *input blower* 200 volt menunjukkan nilai suhu 28.6°C. Bahkan pada percobaan ini menunjukkan ada beberapa nilai *output* sensor yang sama, walaupun tegangan *input blower* yang berbeda-beda. Adapun diperoleh berupa hasil dari pengujian sensor suhu didapatkan rata-rata kesalahan sebesar 1.04%. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan sensor suhu sudah **baik**.

**3.1.2.4.. Pengujian Sensor Anemometer dan Optocoupler**

Pada pengujian ini, pengukuran terhadap kecepatan angin dan putaran generator dilakukan dengan mengkopel piringan sensor yang memiliki 18 celah dan sensor optocoupler. Piringan sensor ini kemudian mengindera kecepatan putar baling - baling mangkok pada anemometer dan kecepatan putar poros generator. Setelah dilakukan pengujian sensor arus dengan membandingkan hasil pengukuran sensor atau alat rancangan dengan multimeter atau alat ukur standar, sehingga didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Data Pengujian Sensor Anemometer dan Optocoupler

No	Tegangan Input Blower (V)	Kecepatan Angin (m/s)		Putaran Generator (RPM)		Tegangan Output Generator (Volt)			Persentase Kesalahan (%)	
		Anemometer	Sensor Anemometer	Tachometer	Sensor Optocoupler	R-S	S-T	R-T	Kecepatan Angin	Putaran Generator
1.	220	6.70	6.67	460.2	459	102.5	102.7	102.1	0.45	0.26
2.	200	6.55	6.52	457.9	456	101.4	101.2	101.3	0.46	0.41
3.	180	6.38	6.37	445.5	444	98.8	100.5	99.5	0.16	0.34
4.	160	6.31	6.27	426.1	426	94.2	93.7	94	0.63	0.02
5.	140	6.17	6.12	381.2	381	79.5	79.4	79.5	0.81	0.05
6.	120	5.30	5.27	284.9	282	54.7	55.1	56	0.57	1.02
7.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
Jumlah									3.07	2.11
Rata - Rata									0.51	0.35

Dari hasil pengujian kecepatan angin dan putaran generator diperoleh bahwa tegangan *input blower* berbanding lurus dengan kecepatan angin dan putaran generator, dimana semakin besar tegangan *input blower* maka semakin tinggi pula kecepatan angin dan putaran generator yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya semakin kecil tegangan *input blower* maka semakin rendah kecepatan angin dan putaran generator yang dihasilkan. Adapun diperoleh berupa hasil dari pengujian sensor anemometer didapatkan kesalahan rata-rata

sebesar 0.51% dan kesalahan rata-rata dari sensor optocoupler sebesar 0.35%. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan sensor anemometer dan optocoupler sudah **baik**.

**3.1.2.5..Pengujian Unjuk Kerja Modul Simulator**

Pengujian unjuk kerja modul simulator dilakukan dengan menghubungkan dengan beban DC dan beban AC. Hasil pengujian dengan beban DC dan beban AC ditunjukkan pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Pengujian dengan Beban DC dan beban AC

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Putar Generator (rpm)	Suhu (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1.	6.78	48	24.90	3.96	11.60	45.88
2.	6.52	48	24.90	3.96	11.60	45.88
3.	6.62	48	24.90	3.91	11.60	45.31
4.	6.52	48	24.90	3.96	11.57	45.78
5.	6.72	48	24.90	3.91	11.60	45.31
6.	6.57	48	25.00	3.96	11.57	45.78
7.	6.67	48	25.00	3.91	11.57	45.22
8.	6.62	48	25.00	3.91	11.57	45.22
9.	6.62	48	25.00	4.01	11.57	46.35
10.	6.78	48	25.00	4.05	11.57	46.92

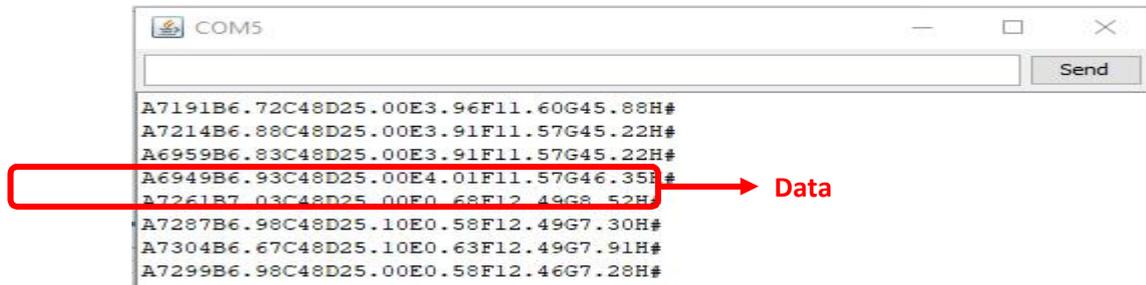
No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Putar Generator (rpm)	Suhu (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1.	7.03	48	25.10	3.86	11.57	44.65
2.	7.03	48	25.10	3.76	11.60	43.61
3.	6.83	48	25.10	3.91	11.60	45.31
4.	7.18	48	25.10	3.76	11.64	43.79
5.	6.98	48	25.10	3.71	11.64	43.22
6.	6.93	48	25.10	3.76	11.60	43.61
7.	7.23	48	25.00	3.81	11.64	44.36
8.	6.98	48	25.10	3.81	11.62	44.27
9.	6.78	48	25.10	3.91	11.60	45.31
10.	6.93	48	25.00	3.76	11.69	43.97

**3.1.3.. Pengujian Software Modul Simulator**

Pengujian *software* dilakukan untuk mengetahui apakah aplikasi yang dibuat telah bekerja sesuai dengan fungsinya atau tidak. Pengujian *software* meliputi:

**3.1.3.1. Parsing dan Menampilkan Data**

Hasil pembacaan data yang dikirim oleh Arduino Uno ke komputer melalui komunikasi serial pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan format data "Achahaya Bangin Cgenerator Darus Etegangan Fdaya GsuhuH#" dimana data yang dikirimkan tersebut tidak diakhiri dengan tanda enter/new line. Dan jika ditampilkan di serial monitor pada program Arduino Uno format datanya seperti ditunjukkan pada gambar 5 berikut:



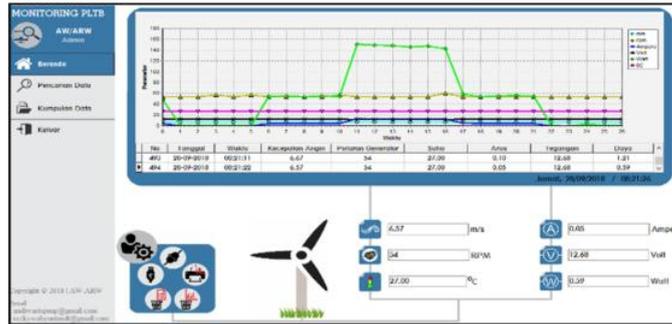
Gambar 5. Tampilan Format Data di Serial Monitor

**3.1.3.2.. Data Base**

*Data base* bisa dikatakan sebagai suatu kumpulan dari data yang tersimpan dan diatur atau diorganisasikan sehingga data tersebut bisa diambil atau dicari dengan mudah dan efisien. Secara manual *data base* dapat berupa lemari arsip, sedangkan secara komputerisasi *data base* merupakan *file archive*. Secara umum *data base* berkaitan dengan pengarsipan data secara komputerisasi sehingga memudahkan dalam pengaksesan data pada suatu waktu dengan cepat. Adapun data yang ditampilkan di Delphi 7 sama dengan data yang tersimpan di Ms. Access seperti yang terlihat pada gambar 6 dan 7.

No	Tanggal	Waktu	Kecepatan Angin	Putaran Generator	Suhu	Arus	Tegangan	Daya
13	31-08-2018	15:24:38	6.72	48	25.00	3.96	11.60	45.88
14	31-08-2018	15:24:48	6.88	48	25.00	3.91	11.57	45.22
15	31-08-2018	15:24:59	6.83	48	25.00	3.91	11.57	45.22
16	31-08-2018	15:25:09	6.93	48	25.00	4.01	11.57	46.35
17	31-08-2018	15:28:27	7.03	48	25.00	0.68	12.49	8.52
18	31-08-2018	15:28:38	6.98	48	25.10	0.58	12.49	7.30
19	31-08-2018	15:28:48	6.67	48	25.10	0.63	12.49	7.91
20	31-08-2018	15:28:58	6.98	48	25.00	0.58	12.46	7.28

Gambar 6. Tampilan Data Base di Delphi 7



Gambar 7. Tampilan Data di Form Monitoring

**KESIMPULAN**

1. Modul simulator turbin angin yang dihasilkan pada penelitian tahun ke 2 ini dengan model terowongan angin berbasis PC Komputer dapat digunakan sebagai sarana modul praktikum di laboartorium system tenaga listrik.
2. Dengan ketersediaan peralatan modul ini maka mahasiswa dan staf pengajar dapat melakukan praktikum untuk mengembangkan pengetahuan dan teknologi peralatan energi baru dan terbarukan khususnya pembangkit energi tenaga bayu (PLTB)

**DAFTAR PUSTAKA**

Ajao, KR dan Adeniyi JSO, 2009, “ *Comparison of Theoretical and Axperimental Power Output of small 3 bladed Horizontal axis wind turbin*” Journal of American Science Volume 5, No.4

Daryanto, Y, 2007, “ *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*”, Balai PPTAGG Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan. Kementerian Riset, teknologi dan Pendidikan Tinggi. 2016. “ *Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi* “, Edisi X.

Ikhwanul Ikhsan, M Akbar, 2011, “ *Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin tipe Propeller pada Wind Tunnel Sederhana* “ Universitas Hasanuddin, Makassar Markus Nanda Andika dkk, 2007, “ *Kincir Angin Sumbu Horisontal Bersudu Banyak* “, Universitas Sanata Dharma, Jogjakarta

Marizka Lustia Dewi, 2010, “ *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius Untuk Optimalisasi Kinerja Turbin*”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

M.Najib Habiebie dkk, 2011, “ *Kajian Potensi Energi Angin Di wilayah sulawesi dan Maluku Study of wind energy potency in sulawesi and Maluku*”, Jurnal Meteorologi dan Geofisikavolume 12 nomor 2 – september 2011: 181 - 187

Mittal, Neeraj, 2001, “ *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis, UK: Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde